

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Матеріали XLVII науково-технічної конференції
підрозділів Вінницького національного
технічного університету (НТКП ВНТУ–2018)

14-23 березня 2018 року

Збірник доповідей

Електронне мережне наукове видання

УДК 001
М34

Видається за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Головний редактор: В. В. Грабко
Відповідальний за випуск: С. В. Павлов

Робоча група з підготовки конференції:

Голова робочої групи: проректор з наукової роботи ВНТУ Павлов С. В.;

Заступник голови робочої групи: начальник НДЧ ВНТУ Богачук В. В.;

Члени робочої групи:

заступники деканів факультетів з наукової роботи;

заступник директора ІнЕБМД з наукової роботи;

директор ІРВЦ Власюк А. І.;

начальник відділу з питань інтелектуальної власності Кондратьєва Л. М.;

провідний інженер відділу з питань інтелектуальної власності Петросюк Т. А.

М34 Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2018) [Електронне мережне наукове видання] : збірник доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2018.

ISBN 978-966-641-737-7

Збірник містить тексти доповідей XLVII регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів Вінницького національного технічного університету з участю працівників підприємств м. Вінниці та Вінницької області з загально-інженерних, технічних, гуманітарних та фундаментальних наук.

НТКП ВНТУ проводиться у вигляді конференцій навчальних інститутів, факультетів, конференції Головного центру виховної роботи та конференції гуманітарних підрозділів. Кожна конференція має власну тематику, оргкомітет, строки проведення пленарних та секційних засідань, та складається з однієї або кількох секцій.

УДК 001

ISBN 978-966-641-737-7

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2018

Зміст

НТК ВНТУ. Факультет електроенергетики та електромеханіки	3096
Секція електричних станцій і систем	
<i>Олександр Сергійович Урсул, Юлія Володимирівна Малогулко</i> ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	3097

<i>Юлія Володимирівна Малогулко, Юрій Васильович Семенюк</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ.....	3100
<i>Людмила Русланівна Крот, Ірина Олександрівна Гунько</i> СЕКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЯКІЙ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ.....	3103
<i>Максим Олександрович Гришук</i> ОБҐРУНТУВАННЯ МЕЖ ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ АЧХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ВІДПОВІДНОГО ДЕФЕКТАМ ЗСУВУ ВИТКІВ.....	3106
<i>Владислав Михайлович Лисий, Олександр Євгенійович Рубаненко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЗАХИСТІВ ГЕНЕРАТОРІВ.....	3109
<i>Анастасія Богданівна Урода, Владислав Олександрович Лесько</i> ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ «АКТИВНОГО» СПОЖИВАЧА В УКРАЇНІ.....	3111
<i>Олександр Миколайович Ілик</i> ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ І ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	3115
<i>Віктор Олександрович Плотниця</i> УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА НАВАНТАЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ.....	3117
<i>Юлія Володимирівна Малогулко, Денис Анатолійович Дячук</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В УКРАЇНІ.....	3123
<i>Андрій Анатолійович Огороднік</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ.....	3126
<i>Володимир Серогійович Голодюк</i> РОБОТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ЗА ЗАЯВЛЕНИМ ГРАФІКОМ ГЕНЕРУВАННЯ.....	3130
<i>Василь Михайлович Кутін, Марина Василівна Кутіна</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІЙ ВИСОКОЇ НАПРУГИ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	3131
<i>Олександр Євгенійович Рубаненко, Віталій Анатолійович Дмуховський</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕМОНТІВ ШУНТОВИХ РЕАКТОРІВ 750 КВ.....	3133
<i>Олександр Олександрович Стахов</i> ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	3136
<i>Андрій Сергійович Колодзійський</i> АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	3138
<i>Максим Олегович Богатюк</i> АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID.....	3141
<i>Іван Юрійович Залізняк</i> ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	3145
<i>Олександр Борисович Бурикін</i> ВИКОРИСТАННЯ ТИПОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ У ЗАДАЧАХ ДОСТОВІРИЗАЦІЇ ДАНИХ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	3147
<i>Вячеслав Леонідович Брацлавський, Юрій Юрійович Півнюк</i> КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	3150
<i>Сергій Валентинович Барановський</i> АНАЛІЗ ТЕМПІВ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ГЕНЕРОВАНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ В ОЕС УКРАЇНИ.....	3152
<i>Ігор Олександрович Прокопенко</i> ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕНЕРУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМНІ ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	3154
<i>Віталій Васильович Хавтурко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ В СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ.....	3157
<i>Владислав Анатолійович Гриник</i> БІОЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ, ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ.....	3160
<i>Тетяна Вікторівна Андрієнко, Денис Сергійович Кушнір</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	3164
<i>Андрій Олександрович Матвєєв</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ.....	3166
<i>Юрій Фециук</i> ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА СТАДІЇ ПЕРЕДПРОЕКТНИХ РОЗРАХУНКІВ.....	3168
<i>Дмитро Олексійович Аніпченко</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ.....	3171
<i>Євгеній Олександрович Смажний</i> ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ.....	3173
<i>Дмитро Олександрович Слободянюк</i> ПЕРЕВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА НАПРУГУ 20КВ З УРАХУВАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	3175
<i>Іван Михайлович Руснак</i> РОЛЬ ГЕС В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ.....	3176
<i>Роман Юрійович Корчевий</i> РОЛЬ ГАЕС В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ.....	3178
<i>Ірина Вадимівна Котилко</i> ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ ПРИ ВТРАТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ.....	3180
<i>Ольга Олегівна Онищук</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ ПРИ КОМУТАЦІЇ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ.....	3183
<i>Ярослав Васильович Бацала</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧІЙ МЕРЕЖІ 0,4 КВ З СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ.....	3186
<i>Анна Сергіївна Кульматицька</i> ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА РЕЖИМ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ.....	3189
<i>Ірина Анатоліївна Бартецька, Петро Дем'янович Лежнюк</i> МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ МЕРЕЖЕВОГО ІНВЕРТОРА.....	3192
Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту	
<i>Дмитро Писаренко</i> ПАСИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ТА ЗАЗЕМЛЕННЯ БУДІВЛІ.....	3194
<i>Дмитро Писаренко</i> СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ПРОКЛАДАННІ КАБЕЛЬНИХ ТРАС В МЕТАЛЕВИХ ЛОТКАХ.....	3196
<i>Ліна Віталіївна Попсуй</i> СТИМУЛЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ ЗІ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ.....	3199

<i>Наталія Василівна Терешкевич</i> ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ АМОРФНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ В КУРСОВИХ ТА ДИПЛОМНИХ ПРОЕКТАХ.....	3201
<i>Леонід Борисович Терешкевич, Олександр Олексійович Хоменко</i> ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ОБМЕЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГРУПИ ОДНОФАЗНИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НА НЕСИМЕТРИЮ РЕЖИМУ.....	3203
<i>Владислав Васильович Слівінський, Юрій Петрович Войтюк, Юлія Андріївна Шулле</i> НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ SMART-БУДИНКІВ НА БАЗІ ПРОТОКОЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ KNX ФІРМИ HAGER.....	3205
<i>Богдан Павлович Станіславов, Юлія Андріївна Шулле</i> ЗАСТОСУВАННЯ АСКОВЕ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СЕП.....	3208
<i>Анатолій Вікторович Ольшєвський</i> ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ З ДОПОМОГОЮ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПОДІЛУ ВТРАТ.....	3210
<i>І. С. Ситар</i> ДЕКОМПОЗИЦІЯ РАДІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	3212
<i>Владислав Олегович Буженко</i> ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	3214
<i>Грина Володимирівна Валькова, Юлія Андріївна Шулле</i> ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ЯК БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	3216
<i>Надія Олександрівна Манжак</i> МЕТА І ЗАВДАННЯ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У ПРОМИСЛОВОСТІ.....	3218
<i>Микола Борисович Гилун</i> ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ПІДПРИЄМСТВА.....	3220
<i>Олександр Степанович Березовський</i> ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА ПІДПРИЄМСТВА.....	3222
<i>Андрій Олександрович Воробей</i> АВТОМАТИЗОВАНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	3224
<i>Сергій Левицький</i> ДІАГНОСТУВАННЯ КОНДЕНСАТОРІВ СИЛОВОЇ СХЕМИ СТАТКОМ.....	3226
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Валентина Сергіївна Петелько</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ.....	3229
<i>Вадим Дмитрович Григоренко</i> ВПЛИВ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ НА ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ.....	3231
<i>Андрій Олегович Богач</i> ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ.....	3233
<i>Андрій Васильович Падун</i> ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ СВІТЛОДІОДІВ.....	3236
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Євгеній Борисович Кутик</i> ОПТИМАЛЬНЕ ПОЄДНАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ І ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ.....	3238
<i>Роман Володимирович Поліщук</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ.....	3240
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Олександр Сергійович Матат</i> ОПТИМІЗАЦІЯ СПОСОБУ ПРОКЛАДАННЯ ПРОВІДНИКІВ В ЦЕХОВИХ МЕРЕЖАХ.....	3242
<i>Олексій Вікторович Бабенко, Владислав Васильович Петелько</i> ВИРІВНЮВАННЯ ДОБОВОГО ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	3244
<i>Олександр Володимирович Іванішин</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТІВ БУДІВНИЦТВА СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ.....	3246
<i>Владислав Сергійович Нечуя</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА.....	3248
<i>Юрій Анатолійович Лобатюк, Олександр Вікторович Хливнюк</i> ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОВОЛЬТАІЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	3250
<i>Андрій Миколайович Гриб</i> ВПЛИВ НА РОБОТУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З НЕСИМЕТРИЧНОЮ НАПРУГОЮ БАТАРЕЙ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ.....	3252
<i>Борових Олександрівна Оксана</i> ПОНЯТТЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗГІДНО ISO 50001.....	3255
<i>Олександр Миколайович Глик</i> ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ І ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	3257
<i>Андрій Павлович Кравчук</i> ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ПО ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ.....	3259
<i>Юрій Васильович Лобода</i> АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ.....	3265
<i>Юрій Васильович Лобода</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В УМОВАХ ПОГІРШЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	3267
<i>Максим Сергійович Задворний</i> МІНІМІЗАЦІЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ.....	3269
<i>Оксана Мірошник</i> СУЧАСНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ НА БАЗІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕТІ. УСТАНОВКИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	3272
<i>Яна Анатоліївна Ясько</i> ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ЯК ОСНОВА ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ.....	3274
<i>Петро Омелянович Курляк</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ.....	3276
Секція теоретичної електротехніки та електричних вимірювань	
<i>Самойл Шулімович Каців</i> НЕСТАНДАРТНИЙ АНАЛІЗ В ТОЕ: ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В КОЛАХ 1 ПОРЯДКУ З ПОРУШЕННЯМ ЗАКОНІВ КОМУТАЦІЇ.....	3279
<i>Самойл Шулімович Каців</i> НЕСТАНДАРТНИЙ АНАЛІЗ В ТОЕ: ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В КОЛАХ 2 ПОРЯДКУ З ПОРУШЕННЯМ ЗАКОНІВ КОМУТАЦІЇ.....	3281
<i>Юрій Григорович Ведміцький</i> ЗАКОН ПЕРЕТВОРЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТРИГОНОМЕТРИЧНОГО РЯДУ ФУР'Є ПРИ ВІДОБРАЖЕННІ НЕПЕРЕРВНОЇ ФУНКЦІЇ В РОЗРИВНУ ПЕРШОГО РОДУ. МАТЕМАТИЧНИЙ ЕТЮД.....	3283
<i>Валерій Федорович Граняк</i> ВИХРОСТРУМОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ АБСОЛЮТНОГО ОСЬОВОГО ЗМІЩЕННЯ РОТОРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ.....	3293
<i>Валерій Федорович Граняк</i> ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ГІДРОАГРЕГАТІВ.....	3297
<i>Юрій Григорович Ведміцький</i> ТЕКТОЛОГІЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ І ЯВИЩЕ ГІПЕРСИЛОВОЇ (ГІПЕРВАЛЕНТНОЇ) ВЗАЄМОДІЇ В СТРУКТУРНИХ РІВНЯННЯХ УЗАГАЛЬНЕНОГО КОЛА.....	3300

<i>Андрій Миколайович Коваль, Володимир Сергійович Голодюк</i> АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА	3309
<i>Андрій Миколайович Коваль, Тетяна Вікторівна Савенчук</i> ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ДВОДВИГУНОВИХ ПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА БАЗІ ВІКОННОГО КОМПАРАТОРА	3312
<i>Володимир Сергійович Голодюк</i> МОДИФІКАЦІЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ЦИФРОВОГО СЕНСОРА ВІБРАЦІЙ	3314
<i>Юрій Григорович Ведміцький</i> БІНОМІАЛЬНИЙ ЗАКОН ВІДОБРАЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ КОШІ, ВИЗНАЧЕНИХ НАД ПОЛЯМИ ДІЙСНИХ ТА КОМПЛЕКСНИХ ЧИСЕЛ	3316
Секція електромеханічних систем автоматизації	
<i>Дмитро Петрович Проценко</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ МОБІЛЬНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ	3319
<i>Сергій Миколайович Бабій, Андрій Анатолійович Бартецький</i> ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ	3321
<i>Вадим Сергійович Бомбик</i> РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ БАГАТОРІВНЕВИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ	3323
<i>Микола Миколайович Мошиноріз, Андрій Сергійович Горбань</i> РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	3325
<i>Микола Миколайович Мошиноріз, Микола Омелянович Казак, Олег Васильович Дідушок</i> УНІВЕРСАЛЬНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД-ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЇВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТОВ “НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО”	3327
<i>Микола Миколайович Мошиноріз, Андрій Сергійович Мазур</i> ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ З ДВОМА НАСОСНИМИ АГРЕГАТАМИ ТА ПРОТИТІСКОМ В ТРУБОПРОВІДНИЙ МЕРЕЖІ	3329
<i>Микола Миколайович Мошиноріз</i> ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ У РОБОТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ	3331
<i>Дмитро Петрович Проценко, Олександр Дмитрович Майданський</i> ІМПУЛЬСНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ НА БАЗІ МІКРОСХЕМИ TL494 ІЗ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ СТРУМУ ТА НАПРУГИ	3333
<i>Микола Миколайович Мошиноріз, Володимир Леонідович Марченко</i> ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	3335
<i>Михайло Петрович Розводюк</i> ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА ПАРАМЕТРАМИ ЙОГО ЗОВНІШНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ	3337
<i>Олександр Миколайович Стаднік</i> ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ	3339
<i>Аліна Миколаївна Ратушна, Сергій Миколайович Бабій</i> КОМП’ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ КРАНА В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB	3341
<i>Валентин Володимирович Грабко, Андрій Олексійович Столовник</i> ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЕНЕРГІЇ, ВИРОБЛЕНОЇ ВІТРОВИМ КОЛЕСОМ	3344
<i>Володимир Віталійович Грабко, Валентин Володимирович Грабко</i> ДО ПИТАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ	3346
<i>Утретас Альбуха Альфредо, Бакеро Лопес Фабрісіо</i> РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ НА ПЛІС КОМПАНІЇ ALTERA	3348
<i>Олександр В’ячеславович Паланюк, Владислав Володимирович Охов</i> РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБУ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РОТОРА ПРАЦЮЮЧОГО ГІДРОГЕНЕРАТОРА НА ПЛІС КОМПАНІЇ ALTERA	3350
<i>Михайло Петрович Розводюк, Олександр Сергійович Кметюк</i> БАГАТОРІВНЕВА АВТОМАТИЗОВАНА АВТОМОБІЛЬНА ПАРКОВКА	3352
<i>Ілля Володимирович Мельник</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ	3355
<i>Олег Васильович Дідушок</i> ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ТЯГИ ТА СИЛИ ОПОРУ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПРИВОДІ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИМИКАЧА	3357
Секція відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів	
<i>Володимир Васильович Богачук</i> ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ	3359
<i>Володимир Васильович Богачук, Владислав Сергійович Дев’ятко</i> ЕЛЕКТРОПРИВОД КВАДРОКОПТЕРА	3361
<i>Олександр Борисович Мокін, Борис Іванович Мокін, Яна Вікторівна Хом’юк</i> ОБГРУНТУВАННЯ НАЯВНОСТІ НА ГРАФІКУ ВИХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ СПАДНОЇ ДІЛЯНКИ	3363
<i>Людмила Михайлівна Мельничук</i> ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ	3366
<i>Борис Іванович Мокін, Олександр Михайлович Кривоніс</i> АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЗАДАЧ ТА ЇХ РІШЕНЬ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ КРАНОВИХ МЕХАНІЗМІВ	3369
<i>Вадим Вікторович Горенюк, Василь Васильович Марчук</i> РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СМАРТ-СИСТЕМИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	3376
<i>Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака, Карина Русланівна Нагорна</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ТЕЦ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	3380
<i>Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака, Валентин Петрович Біленький</i> СИСТЕМА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СКІДНОГО ТЕПЛА ТРАНСФОРМАТОРА	3385
<i>Олексій Анатолійович Жуков</i> РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВІТРОВОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ	3389
<i>Дмитро Олександрович Шалагай</i> АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОБІГ ЕЛЕКТРОБАЙКА	3391
<i>Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака, Владислав Володимирович Студинський</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕЦ З ГАЗОТУРБІННИМИ УСТАНОВКАМИ	3394
<i>Владислав Олександрович Сухов</i> ВИКОРИСТАННЯ НАПІВТУНЕЛЮ ДЛЯ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	3397

<i>Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака, Владіслав Володимирович Студинський</i> ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДО ПРОБЛЕМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОСТІ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК.....	3399
<i>Олексій Михайлович Головченко, Олена Миколаївна Нанака</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІДГРІВНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА МЕРЕЖНОЇ ВОДИ ТЕС В КОМП'ЮТЕРНОМУ ТРЕНАЖЕРІ.....	3404
<i>Валентин Володимирович Грабко</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАСОБУ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ.....	3412
<i>Олександр Анатолійович Паянок</i> РЕКУПЕРАТИВНИЙ РЕЖИМ ІЗ АКТИВНИМ СПОЖИВАЧЕМ НА ДІЛЯНЦІ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ.....	3414
<i>Олександр Анатолійович Паянок, Роман Валерійович Гончар</i> ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ ШАХТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА.....	3417

XLVII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки

Оргкомітет

Голова оргкомітету

В. О. Леонтєв, ВНТУ, Україна

Заступник голови оргкомітету

М. П. Розводюкк, ВНТУ, Україна

Члени оргкомітету

В. В. Грабко, ВНТУ, Україна

В. В. Кухарчук, ВНТУ, Україна

В. М. Кутін, ВНТУ, Україна

П. Д. Лежнюк, ВНТУ, Україна

Б. І. Мокін, ВНТУ, Україна

О. Б. Мокін, ВНТУ, Україна

Секції

Пленарне засідання

Секція електричних станцій і систем

Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Секція теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Секція електромеханічних систем автоматизації

Секція відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів

ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджено інноваційний розвиток відновлюваних джерел енергії та темпи його зростання, а також вплив використання таких джерел на економічне становище різних держав.

Ключові слова: інноваційні технології, відновлювана енергетика.

Abstract

It is shown the research of the innovative development of renewable energy sources and the rate of its growth, as well as the impact of the use of such sources on the economic situation of different states.

Keywords: innovative technologies, renewable energy.

Вступ

Перспективи сталого розвитку глобальної економіки тісно пов'язані з можливостями ефективного використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які поступово замінюють традиційні джерела та набувають все більшого значення. Інвестиційні витрати в дану галузь економіки неухильно зростають, поступово перетворюючись з довгострокових вкладень в майбутнє з тривалими термінами окупності в поточні рентабельні інвестиції [1].

Більшість сучасних держав, причому як розвинені, так і країни, що розвиваються, розробили довгострокові концепції розвитку відновлюваної енергетики, що дозволили знизити витрати її виробництва. Дослідження особливостей розробки і реалізації даних концепцій дозволить врахувати поточні зміни паливно-енергетичних балансів, оцінити досягнуті проміжні результати і сформувані стратегічний прогноз подальшого розвитку даного сегмента енергетики і його впливу на суміжні сегменти економіки конкретних країн світу.

Наслідком розвитку відновлюваної енергетики стане також поліпшення екологічної ситуації, посилення незалежності національних економік від імпорту енергоносіїв на тлі формування нових серйозних викликів, для економік країн-експортерів енергоресурсів. Вивчення останнього обставини важливо для економіки України, в зв'язку з політичною та економічною обставинами останніх років.

Результати дослідження

Сучасна науково-технічна література до альтернативних джерел енергії відносить такі форми енергії, як: сонячна, вітрова, енергія морських хвиль, припливів і відливів, енергія біомаси, низькопотенційна теплова енергія. Вживане в літературі більш широке визначення відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), включає в себе такі джерела як біомаса, що використовується для отримання тепла традиційним способом спалювання, і геотермальна енергія. Таким чином, відновлювальна енергія - це енергія, вироблена за допомогою ресурсу, який швидко відновлюється (поновлюється) в результаті природного або природного безперервного процесу [2].

Дискусії про ефективність відновлюваних джерел енергії і терміни їх окупності, їх конкурентоспроможності велися в країнах Європейського Союзу в різний час, і тривають до теперішнього часу. Тим не менш, у багатьох країнах сформовані і діють довгострокові масштабні програми з впровадження «зелених» видів енергії, прийняті стимулюючі закони, які зобов'язують економити енергоресурси. З екологічної точки зору розвиток ринку ВДЕ розглядається як ефективний напрямок зменшення викидів забруднюючих речовин і зниження парникового ефекту, що викликається застосуванням невідновлюваних видів енергії.

В останні роки інтерес до відновлюваних джерел енергії зростає. ВДЕ об'єктивно необхідні в енергетиці, де невідновлювані копалини на теплових електростанціях збільшують парниковий ефект або ризики атомних станцій, плюс існуюча проблема зберігання ядерних відходів.

Відсутність політичної та інформаційної підтримки впродовж тривалого часу не дозволяла відновлюваній енергетиці вийти на рівень масового застосування. При очевидних позитивних наслідках її використання, відновлювальна енергетика мала ряд авторитетних противників її розвитку, як в нашій країні, так і за кордоном [3-4].

Відновлювана енергетика стає значущим сегментом економіки, компанії-виробники обладнання вибудовують довготривалі стосунки з ключовими споживачами відновлюваної енергії, перетворюючись в постачальників кінцевих інноваційних рішень. Закріплені на певних сегментах ринку ВДЕ, торгуючи уніфікованими рішеннями проблем споживача, такі компанії інтегрують продаж товару, його обслуговування протягом життєвого циклу ВДЕ, часто надаючи супровід послуг з постачання відновлюваної енергії.

Намір продавати інноваційні рішення в альтернативній енергетиці має в своїй основі зрозуміле бажання інвестора про отримання більш високого прибутку, ніж при простій реалізації продукту. Крім цього, у міру вдосконалення нормативних документів про використання даного виду енергії, її споживач повністю закриває свої потреби в електроенергії, а надлишок її продає, або в мережу, або близько розташованого споживача, одержуючи додаткові податкові пільгові відрахування на придбане обладнання. розставлені пріоритети в напрямку стратегічних досліджень у відновлюваній енергетиці урядами більшості країн, відповідне правове і податкове стимулювання впровадження ВДЕ зробили процес їх розвитку незворотним. Зрозуміло, що ефективність інноваційного стимулювання сектора ВДЕ визначається також вдосконаленням національної кредитно-інвестиційної системи та податкової політики конкретної країни. Крім цього, підтримка захисників навколишнього середовища, поява норм «зеленого» маркетингу, розвиток принципів екологічності в життєвому циклі устаткування, різні екологічні збори, посилення вимог до відходів виробництв, стали ефективними стимулами розвитку відновлюваної енергетики.

Одним із ключових векторів сталого розвитку високотехнологічних країн став вибір екологічно чистої енергетики майбутнього, який включає:

- застосування інноваційних принципів вироблення відновлюваної енергії, що сприяють її ефективному використанню, дасть додатковий імпульс охорони навколишнього середовища, забезпечить надійне енергопостачання і підвищення конкурентоспроможності економіки;

- енергозбереження на благо екологічно чистого майбутнього, враховуючи, що викопне паливо довгий час буде затребуване світовою енергетикою, дасть пріоритет тим інноваційним технологіям, які будуть спрямовані на зниження його шкідливого впливу на навколишнє середовище;

- стимулювання науково-дослідних розробок, спрямованих на впровадження екологічно чистої енергетики;

- створення джерел фінансування ВДЕ шляхом вдосконалення ринкових інструментів, включаючи податкові;

- пом'якшення наслідків кліматичних змін, шляхом вироблення необхідних заходів для розвитку ринків технологій «чистої» енергетики, підвищення їх доступності для країн, що розвиваються.

За прогнозом Міжнародного енергетичного агентства, до 2025 року споживання електроенергії в світі досягне 26 трлн. кВт/год, при цьому встановлена потужність електростанцій виросте до 5500 ГВт, до 2035 року до 32 трлн. кВт / год, встановлена потужність електростанцій досягне 5900 ГВт. Значну роль (близько 44%) в досягненні заявлених параметрів лідери провідних держав відводять ВДЕ, оскільки традиційні способи вироблення електроенергії, мають обмежений первинний ресурс, завдають певної шкоди навколишньому середовищу. Близько половини доданої встановленої потужності досягається завдяки введенню потужностей ВДЕ. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів зі зміни клімату в ООН, з висновками якого солідарні 194 країни, частка альтернативної енергії до 2050 року в разі найбільш позитивного сценарію може скласти 77%, в гіршому 15%. У максимально сприятливих умовах викиди вуглекислого газу за вказаний період можуть бути скорочені до 220-560 млрд. т на рік [5].

Висновок

Економічна привабливість ВДЕ на тлі інноваційного розвитку їх технологій створила сприятливу основу для зростання інвестицій в даний сегмент енергетики. Класичний приклад періоду, коли темп технічного прогресу набагато прискорюється в порівнянні з тим, що можна було б очікувати при звичайному впровадженні перетворюють технологій, кожне з яких має відносно невелике значення. Експансія ВДЕ поміняє характер енергетичної галузі, оскільки

створює основу зростання маси капітальних благ і надійних інвестицій. Перехід до інноваційної енергетики, що ґрунтується на системі державної підтримки закривають технологій і їх активного впровадження в області ВДЕ, зменшить значення наявності національних природних ресурсів.

Стійка тенденція заміщення традиційних джерел енергії відновлюваними незалежно від цін на викопні носії, обумовлена рівнем політичної та інформаційної підтримки інноваційного підприємництва в сфері розробки та впровадження ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлювальними джерелами енергії [Текст] / Бурикін О.Б., Малогулко Ю.В. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка та електротехнології». – 2013. – №2 - Вип. 15 (338). – С. 42-46. - ISSN 2074-2630.
2. Твайдел Дж., Уэйр А.. Возобновляемые источники энергии, – М.: Энергоатомиздат, 2010, С. 14.
3. Constable J. Renewables Won't Keep the Lights On. URL: <http://www.standpointmag.co.uk/node/3639/full>.
4. Sharman H. Renewables Won't Keep the Lights On. The Oil Drum. http://www.theoil drum.com/pdf/theoil drum_7340.pdf.
5. Electricity information 2012 IEA statistics. IEA Publications, Paris Cedex 15, 2012, p. 71.

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Урсул Олександр Сергійович — студент групи 1Е-15Б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 0680777499sasha@gmail.com.

Juliya V. Malogulko — Ph.D., Assistant of professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Oleksandr S. Ursul - student of 1E-15B, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 0680777499sasha@gmail.com.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В роботі досліджено особливості функціонування джерел розподіленого генерування в локальних енергосистемах при нормальних та післяаварійних режимах.

Ключові слова: джерела розосередженого генерування, нормальний режим, післяаварійний режим, локальна енергосистема.

Abstract. The features of the distributed generation sources functioning in local power systems in normal and post-accident modes are investigated.

Keywords: distributed generation sources, normal mode, post-accident mode, local power system.

Вступ

В останні десятиліття в світі спостерігається інтенсивний розвиток використання джерел розподіленого генерування (ДРГ). До таких джерел енергетичні установки, які використовують процеси спалювання палива (міні газотурбінні і парогазові установки, установки на біомасі та ін.), а також поновлювані природні ресурси (малі гідроелектростанції, вітроустановки, фотовольтаїчні установки та ін.). Під час роботи в системі джерела розподіленої генерації підключаються на низькій напрузі (6-35 кВ) в локальні енергосистеми (ЛЕС). Підключення ДРГ до ЛЕС має позитивний вплив на її властивості, але поряд з цим створює нові проблеми, з якими доводиться стикатися при керуванні режимами системи електропостачання з розподіленою генерацією.

Результати дослідження

Локальна енергосистема, яка є по суті розподільною електричною мережею, в складі якої є джерело розподіленої генерування, може бути нерівномірно завантаженою, отже, потребує коригування потокорозподілу, яке може бути досягнуте шляхом відповідної реконфігурації ЛЕС [1]. Реконфігурацією називають процес зміни конфігурації розподільної мережі зміною положення комутаційних апаратів, при якому змінюється стан мережі. Реконфігурація мережі необхідна для мінімізації втрат, перемикавання навантаження з одного фідера на інший, покращення рівнів напруги і стійкості, виведення аварійних ділянок лінії [2].

Установки ДРГ оптимально розміщуються в точках, де вони забезпечують максимальне зменшення втрат в розподільній мережі. При правильному розташуванні вказаних джерел втрати потужності можуть суттєво знизитися.

«Острівний» режим є одним з важливих післяаварійних режимів ЛЕС з ДРГ. При наявності напруги в мережі розподілене генерування генерує електроенергію з параметрами, які повністю відповідають мережевим. При втраті електропостачання від живильної підстанції основної мережі є можливість виділити установку ДРГ на близьке за потужністю навантаження, що забезпечить в першу чергу електропостачанням споживачів першої категорії. У випадку аварії в основній мережі ДРГ перемикається в автономний режим і слідує за параметрами навантаження.

Джерела розподіленого генерування вносять великі зміни в мережеву конфігурацію і режими, в результаті чого вимоги до традиційного захисту і керування системи змінюються. На сьогоднішній день стандарти на підключення ДРГ до системи електропостачання засновані на принципі, що розподілене генерування не повинне впливати на нормальне виконання дій захисту і керування системою. Джерела розподіленого генерування є практично раціональним варіантом забезпечення надійності електропостачання в зонах централізованої енергетики. Головним засобом підвищення надійності є структурне резервування.

При вирішенні різних задач розрахунок усталеного режиму електричної системи має важливу роль. Розподільні електричні мережі (РЕМ) мають деякі особливості, які роблять можливим використання більш простих методів, ніж для складнозамкнених електричних мереж. Для

розподільних електричних мереж більш ефективними є методи, що враховують топологічну специфіку таких мереж. Найбільшого поширення набув метод зворотного (прямого) ходу, що дозволяє вирішувати задачу розрахунку усталеного режиму РЕМ при досить повному його математичному описі [3-4].

Наявність ДРГ дозволяє підтримувати рівні напруг в вузлах ЛЕС, зменшити втрати активної і реактивної потужності в мережі, забезпечити більш високий рівень надійності електропостачання споживачів за рахунок збереження живлення деяких споживачів від ДРГ при аварійному відключенні основного пункту живлення системи електропостачання.

З огляду на це виникає важлива проблема координації керування нормальними режимами ЛЕС з ДРГ шляхом реконфігурації мережі при забезпеченні мінімуму втрат потужності і дотриманні необхідних меж зміни напруг і струмів, а також керування післяаварійними режимами при забезпеченні мінімуму дефіциту потужності в результаті втрати основного пункту живлення шляхом формування «островів».

Подібна багатокритеріальна задача не завжди може бути зведена до однокритеріальної постановки. Таку задачу можна вирішити шляхом послідовних дій, при цьому для реконфігурації розподільної мережі можна використати метод колонії мурах або виділення «островів», шляхом формування осередків.

Загальний підхід до координації керування нормальними і післяаварійними режимами ЛЕС, що включають ДРГ, полягає в наступному. В нормальних режимах метою керування є реконфігурація РЕМ шляхом розмикання контурів, при цьому в якості критерію розглядається мінімум втрат активної потужності в мережі [5]:

$$\sum_{n \in N} R_{nm} I_{nm}^2 \rightarrow \min, m \in M, \quad (1)$$

де M - безліч розглянутих нормальних режимів відповідно до графіків навантаження споживачів і завантаженням ДРГ; N - число віток в мережі; R_{nk}, I_{lk} - активний опір і струм в вітці n для режиму m .

У післяаварійному режимі при втраті основного пункту живлення виникає завдання забезпечення електроенергією відповідальних споживачів шляхом виділення «островів», що вмикають ДРГ, які працюють на збалансоване навантаження. Критерієм при виділенні «островів» є мінімум дефіциту потужності в післяаварійних режимах:

$$\left(\sum_{m \in J} P_{jm} - \sum_{m \in J} P_{ki} \right) \rightarrow \min, m \in M, i \in G, \quad (2)$$

де G - безліч розглянутих післяаварійних режимів при втраті основного пункту живлення; P_{jm} - навантаження у j вузлі мережі в нормальному режимі m ; P_{ki} - навантаження у вузлі k в післяаварійному режимі i -ї частині мережі, що включає J вузлів, що належать всім «островам»; J - число вузлів в мережі.

Висновок

Дослідження режимів роботи ДРГ в ЛЕС показало необхідність комплексного керування нормальними та післяаварійними режимами систем електропостачання з розподілим генеруванням при використанні різних методів для вирішення окремих задач.

Метод оптимальної реконфігурації РЕМ з точки зору мінімуму втрат, використовуючи евристичний алгоритм колонії мурах дозволить виділяти «острови» в ЛЕС з ДРГ при втраті основного пункту живлення, що дозволить не лише мінімізувати втрати потужності, а й покращити рівні напруг та забезпечити більш високий рівень надійності електропостачання споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлювальними джерелами енергії [Текст] / Бурикін О.Б., Малогулко Ю.В. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка та електротехнології». – 2013. – №2 - Вип. 15 (338). – С. 42-46. - ISSN 2074-2630.
2. J.Z. Zhu. Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm, Electric Power Systems Research, Vol. 62, No. 1, 2002, pp. 37 – 42.

3. Z. Zhu , X.F. Xiong , D. Hwang , and A. Sadjadpour , “ A comprehensive method for reconfiguration of electrical distribution network ,” IEEE/PES 2007 General Meeting, Tampa, USA, June 24 – 28 , 2007 .

4. D. Shirmohammadi and H.W. Hong , Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction, IEEE Trans. PWRD, Vol. 4, No. 2 , 1989 , pp. 1492 – 1498 .

5. Бат-Ундрал Б. Минимизация потерь в распределительной электрической сети на основе выбора мест ее размыкания с использованием алгоритма колонии муравьев // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири», Иркутск: ИрГТУ, 2008.

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Семенюк Юрій Васильович — студент групи 1E-14б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Juliya V. Malogulko —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Semeniuk V. Yuri - student of 1E-14b group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

СЕКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЯКІЙ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

Анотація:

Проаналізовано існуючу методику секціонування розподільної електричної мережі. Запропоновано удосконалення цієї методики врахуванням потужності генерування електричних станцій, що використовують відновлювані джерела енергії та експлуатуються в розподільних електричних мережах.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, відновлювані джерела енергії, секціонування.

Abstract:

The existing method of partitioning of the distribution network is analyzed. Improvement of this methodology taking into account the power of generation of electric power stations using renewable energy sources and exploited in distribution electric networks is proposed.

Key words: power distribution networks, renewable energy sources, sectioning.

Вступ

Ознакою сьогодення є швидкі теми розвитку відновлюваної енергетики. Основною перевагою використання відновлюваних енергоресурсів є їх невичерпність та екологічна чистота, що сприяє поліпшенню екологічного стану і не призводить до зміни енергетичного балансу на планеті [1]. Останнім часом у Вінницькій області досить активно розбудовуються потужні сонячні електростанції (Слобода-Бушанська ФЕС, Гальжбівська ФЕС, Цекінівська ФЕС та ін.) та малі гідроелектростанції, зокрема в розподільних електричних мережах.

В наш час актуальною задачею є підвищення надійності та якості електропостачання в розподільних електричних мережах (РЕМ) в яких експлуатуються такі електростанції.

Серед багатьох інших, до таких задач відноситься узгодження місць оптимального секціонування РЕМ, які експлуатуються як радіальні. Введення в них електростанцій, які використовують ВДЕ, переводить частину ліній електропередачі в режим роботи з двостороннім живленням [2].

Метою досліджень є підвищення надійності електропостачання в розподільних електричних мережах з ВДЕ шляхом їх оптимального секціонування.

Результати досліджень

Розглянемо вибір раціональних місць секціонування мереж згідно з методикою [3]. Визначаємо відносні потужності першої зони (зони від ввідного вимикача до місця встановлення комутаційного апарата) $P_{1\Sigma}^*$:

$$P_{1\Sigma}^* = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1)$$

де P_i – середня протягом року потужність споживачів i -ої трансформаторної підстанції (ТП) з урахуванням потужності генерування розосередженими джерелами енергії, кВА; m – кількість ТП (споживачів) між ввідним вимикачем та місцем встановлення комутаційного апарата; n – загальна кількість ТП в електричній мережі.

Визначаємо відносні довжини $L_{1\Sigma}^*$ за таким виразом:

$$L_{1\Sigma}^* = \frac{\sum_{i=1}^l L_j}{\sum_{i=1}^k L_j}, \quad (2)$$

де L_j – довжина j -ої ділянки електричної мережі, км; l – кількість ділянок ЛЕП між ввідним вимикачем та місцем встановлення комутаційного апарату; k – загальна кількість ділянок ЛЕП в електричній мережі.

Наступний крок – необхідно визначити розподіл потужності вздовж ЛЕП. Відносити ЛЕП до певного виду за розподілом потужності можна за критерієм λ , що визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{l}{\beta} \cdot \sum_{\alpha=1}^{\beta} [P_{l\Sigma}^*(\alpha) - L_{l\Sigma}^*(\alpha)], \quad (3)$$

де $P_{l\Sigma}^*(\alpha), L_{l\Sigma}^*(\alpha)$ – відносна сумарна потужність і відносна сумарна довжина ділянки електричної мережі між ввідним вимикачем і місцем встановлення комутаційного апарату секціонування мережі (КАСМ) у α -у місці на магістралі електричної мережі; β – загальна кількість місць встановлення КАСМ на магістралі електричної мережі.

У разі встановлення одного КАСМ раціональне місце його встановлення повинно відповідати такій точці електричної мережі, в якій сумарна довжина першої зони $L_{l\Sigma}$, що обмежена ввідним вимикачем та КАСМ, буде визначається за виразом:

$$L_{l\Sigma} = x l \cdot L_{\Sigma}, \quad (4)$$

де $x l = 0,5$ – визначається з таблиць [3]; L_{Σ} – загальна довжина ЛЕП.

Наступний крок методики – визначаємо розрахункове значення очікуваного відносного невідпуску електричної енергії ΔW^* для мережі, де КАСМ встановлений в раціональному місці (визначається з таблиць методики [3]). Розрахункове значення очікуваного невідпуску електричної енергії ΔW_{Σ} для мережі без КА визначається за таким виразом:

$$\Delta W_{\Sigma} = 0,93 \cdot P_{\Sigma} \cdot L_{\Sigma}, \quad (5)$$

де P_{Σ} – сумарне середнє навантаження електричної мережі (без РДЕ), кВт; L_{Σ} – сумарна довжина ліній електропередавання в мережі, км.

Сумарне середнє навантаження електричної мережі розраховують за формулою, кВт:

$$P_{\Sigma} = \frac{W}{8760}, \quad (6)$$

де W – річне споживання електричної енергії в мережі, кВт·год.

Розрахункове значення очікуваного відносного зниження невідпуску електроенергії визначається за формулою:

$$\partial w_{\Sigma}^* = 1 - \Delta W_{\Sigma}^*, \quad (7)$$

де ΔW_{Σ}^* – розрахункове значення очікуваного відносного невідпуску електричної енергії.

Очікуване значення зниження невідпуску електричної енергії, для розрахунку інтегрального ефекту від встановлення КАСМ визначають за формулою, кВт·год/рік:

$$\partial w_{\Sigma} = \partial w_{\Sigma}^* \cdot \Delta W_{\Sigma}, \quad (8)$$

де ∂w_{Σ}^* – розрахункове значення очікуваного відносного зниження невідпуску електроенергії; ΔW_{Σ}^* – розрахункове значення очікуваного відносного невідпуску електричної енергії.

Відповідно до методики [3] було проведено розрахунок раціонального місця встановлення КАСМ на прикладі фрагменту схеми показаного на рис.1.

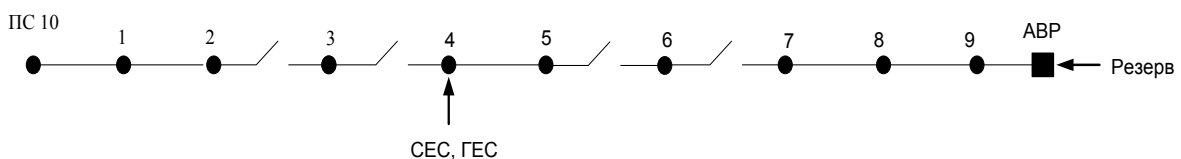


Рис. 1. Фрагмент електричної мережі 110/10 кВ Ямпільських РЕМ

КАСМ бажано встановлювати на початку лінії, так щоб довжина лінії до точки встановлення КАСМ в реальній схемі була менша за розраховану довжину першої зони $L_{1\Sigma}$. Розрахункове значення $L_{1\Sigma} = 4,855$ км, отже КАСМ встановлені в лініях 2–3, 3–4 задовольняють умову з надійності електропостачання.

Розрахункове значення очікуваного недовідпуску електричної енергії для РЕМ без КА визначається за виразом:

$$\Delta W_{\Sigma} = 0,93 \cdot (P_{\text{НАВ}} - P_{\text{РДЕ}}) \cdot L_{\Sigma}, \quad (9)$$

де P_{Σ} – сумарне середньорічне навантаження електричної мережі, кВт; L_{Σ} – сумарна довжина ЛЕП в РЕМ, км ($L_{\Sigma} = 9,7$ км); 0,93 – середньорічна тривалість відновлення електропостачання споживачам при стійких пошкодженнях та планових відключеннях, віднесена до 1 км довжини лінії [3].

Розрахункове значення очікуваного недовідпуску електричної енергії ΔW_{Σ} для мережі показаної на рис. 1 без КАСМ становить $\Delta W_{\Sigma} = 29167$ кВт·год/рік, а очікуване значення зниження недовідпуску електричної енергії після встановлення КАСМ становить $\delta w_{\Sigma} = 14584$ кВт·год/рік.

Отже, за результатами розрахунків з урахуванням вимог із забезпечення надійності електропостачання, можна зробити висновок, що розмикання схеми, наведеної на рис. 1, доцільно робити комутаційними апаратами (КА), встановленими в лініях 2–3 або 3–4.

Висновки

Запропоновано враховувати під час секціонування розподільної електричної мережі потужності генерування ВДЕ, що в ній експлуатуються, так як розбудова таких електростанцій переводить частину ліній електропередач в роботу з двостороннім живленням, змінюючи при цьому потокорозподіл в них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Асоціація «Інноваційний розвиток України» [Електронний ресурс]: 8-й міжнародний форум сталої енергетики в Україні *SEF 2016 Kiev* – Електрон. текст. дан. – Режим доступу: <http://uaid.com.ua/initiative/8-j-mizhnarodnyj-forum-staloji-enerhetyky-v-ukrajini-sef-2016-kyiv>.
2. Лежнюк, П. Д. Оптимізація секціонування в локальних електричних системах за критерієм втрат електричної потужності з урахуванням відмов [Текст] / П. Д. Лежнюк, І. О. Гунько, О.Є. Рубаненко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – № 2 (94). – С. 90–98.
3. Буйний Р. О. Методичні рекомендації з побудови схем секціонування розподільних електричних мереж напругою 6 – 10 кВ [Текст] / Р. О. Буйний, В. В. Зорін, А. О. Квицинський // Электрические сети и системы. – Киев. – 2015. – № 6. – С. 22–32.

Крот Людмила Русланівна – студентка групи 2Е – 156, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
e-mail: 2e.krot2015@gmail.com

Науковий керівник: **Гунько Ірина Олександрівна** – к.т.н., асистент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
email : iryna_hunko@ukr.net.

Krot Lyudmyla Ruslanovna – student group 2E-15b, faculty of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 2e.krot2015@gmail.com

Supervisor: **Hunko Irina Oleksandrivna** – Ph.D., assistant of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;
email : iryna_hunko@ukr.net

ОБГРУНТУВАННЯ МЕЖ ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ АЧХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ВІДПОВІДНОГО ДЕФЕКТАМ ЗСУВУ ВИТКІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проаналізовано існуючі методи та засоби визначення технічного стану обмоток силових трансформаторів (СТ). Доведено можливість використання методу контрольних меж для визначення меж діапазону частот в якому проявляється дефект зсуву витків обмотки, за результатами аналізу амплітудно-частотних характеристик, що може бути використано під час контролю стану обмоток СТ.

Ключові слова: діагностування; пошкодження; силовий трансформатор; частотний аналіз; обмотки.

Abstract

The existing methods and means of determining the technical condition of power transformer windings (ST) are analyzed. The possibility of using the control limit method to determine the limits of the frequency range in which the deflection of the winding turns is detected, based on the results of the analysis of the amplitude-frequency characteristics that can be used in controlling the state of winding.

Keywords: diagnostics; damage; power transformer; frequency analysis; winding.

Вступ

У сучасних електроенергетичних системах (ЕЕС) СТ є одним з основних видів високовольтного обладнання. Вихід з ладу СТ під час експлуатації значно погіршує параметри надійності та економічні показники роботи енергетичного підприємства.

Електродинамічні сили, які діють на обмотки СТ під час перехідних процесів в ЕЕС, за певних умов викликають деформацію обмоток. Деформація обмоток може мати багато форм, включаючи радіальне та осьові зсуви, вигинання провідника, затягування спіралі та пошкодження опори обмотки. Цей тип внутрішніх несправностей важко виявити за допомогою традиційних методів діагностування [3]. Аналіз частотних характеристик СТ (FRA) – це потужний діагностичний метод для виявлення деформації обмотки та пошкоджень магнітопроводу [4,5], навіть на ранній стадії їх розвитку.

Хоча цей метод тестового контролю СТ є відносно простим з моменту створення спеціального обладнання FRA, інтерпретація результатів залишається вузькоспеціалізованою та потребує кваліфікованого персоналу та належної технічної документації, для визначення виду та можливого розташування пошкодження [6].

Метою досліджень є підвищення якості діагностування силових трансформаторів.

Результати дослідження

Пропонуємо обгрунтовувати межі інформативного діапазону частот АЧХ СТ для виявлення дефекту зсуву витків обмотки СТ, шляхом аналізу АЧХ однотипних трансформаторів з використанням методу контрольних меж.

З метою визначення найбільш інформативних меж частот в яких виявляються зсуви обмоток за допомогою FRAnalyzer здійснено обстеження 16 одиниць трансформаторів ТМ – 6300/35/10, які мають пошкодження у вигляді деформації обмоток. В якості вимірювального приладу використовуємо FRAnalyzer виробництва фірми Omicron.

Було виміряно значення частот f діапазону АЧХ несправних трансформаторів, в якому відхилення передатної функції досліджуваного пошкодженого трансформатора відрізняється від значень передатної функції однотипного справного СТ на понад 1%.

Отже кожен трансформатор досліджувався 5 разів – $n = 5$. Кількість трансформаторів $m = 16$. Загальна кількість вимірів $n_0 = n \cdot m = 80$. Для кожного трансформатора визначаємо середнє значення з п'яти вимірних значень одного того самого трансформатора.

Знаходимо суму результатів вимірів для кожного трансформатора, наприклад для першого трансформатора:

$$\sum_{i=1}^5 f_i = 42513 + 45853 + 45765 + 43665 + 45597 = 223393, \text{ Гц.} \quad (1)$$

Знаходимо середнє значення результатів вимірів для першого трансформатора

$$F_{\text{середнє}} = \bar{f}_1 = \frac{1}{5} \cdot 223393 = 44678,6, \text{ Гц.} \quad (2)$$

З результатів вимірів для першого трансформатора вибираємо максимальний $F_{1 \text{ макс.}}$ та мінімальний результати $F_{1 \text{ мін.}}$

$$F_{1 \text{ макс.}} = 45853, \text{ Гц;}$$

$$F_{1 \text{ мін.}} = 42513, \text{ Гц.}$$

Знаходимо максимальний розмах результатів вимірів для першого трансформатора

$$R_1 = F_{1 \text{ макс.}} - F_{1 \text{ мін.}} = 45853 - 42513 = 3340, \text{ Гц.} \quad (3)$$

Порахуємо оцінки (для кількості вимірів $m=n_0/n=16 \cdot 5/5=80/5=16$ вимірів, для загальної кількості вимірюваних трансформаторів $n_0=16 \cdot 5=80$ вимірів; для кількості вимірів для 1 трансформатора $n=5$ вимірів)

$$\begin{aligned} \hat{f}_0 = \bar{f} &= \frac{1}{16} \cdot \sum_{g=1}^{16} \bar{y}_g = (44679 + 43946 + 44245 + 43056 + \\ &+ 43525 + 44505 + 43780 + 42654 + 44168 + 44291 + \\ &+ 44616 + 44234 + 44013 + 44296 + 43408 + 43668) / 16 = 43942,73, \text{ Гц;} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \hat{R} = \bar{R} &= \frac{1}{16} \sum_{g=1}^{16} R_g = (3340 + 3625 + 1879 + 1332 + 3988 + 2607 + 1823 + \\ &+ 2709 + 2626 + 2071 + 1967 + 2053 + 3354 + 3243 + 3996 + 3599) / 16 = 2763,25, \text{ Гц;} \end{aligned} \quad (5)$$

Середньоквадратичне відхилення

$$\hat{\sigma} = \frac{\hat{R}}{d} = \frac{2763,25}{2,33} = 1185,95, \text{ Гц.} \quad (6)$$

де $d=2,33$ з врахуванням того, що $n = 5$.

Перевіримо похибку більш точним методом

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n_0 - 1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{1}{80 - 1} \cdot 102459627,8} = \sqrt{1296957} = 1138,8, \text{ Гц.} \quad (7)$$

Похибка при спрощеному визначенні не перевищує

$$\left| \frac{1138,8 - 1185,95}{1138,8} \right| \cdot 100\% = 4,136\%. \quad (8)$$

Розраховуємо нижню контрольну межу (за умови двосторонніх меж) для середніх значень за умови, що рівень значимості $\alpha_1=0,0027$, а довірна імовірність $p_1=1 - \alpha_1 = 1 - 0,0027 = 0,9973$

$$F_{\text{н.у}} = \bar{f}_0 - U \left(\frac{1 + p_1}{2} \right) \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n_0}} = 43942,73 - U \left(\frac{1 + 1 - 0,0027}{2} \right) \cdot \frac{1185,95}{\sqrt{80}} = 43921 \quad (9)$$

Квантіль нормального закону розподілу

$$U\left(\frac{1+p_1}{2}\right) = U\left(\frac{1+1-0,0027}{2}\right) = 3,0024 \approx 3 \quad (10)$$

Розраховано верхню контрольну межу, за тим же алгоритмом, (за умови двосторонніх меж) для середніх значень за умови, що рівень значимості $\alpha_1=0,0027$, а довірна імовірність $p_1=1-\alpha_1=1-0,0027=0,9973$

$$F_{н.у} = \bar{f}_0 - U\left(\frac{1+p_1}{2}\right) \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n_0}} = 393132 - U\left(\frac{1+1-0,0027}{2}\right) \cdot \frac{9382,27}{\sqrt{80}} = 393289,9 \quad (11)$$

Отже за отриманим алгоритмом можна визначити верхню та нижню межу діапазону частот в яких виявляються дефекти радіального зсуву обмоток трансформатора.

Висновки

Незважаючи на велику кількість існуючих методів та засобів визначення технічного стану обмоток силових трансформаторів мають місце їх пошкодження. Використання методу контрольних меж дозволяє визначити межі діапазону частот в якому проявляється дефект зсуву витків обмотки на за результатами аналізу амплітудно-частотних характеристик, що може використано під час контролю стану обмоток СТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рубаненко, О. Є. Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів / О. Є. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. О. Гришук // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2017. – № 23 (1245). – С. 41-46. – doi:10.20998/2413-4295.2017.23.07.
2. S. Tenbohlen, F. Vahidi, P. Müller, J. Gebauer, M. Krüger: "Zuverlässigkeitsbewertung von Leistungstransformatoren" (em inglês), Proc. Stuttgarter Hochspannungssymposium, 2012. pp. 61-70.
3. Лежнюк, П. Д. Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС з урахуванням технічного стану трансформаторів із РПН / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, О. І. Казьмірук // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №4. – 9 с.
4. Wang, S. Cumulative Deformation Analysis for Transformer Winding Under Short-Circuit Fault Using Magnetic-Structural Coupling Model / S. Wang et al. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2016. – Т. 26. – №. 7. – С.1-5. – doi: 10.1109/TASC.2016.2584984.
5. GONZALES, J. C.; MOMBELLO, E. E. Fault interpretation algorithm using frequency-response analysis of power transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2016, 31.3: 1034-1042. DOI: [10.1109/TPWRD.2015.2448524](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2015.2448524)
6. Лежнюк П.Д. Основи теорії планування експерименту. Лабораторний практикум/ П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Лук'яненко – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 167 с.

Гришук Максим Олександрович – аспірант групи АС – 16, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: grishuk.maksim.93@ukr.net

Науковий керівник **Рубаненко Олександр Євгенійович** –к.т.н., доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Grishuk Maksim - postgraduate student of the AC group - 16, faculty of electroenergy and electro mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grishuk.maksim.93@ukr.net

Scientific supervisor **Rubanenko Alexander** - Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the department department of electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Дослідження можливостей сучасних мікропроцесорних захистів генераторів

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено функціональні можливості, застосування та переваги використання мікропроцесорного релейного захисту, моніторингу генераторів і блоків «генератор-трансформатор», а також керування ними на електричних станціях малої та великої потужності.

Ключові слова: мікропроцесорний захист, диференційний захист, замикання на землю, між фазне коротке замикання, асинхронний режим роботи.

Abstract

The functional capabilities, application and advantages of using microprocessor relay protection, monitoring of generators and "generator-transformer" blocks, as well as management of them at small and large power plants are explored.

Keywords: microprocessor protection, differential protection, earth fault, short-circuit fault, asynchronous operation.

Вступ

Електричне обладнання електростанцій потребує відповідного релейного захисту, найбільш розповсюдженим видом такого захисту досі є електромеханічне реле. За останні десятиріччя внаслідок розвитку мікропроцесорної техніки на енергооб'єктах широко використовуються мікропроцесорні захисти. Такі захисти мають на багато більше функцій. Використання сучасного захисту підвищує надійність електричного обладнання та запобігає виходу його з ладу [1÷5].

Результати роботи

В даній роботі досліджено функції інтелектуального приладу захисту, керування і моніторингу REG 670. Даний пристрій оперує великою бібліотекою функцій захисту, що забезпечує вимоги які подаються до більшості генераторів. Доступними є велика кількість аналогових входів та функцій захисту, які інтегровані в один інтелектуальний електронний пристрій. Даний пристрій може застосовуватись для захисту шунтуючих електричних реакторів та для керування ними.

Послідовна передача даних через оптичні зв'язки гарантує стійкість зв'язку та захист від завад.

Великі можливості та гнучкість даного пристрою дає змогу використовувати його для релейного захисту як нового обладнання, так і обладнання реконструйованих електростанцій.

Диференціальний захист генераторів

Міжфазне коротке замикання в обмотці статора є причиною великих струмів, що можуть пошкодити ізоляцію, обмотки та магнітопровід статора. При виникненні таких струмів створюються великі електромагнітні сили [1], що можуть пошкодити інші елементи генератора. Для зменшення руйнувань, які виникли під час пошкодження потрібно швидко вимкнути таке обладнання.

Захист від асинхронного режиму

При виникненні зовнішніх трифазних коротких замикань [1], або під час відключення потужного генератора, режим роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) може стати асинхронним. Якщо час відключення пошкодження занадто довгий, то зберегти синхронний режим роботи стає важко, або взагалі не можливо. Захист від асинхронного режиму повинен як найшвидше знайти і відключити обладнання що вийшло з ладу.

Вимірювання

Функція вимірювання поточних значень параметрів використовується для отримання оперативної інформації від приладів серії REG 670 як засобів вимірювання. Вона дозволяє відображати на екрані такого сучасного мікропроцесорного захисту генераторів, як REG 670 (виробництва фірми АВВ) таку інформацію, як:

- вимірювання параметрів мережі: напруги, струму, частоти, потужності, коефіцієнту потужності;
- первинні і вторинні вектори підключених до приладу струмів і напруг;
- диференціальний та гальмівний струми;
- вихідні струми, мА;
- стан лічильників імпульсів;
- виміри значень та іншу інформацію про різні параметри функцій, що використовуються;
- логічні значення та іншу інформацію про різні параметри функцій, що використовуються.

Висновки

Мікропроцесорний захист виконує важливу забезпечені надійної роботи та якісної експлуатації генераторів електричних станцій. Завдяки великій кількості функцій, що в ньому реалізовані він витісняє застарілі, електромеханічні засоби релейного захисту. REG 670 відповідає вимогам до сучасних захистів електричних генераторів, що дає змогу ефективно використовувати його в роботі на електричних станціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутін Василь Михайлович. Релейний захист електричних станцій: Навчальний посібник/ В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, В. М. Лагутін – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 110 с.
2. Применение REG670 для защиты блока 1000 МВт АЭС. АBB Power technologies – 1. 2006. – 13 р.
3. Интеллектуальное устройство защиты генератора REG670: Руководство по продукту. / ООО «АББ Силовые и Автоматизированные Системы» / Power and productivity for a better world– Чебоксары: ЧЕАЗ, 2011. – 144 с.
4. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : навч. посібник / В. П. Кідиба. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 504 с.
5. Яндутьський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. / О.С. Яндутьський, О.О. Дмитренко. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с.

Лисий Владислав Михайлович – студент групи 2Е – 14Б, факультету енергетики електромеханіки та електротехніки, Вінницький національно технічний університет, Вінниця e-mail: 2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com

Науковий керівник: **Рубаненко Олександр Євгенійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, , Вінницький національний технічний університет. Вінниця e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Lysyi Vladyslav Mykhailovych – student of 2E-14B, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: 2e.14b.vlad.lysyi@gmail.com

Rubanenko Alexander Yevheniiovych – associate professor of the department of electric power stations and systems, candidate of technical sciences, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ «АКТИВНОГО» СПОЖИВАЧА В УКРАЇНІ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Ключові тенденції впровадження концепції «активного» споживача в Україні. Переваги та можливості «активних споживачів» над звичайними споживачами електроенергії. Головні перешкоди на шляху «активізації» споживачів на ринку.

Ключові слова: електроенергетика, інтелектуальна енергетична система, активний споживач.

Abstract

Key tendencies of implementation of the concept of "active" consumer in Ukraine. Advantages and opportunities of "active consumers" over ordinary consumers of electricity. The main obstacles to the "activation" of consumers in the market.

Keywords: electroenergy, an intellectual energy system, active consumer.

Вступ

В даний час споживач на ринку електричної енергії вкрай обмежений у своїх діях в частині вибору умов споживання електричної енергії: якщо споживач підключений до єдиної енергосистеми - він зобов'язаний оплачувати утримання резервних потужностей, інвестиційні проекти, як традиційної генерації, так і відновлюваних джерел енергії, мережевих компаній і т.д [1].

Результати дослідження

Особливості обмеженості вибору споживача на ринку пояснюється специфічними рисами ринку електричної енергії:

1. Технологічна єдність і збіг у часі процесів генерації, передачі, розподілу та споживання енергії.
2. Неможливість у великих обсягах економічним чином акумулювати електричну енергію.
3. Одночасність протікання процесів виробництва, передачі та споживання енергії і неможливість складування електричної енергії викликає жорстку залежність режиму і обсягу виробництва енергії від режиму та обсягу її споживання.
4. Паралельна робота всіх електростанцій енергосистеми на суміщений графік навантаження.
5. Забезпечення надійного енергопостачання споживачів при неможливості складування енергії і необхідності суворої відповідності режиму виробництва режиму споживання енергії вимагає створення в електроенергетиці резервних генеруючих потужностей (а не запасів готової продукції), резервних ЛЕП, створення запасів води у водосховищах ГЕС і ГАЕС і запасів палива на ТЕС.
6. Динамічність енергетичних процесів, що виявляється у високій швидкості їх протікання і в зміні навантаження і потужності генерації в часі, виникає потреба автоматизації управління технологічними процесами в електроенергетиці і синхронне управління всіма об'єктами енергосистеми [2,].

Перераховані вище вимоги з боку генерації, мережевих компаній і держави за змістом резервних потужностей, оплаті дорогих і не завжди обґрунтованих інвестиційних програм призводять до щорічного зростання цінового навантаження на споживача, що вкрай загострює невдоволення споживачів відсутністю можливості вибирати умови споживання електричної енергії.

Реалізація концепції «активного» споживача, перешкоди та ризики

В рамках дослідження на основі систематизації умов і вимог, необхідних для реалізації економічної поведінки «активного» споживача в енергосистемі, з урахуванням специфіки української

енергетики були запропоновані основні положення концепції «активного» споживача, які представлені у вигляді логічної схеми (рисунок 1):

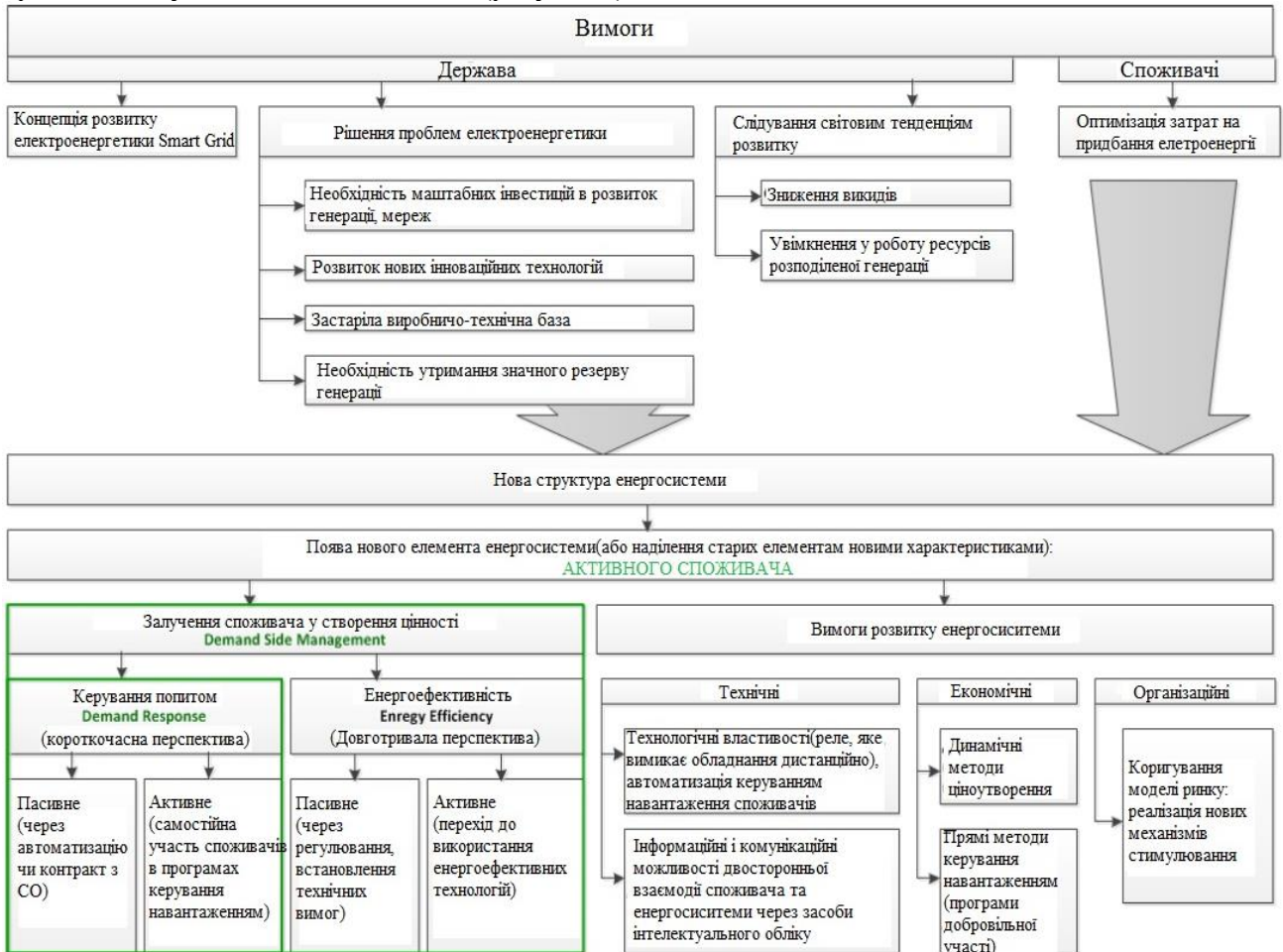


Рис. 1 - Логічна схема концепції «активної» споживача

1. «Активний» споживач є одним з основних елементів в енергосистемі в концепції розвитку галузі, що отримала назву «Інтелектуальної електроенергетичної системи».

2. «Активний» споживач – це учасник електроенергетичного ринку, що володіє технологічною можливістю по маневруванню своїм енергоспоживанням і готовністю до участі в запропонованих програмах управління попитом.

Основними характеристиками «активного» споживача є:

а. Наявність технологічних установок (вся сукупність або окремі одиниці):

- Електроспоживаче обладнання, здатне до зміни (перенесення) навантаження;
- Власна генерація (розподілена генерація);
- Накопичувачі електроенергії.

б. Здійснення діяльності по управління попитом, що включає:

- Маневрування енергоспоживанням (зниження або перенесення навантаження в часі) з метою надання системної послуги, оплачуваної ринком, або виходячи з мінімізації витрат на електроенергію;

- Керування власною генерацією: визначення ступеня її завантаження, а також обсягу власного споживання від неї і обсягу електроенергії, що поставляється на ринок;

- Управління режимом накопичення електроенергії:

- Накопичення електроенергії, вироблюваної власним генеруючим джерелом або накопичення електроенергії, споживаної з енергосистеми;

- Споживання накопиченої електроенергії;

- Продаж накопиченої електроенергії на ринок.

3. Функціями «активного» споживача в електроенергетичній системі є: - Управління власним енергоспоживанням відповідно до необхідності виконання своїх виробничих планів з випуску продукції, оптимізуючи свої витрати на покупку електроенергії з зовнішніх ринків;
- Визначення умов завантаження власної потужності (при її наявності), для формування заявки на участь в купівлі / продажу електроенергії на оптовому і роздрібному ринках.

4. Однією з ключових функціональних характеристик інтелектуальної енергетичної системи є мотивація «активного» поведінки кінцевого споживача, під якою розуміється забезпечення можливості самостійного зміни споживачами обсягу і функціональних властивостей (рівня надійності, якості і т.п.) одержуваної електроенергії на підставі балансу своїх потреб і можливостей енергосистеми з використанням інформації про ціни, обсяги поставок електроенергії, надійність, якість та ін.

5. Концепція «активного» споживача в енергосистемі реалізується через систему механізмів «активізації» споживачів (Demand Side Management), що включає в себе програми управління попитом (Demand Response) і енергоефективності.

6. Процес реалізації концепції активного споживача пред'являє ряд вимог до розвитку енергосистеми: технологічні, економічні та організаційні вимоги.

Розробка методики обґрунтування стратегії «активного» споживача, що включає формування графіка енергоспоживання і режиму завантаження власної генерації

Реалізація функцій «активного» споживача вимагає створення системи зовнішніх умов для його функціонування і інструментів, які дозволять споживачам реалізовувати свої можливості. Відповідно до виявлених характеристиками і функціями «активного» споживача визначені наступні вимоги, що пред'являються, до таких інструментів [3,4]:

- a) відображення економічних інтересів активного споживача
- b) забезпечення формування оптимального завантаження електроприладів і обладнання споживача виходячи з прогнозованих цінових сигналів, а також з урахуванням розподілу навантаження між різними типами устаткування споживача,
- c) забезпечення формування роботи власної генерації споживача: електропостачання всередині домогосподарства / підприємства або видача електроенергії в мережу.

Для вирішення поставленого завдання потрібно розробити модель прийняття рішень «активного» споживача, яка необхідна для відображення його економічних інтересів на часовому проміжку, відповідному оперативній діяльності, на основі якої буде формулюватися і вирішуватися завдання формування режимів роботи електроприладів і обладнання споживача, а також визначення умов завантаження власної генерації.

На роздрібному ж ринку можливість реалізації стратегії активного споживача частково існує, оскільки в тарифному меню присутні зонні тарифи, стимулюючі енергозбереження, і згладжування графіків споживання. Реалізацію стратегії активного споживача стримує також відсутність методики визначення тарифів на передачу і розподіл електричної енергії в залежності від завантаженості пропускної здатності мережі в поточний момент часу.

Висновки

Реалізація моделі активного споживача потребує суттєвого опрацювання технічних питань управління потоками електроенергії в режимі реального часу.

Негативний вплив на процес впровадження стратегії активного споживача може надати зайва політизованість процесу встановлення тарифів. По-перше, в даний час відсутня єдина нормативна база на рівні регіонів: для різних суб'єктів України встановлюються різні індекси за однією і тією ж статтею витрат, що в свою чергу визначається конкурентними перевагами регіону. По-друге, процес встановлення тарифу і його обґрунтування багато в чому залежить від куратора в регіональному регулюючому органі. Все це свідчить про інерційність розвитку процесу регулювання в даний час, що є стримуючим фактором для реалізації стратегії активного споживача.

Розглядаючи тарифи на інфраструктурні послуги можна зробити висновок, що можливість реалізації стратегії активного споживача дуже мала, тому що в даний час до інфраструктурних послуг відносяться послуги комерційного і технологічного операторів, і не відносяться послуги з регулювання навантаження, щодо запобігання аварій, по регулюванню частоти та активної потужності і т.д.

Крім того, залишаються невирішеними ряд питань, пов'язаних з технологічним управлінням енергосистемою, таких як системні обмеження, керування мережі, конкуренція в точках поставки.

Таким чином, особливості моделі конкурентного ринку електроенергії і потужності, діюча модель ціноутворення на ринку, дозволяють говорити про можливості реалізації стратегії активного споживача. Однак для повноцінної її реалізації потрібно вдосконалення системи державного регулювання і вирішення окремих технологічних проблем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Веселов Ф.В., Федосова А.В. Smart Grid - умный ответ на вызовы «умной» экономики// ЭнергоРынок. №5, 2011, с. 52 – 58.
2. Smart Grids Tech 2018. <https://smartgrids.conferenceseries.com>3. «Grids 2030». A National Vision for Electricity's Second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.
3. Шевкоплясов. П.М. Основы ценообразования на рынках энергии: учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ПЭИПК, 2010. – 450 с.
4. Smart Power Grids - Talking about a Revolution. IEEE Emerging Technology Portal, 2009.

Урода Анастасія Богданівна — студентка групи 2Е-15Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bd_2015@ukr.net

Лесько Владислав Олександрович — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Ситник Артур Валерійович — інженер кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Лесько Владислав Олександрович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Uroda Anastasia Bogdanivna - student group 2E-15B, Department of Electricity and electro, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia. e-mail: bd_2015@ukr.net.

Lesko Vladislav Alexandrovich - Ph.D., assistant professor of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia.

Sitnik Arthur Valeryevich - Engineer of the Department of Electrical Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University.

Економія електроенергії і зниження втрат в електричних мережах

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі висвітлено завдання економії електроенергії і зниження втрат в електричних мережах

Ключові слова: електроенергія, економія, втрати.

Abstract

In this work we will watch the task of electricity savings and losses in electrical networks.

Keywords: electricity, savings, losses.

Вступ

Зростання втрат енергії в електричних мережах визначається об'єктивними закономірностями розвитку енергетики в цілому. Основними з них є: тенденція до концентрації виробництва електроенергії на великих електростанціях; безперервне зростання навантажень електричних мереж, пов'язане з зростанням навантажень споживачів і відставанням темпів приросту пропускної здатності мережі від темпів приросту споживання електроенергії і генеруючих потужностей.

Різде загострення проблеми втрат електроенергії в електричних мережах вимагає активного пошуку нових шляхів її вирішення, нових підходів до вибору відповідних заходів, головне, до організації роботи із зниження втрат. Відомо, що нерівномірність графіка навантаження здійснює істотний вплив на рівень втрат електроенергії.

Втрати електричної енергії характерні для всіх систем розподілу електричної енергії. Правильне проектування та експлуатація електричних систем дозволяють не тільки звести їх до мінімуму, а й забезпечити зниження витрат на електроенергію.

Результати дослідження

Втрати в лініях залежать від значення опорів і струму, що пропускається через лінії. Опір діючих ліній може вважатися практично постійним. Звідси випливає, що для зменшення втрат електроенергії можливий один шлях — зменшення струму, що протікає через них. Зменшити значення струму можна, наприклад використанням у роботі значної кількості резервних ліній або збільшенням поперечного перерізу проводів.

При наявності паралельних ліній бажано з розумінням економії електроенергії тримати їх включеними паралельно. При використанні їх на паралельну роботу, сумарний (еквівалентний) опір цих мереж зменшиться, і, отже, втрати активної та реактивної енергії при її передачі скоротяться.

Будь-яке обладнання під час експлуатації потребує технічного обслуговування та ремонту. При проведенні ремонту обладнання, навантаження на інше (резервне) обладнання збільшується, що значно збільшує втрати потужності. Втрати електроенергії від проведення ремонту основного обладнання прямо пропорційно залежить від часу його проведення. Таким чином, значна тривалість ремонту призводить до значних втрат електричної енергії.

Висновок

Головною метою енергозбереження має стати пріоритет підвищення ефективності використання електричної енергії. Рациональне використання електроенергії залежить від комплексу заходів спрямованих на зниження втрат при експлуатації систем електропостачання, до яких входить вирівнювання графіку навантаження. Для того щоб споживач безперебійно отримував електричну енергію високої якості, необхідно систематично спостерігати за роботою електричної мережі, вчасно обслуговувати і рационально розподіляти навантаження по фазах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. http://www.energetika.by/arch/~page__m21=10~news__m21=169 Вирівнювання графіку електричного навантаження енергосистеми.
2. Железко Ю. С. Розрахунок, аналіз і нормування втрат електроенергії в електричних мережах / Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. – М: ЭНАС, 2003. – 280 с.

Олександр Миколайович Ілик – студент групи ЗЕ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. 3e14.Pyk@gmail.com

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Olexandr M. Pyk – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Olexandr D. Demov** – Assistant Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА НАВАНТАЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В статті розглянуто можливість узгодження графіків навантаження та генерування фотоелектричних станцій за допомогою морфометричного аналізу. Показано, що неузгоджене з графіком навантаження генерування відновлювальних джерел електроенергії збільшує нерівномірність графіка електричних навантажень.

Оскільки відновлювальні джерела електроенергії відносяться до умовно-керованих джерел енергії, то узгодження їх роботи з навантаженням буде відбуватися за рахунок зміщення графіка електричних навантажень до максимумів добового генерування відновлювальних джерел електроенергії, зокрема фотоелектростанцій. Для узгодження графіків електричних навантажень та генерування відновлюваних джерел енергії запропоновано алгоритм методу узгодження.

Ключові слова: фотоелектричні станції, графік навантаження, локальна електрична система, добова нерівномірність, втрати потужності.

RECONCILIATION OF PHOTOELECTRIC STATION GENERATION SCHEDULE AND LOCAL ELECTRICAL SYSTEM LOADING

Abstract

The experience of the introduction of renewable energy sources (RES), the main component of dispersed generation (DG), demonstrates the need for harmonization of the work of energy sources and consumers.

The growth of the share of RES in the Ukrainian electricity balance leads to a deterioration of the situation especially in distribution electric networks. The practice of introducing RES, in particular photovoltaic electric stations (PES), demonstrates an increase in the uneven schedule of electricity consumption. This leads to a complication of the work of the electric power stations operating in the peak and half-end part of the daily schedule and loading of the elements of the network, and as a consequence, the growth of losses in distribution electrical networks. The article considers the possibility of reconciling the load schedules and the generation of photovoltaic stations by means of morphometric analysis. It is shown that the unbalanced load schedule of the generation of renewable energy sources increases the uneven schedule of electrical loads.

Keywords: photoelectric stations, load schedule, local electrical system, daily unevenness, power losses.

Вступ

Збільшення генерування фотовольтаїчних електростанцій, в розподільних мережах шляхом зменшення навантаження на централізовану систему електропостачання дозволяє отримувати низку позитивних ефектів. Вони проявляються у зменшенні втрат потужності й електроенергії в ЛЕП, якими здійснюється транспортування потужності, підвищенні якості електроенергії, розвантаженні електричних мереж.

Проте, це стосується лише випадків, коли графік генерування ФЕС є узгодженими з графіком локального електроспоживання. Тому, постає задача штучного узгодження графіків генерування ВДЕ, зокрема ФЕС та електричного навантаження.

Огляд літературних джерел показує, що всі методи мають за мету провести узгодження режимів роботи ВДЕ і електроспоживачів, відмінними є критерії узгодження і засоби узгодження.

Найбільш розповсюджені критерії узгодження (оптимальності), за якими виконується розв'язування задачі: мінімум втрат електроенергії [1,2,3], якість електроенергії [4], надійність електропостачання [5], пропускна спроможність [6], максимум видачі потужності [7,8], максимум прибутку [9], мінімум інвестицій [11] тощо.

У ряді робіт [10-19] були спроби вирішити задачу узгодження в багатокритеріальній постановці. Так у [15] вирішується задача пошуку оптимальних місць під'єднання та потужностей ВДЕ, за критерієм мінімуму втрат активної потужності та забезпечення відповідної якості електроенергії. В

[17] запропоновано розв'язувати задачу розміщення джерел розосередженого генерування за надійністю електропостачання та пропускної спроможності ліній електропередач. В [19] автори пропонують виконувати оптимізацію за надійністю електропостачання і мінімумом втрат активної потужності, використовуючи метод генетичних алгоритмів та парето-оптимізації.

В цій роботі пропонується виконати узгодження графіків роботи ВДЕ і електроспоживачів, чим досягати вирівнювання останнього.

Метою роботи є розроблення методу узгодження графіків генерування відновлюваних джерел енергії, зокрема ФЕС та електричного навантаження, що дозволить мінімізувати втрати електроенергії в розподільних електричних мережах та зменшити нерівномірність добового графіка електричних навантажень.

Результати дослідження

Оскільки графік електричних навантажень нерівномірний, а як зазначається в [20], робота ФЕС збільшує таку нерівномірність. Оскільки пік видачі потужності ФЕС припадає на денний провал в ГЕН, тому потрібно мотивувати споживачів зміщувати свій добовий графік електричних навантажень в години максимуму генерування ФЕС. За кордоном впроваджується концепція віртуальних електростанцій, що значно спрощує задачу вирівнювання добового ГЕН.

Основна ідея такого підходу – не вироблення електроенергії, а створення нових або мотивування вже існуючих споживачів електроенергії здійснювати маневрування власним споживанням. В Україні зараз основним мотивуючим заходом є зонний тариф на електроенергію (табл.1), згідно якого вартість електроенергії диференціюється за періодами часу доби.

Таким чином споживач може зменшити плату за електроенергію, не зменшуючи обсягів споживання. При цьому зменшується нерівномірність ГЕН.

Табл.1. Зонний тариф на електроенергію диференційований за періодами часу

Період часу	Нічний	Денний	Піковий
Двонічні тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,5	1	-
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 23:00	-
Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,4	1	1,5
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 08:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00

Для оцінювання вартості зміщення потужності споживання потрібно розробити показник, який би враховував зміну тарифного коефіцієнта вартості електроенергії згідно зонного тарифу, вартість компенсаційних витрат споживачеві за зміщення графіка електроспоживання, вартість зменшення витрат потужності внаслідок вирівнювання сумарного добового ГЕН:

$$B_{ij} = P_{zm} \cdot C_m (K_{Tj} - K_{Ti}) + \beta - \Delta P \cdot C_m \quad (1)$$

де K_{Tj} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, з якої планується перенести потужність, у в.о.;

K_{Ti} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, в яку планується переносити потужність, у в.о.;

P_{zm} – потужність, яку споживач має змістити для вирівнювання графіка навантаження ЛЕС, кВт.

C_m – тариф на електроенергію по енергопостачальній компанії, грн. /кВт год;

β – вартість технологічного зсуву виробництва, що має бути компенсована енергосистемою, грн;

ΔP – зменшення втрат потужності внаслідок коригування графіка навантаження споживача, кВт;

Показник вартості переносу навантаження B_{ij} з однієї ступені ГЕН на іншу доцільно використати в задачі узгодження графіків генерування ВДЕ на навантаження.

Поява джерел розосередженого генерування в розподільних електричних мережах дозволяє розглядати їх не як магістрально-радіальні, а як мережі із двостороннім живленням або локальні електричні системи. Оскільки конфігурацію електричної мережі можна вважати відносно постійною, то використовуючи коефіцієнти матриці струморозподілу за заступною r -схемою можна визначити споживачів, графік навантаження яких буде найбільше впливати на сумарну нерівномірність добового графіка електричних навантажень ЛЕС спричиненою генеруванням ФЕС:

$$C_r = R^{-1}M^T (MR^{-1}M^T)^{-1}, \quad (2)$$

де R – діагональна матриця активних опорів віток;

M – перша матриця з'єднань;

Застосування такого підходу, в задачі вирівнювання добового ГЕН, дозволить не тільки зменшити нерівномірність останнього, а й зменшити втрати електроенергії в ЛЕС.

Для зменшення нерівномірності сумарного добового ГЕН РЕМ та мінімізації втрат активної потужності пропонується коригувати графік кожним вузлом по черзі відповідно до коефіцієнта струморозподілу. Для розв'язання цієї задачі скористаємося методом транспортної задачі (табл. 2), в якій умовно можна виділити m годин, в які власне споживання вузла більше за генерування СЕС, A_1, \dots, A_m , та n годин, в які генерування СЕС переважатиме споживання вузла, Z_1, \dots, Z_m . Для цього використовуються потужності вузлів, уточненні шляхом множення на коефіцієнт струморозподілу. Відносну вартість B_{ij} переносу потужності з одного часового проміжку графіка на інший визначатимемо за (1).

Табл. 2. Розподіл вартостей зміщення споживання згідно транспортної задачі

B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	B_{16}	B_{17}	...	B_{1i}	Z_1
B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}	B_{25}	B_{26}	B_{27}	...	B_{2i}	Z_2
...
B_{j1}	B_{j2}	B_{j3}	B_{j4}	B_{j5}	B_{j6}	B_{j7}	...	B_{ji}	Z_n
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	...	A_m	

Відповідно поставленій задачі запишемо цільову функцію:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} \cdot p_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

де p_{ij} – потужність, яку потрібно змістити з однієї ступені графіка навантаження в іншу.

Перша група обмежень вказує, що кількість електроенергії на будь-якій ступені ГЕН повинна дорівнювати сумарній потужності споживання електроенергії цієї ступені ГЕН.

$$\sum_{i=1}^m p_{ij} = A_i,$$

Друга група обмежень вказує, що сумарний зсув споживання на деяку ступень ГЕН повинен повністю компенсувати генерування на цій ступені ГЕН.

$$\sum_{j=1}^n p_{ij} = Z_j,$$

Також вводимо обмеження на неможливість зміщення від'ємних значень потужності споживання:

$$p_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n,$$

Залежність режиму роботи відновлювальних джерел енергії від природних умов в більшості випадків призводить до погіршення режиму роботи розподільних електричних мереж. Тому необхідно виконувати штучне узгодження графіків навантаження і ВДЕ. Особливо це стосується фотовольтаїчних електричних станцій.

Оскільки пік генерування відновлювальних джерел енергії припадає на денний провал в графіку навантаження, то виникає ряд проблем, зокрема, перевитрат палива на централізованих електростанціях та збільшення втрат потужності в розподільних електричних мережах загалом та в ЛЕС зокрема. Запропонований метод оснований на аналізі графіків функціонування споживачів електричної енергії локальної електричної системи та графіків генерування фотовольтаїчної електростанції. Алгоритм узгодження графіків генерування ФЕС та навантаження ЛЕС наведено на рис. 1.

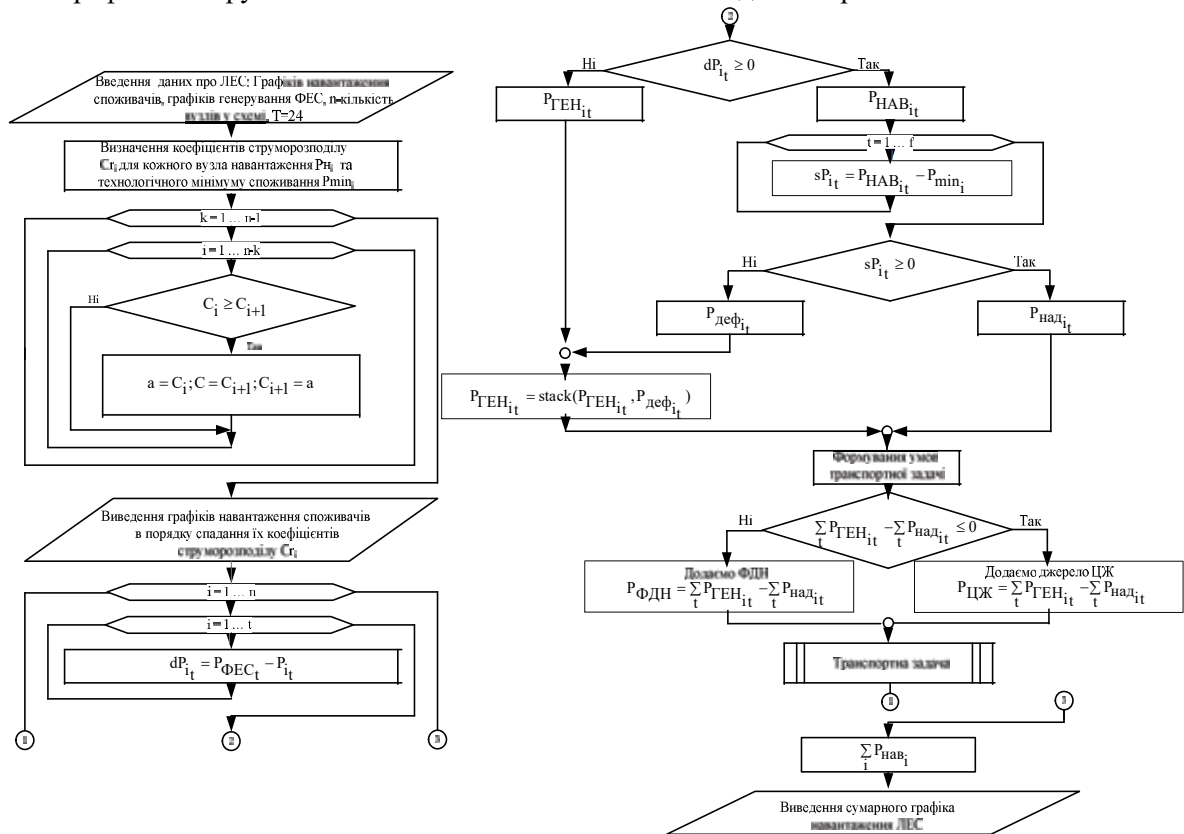


Рис. 1. Алгоритм методу узгодження графіків генерування ФЕС та електричного навантаження ЛЕС

Маючи інформацію відносно цих графіків та відомості про кількість споживачів в ЛЕС формуються початкові дані для роботи алгоритму. Враховуючи топологію електричної мережі та значення потужностей навантаження і генерування, визначається матриця коефіцієнтів струморозподілу (2) для кожного споживача по відношенню до ФЕС. Слід зауважити, що дана матриця має розмірність кількості вузлів на кількість віток в мережі. Для визначення коефіцієнтів струморозподілу потужності ФЕС виділяється з матриці лише рядок, що відповідає вузлу, в якому встановлена ФЕС.

Для визначення потужності, якою може маневрувати споживач, визначається технологічний мінімум для кожного споживача. Виходячи з цього, потужність, яку може зміщувати споживач, буде дорівнювати різниці між фактичною P_{Hi} потужністю споживання та технологічним мінімумом P_{min_i} для певної години навантаження. Далі споживачі ранжуються відповідно до їх коефіцієнту струморозподілу.

Години, в які власне споживання вузла менше за потужність генерування ФЕС, умовно відносяться до годин «генерування». Тобто годин, на які потрібно буде змістити потужності споживання.

Години, в які навантаження більше за потужність генерування та виконується умова, $P_{нав_{it}} - P_{мін_{it}} > 0$ відносяться до годин, з яких можна переносити потужність. Саме ця різниця визначає обсяг надлишкової потужності $P_{над_{it}}$, яку можна змістити з певною вартістю та $P_{деф_{it}}$ – потужність,

якої не вистачає в певну годину доби для вирівнювання добового графіка. З урахуванням визначених потужностей дефіциту і надлишку формується транспортна матриця переносу потужностей з годин надлишків в години дефіциту для вирівнювання добового графіка навантаження. У випадку, коли сумарна потужність генерування переважає потужність, яку можна змістити для вирівнювання графіка електричних навантажень, для отримання збалансованої транспортної задачі вводимо додатково фіктивне джерело навантаження $P_{\Phi ДН} = \sum_t P_{ГЕН_{it}} - \sum_t P_{над_{it}}$ (ФДН). У випадку, коли власного генерування ФЕС не вистачає для забезпечення потреб в електроенергії споживачів, вводимо умовне джерело централізованого живлення $P_{ЦЖ} = \sum_t P_{ГЕН_{it}} - \sum_t P_{над_{it}}$.

Розв'язком транспортної задачі є рекомендація щодо зміщення графіка електричних навантажень споживачів, які в найбільшій мірі впливають на нерівномірність сумарного графіка навантаження ЛЕС.

Висновки

Залежність режиму роботи відновлюваних джерел енергії від природних умов в більшості випадків призводить до погіршення режиму роботи розподільних електричних мереж. Тому необхідно виконувати штучне узгодження графіків навантаження і ВДЕ. Особливо це стосується фотовольтаїчних електричних станцій.

В роботі запропоновано на основі застосування морфометричного аналізу графіків споживання, оптимальних коефіцієнтів струморозподілу і транспортної задачі розв'язати задачу вирівнювання сумарного графіка електроспоживання РЕМ і зниження втрат електроенергії в розподільних електричних мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Burykin OB Optimization of the regime of local power systems with renewable energy [Text] / OB Burykin, Y. Malohulko // Proceedings of DonNTU. Series "Electrical Engineering and Energy" - 2013. - № 2 (15). - P. 42-46. ISSN 2074 - 2630.
2. Walid El-Khattam, Kankar Bhattacharya, Yasser Hegazy and M. M. A. Salama, "Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, no. 3, pp. 1674-1684, August 2004. Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems.
3. N. S. Rau and Y.-H. Wan, Optimum location of resources in distributed planning, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, pp. 2014-2020, Nov. 1994.
4. Caisheng Wang, M. Hashem Nehrir "An Analytical Method for DG Placements Considering Reliability Improvements", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, no. 4, pp. 2068-2076, November 2004.
5. Hamid Falaghi, Mahmood-Reza Haghifam "ACO Based Algorithm for Distributed Generation Sources Allocation and Sizing in Distribution Systems", PowerThech, pp. 555-560, 2007.
6. Víctor H. Méndez Quezada, Juan Rivier Abbad, and Tomás Gómez San Román "Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation", IEEE Transactions on power systems, vol. 21, no. 2, pp.533-540, May 2006.
7. Seyed Mohammad Hossein Nabavi, Somayeh Hajforoosh, Mohammad A.S. Masoum, "Placement and Sizing of Distributed Generation Units for Congestion Management and Improvement of Voltage Profile using Particle Swarm Optimization", IEEE, 2011.
8. Andrew Keane, Luis (Nando) F. Ochoa, Eknath Vittal, Chris J. Dent, Gareth P. Harrison "Enhanced Utilization of Voltage Control Resources With Distributed Generation" IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, no. 1, pp. 252-260, February 2011.
9. Nikhil K. Ardeshta, Badrul H. Chowdhury, "Supporting Islanded Microgrid Operations in the Presence of Intermittent Wind Generation", IEEE, pp. 1-8, 2010.
10. Y. Alinejad-Beromi, M. Sedighzadeh, M. Sadighi "A Particle Swarm Optimization for Sizing and Sizing of Distributed Generation in Distribution Network to Improve Voltage Profile and Reduce THD and Losses".
11. X. Chen and W. Gao, "Effects of Distributed Generation on Power Loss, Load ability and Stability", IEEE Southeastcon, pp. 468-473, April 2008.
12. D. Zhu, R.P. Broadwater, K.S. Tam, R. Seguin and H. Asgeirsson, "Impact of DG Placement on Reliability and Efficiency With Time-Varying Loads", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 1, February 2006.

13. C. Tautiva and A. Cadena, "Optimal Placement of Distributed Generation on Distribution Networks", Transmission and Distribution Conference and Exposition, Latin America, IEEE/Pes, 2008.
14. M. Gandomkar, M. Vakilian and M. Ehsan, "A Combination of Genetic Algorithm and Simulated Annealing for Optimal DG Allocation in Distribution Networks", CCECE/CCGEI, Saskatoon, IEEE 2005.
15. Buslavets, O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Legnuk, O. Rubanenko // Eastern-European journal of enterprise technologies – 2015. – No. 2/8 (74). – P. 35-41. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.39881
16. Bae, I. Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode. / I. Bae, J. Kim// IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. – Vol.22. – No.2.– P.785-790. – doi:10.1109/TPWRS.2007.894842.
17. Kondo, T. Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices / Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama.// Electrical Engineering in Japan – 2008. – Vol. 165. – № 3. – P. 16-28.– doi: 10.1002/ej.20499
18. Ackerman T., Knyazin V. Interaction between distributed generation and the distribution network // Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia Pacific IEEE/PES. – 2000. – Vol.2.– P. 1357-1362.
19. Lezhniuk P.D. Evaluation of Stability of generating solar power in the task of ensuring the reliability of the grid / P.D. Lezhniuk, V.A. Komar., S.V. Kravchuk // Scientific works of Vinnitsia National Technical University. -2016. - №2 С. 1- 8. Access: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/471>
20. Komenda N.V. Morphometric evaluation criteria and uniformity of electrical loads graphics / Komenda N.V. // Journal of National University "Lviv Polytechnic". - 2011.- №66. - P. 42-46.

Плотиця В.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Plotitsa Victor O - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В УКРАЇНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В роботі проведено аналіз проблемних питань розвитку інтелектуальних електричних мереж в Україні, а також показано доцільність використання концепції Smart Grid.

Ключові слова: інтелектуальні мережі, Smart Grid, автоматизація, моніторинг.

Abstract. Analysis of problem issues of the intelligent electric networks development in Ukraine was investigated. It was shown the expediency of using Smart Grid concept.

Keywords: intellectual network, Smart Grid, automation, monitoring.

Вступ

Експерти в області енергетики прогнозують, що до 2030 року потреба в електроенергії подвоїться і сягне 30116 млрд. кВт·год [1]. Щодо ситуації з виробництвом електроенергії в Україні, то станом на січень 2018 року, за фактичними даними, обсяг виробництва електричної енергії електростанціями України, які входять до Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, склав 15172,2 млн. кВт·год, що на 478,0 млн. кВт·год, або на 3,1% менше ніж за січень 2017 року. В зв'язку із зростанням споживання електричної енергії та зниженням її виробництва, для електричних мереж виникає проблема, що невдовзі може призвести до перевищення розрахункового навантаження.

Обладнання на більшості українських електричних мереж перевищило свій термін експлуатації, що призводить до частих відключень і до значної перерви електропостачання (близько 100 годин і більше) [2]. Для модернізації електричних мереж необхідні інвестиції, які можливо отримати лише за підвищення тарифів на електроенергію, що є неприпустимим, оскільки населення не зможе купувати електроенергію за завищеними тарифами.

Крім цього, в останнє десятиліття спостерігається значний розвиток розосереджених джерел генерування (РДГ), які ускладнюють процес керування електричною мережею через нестабільність своєї генерованої потужності, яка залежить від погодних умов, часу доби і т.д.; призводять до збільшення втрат потужності та можуть погіршувати показники якості електроенергії [3].

Для вирішення наведених проблем необхідно використовувати комплексний підхід, який передбачає заміну та реконструкцію обладнання, впровадження систем автоматизації та моніторингу стану електричної мережі. Застосування сучасного комплексного підходу в електроенергетиці передбачає використання концепції Smart Grid, що дозволить підвищити ефективність функціонування електричної мережі з використанням єдиного методологічного підходу, що базується на досвіді зарубіжних країн.

Результати дослідження

В США термін Smart Grid означає повністю автоматизовану енергетичну систему, яка забезпечує двосторонній потік інформації та електричної енергії між станціями і пристроями [4]. В Європі під цим терміном розуміють інтелектуальну електричну мережу, яка задовольняє майбутнім вимогам стосовно енергоефективності та економічності функціонування енергосистеми за рахунок скоординованого керування і за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричних станцій, акумулюючи ми джерелами та споживачами [5]. Поняття Smart – Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology – це, по суті, така технологія, яка здатна до самоконтролю, аналізу та звітування.

Smart Grid технології визначають сучасну енергосистему з повністю інтегрованою, гнучкою та комунікативною структурою енергоживлення. Вона стає «розумнішою», додавши розподілені джерела генерування, методи контролю та автоматизації, а також передові інформаційні технології, що призводить до збільшення ступеня складності, а це породжує новий набір проблем, які виникають при керуванні інтелектуальними мережами в режимі реального часу для ефективних, надійних, енергетичних і економічних операцій.

В багатьох країнах світу концепція Smart Grid прийнята як офіційна політика щодо модернізації електричної мережі з забезпеченням інформування споживача, можливості контролю споживачем рівня свого споживання в режимі реального часу. Фахівці стверджують [6], що при використанні Smart Grid технологій дозволить суттєво зекономити державі за рахунок зниження споживання електроенергії та підвищення надійності її постачання. До 2020 року в США очікується економія приблизно 1,8 трлн. дол., а в країнах ЄС до 7,5 млрд. євро.

Щодо ситуації в Україні, то для впровадження інтелектуальних енергетичних мереж необхідно розробити низку передумов, серед яких: нормативно-правові аспекти, модернізація електричних мереж, технічне забезпечення інтеграції джерел розосередженого генерування, розробити стандарти підключення таких джерел на паралельну роботу з енергосистемою [7].

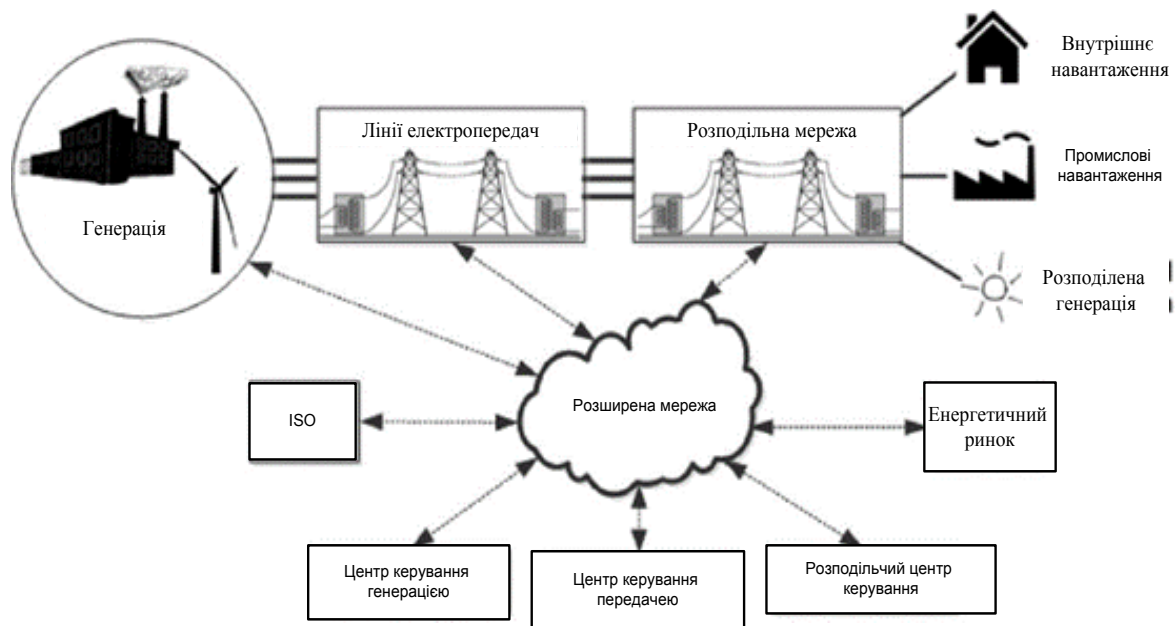


Рис. 1 – Узагальнена інфраструктура електричної мережі, що базується на концепції Smart Grid

Основними елементами узагальненої інфраструктури електричної мережі, що базується на концепції Smart Grid, є підсистеми обміну інформацією та електричною енергією через розширену енергетичну мережу (рис.1), в якій тісно пов'язані процеси генерування, розподілу, передачі та споживання електроенергії. Також із розширеною енергетичною мережею існує інформаційний зв'язок з центрами керування генерацією та передачею, а також із розподільчим центром керування. Такій мережі властиві двосторонні зв'язки з енергетичним ринком та ISO (незалежний оператор системи). Розширена мережа в своєму складі може мати внутрішнє та промислове навантаження, а також джерела розподіленого генерування.

Розширена енергетична мережа оснащена електронними пристроями, мережами зв'язку, пристроями автоматизації підстанцій та центрами керування, які вбудовані по всій мережі для ефективної та надійної роботи енергетичної системи. Важливу роль відіграє головний центр керування, який займається моніторингом, контролем та керуванням в режимі реального часу.

Розширені енергетичні мережі, по суті, є складними, інтерактивними та комунікативними інтелектуальними мережами, які окрім ряду переваг також мають певні недоліки, що пов'язані з невизначеністю та складністю такого типу мереж. Тому необхідно розробити такий метод контролю, який в режимі реального часу може здійснювати моніторинг розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням, зберігати та аналізувати дані, оцінювати стан енергосистеми для забезпечення стабільності та надійності електропостачання.

Висновок

Концепція "інтелектуальної електричної мережі" зробила революцію в енергетиці з гнучким розподілом електроенергії від малих до великих масштабів. Керування інтелектуальною електричною мережею є ключовим питанням, яке детально розглядається для забезпечення

надійності, ефективності та якості енергії в електричній мережі. Аналіз стану електричних мереж України показав важливість та необхідність її модернізації і оновлення. Світова практика відзначає перспективність впровадження концепції Smart Grid.

Сучасні реалізації елементів Smart Grid у багатьох країнах дають можливість стверджувати, що технологічно такі системи створюють передумови для високоефективного використання джерел розподіленого генерування для забезпечення максимального прибутку від їх експлуатації та підвищення якості функціонування електричних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Григор'єв Р.В. Перспективні напрямки використання інтелектуальних мереж локальної енергетики / Григор'єв Р.В. // Системні дослідження та комплексні проблеми енергетики. №18. 2008. – С.29-31.
2. Тимчук С.А. Модели и методы поиска оптимальной структуры сети электроснабжения при нечетко заданных целях: монографія / С.А. Тимчук. – Харьков: Факт, 2010. – 219 с.
3. Lezhniuk P. Distributed energy sources in the local electrical systems: monograph / P.Lezhniuk, O.Burykin, Yu.Malogulko // LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2018. – 148 p.
4. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. Випуск. Ч.1. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С.5-20.
5. Grid 2030: A National Version for Electricity's Second 100 Years // Office of Electric Transmission and Distribution United State Department of Energy, July 2003.
6. Smart Grid – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2005. [Electronic resource] - Mode of access:<http://www.smartgrids.eu>.
7. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Баталов А.Г., Денисюк С.П. Технологічний базис Інтелектуальної об'єднаної енергетичної системи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. Випуск. Ч.1. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С.20-31.

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Дячук Денис Анатолійович — студент групи 2Е-15б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Juliya V. Malogulko —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Denys A. Dyachuk - student of 2E-15b group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі розв'язується актуальна задача підвищення балансової надійності локальних електричних систем (ЛЕС) за рахунок встановлення накопичувача в межах балансової належності фотоелектричної електростанції (ФЕС). Проаналізовано закон розподілу генерування ФЕС для певного проміжку часу доби протягом року. Запропоновано математичну модель генерування ФЕС у вигляді гаусових сумішей. Отримано основні характеристики імовірнісного характеру генерування сонячної електростанції. Визначено імовірність покриття заданого графіка навантаження генеруванням ФЕС протягом певного часу доби впродовж всього року. На основі визначених імовірнісних характеристик генерування ФЕС визначено ємність накопичувача, що дозволить підвищити балансову надійність ЛЕС.

Ключові слова: потужність генерації, фотоелектричні станції, графік навантаження, ємність накопичувача, гаусові суміші розподілу, імовірнісні характеристики

OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONAL PHOTOVOLTAIC STATION IN LOCAL ELECTRIC SYSTEMS

Abstract

In this work the actual task of increasing the balance reliability of local electrical systems (LES) is solved by establishing a drive within the limits of the balance sheet of a photovoltaic electric station (PES). The law of distribution of generation of FES is analyzed for a certain period of time of day during the year. A mathematical model for generating PES in the form of Gaussian mixtures is proposed. The main characteristics of the probabilistic nature of solar power generation are obtained. The probability of covering the given loading schedule by generating the PES is determined for a certain time of day throughout the year. On the basis of certain probabilistic characteristics of the PES generation, the capacity of the drive is determined, which will increase the balance reliability of the forest.

Keywords: generation power, photovoltaic stations, load schedule, storage capacity, Gaussian mixes of distribution, probabilistic characteristics.

Вступ

Графік генерування електричної енергії фотовольтаїчними електростанціями безпосередньо залежить від природних особливостей регіону, в якому вони розташовані. Ця особливість ФЕС вносить певні проблеми під час розв'язання задачі забезпечення надійного і якісного електропостачання споживачів. Тому, постає задача зменшення нестабільності такого генерування за рахунок встановлення накопичувача електроенергії.

Визначаючи пріоритетність розв'язання задач в ЛЕС, відмітимо балансову надійність як надійність ЛЕС, коли її розрахункова модель визначається балансом споживання і генерування електроенергії з врахуванням зовнішнього надходження енергії. Від того, якими способами і засобами забезпечується балансова надійність, залежить як успішно розв'язуються інші задачі [1-4]. Від балансу активної і реактивної потужності в ЛЕС залежать її техніко-економічні показники [5]. На процес балансування потужності в ЛЕС суттєво впливає нестабільність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС і ВЕС. Нестабільність генерування ФЕС і ВЕС компенсується потужністю, яка поступає в ЛЕС з ЕЕС. В умовах сьогодення забезпечення балансу лежить суто на централізованій системі електропостачання [6]. Проте, поступово відбуваються зміни в механізмах функціонування енергоринку України, що спонукатимуть власників ВДЕ, працювати за заданим графіком. Для роботи за заданим графіком, потрібно перш за все дослідити потенційні можливості джерел генерування, щодо покриття графіка навантаження. На основі статистичних даних по генеруванню, якщо станція вже експлуатується, або прогнозних по виробітку електроенергії, якщо станція ще не введена в експлуатацію, можна отримати вихідну інформацію щодо визначення потужності накопичувача, як елемента дотримання заданого графіка генерування, а отже і балансування в електричній мережі до якої приєднана станція.

Метою роботи є оцінювання впливу відновлюваних джерел енергії, зокрема ФЕС на балансову

надійність локальної електричної системи та визначення ємності та графіку роботи накопичувача для її підвищення

Результати дослідження

Розроблення методу визначення покриття графіка споживання потенційно можливим генеруванням фотоелектричної електростанції є необхідним для забезпечення балансової надійності. Для цього потрібно визначити основні ймовірнісні характеристики процесів генерування ФЕС та електроспоживання ЛЕС.

На рис. 1, як приклад, в розрізі кожної доби в проміжок часу 12:30–13:00 протягом року для підстанції «Ямпіль 110/10 кВ» побудовані гістограми густин генерування і споживання потужностей (потужності подані у відносних одиницях, де за базис прийнято їх номінальні значення). З рис. 1 видно, що розподіл генерування ФЕС та навантаження – полімодальний. В тих випадках, коли «форму» розподілу не вдається описати одним розподілом, то її можна описати за допомогою суміші розподілів. Серед інших, можна виділити модель гаусової суміші, яка представляє собою зважену суму k компонентів, густина розподілу якого має вигляд [7]:

$$p(x) = \sum_{j=1}^m w_j p_j(x), \quad (1)$$

де $p_j(x)$ – функція густини розподілу j -тої компоненти суміші; w_j – вага j -тої компоненти суміші

(апріорна імовірність) $\sum_{j=1}^k w_j = 1, w_j \geq 0, j = 1 \dots k$ – кількість компонент в суміші.

Функція густини розподілу має вигляд:

$$p_j(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{k}{2}} |\zeta_j|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_j)^T \zeta_j^{-1}(x-\mu_j)},$$

де μ_j – математичне очікування j -тої компоненти; $|\zeta_j|$ – визначник коваріаційної матриці j -тої компоненти суміші, k – кількість компонент в суміші.

В задачі визначення розподілу випадкової величини на певному проміжку часу загальна математична модель розподілу буде описуватись рівнянням (1). Розщеплення гаусової суміші пропонується проводити за допомогою методу оцінки-максимізації (expectation-maximization) правдоподібності. EM-алгоритм складається з ітераційного повторення двох кроків. На E-кроці вираховуємо очікуване значення (expectation) вектора прихованих параметрів G за поточним наближенням вектора параметрів Θ . На M-кроці вирішується задача максимізації правдоподібності (maximization) і знаходиться наступне наближення вектора Θ , за поточними значеннями векторів G та Θ .

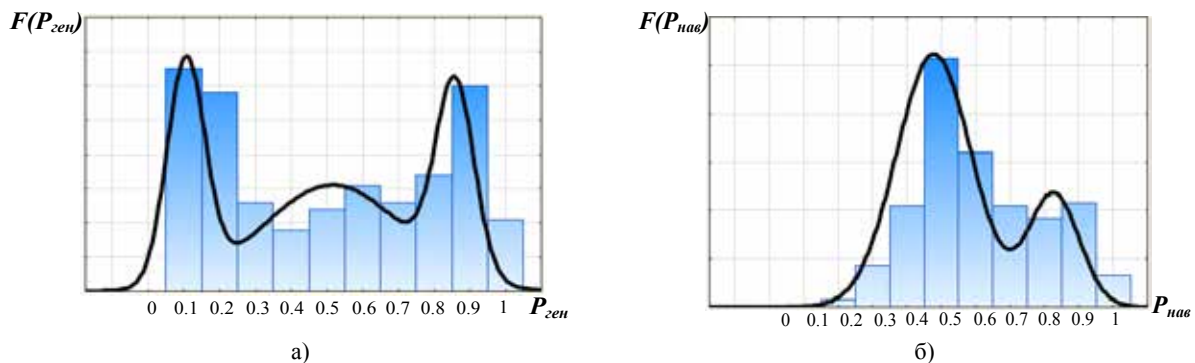


Рис. 1. Модель гаусової суміші для потужності генерування ФЕС (а) та для навантаження ЛЕС (б)

Е-крок. Позначимо густину імовірності як $p(x, \theta_j)$, того що об'єкт x отриманий з j -тої компоненти суміші. Згідно з формулою умовної ймовірності:

$$p(x, \theta_j) = p(x)P(\theta_j | x) = w_j p_j(x). \quad (2)$$

Позначимо, $g_{ij} = P(\theta_j | x_i)$ – невідома апостеріорна імовірність того, що x_i отриманий з j -тої компоненти суміші. Приймаємо ці величини в якості прихованих змінних, тобто $G = (g_{ij}) = (g_1 \dots g_j)$, де g_j – j -й стовбець матриці G .

М-крок. Визначивши за формулою Байєса значення прихованих змінних g_{ij} , вирішуємо оптимізаційну задачу:

$$Q(\Theta) = \ln \prod_{i=1}^m p(x_i) = \sum_{i=1}^m \ln \sum_{j=1}^k w_j p_j(x_i) \rightarrow \max(\Theta) \quad (3)$$

Результатом розв'язування оптимізаційної задачі є імовірнісні характеристики процесів генерування та навантаження за критерієм максимуму правдоподібності. Маючи такі характеристики, визначено закон розподілу випадкових потужностей генерування ФЕС (рис. 1а) та навантаження ЛЕС (рис. 1б). На основі визначених характеристик, маючи вагу кожної компоненти генерування та навантаження, можна визначити імовірність видачі певної потужності генерування ФЕС та навантаження.

Для цього пропонується розбити кожну компоненту генерування та навантаження на складові з певним кроком (чим менший крок, тим точність розрахунку вища) та знайти імовірність їх появи за допомогою інтегралу імовірності:

$$F(X_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_u}^{X_{u+1}} e^{-\frac{r^2}{2}} dX_u, \quad (4)$$

де $r = \frac{(X_u - \mu)}{\sigma}$, а X_u відповідно приймає значення X_u та X_{u+1} кожної складової компоненти генерування ФЕС чи споживання; μ – математичне очікування; σ – середньоквадратичне відхилення.

Визначивши імовірність появи u -тої складової компоненти генерування $p_{ген_u}$ та навантаження $p_{нав_u}$, визначаємо імовірність покриття u -тої компоненти навантаження генеруванням ФЕС:

$$p_{покр_{u_t}} = p_{нав_{u_t}} \cdot \sum_{\substack{z=1 \\ p_{нав_{u_t}} \leq p_{ген_{z_t}}}^f p_{ген_{z_t}}, \quad (5)$$

де f – кількість складових компонент генерування; t – часовий проміжок, на якому визначається імовірність покриття споживання генеруванням ФЕС.

Імовірність покриття графіка навантаження, дозволяє визначити математичне очікування надлишкової потужності, тобто потужність генерування ФЕС, що більша за навантаження на t -му проміжку часу доби. Така інформація буде вихідною для визначення ємності накопичувача, що необхідно встановити в межах балансової належності ФЕС.

Висновки

Нестабільність генерування фотовольтаїчних електростанцій на протязі доби і відповідно негативний вплив на балансову надійність ЛЕС може компенсуватися резервним джерелом електроенергії. В роботі, на основі визначених імовірнісних характеристик процесів генерування ФЕС та електроспоживання ЛЕС, запропоновано метод визначення ємності накопичувача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov, V. A. Algorithm mnohokryteryalnoho control regimes work microgrids / V. Popov, O. Yarmoliuk, P. Zamkovoy // East european journal of advanced technology. - 2014. - № 2. - R. 61-68. - Doi: 10.15587 / 1729-4061.2014.23158.

2. Kirilenko AV control mode of power from renewable energy sources in terms of frequency change in the power / O.V. Kirilenko, V.V. Pavlovsky, A.S Yandulskyy, S.A Stelyuk // Technical electrodynamics. - 2012. - № 4. - P. 52-57.

3. Yandulskyy O.S Optimal Voltage Regulation in the distribution grid of dispersed generation sources based on their belonging to one owner using active power reserve / O.S Yandulskyy, G.A Trunina, A.B Nesterko // Herald Kremenchuk University. - 2015. - Vol. 2. - P. 50-54. - Access: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkdpu_2015_2_9

4. Rubanenko O.E Optimal control normal modes EEC with regard to the technical condition of transformers with RPN / A E Rubanenko, VA Lesko // Proceedings of the Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine. - 2013. Special issue. - S.154-161. ISSN 1727-9895.

5. Burykin, O.B. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / O.B. Burykin, J.V. Malogulko, Y.V. Tomashevskiy, P. Komada, N.A. Orshubekov, M. Kozhamberdiyeva, A. Sagymbekova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. - R. 93. - NR 3/2017. - P. 97-102. - ISSN 0033-2097. - doi:10.15199/48.2017.03.23

6. Lezhniuk, PD Determining optimal power reserve to ensure the reliability of carrying local electrical system / PD Lezhniuk, VA Komar, S. Kravchuk // Vestnik NTU "KPI" Series: New solutions in modern technologies. - Kharkov: NTU "KPI". - 2016. - № 42 (1214). - P. 69-75. - Doi: 10.20998 / 2413-4295.2016.42.11.

7. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. ISBN 5-279-00054-X.

Огородник А.А. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Ogorodnik Andrey A - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

РОБОТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ЗА ЗАЯВЛЕНИМ ГРАФІКОМ ГЕНЕРУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Показано можливість прогнозування графіка генерування фотоелектричною станцією на добу наперед шляхом застосування штучних нейронних мереж, побудованих на основі аналізу статистичних даних базової електростанції та запропоновано систему керування накопичувачем електричної енергії для балансування заявленого графіка генерування фотоелектричними станціями, що входять до балансувальної групи.

Ключові слова: фотоелектричні станції, прогноз, графік на добу наперед, накопичувач електричної енергії.

На сьогодні, за рахунок державного стимулювання, спостерігається розбудова відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які під'єднуються до розподільних електричних мереж (РЕМ) електроенергетичної системи (ЕЕС). Це призводить до поступового переходу від суто централізованої моделі електропостачання споживачів, основою якої є потужні ТЕС і АЕС, до комбінованої, коли частина електроенергії виробляється розосередженими в РЕМ джерелами електроенергії. Проте цей процес має як позитивні, так і негативні наслідки для функціонування РЕМ. Ускладнює інтеграцію ВДЕ, зокрема фото- та вітро- електростанції, їх нестабільність в покритті електричного навантаження.

Наявність додаткових джерел в електричних мережах потенційно сприяє підвищенню надійності електропостачання. Проте через залежність графіка генерування ФЕС від кліматичних умов регіону, де вони розташовуються, не забезпечується достатній рівень балансової надійності. Зростання складової ВДЕ в загальному балансі вимагає квотування генерованої потужності цими джерелами. Що і передбачено в новому Законі України про ринок електричної енергії.

Для заявлення погодинного графіка генерування на добу наперед необхідно розробити методи та засоби прогнозування та дотримання заявленого графіка.

Аналіз статистичних даних з існуючих фотоелектричних станцій дозволив визначати визначальні для прогнозування метеопараметри. Оскільки температуру панелі та сонячну радіацію на поверхні панелі прогнозувати проблематично, то запропоновано використовувати температуру навколишнього середовища, сонячну радіацію на поверхні землі, швидкість вітру та вологість.

Аналіз метеоресурсів показав, що в Україні отримати необхідні параметри, з достатньою для прогнозування графіків, точністю поки не можливо.

Проведений аналіз методів прогнозування дозволяє зробити висновок про доцільність комплексного застосування штучних нейронних мереж та фільтрів на основі статистичного аналізу. Однак враховуючі досить не точні вихідні данні (прогноз метеопараметрів) є доцільним застосування накопичувачів енергії, які б дозволили досягнути необхідної точності забезпечення заявленого графіка генерування.

Голодюк Володимир Сергійович — студент групи 2Е-146, факультет електроенергетика та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: golvs@ukr.net

Науковий керівник: *Комар Вячеслав Олександрович* — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Holodyuk Volodymyr S. — Department of Electric stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: golvs@ukr.net

Supervisor: *Komar Vyacheslav O.* — Cand. Sc. (Eng.), Assist. Professor, Department of Electric stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПІДСТАНЦІЙ ВИСОКОЇ НАПРУГИ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропонована методика оцінки ресурсу електрообладнання з врахуванням параметрів фактичного стану умов експлуатації, що дозволяє обчислити фактичний спрацьований ресурс та нормативний залишковий ресурс.

Ключові слова: надійність, експлуатація електрообладнання, залишковий ресурс.

Abstract

The method of estimating the resource of electrical equipment with the account of the parameters of the actual condition of operating conditions is proposed, which allows to calculate the actual operating resource and normative residual resource.

Keywords: reliability, operation of electrical equipment, residual resource.

Вступ

Найбільш розповсюдженим методом прогнозування залишкового ресурсу є індивідуальне прогнозування для конкретних типів електрообладнання. Цей метод передбачає витрати пов'язані з використанням діагностичних засобів, випробування, програмного забезпечення побудови математичної моделі, обробки інформації.

Складність визначення прогнозу залишкового ресурсу електрообладнання полягає в побудові алгоритму і опису моделі прогнозу.

Метою роботи є підвищення надійності експлуатації електрообладнання, шляхом вдосконалення методу визначення залишкового ресурсу.

Результати дослідження

Для створення алгоритму і опису моделі прогнозування доцільності використання коефіцієнт відносної оцінки технічного стану по визначальному параметру який можна визначити як,

$$K_i = 1 - \frac{Z_i - Z_{vi}}{Z_i - Z_{gi}}$$

де Z_i , Z_{vi} , Z_{gi} – відповідно початкове, вимірне і граничне значення визначального параметра.

Таким чином, технічний стан електрообладнання може змінюватись в межах $1 \geq K_i > 0$. В реальних умовах експлуатації силового електрообладнання може бути декілька параметрів, що характеризують його деградацію. В цьому випадку визначити технічний стан електрообладнання можна за значенням мінімального K_i одного із параметрів, значення якого максимально наближене до граничного.

З урахуванням вище зазначеного наближення значення залишкового ресурсу:

$$R_z = R_n (K_i - K_{\min});$$

де R_n – нормативний термін експлуатації обладнання; K_i – відносний коефіцієнт оцінки залишкового ресурсу; K_{\min} – мінімально допустимий коефіцієнт оцінки залишкового ресурсу.

Середня швидкість зміни визначального параметра електрообладнання ТП що діагностується протягом всього часу експлуатації можна визначити як

$$v = \frac{Z_i - Z_{vi}}{T};$$

де T – час напрацювання від початку експлуатації до моменту вимірювання.

Тоді враховуючи статистичні данні діагностування силового електрообладнання, що свідчать про спрацювання ресурсу по експоненційному закону

$$R_z = R_n \exp(-vt).$$

Або у відносних одиницях

$$R_z^* = \frac{R_z}{R_n} = \exp(-vt).$$

В процесі експлуатації на технічний стан силового електрообладнання діє багато різних чинників, кожен з яких може змінюватись на величину ΔZ_i , тому може змінюватись і фактичний ресурс. Для n експлуатаційних чинників фактичний ресурс можна визначити як

$$R_f^* = D \exp\left(-v \frac{K_i - 1}{\Delta Z_i}\right) = e^{\sum_{i=1}^n -v \frac{K_i - 1}{\Delta Z_i}}.$$

Ця залежність має якісний характер і відображає лише тенденцію зміни ресурсу. Для точного визначення ресурсу необхідно знати значення v та ΔZ_i , їх можна визначити експериментально або статистичним шляхом.

Якщо електрообладнання ТП вже спрацювало деякий ресурс $R_{sr.sp}^*$, то можна визначити нормативний залишковий ресурс за умови подальшої роботи силового електрообладнання ТП в нормативних умовах

$$R_{nz}^* = 1 - R_{sr.sp}^*.$$

Висновки

Запропонована методика оцінки ресурсу обладнання з врахуванням параметрів фактичного спрацювання, умов експлуатації, коефіцієнта спрацьованого ресурсу, величини зміни фактору ΔZ_i і визначального параметра v дозволяє обчислити фактичний спрацьований ресурс R_f^* та нормативний залишковий ресурс R_{nz}^* різних видів електрообладнання електроенергетичної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонов А. А. Об определении индивидуального ресурса изделий атомных станций / А. А. Антонов. // Надежность и контроль качества — 1996 — №10 — С. 45-48.
2. Кутін В. М. Математичні моделі керування індивідуальною надійністю розподільної мережі змінного струму / В. М. Кутін // Вісник ВПІ — 2002 — №4 — С. 63-67.
3. Матусевич О. О. Математическая модель анализа потерь в системе электроснабжения железных дорог. / О.О Матусевич // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. Б. Лазаряна — 2015 — №3(57) — С. 77-87.

Кутін Василь Михайлович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кутіна Марина Василівна – канд. технічн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: mkytina@gmail.com.

Kutin Vasyi M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, head of the Department of electromechanical systems automation in industry and transport, vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

Kutina Marina Vasyilivna – Candidate of Science, senior lecturer in Department of electrical power consumption and power management, e-mail: mkytina@gmail.com.

Дослідження пошкоджень та обґрунтування доцільності вдосконалення ремонтів шунтових реакторів 750 кВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено пошкоджуваність шунтових реакторів та причини цих пошкоджень. Запропоновано заходи з усунення пошкоджень реакторів в умовах їх експлуатації

Ключові слова: діагностування, ремонти, шунтові реактори, технічне обслуговування, пошкоджуваність, реконструкція.

Abstract

The damage of shunt reactors and the causes of these damages were investigated. We propose measures for the elimination of reactor damage in the conditions of their operation.

Keywords: diagnostics, repairs, shunt reactors, technical service, damage, reconstruction.

Вступ

Ремонт силового електротехнічного устаткування, зокрема шунтових реакторів, сьогодні стає звичайним технічним заходом підвищення надійності і якості електропостачання. Для цього є всі передумови: з одного боку це економічна необхідність і доцільність, а з іншого – технічні можливості. Перше зумовлено високою вартістю шунтових реакторів, складністю і значними витратами на їх транспортування і монтаж, а також збитками, викликаними порушенням технологічних процесів через обмеження електропостачання. Друге пояснюється потенційними можливостями сучасного ремонтного та діагностичного обладнання та їх програмного забезпечення. В той же час актуальною є розробка нових методів ремонтів, модернізації та діагностування, вимогам, що відповідають, які істотно зросли до систем діагностики, і повною мірою використовували б можливості комп'ютерного моделювання.

Результати роботи

Реактори РОДЦ-110000/750 – один з пошкоджуваних видів силового електрообладнання 750 кВ. На передачі 750 кВ «Донбас – Альбертірша» на кожній підстанції вони пошкоджувалися по декілька раз.[1,2] Пошкодження супроводжувалися вибухом, пожежею і повною руйнацією реакторів, після чого вони вже не підлягали відновленню.

На рисунку 1 зображено вигляд реактора після його відмови в Південно-Західній електроенергетичній системі у 2017 році.

Розглянемо основні види пошкоджень реакторів та прийняті міри з їх попередження:

1. Застосування маслonaсосів, у яких обмотка охолоджувалася потоком масла реактора, призводила до того, що при пошкодженні механічної частини маслonaсосу, металевий пил попадав у середину бака реактора і осідав у місцях концентрація найбільших напруженостей електричного і маг-

нітного полів – на прошивних рейках у районі виводу з середини обмотки. Через невдалу конструкцію цих рейок (вони були виконані суцільними) створювалися сприятливі умови для розвитку так званих «повзучих» розрядів по поверхні рейок.



Рисунок 1 – Пошкоджений реактор 750 кВ.

Для попередження таких пошкоджень виконана реконструкція усіх реакторів першої партії випуску реакторів: заміна маслonaсосів на маслonaсоси герметичної конструкції; монтаж фільтрів у систему циркуляції масла; заміна суцільних рейок на розрізні.

Ці заходи дозволили значно зменшити ймовірність розвитку «повзучих» розрядів по поверхні рейок.

2. Низька якість виконання пайки елементарних проводів обмотки приводила до виникнення виткових замкнень у обмотці повздовжній диференційний захист не реагував на ці пошкодження, до тих пір, поки не виникало замкнення на землю, а це призводило до виникнення газового пузиря і значного руйнування реактора.

Для попередження обсягу таких пошкоджень виконана на заводі реконструкція реакторів останньої партії випуску і реконструкція попередніх партій випуску у експлуатації. При цій реконструкції виконано: розділення нейтралей півобмоток реактору, встановлення на кожній з них трансформаторів струму; монтаж поперечного захисту реактора.

Слід також зазначити, що існуюча система профілактичних випробувань реакторів у експлуатації фактично не дозволяє оцінювати стан як головної ізоляції, так і виткової. Вимір опору ізоляції мегомметром 2500 В та вимір діелектричних втрат при напрузі 10 кВ дозволяють оцінити лише загальне зволоження ізоляції і масла. Контроль стану головної ізоляції у деякій мірі поліпшується при виведенні на зовнішній бік баку реактора заземлення електростатичних екранів, особливо, якщо організувати вимір струму цих екранів при робочій напрузі. Найбільш ефективними, в попередженні аварій шунтуючих реакторів, є мікропроцесорні системи безперервного контролю і діагностики, які використовують комплекс сенсорів [3, 6]. Але більш доцільно організувати випробування головної та виткової ізоляції напругою, що у декілька разів перевищує робочу. Роботи у цьому напрямку ведуться на стадії дослідницьких працівниками ВНТУ та ПЗЕС [5]. Слід звернути увагу на економічні та технічні аспекти проблеми: такі випробування можуть дозволити уникнути значних пошкоджень у роботі [4]; при випробуваннях можливе пошкодження головної або виткової ізоляції, що потребує виводу у тривалий ремонт реактора, який міг ще працювати; при ремонті можливо виникне необхідність повного розбирання реактора з демонтажем шунтів та обмотки, що в умовах експлуатації важко зробити.

3. Потужні магнітні поля розсіяння викликають значні струми у короткозамкнених контурах, що призводить до перегрівів елементів конструкції, розкладання органічної ізоляції і утворення вуглеводних газів, що розчинюються у маслі.

Низка реакторів була виведена з роботи за результатами хроматографічного аналізу розчинених у маслі газів.

Такі контури утворювалися з причин: активна частина реактора встановлена на металевих амортизаторах, що розміщені на піддоні реактора; відсутній контроль ланцюгів заземлення магнітопро-

водів; відсутній контроль замкнення між собою електростатичних екранів; електромагнітні екрани замикалися на плити; стяжні шпильки торкалися «колоколу».

Реконструкції, що проводяться на підстанціях 750 кВ, одним з завдань мають усунення причин утворення короткозамкнених контурів. Деталі цих реконструкцій наведені нижче.

Висновки

1. Аналіз конструктивних особливостей реакторів РОДЦ-110000 / 750 дозволяє розробити заходи з реконструкції, які повинні передбачити: ізоляцію амортизаторів від піддону реактора; ізоляцію електромагнітних екранів від плит; ізоляцію стяжних шпильок від «колоколу»; забезпечення контролю ланцюгів заземлення магнітопроводів; забезпечення контролю ізоляції між електростатичними екранами.

2. Для вдосконалення релейного захисту треба виконати розділення нейтралей і поліпшити циркуляцію масла у коробці трансформаторів струму на виводі 750 кВ.

3. Реконструкції підлягають реактори, що відпрацювали значний час, сам процес реконструкції потребує тривалого перебування ізоляції на відкритому повітрі, тому перед введенням реактора в експлуатацію треба виконати роботи по відновленню ізоляційних характеристик його ізоляції і масла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ванин Б.И., Неклепаев Б.Н., Чичинский М.И. и др. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации // Электрические станции. – 2001. - № 9. – С. 53-58.

2. Цурпал С.В. Причины повреждаемости и меры по повышению надежности мощных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов//Тезисы докладов X международной науч.-техн. Конф. «Трансформаторостроение-2000» (19-21.09.2000 г.) – Запорожье, ПО ЗТВ. – С. 122-126.

3. Мокин Б.И., Грабко В.В. Математические модели и информационно-измерительные системы для технической диагностики трансформаторных вводов. -Винница: "УНІВЕРСУМ-Вінниця",1997 - 130 с

4. Лизунов С.Д., Смирнов Ю.Ф., Языков В.И. Испытания мощных шунтирующих реакторов высших классов напряжения. – «Электротехника», 1973, №3, \ с. 39-43.

5. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Жук І.А. Випробування реакторів 750 кВ в умовах електричних станцій і підстанцій/ Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – 2006. – № 3. – Ч. 2. – с. 68-72.

6. Дмуховський В.А. Випробування реакторів 750 кВ в умовах електричних станцій і підстанцій // В. А. Дмуховський / Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми виробництва, переробки сільськогосподарської продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК». Вінниця, 28-30 листопада 2017 року, ВНАУ. – 2017. – С. 21-23.

Дмуховський Віталій Анатолійович – аспірант кафедри електричних станцій та систем, факультету енергетики електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця e-mail: vetalvinn@mail.ru

Науковий керівник: **Рубаненко Олександр Євгенійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, , Вінницький національний технічний університет. Вінниця e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Dmukhovsky Vitaliy Anatoliyovych – post-graduate student of the Department of Electric Power Plants and Systems, Faculty of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: vetalvinn@mail.ru

Rubanenko Alexander Yevheniovych - associate professor of the department of electric power stations and systems, candidate of technical sciences, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Оскільки розподільні електричні мережі відносяться до таких складних систем, для яких, особливо за ринкових умов, не достатньо характеристики відмови в функціонуванні тільки у формі «придатний/не придатний», то необхідно оцінювати показник якості функціонування, що дозволить дати характеристику здатності РЕМ виконувати функції з надійного та якісного електропостачання. В роботі дана характеристика можливості розроблення показника якості функціонування електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії, для задач оптимального керування її режимами.

Ключові слова: електричні мережі, якість функціонування, втрати потужності, якість електроенергії.

EVALUATION OF QUALITY OF THE FUNCTIONING OF ELECTRIC NETWORKS WITH REFLECTIVE SOURCES OF ELECTRICAL ENERGY

Abstract

Since the distribution electrical grids relate to such complex systems, for which, in particular, market conditions, the failure characteristics only in the form of "fit / unsuitable" are not sufficient enough, it is necessary to evaluate the performance index, which will allow to characterize the ability of REM to perform functions reliable and high-quality electrical supply. In this work, the possibility of developing an indicator of the quality of operation of electric networks with renewable energy sources, for optimal control of its modes, is given.

Keywords: electrical networks, operation quality, power losses, electric power quality.

Вступ

Відповідно до теорії надійності розподільні електричні мережі з джерелами розосередженого генерування є складними технічними системами. Вони є сукупністю підсистем (елементів), об'єднаних функціонально або конструктивно у відповідності з визначеним алгоритмом взаємодії для виконання певної задачі в процесі застосування за призначенням.

Метою роботи є оцінювання доцільності розроблення показника якості функціонування для електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії, в задачах оптимального керування її режимами.

Результати дослідження

Надійність будь-якої складної технічної системи відображає її властивість виконувати і зберігати в часі задані функції в заданих режимах і умовах застосування за призначенням, технічної експлуатації, ремонтів, зберігання і транспортування. Основною задачею електричної мережі (ЕМ) є забезпечення надійного постачання якісною електроенергією споживачів, які під'єднано до неї. Надійність електропостачання, якість електроенергії та економічність оцінюються показниками, характерними для кожного з цих факторів. Для електричної мережі з ВДЕ вони часто можуть бути суперечливими, що заважає прийняттю однозначного рішення щодо розбудови ВДЕ та відповідної модернізації електричної мережі. В подібних випадках стосовно технічних систем, до яких відносяться мережі з ВДЕ, користуються інтегральним показником якості функціонування системи [1-4]. В нашому випадку основними властивостями, які повинен об'єднувати інтегральний показник якості функціонування, є надійність, якість електричної енергії та економічність як складові енергоефективності роботи електричної мережі з ВДЕ в різних станах роботи (рис.1).

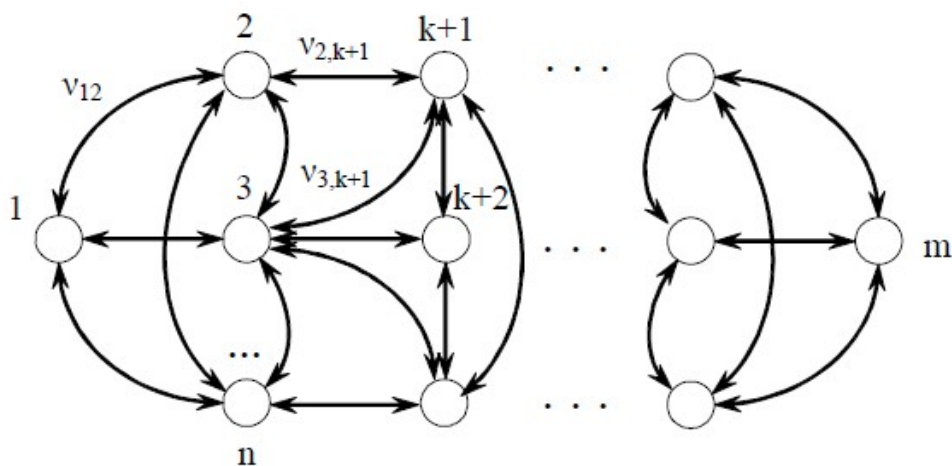


Рис.1. Граф станів електричної мережі

Навіть для абсолютної безвідмовності всіх елементів розподільної електричної мережі в процесі функціонування неможна говорити про виконання нею своєї задачі як про достовірну подію, оскільки система може не виконати на всі 100% поставлені задачі в наслідок технічної недосконалості самої системи, складності окремих задач, впливу зовнішнього середовища, тощо. З іншого боку, внаслідок певної надлишковості в структурі розподільних електричних мереж поява відмов окремих елементів або значна зміна робочих параметрів можуть призвести не до повної відмови, а лише до певного погіршення якості функціонування системи електропостачання в цілому.

Введення такої оцінки досить зручне, оскільки дозволяє порівняти функціонування розподільних електричних мереж, різних за схемою, електрообладнанням та його технічним станом. Це дозволить визначити оптимальні шляхи побудови електричних мереж, особливо в умовах розбудови ВДЕ.

Висновки

Через необхідність врахування значної кількості різних показників, що характеризують всі сторони функціонування розподільних електричних мереж виникає необхідність у визначенні інтегрального показника якості функціонування. Загальні вимоги, яким повинен відповідати такий показник є: об'єктивність оцінювання ефективності, якості і оптимальності; можливість фізичного тлумачення; нормування і відображення «крайніх» станів системи з урахуванням потенційно можливих; дозволяти приймати рішення на основі досвіду й інтуїції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, В. О. Лесько, А. Л. Поліщук, "Врахування якості функціонування розподільних систем під час їх реконструкції ", *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського*. – частина 1. – №3(56). – 2009. – с. 172-175.
2. В. О. Комар, А. Л. Поліщук, "Узагальнена техніко-економічна оцінка ефективності реконструкції розподільних електричних мереж", *Вісник Львівського національного технічного університету*. – №666. – 2010. – с. 47-52.
3. Ушаков И. А. "Надежность: прошлое, настоящее, будущее (Обзор) ", *Методы менеджмента качества*. 2001.– No.5. – С. 21-25.
4. Г. В.Дружинин. "Надежность автоматизированных производственных систем"– 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. –480 с.

Стахов О.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Stahov O.O. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі проведений аналіз основних показників балансової надійності (ПБН) з огляду на можливість їх застосування до електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ). Проведені дослідження показали, що, по-перше, ПБН можна розділи на дві групи: відносні показники та іменовані. Більш детальніше було розглянуто відносні ПБН, оскільки вони є більш інформативними. По-друге, розглянуті показники дають не повну інформацію, щодо надійності електричних мереж з ВДЕ, виходячи з цього необхідно розробити додаткових показник для оцінювання балансової надійності електричних мереж. Такий показник повинен ґрунтуватись на визначенні імовірнісних характеристик генерування електростанцій на базі ВДЕ.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, показники балансової надійності, втрата навантаження, імовірнісні характеристики.

ANALYSIS OF EXISTING INDICATORS OF EVALUATION OF BALANCE RELIABILITY OF ELECTRICAL NETWORKS

Abstract

The paper analyzes the main indicators of balance reliability (PBN) in view of the possibility of their application to renewable energy sources (RES). Studies have been carried out so far that, firstly, PBN can be divided into two groups: relative indicators and named. In more detail, relative PBNs were considered, since they are more informative. Secondly, the considered indicators provide incomplete information regarding the reliability of electrical networks with RES, based on which it is necessary to develop additional indicators for assessing the reliability of electrical networks. Such an indicator should be based on the determination of the probabilistic characteristics of generation of RES-based power plants.

Keywords: renewable energy sources, balance sheet reliability, load loss, probabilistic characteristics.

Вступ

Визначаючи пріоритетність розв'язання задач в ЛЕС, визначимо балансову надійність, як надійність ЛЕС, коли її розрахункова модель визначається балансом споживання і генерування електроенергії з врахуванням зовнішнього надходження. Від того, в який спосіб і якими засобами забезпечується балансова надійність, залежить як успішно розв'язуються інші задачі [1–3]. Від балансу активної і реактивної потужності в ЛЕС залежать її техніко-економічні показники [5,6]. На процес балансування потужності в ЛЕС суттєво впливає нестабільність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС.

Нестабільність генерування ФЕС компенсується потужністю, яка поступає в ЛЕС з енергосистеми. Через те умови балансування режиму ЛЕС впливають і на режими ЕЕС. Оптимізації сумісної роботи ЛЕС і ЕЕС присвячено низку робіт. В умовах сьогодення забезпечення балансу покладено суто на централізовану систему електропостачання. Проте, поступово відбуваються зміни в механізмах функціонування енергоринку України, що спонукають власників ВДЕ працювати за заданим графіком, зокрема введення штрафів за недотримання заявленого добового графіка генерування. Для роботи за заданим графіком, потрібно перш за все дослідити потенційні можливості джерел генерування щодо покриття графіка навантаження. На основі статистичних даних з генерування, якщо станція вже експлуатується, або прогнозних щодо вироблення електроенергії, якщо станція ще не введена в експлуатацію, можна отримати вихідну інформацію для визначення потужності резерву, який повинен підтримуватись для забезпечення балансової надійності ЛЕС, або визначення ємності накопичувача.

Метою роботи є аналіз існуючих показників оцінювання балансової надійності електричних мереж

Результати дослідження

Серед існуючих показників балансової надійності (ПБН) [4], можна виділити такі відносні ПБН як $LOLP$, $LOLE$, $LOLH$ та $J_{Д}$, оскільки вони є найбільш інформативними:

- математичне очікування річного недовідпуску електроенергії споживачам $M(\Delta W)$ (за кордоном аналогами є $EUE - Expected Unserved Energy$ або $LOEE - Loss of Energy Expectation$, МВт год/рік);
- математичне очікування компенсаційних затрат від ненадійного електропостачання споживачів (для заданих характеристик питомих затрат y_0) (млн. грн);
- $LOLP$ (*Loss of Load Probability*) – імовірність втрати навантаження (в.о.):

$$LOLP = \sum_{i=1}^T Q_i \sum_{k=1}^N P_{ik} (\Delta P_{ik}), \quad (1)$$

де $Q_i = \frac{1}{T}$ – імовірність ступені графіка навантаження;

P_{ik} – імовірність стану генерувальних потужностей пов'язаних з відмовою агрегатів;

$\Delta P_{ik} = P_{Гik} - P_{Нik} < 0$ – дефіцит потужності в розподільних електричних мережах для k -го випадкового стану генерувальних потужностей;

– $LOLE$ (*Loss of Load Expectation*) і $LOLH$ – тривалість втрати навантаження, відповідно в кількості діб і годин на рік):

$$LOLE = \sum_{i=1}^T Q_i P_{i\text{дiб}} \sum_{k=1}^N P_{ik} (\Delta P_{ik}) \text{ або } LOLH = \sum_{i=1}^T Q_i P_{i\text{год}} \sum_{k=1}^N P_{ik} (\Delta P_{ik}), \quad (2)$$

де $P_{i\text{дiб}}$, $P_{i\text{год}}$ – тривалість i -го періоду, відповідно діб і годин.

Також для оцінки балансової надійності використовують ПБН у вигляді інтегральних ймовірностей появи дефіциту потужності. Вони за своєю фізичною суттю для ЕЕС повністю відповідають показнику $LOLP$.

Для ЕЕС інтегральні ПБН визначаються за допомогою частинних похідних математичного очікування недовідпуску електроенергії для всієї ЕЕС за параметрами системи – оперативним резервам потужності територіальних зон і запасам пропускної спроможності ліній електропередач між ними. В роботі [112] показано, що такі часткові похідні можуть визначатися аналізом двоїстих оцінок (m_j) для j -х параметрів лінійної моделі, які дорівнюють *одиноці* у випадку, коли генерувальна потужність зони, що розглядається, впливає на зміну системного дефіциту потужності, і *нулю* в іншому випадку.

Тому вираз, для визначення інтегральних ймовірностей дефіциту потужності запишеться наступним чином:

$$J_{Дj} = \frac{\partial M[\Delta W]}{\partial R_j} = \sum_{u=1}^U Q_u \sum_{z=1}^Z Q_z \sum_{k=1}^K Q_k m_j^{u,z,k}, \quad (3)$$

де $M[\Delta W]$ – математичне очікування річного об'єму недовідпуску електроенергії, у в.о;

R_j – кількість електроенергії, що має забезпечити джерело резерву для j -ої територіальної зони, у в.о.

Q_u та Q_z – відносний час існування u -того та z -того часового інтервалу зміни навантаження;

Q_k – ймовірність існування k -того випадкового стану системи, що викликане аварійним виходом генерувального обладнання на u -тому сезонному та z -тій добовій зміні навантаження;

$m_j^{u,z,k}$ – двоїста оцінка лінійного програмування (ЛП) для j -ої територіальної зони;

U та Z – кількості відповідно сезонних і добових інтервалів зміни навантаження;

K – кількість випадкових станів ЕЕС, що моделюється статистичними методами.

Однак, перераховані показники: *LOLP*, *LOLE*, *LOLH* та J_d , по-перше, не враховують залежності роботи ФЕС від природних умов, а, по-друге, не дозволяють характеризувати стабільність цих джерел по відношенню до графіка навантаження, оскільки розроблялись для генерувальних потужностей, режим роботи яких є повністю керованим.

Висновки

Отже для електричних мереж, потрібно розробити додатковий показник, який дасть змогу характеризувати стабільність генерування ФЕС, що дозволить оцінити вплив останніх на балансову надійність. Такий показник повинен ґрунтуватись на оцінюванні ймовірнісної природи генерування відновлювальних джерел енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук, І. В. Котилко, "Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії з використанням SMART Grid технологій", Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. - 2014. - № 2. - С. 17-20. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekit_2014_2_6
2. П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, О.А. Ковальчук, "Оптимізація режимів електричних мереж з малими ГЕС в умовах адресного електропостачання", Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 3. – 2010. – С. 31–34.
3. П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, В.В. Кулик, "Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж", Енергетика та електрифікація. – 2015. – №1. – С. 8–12.
4. Ю.Я. Чукреев, "К вопросу нормирования вероятностных показателей балансовой надежности территориальных зон электроэнергетической системы", Науково-технічний збірник. Комунальне господарство міст. Випуск 101. Серія: Технічні науки та архітектура. – Харків: ХНАМГ. – 2011. С. 364-371
5. В. Попов, Е. Ярмолюк, П. Замковой, " Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей", Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2. – Р. 61-68. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.23158.
6. О.В. Кириленко, В.В. Павловський, О.С. Яндульський, А.О. Стелюк, "Керування режимом роботи електростанції з відновлюваними джерелами енергії в умовах зміни частоти в енергосистемі", Технічна електродинаміка. – 2012. – № 4. – С. 52–57.

Колодзійський А. С. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 2E15b.kolodziyskiy@gmail.com

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Kolodziyskiy Andrii S. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine, e-mail: 2E15b.kolodziyskiy@gmail.com

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Зростання частки електроенергії генерованої відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ) в загальному балансі електроенергетичної системи України породжує нові завдання перед спеціалістами галузі. Одним з першочергових завдань є пошук шляхів для інтегрування такого генерування. Одним з широко розповсюджених засобів є застосування концепції Smart Grid. В роботі розглянуто основні засади функціонування даної концепції, досліджено шляхи та засоби інтегрування ВДЕ в електричні мережі.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, технологія Smart Grid, електричні мережі, зелений тариф, ринок електричної енергії України, автоматизація підстанцій і комунікацій

ANALYSIS OF FUNCTIONING OF ELECTRIC NETWORKS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES AT THE SMART GRID CONCEPT BASIS

Abstract

The growth of the share of electricity generated by renewable energy sources (RES) in the overall balance of the electricity grid of Ukraine raises new challenges for industry specialists. One of the top priorities is to find ways to integrate this kind of generation. One of the widespread means is the application of the concept of Smart Grid. The paper considers the main principles of the operation of this concept, explores the ways and means of integrating RES into electrical networks.

Keywords: renewable energy sources, Smart Grid technology, electricity grids, green tariff, Ukrainian electricity market, automation of substations and communications

Вступ

Традиційно електричні мережі проектувалися з розрахунком живлення споживачів виключно від джерел, що мають керований графік видачі потужності: ГЕС, ТЕС, АЕС. В такій системі поява реверсивних перетікань потужності від ВДЕ ускладнює процес керування режимами електричних мереж. Також, складність в керуванні обумовлена тим, що відновлювальні джерела енергії, мають імовірнісний графік видачі потужності (ВЕС, ФЕС). Стабільна робота мережі в цьому випадку забезпечується шляхом інтегрування функцій моніторингу і контролю та засобів узгодження графіків генерування ВДЕ та навантаження.

Основою функціонування електричної мережі на базі концепції Smart Grid є наявність технологічної платформи з великою кількістю комунікацій між процесами генерування, передачі, розподілу та споживання електричної енергії. Відповідно технологічна платформа Smart Grid – це «електричні мережі, що відповідають вимогам ефективного та надійного функціонування енергосистеми. Це забезпечується за допомогою координованої взаємодії та організації двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими пристроями і споживачами».

Метою роботи здійснити аналіз функціонування електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії на базі концепції Smart Grid

Результати дослідження

Концепція Smart Grid розроблялась, перш за все, для забезпечення надійного та безперебійного електропостачання, а також інтегрування електростанцій, що працюють на використанні вітру, сонця, води тощо, в традиційні енергосистеми [1].

В наш час можна виділити 5 основних груп стандартів, що відносять до Smart Grid для енергетичної галузі:

IEC 61970 та IEC 61968 – описують «загальну інформаційну модель» (CIM), необхідну для обміну даними між апаратурою та мережами, насамперед у передавальному секторі (IEC 61970) і розподілі (IEC 61968);

IEC 61850 – сприяє автоматизації підстанцій і комунікацій, так само як і сумісності на основі єдиного формату даних;

IEC 60870-6 – описує інформаційний обмін між центрами управління;

IEC 62351 – вирішує завдання безпеки комунікаційних протоколів, що визначені на основі попередніх стандартів IEC.

Розглянуті стандарти передбачають впровадження таких функціональних властивостей системи :

Самовідновлення під час аварійних ситуацій: енергосистема і її елементи повинні постійно підтримувати свій технічний стан на рівні, що може забезпечити необхідний рівень надійності та якості електропостачання.[2,3]

Мотивація активної поведінки кінцевого споживача: забезпечення можливості споживачам самостійно змінювати об'єм та функціональні властивості (рівень надійності, якості і т.д.) отримуваної електроенергії на основі балансу власного споживання та можливостей енергосистеми на основі інформації про ціни на електроенергію згідно зонного тарифу. Такий механізм функціонує завдяки впровадженню автоматизованих систем керування власним споживанням електроенергії.

Розширення ринків електроенергії: відкритий доступ до ринків електроенергії «активного споживача» (рис. 1), дозволить підвищити конкурентність на ринку електроенергії.

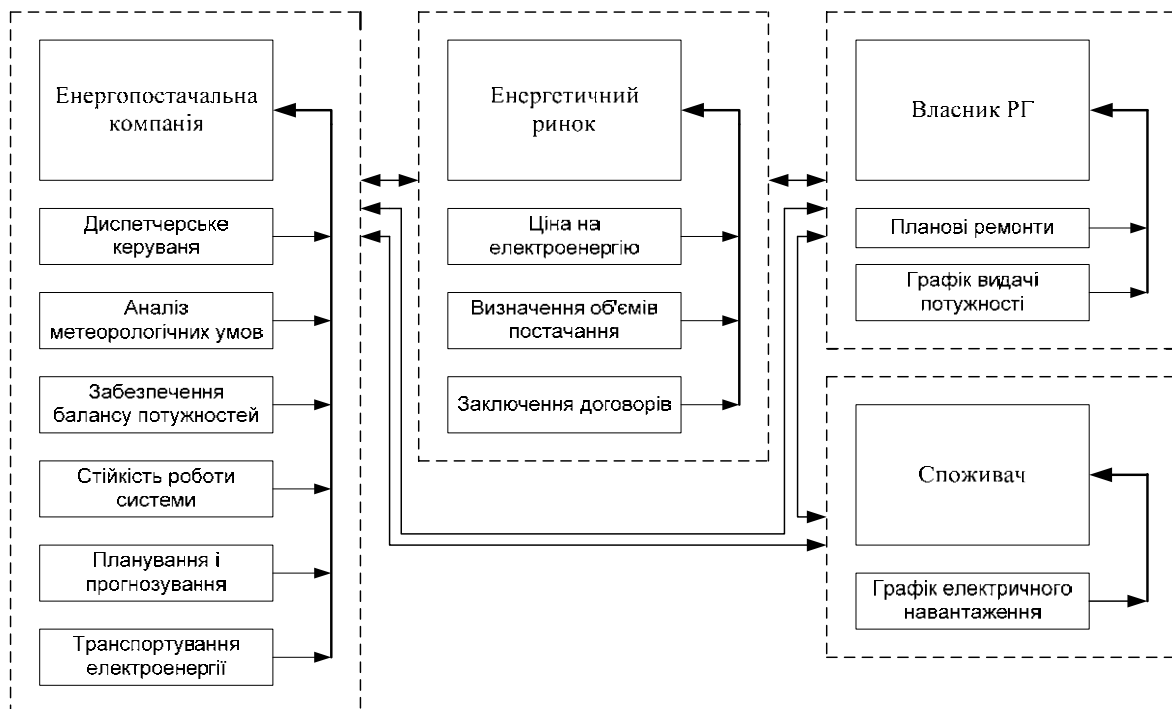


Рис. 1. Модель зв'язку між учасниками енергоринку на базі концепції Smart Grid

В умовах впровадження змін до Закону України «Про ринок електричної енергії України», модель ринку електроенергії (рис. 2) передбачає укладення двосторонніх договорів (позабіржова торгівля) з купівлі-продажу електричної енергії, у той час як на етапі за добу наперед буде організовано централізований ринок.

Регулятор має забезпечувати мінімальну участь на «Ринку на добу наперед», щоб підтримувати достатню ліквідність. Безперервний Внутрішньодобовий ринок (ВДР) повинен бути організований з метою забезпечення більшого хеджування (страхування від небалансів) учасників ринку перед Оператором системи передачі (ОСП). ВДЕ за «зеленим тарифом», так само як ТЕС за регульованим тарифом, укладають договори з Гарантованим покупцем, який бере на себе зобов'язання продавати ці обсяги на оптовому рівні. Наприклад, за двосторонніми договорами та/або на РДН, або/та на ВДР.

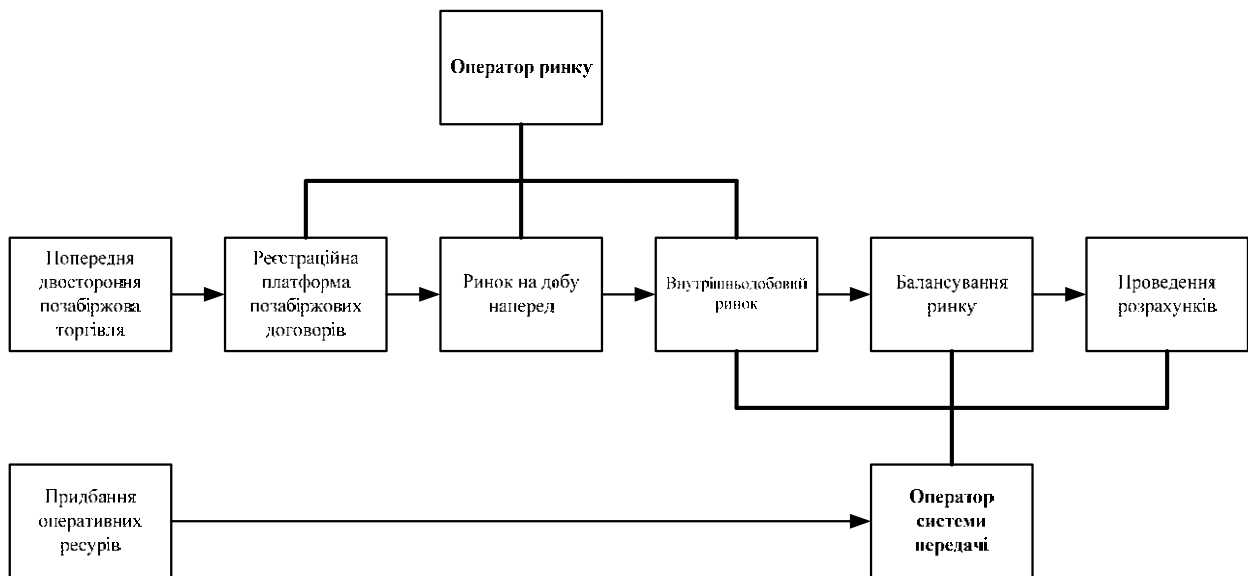


Рис. 2. Модель ринку електроенергії в Україні

Крім того, Гарантований покупець буде зобов'язаним стати Стороною Відповідальною за Баланс (СВБ) перед ОСП щодо обсягів електроенергії, які виробляються виробниками за «зеленим тарифом». Відповідно до Закону «Про електроенергію», приватні сонячні установки домогосподарств, що не перевищують 30 кВт встановленої потужності, укладають договори з постачальниками універсальних послуг. Останні беруть на себе зобов'язання купувати всі обсяги електроенергії, які перевищують відповідне щомісячне споживання домогосподарства, за відповідним «зеленим тарифом».

Для цілей виставлення цих обсягів на оптових сегментах ринку постачальники універсальних послуг завжди будуть враховувати відповідні обсяги в межах власних потреб споживання, тобто ці обсяги будуть сальдовані з навантаженням (підхід від'ємного навантаження).

Поступове збільшення частки електроенергії, що генерована ВДЕ, в балансі ОЕС України суттєво впливає на роботу електричних мереж. Виходячи з цього, потрібно здійснити оцінювання нестабільності генерування ВДЕ для: по-перше, можливості прогнозування обсягів генерування ВДЕ, зокрема ФЕС, з достатньою точністю на добу наперед; по-друге, розробити методи узгодження такого генерування з графіком навантаження споживача.

Оптимізація керування активами: перехід до моніторингу виробничих активів в режимі реального часу, інтегрованому в системи керування, для підвищення ефективності режимів роботи і вдосконалення процесів експлуатації, ремонтів і заміни обладнання за його поточним станом і, як наслідок, зниження загальносистемних витрат.

Можливість протистояти негативним збуренням в роботі енергосистеми: наявність спеціальних методів забезпечення стійкості і живучості, що знижують фізичну і інформаційну вразливість всіх складових енергосистеми.

Наявність різних типів електростанцій, зокрема на базі ВДЕ і систем акумулювання електроенергії: оптимальне інтегрування електростанцій на відновлювальних джерелах енергії в електричні мережі та узгодження їх роботи з графіком навантаження.

Висновки

Використання технології Smart Grid в наш час є ефективною та доцільною. Формування нових умов функціонування ринку електроенергії, дозволяє поряд з дією «зеленого тарифу» залучати нові інвестиції для розбудови ВДЕ. Ця концепція має змогу забезпечити високий рівень надійності та якості електроенергії за рахунок зміни системноорієнтованого підходу (system-based approach) і забезпечити ці властивості клієнтоорієнтованими (customer – based) і підтримувати різні рівні надійності і якості електроенергії в різних цінових сегментах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.В. Кириленко, І.В. Трач, "Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації", *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – 2009. – Вип. 24. – С. 3-7. ISSN 1727-9895
2. В. В. Павловський, А. О. Стелюк, О. В. Ленґа, А. М. Захаров, "Моделювання інерційного відгуку в ОЕС України в умовах значної частки електростанцій на відновлюваних джерелах енергії", *Технічна електродинаміка*. - 2015. - № 4. - С. 53-56. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED_2015_4_11.
3. Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк, "Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні" *Техн. електродинаміка* – 2011. – №5 – С. 52–67. – ISSN 1607-7970

Богатюк М.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bogatyuk1998@gmail.com

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net

Bogatyuk Maxim O. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: bogatyuk1998@gmail.com

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проаналізовано конструктивні особливості та режими роботи силових трансформаторів . Розглянуто вимірювання й аналізи при діагностиці трансформаторів

Ключові слова: трансформатор , обмотка, діагностика, регулювання під навантаженням.

Abstract

The structural features and operating modes of power transformers are analyzed. The measurements and analyzes in the diagnostics of transformers are considered

Keywords: transformer, winding, diagnostics, regulation under load

Вступ

На сьогоднішній день в Україні значна частина силових трансформаторів відпрацювала власний нормативний термін служби. Економічна ситуація, а також загальна кількість устаткування з тривалим терміном служби не дозволяють найближчими роками провести їх заміну. Досвід експлуатації силових трансформаторів показує, що після нормативного терміну служби значна частина трансформаторів зберігає свою здатність за умов дотримання допустимих навантажувальних режимів, своєчасного проведення ремонтів і якісного їх виконання. Рішення про доцільність і можливість продовження експлуатації силових трансформаторів і автотрансформаторів, які відпрацювали власний нормативний термін служби, залежить, передусім, від стану основних його елементів, а також масла для масляних трансформаторів, що перебувають у нормальному стані. Останніми роками в енергетиці спостерігається тенденція послідовного переходу від системи планово- попереджувальних ремонтів до ремонтів за дійсним технічним станом електроустаткування, як це заведено в розвинених країнах. Як показав досвід експлуатації силових трансформаторів, проведення планово-попереджувальних ремонтів і їх попереднього комплексного обстеження призводить не тільки до суттєвих матеріальних витрат, але й до погіршення характеристик ізоляції.

Результати дослідження

Усі вимірювання й аналізи при діагностиці трансформаторів умовно можна розділити на 5 груп.

Перша група містить у собі традиційні вимірювання на відключеному трансформаторі: вимірювання tgd і R ізоляції обмоток і вводів, опору обмоток постійному струму, втрат неробочого ходу й опору КЗ для контролю механічного стану обмоток після протікання наскрізних струмів короткого замикання. Усі ці вимірювання, як правило, регулярно виконуються експлуатаційним персоналом.

Друга група вимірювань проводиться на трансформаторах при робочій напрузі в режимі найбільших навантажень і (або) неробочого ходу. Тут виділяють наступні роботи:

1. Вимірювання часткових та інших електричних розрядів. Одним з можливих напрямків контролю часткових розрядів у процесі роботи силового трансформатора є їх реєстрація з використанням спеціальних датчиків реєстрації електромагнітних імпульсів, встановлених на фазних вводах і на виводі нейтралі трансформатора. Реєстрація часткових розрядів і викликаних ними сигналів високочастотних випромінювань можлива гальванічним і антенним методами.

2. Акустичне обстеження бака трансформатора з метою визначення джерел електричних розрядів. Для цього використовуються два типи приладів: 1) система запису акустичних сигналів за допомогою п'єзодатчиків, осцилографа й комп'ютера; 2) локація акустичних сигналів за допомогою перетворювача Ultrarob-2000, що дозволяє оперативно визначати звукову частоту джерел механічного характеру, іскрових або дугових розрядів.

3. Вібраційне обстеження трансформатора з метою визначення відносного рівня пресовки обмоток і магнітопроводу, загальної міцності конструкції. При цьому визначається відносно значення пресовки, найбільша величина якої дорівнює 1. Чим менше це значення, тем нижче рівень пресовки. Стан пресовки обмоток і магнітопроводу вважається незадовільним при коефіцієнтах, близьких до 0,7.

4. Визначення стану маслонасосів системи охолодження. Методика заснована на аналізі спектра коливань поверхні бака.

5. Термографічне обстеження бака трансформатора, вводів радіаторів, термосифонних фільтрів, електричних двигунів і маслонасосів системи охолодження, контактних з'єднань. Варто відзначити, що, для оцінки стану силових трансформаторів тепловізійний контроль не одержав ще широкого розповсюдження через дорожнечу обладнання й неопрацьованості технології одержання інформаційних і достовірних результатів. Однак у міру оснащення енергосистем сучасними тепловізорами проведення цього виду випробувань стає виправданим, оскільки не вимагає зупинення й відключення обладнання, є нетрудомістким і допомагає виявляти дефекти на ранніх стадіях їх розвитку.

Третя група – це фізико-хімічні аналізи масла з бака, маслонаповнених вводів, контактора РПН. Серед них – велика група традиційних вимірювань, які широко застосовуються в експлуатації (вимірювання пробивної напруги, кислотного числа і т.д.).

Четверта група – це вимірювання систем безперервного контролю (моніторингу) ізоляції вводів і щоденні вимірювання основних показників роботи трансформатора.

П'ята група аналізів проводиться для трансформаторів, у яких за результатами перших чотирьох груп вимірювань планується проведення капітального ремонту. До цієї групи належить визначення ступеня полімеризації паперової ізоляції, прямі вимірювання її вологовмісту й міцності.

Висновки

Проведений аналіз показав, що сучасний розвиток методів технічної діагностики силових трансформаторів дозволяє вірогідно виявити дефекти конструктивних елементів трансформаторів на ранній стадії їх розвитку. Це у свою чергу дозволяє відмовитися від системи планово-попереджувальних ремонтів і перейти до системи обслуговування трансформаторів "за станом".

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Современные методы комплексной диагностики силовых трансформаторов 35 кВ и выше [Электронный ресурс] // Информационно-справочное издание «Новости электротехники» – 2006 – №2(38). – Режим доступа до журн.: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/16.php>.

2. Шевченко В.П. Трансформатори: [навчальний посібник] / В. П. Шевченко, Л. Я. Белікова. - Одеса: АО Бахва, 2001. – 128 с.

3. СОУ 40.1-21677681-07:2009 Трансформатори силові. Типова інструкція з експлуатації – Київ, 2009.

Залізник Іван Юрійович — студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — канд., техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Zaliznyak Ivan Y. - student Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya

Supervisor: **Netrebsky Volodymyr V.** - Cand., Sc. Sciences, Associate Professor of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya.

ВИКОРИСТАННЯ ТИПОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ У ЗАДАЧАХ ДОСТОВЕРІЗАЦІЇ ДАНИХ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

ПАТ «Вінницяобленерго»¹
Вінницький національний технічний університет²

Анотація

Запропоновано використання типових графіків навантаження для підвищення інформативності математичної моделі оцінки стану розподільної електричної мережі. Наявність достовірної інформації про режими розподільних електричних мереж дозволить підвищити ефективність провадження електроощадних заходів в умовах недосконалості вихідної інформації та адресного енергопостачання споживачів.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, оцінка стану, комерційний облік електроенергії, електроощадні заходи, типовий графік навантаження.

Abstract

It is proposed to use typical load schedules to increase the informativeness of the mathematical model of the state estimation of the distributive electric network. The availability of reliable information on the modes of distribution electric networks will increase the efficiency of the implementation of economical measures in the conditions of imperfect source information and address power supply consumers.

Keywords: distributive electric network, state estimation, commercial electricity accounting, energy saving measures, typical load schedule.

Вступ

Ефективне виконання завдань забезпечення фінансових взаєморозрахунків потребує точної та достовірної інформації про обсяги спожитої електроенергії. Оскільки інформація про вимірювання в системах обліку надходить через певні періоди часу, існує можливість використовувати математичні моделі й методи для оцінювання належного функціонування системи обліку та оцінювання достовірності комерційних вимірювань в реальному масштабі часу.

В теорії оцінювання стану (ОС) розроблено декілька підходів для аналізу достовірності вимірюваної інформації. Класична для електроенергетики задача ОС [1-4] використовує в якості рівнянь стану рівняння усталеного режиму, засновані на базових законах електротехніки – законі Ома і законах Кірхгофа. В якості змінних до цих рівнянь входять потоки активної й реактивної потужності, струми й напруги, а також параметри заступної схеми електричної мережі, які вважаються умовно-постійними. Струми, напруги, потоки активної й реактивної потужностей є телевимірюваними [1]. Режим електричної мережі, що характеризується цими параметрами, відноситься до миттєвого зрізу часу й постійно змінюються. Наслідком цього є необхідність постійного оновлення поточної інформації про параметри режиму. Тому задача ОС повинна розв'язуватись з використанням синхронізованих у часі миттєвих значень телевимірювань протягом певних повторюваних періодів часу.

У розподільних електричних мережах основним джерелом вимірювань є автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Системи АСКОЕ покликані надавати надійну та своєчасну інформацію про облік електроенергії на підставі якої можуть бути проведені фінансові розрахунки між суб'єктами ринку.

Використання достовірної інформації щодо обліку електроенергії дозволить виконувати оцінювання ефективності експлуатації розподільних електричних мереж, ранжувати елементи електричної мережі за критеріями енергоефективності та розробляти ефективні електроощадні заходи.

Однак, на сьогоднішній день встановлення систем АСКОЕ у розподільних мережах є досить ви-

тратним, тому у більшості випадків облік електроенергії проводиться з використанням традиційної системи. Звітним періодом в подібних системах є місячний інтервал, а збір показників проводиться за участі персоналу служби комерційного обліку електроенергії розподільних електричних мереж або споживачів. Такий спосіб збору й оброблення комерційних вимірів є джерелом для помилок і спотворень комерційних даних. Крім того, агрегування інформації призводить до неможливості виокремлення найбільш витратних елементів електричних мереж та ранжування їх за критеріями енергоефективності.

З метою створення належного інформаційного забезпечення та підвищення достовірності інформації про облік електроенергії в роботі пропонується використання усереднених за часом та сукупністю електроприймачів типових графіків навантаження (ТГН) аналогічних за режимом роботи споживачів [5]. Значення навантаження типового графіка, як правило, нормується відносно максимального значення й подається у відсотках. Традиційно ТГН використовувались під час електричних розрахунків для складання балансу потужності, проектування електричних мереж, а також для розрахунків технологічних витрат електроенергії, пов'язаних з її транспортуванням та розподілом електричними мережами.

Відповідно до [5] кожному ТГН відповідає код споживача – джерела цього ТГН згідно КВЕД-2010. Це дозволяє відносити конкретного споживача до того чи іншого ТГН.

Результати дослідження

Особливості режимів роботи розподільних електричних мереж та недостатня кількість вимірювань у реальному часі, не дозволяють безпосередньо перенести методи оцінки стану електроенергетичних систем на розподільні електричні мережі.

На сьогодні, апаратна частина інформаційного забезпечення розподільних електричних мереж складається, в основному, з вимірювальних пристроїв встановлених на вводах трансформаторних підстанцій та головних ділянках фідерів, що не забезпечує необхідної спостережності. Відповідно до сукупності вимірюваних параметрів у розподільних мережах, їх точності та можливості синхронізації, для оцінки стану доцільно застосовувати підходи, що базуються на методі найменших квадратів та використовують рівняння стану мереж у формі балансу струмів, як функції вузлових напруг в полярних та прямокутних координатах.

Метод оцінки стану на основі методу найменших квадратів базується на лінеаризації взаємозв'язку між вимірюваннями та змінними стану електричної мережі. Нелінійні співвідношення між вектором стану та вимірними електричними змінними можна подати у такому вигляді:

$$z = h(x) + v$$

де z – вектор вимірних параметрів; x – змінні стану; $h(x)$ – векторна функція, яка пов'язує вимірювання з змінними стану; v – неточність вимірювань або шум у вимірах. Для формування вектору стану x можна використовувати декілька комбінацій змінних.

Цільова функція у загальному вигляді записується так:

$$\begin{aligned} J(x) &= [z - h(x)]^T W [z - h(x)] \\ &= \sum_{i=1}^m \frac{[z_i - h_i(x)]^2}{\sigma_i^2} \end{aligned}$$

де σ – стандартне відхилення кожного вимірювання; $W = \text{diag} [\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2]^{-1}$ – обернена діагональна матриця середньоквадратичних відхилень очікуваних помилок вимірювання.

Зазвичай за змінні стану приймають модуль та кут напруг у вузлах електричної мережі, а у якості вимірюваних параметрів використовують активну та реактивну потужності у вузлах та/або вітках.

Доповнення вектору вимірних параметрів z інформацією з типових графіків навантаження для неспостережених вузлів дозволить підвищити спостережність електричної мережі без додаткових фінансових витрат. Таким чином одержання надійної та точної оцінки стану розподільної електричної мережі з використанням ТГН є актуальною науковою-технічною задачею, що потребує подаль-

шого дослідження.

Висновки

Застосування наявних вимірювань АСКОВЕ, інформації про види економічної діяльності споживачів, що міститься у білінгових системах та типових графіків навантаження відповідно до [5] створює умови для оцінювання стану розподільних електричних мереж.

Наявність достовірної інформації про режими розподільних електричних мереж створює передумови для підвищення ефективності розроблення електроощадних заходів в умовах недосконалості вихідної інформації та адресного енергопостачання споживачів завдяки вдосконаленню математичних моделей та застосуванню технологій комп'ютерних експертних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кочнева Е. С. Использование методических подходов теории оценивания состояния для расчета и достоверизации потоков электрической энергии в сетях / Е. С. Кочнева, А. В. Паздерин, В. О. Самойленко // *Электричество*. - 2014. - №10. - С. 12-21.
2. Tarafdar Hagh M. Improving bad data detection in state estimation of power system / M. Tarafdar Hagh, S. M. Mahaei, K. Zare // *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. - 2011. - Vol.1. - №2 - P. 85-92.
3. Mili L. Least median of squares estimation in power systems / L. Mili, V. Phaniraj, P. J. Rousseuw // *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. - 1991. - Vol.6. - №2. - P.325-339.
4. Гамм А. З. Оценивание состояния в электроэнергетике / А. З. Гамм, Л. Н. Герасимов, И. И. Голуб и др. - М.: Наука, 1983. - 302 с.
5. Буславець О.А. Типові графіки електричних навантажень у 3D зображенні / О. А. Буславець, А. О. Квицинський, Л. Н. Кудацький, С. Я. Меженний, Л. В. Мойсеєнко // *Енергетика та електрифікація*. – 2016.– № 2. – С. 2–12.

Томашевський Юрій Васильович — директор з інформаційних технологій, ПАТ «Вінницяобленерго», м. Вінниця

Бурикін Олександр Борисович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кулик Володимир Володимирович — доктор техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Tomashevsky Yuriy V. - Director of Information Technologies, PJSC "Vinnytsyaoblenergo", Vinnytsya

Burykin Oleksandr B. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : mr.burykin@mail.ru

Kulyk Volodymyr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджено наслідки від перетікання реактивної потужності в розподільних електричних мережах, а також заходи по її компенсації.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності; розподільні електричні мережі.

Abstract

The consequences of reactive power flow in distribution electric networks and events of its compensation were investigated in this work.

Keywords: reactive power compensation; distribution electric networks.

Вступ

Планування режимів роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) повинне враховувати як технічні (підтримання балансу активної та реактивної потужностей в розподільних електричних мережах (РЕМ) і оптимізація розосередженого генерування активної і реактивної потужностей), так і економічні (отримання максимального прибутку від продажу електроенергії) особливості функціонування суб'єктів енергосистеми [1].

Основним нормативним показником підтримки балансу активної потужності в кожен момент часу є частота змінного струму, яка служить загальносистемним критерієм. А основним нормативним показником підтримки балансу реактивної потужності – рівень напруги – місцевий критерій, який для кожного вузла навантаження і кожного ступеня номінальної напруги істотно відрізняється. Тому на відміну від балансу активної потужності необхідно забезпечити баланс реактивної потужності не тільки в цілому в енергосистемі, але і у вузлах навантаження. І тому, де і як протікає реактивна потужність по мережі, залежить режим її роботи.

Результати дослідження

Реактивна потужність – це потужність, яку джерело змінного струму протягом однієї чверті періоду віддає в зовнішнє електричне коло, що володіє реактивним опором, а протягом іншої чверті періоду отримує її назад. Характеризує енергію, що не споживається в зовнішньому електричному колі, а коливається між зовнішнім колом і джерелом, тобто ємнісну і індуктивну енергію, що тимчасово накопичується, а потім віддається джерелу. Ця енергія, необхідна для створення електромагнітного поля, за допомогою якої проводиться транспорт активної енергії.

Реактивна енергія не здійснює ніякої роботи, тому її неможливо розглядати як самостійний товар. До того ж електричні станції не продають реактивну потужність компаніям, які займаються транспортуванням електроенергії.

Реактивна енергія лише створює умови, при яких активна енергія здійснює роботу. Проте, ця "обмінна" енергія завантажує електричні мережі, віднімаючи деяку частину пропускної спроможності елементів мережі, приводить до додаткових втрат активної енергії і чинить вплив на рівні напруги на шинах споживачів.

Підвищення енергоефективності вироблення, передачі і споживання електроенергії дозволить істотно знизити собівартість електроенергії і тарифи на споживчому ринку.

Для зниження втрат активної потужності від передачі реактивної потужності до споживача і їх компенсації в грошовому вигляді була впроваджена «Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами» [2]. Обґрунтову-

валась методика з метою стимулювання компенсації реактивної потужності (КРП) на місці її споживання, встановленням джерел реактивної потужності (найбільш поширеними є конденсаторні установки). За недокомпенсовану реактивну потужність споживачі платять значні кошти, створюючи інвестиційний фонд для фінансування проектів з компенсації реактивної потужності в мережах електропостачальної організації (ЕО). На жаль, як показує практика, рівень компенсації не змінився.

Як відомо, електроенергія – це товар, який має свою якість. Якість електроенергії повинна відповідати вимогам ГОСТ 13109-97 [3]. Сьогодні споживача цікавлять питання якості електроенергії і надійності електропостачання. Одним із заходів у цьому напрямі є контроль і управління реактивною потужністю з боку ЕО.

Електропостачальна організація, не маючи деколи повної інформації про режими роботи електроустановок споживачів, і не маючи можливості впливати на них, не можуть добитися повного контролю над процесом управління реактивною потужністю. Це приводить до абсолютно негативних наслідків, як для енергосистеми, так і для споживачів. По-перше, недотримання споживачами встановлених норм по коефіцієнту реактивної потужності створює додаткові втрати для енергосистеми, а по-друге, зниження пропускної спроможності мереж погіршує технічні показники роботи мережевої компанії і створює ризик припинення електропостачання для споживачів. Щоб зрозуміти суть процесів, що протікають в конкретній електромережі, потрібна достовірна технічна інформація. Для цього необхідно проводити моніторинг параметрів електромережі, знімаючи і фіксуючи спеціальними приладами одночасно декілька десятків характеристик електромережі з інтервалом в доли секунди (струми, напруга, активні, реактивні і повні потужності по кожній фазі, tgφ, гармонійний склад мережі і так далі). Отриману інформацію необхідно обробляти, аналізувати, і лише після цього можна буде з упевненістю сказати, що за процеси протікають в електромережі, найголовніше, де, яким чином і скільки потрібно компенсувати реактивної потужності, щоб електроенергія, що отримується від постачальника, мала необхідні показники якості, і витрачалася найекономічнішим чином на потреби споживача.

Це можливо реалізувати за допомогою системи автоматичного керування, побудованої з використанням *Smart Grid* технологій. Автоматизація керування із застосуванням *Smart Grid* технологій, дозволить вдосконалити процес електропостачання і керування енергосистемою. Наявність оптимізованих двосторонніх комунікаційних зв'язків в електричних мережах дозволить енергопостачальним компаніям знизити втрати електроенергії в мережах і підвищити ефективність генерування, транспортування та споживання електроенергії [4].

Висновки

Застосування пристроїв компенсації реактивної потужності та автоматизація керування ними із застосуванням *Smart Grid* технологій дозволить підвищити пропускну спроможність діючих ліній електропередач і трансформаторів у РЕМ та покращити техніко-економічну ефективність роботи ЕЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
2. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 17.01.2002 р. № 19. – 30 с.
3. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Кобец Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова // – М.: ИАЦ Энергия, 2012. – 208 с.

Півнюк Юрій Юрійович — асистент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Брацлавський Вячеслав Леонідович — студент групи 1Е-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: g71034@ukr.net

Pivniuk Yurii Yu. — assistant of the Department of Electrical stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bratslavskyi Viacheslav L. — Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : g71034@ukr.net

АНАЛІЗ ТЕМПІВ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ГЕНЕРОВАНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ В ОЕС УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі проаналізовано темпи збільшення одиничної потужності генерування фотоелектричних станцій в об'єднаній енергосистемі України загалом, та Південно-західній електроенергетичній системі зокрема. Проведена робота дозволяє здійснювати подальше оцінювання впливу такого генерування на функціонування електричних мереж енергосистеми.

Ключові слова: електричні мережі, темпи збільшення, відновлювальні джерела генерування, втрати потужності, якість електроенергії.

ANALYSIS OF THE TEMPLE GROWTH OF ELECTRICITY OF GENERATED RENEWABLE ENERGY SOURCES IN UES OF UKRAINE

Abstract

The paper analyzes the pace of increasing the unit capacity of generation of photovoltaic energy sources in the combined power grid of Ukraine as a whole, and the Southwest power system in particular. The work carried out allows to carry out further assessment of the influence of such generation on the functioning of electric grids of the grid.

Keywords: electric networks, growth rates, renewable sources of generation, power losses, electricity quality

Вступ

Світова електроенергетика традиційно розвивалася шляхом централізації систем генерування створенням все більш потужного енергетичного обладнання та його об'єднання в енергетичні комплекси. Як наслідок, були сформовані великі територіально протяжні енергетичні системи: європейська ENTSO-E, ОЕС України та інші[1-3]. В останні роки спостерігається стійка тенденція до зміни загальної концепції розвитку енергетики. Мова йде про впровадження нової ідеології – енергетики сталого розвитку. Одним з основних елементів такої ідеології є впровадження джерел розподіленого генерування (РГ) – енергетичних установок невеликої потужності. Широке розповсюдження джерел РГ пов'язано також з розвитком відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ). Серед останніх найбільш розповсюдженими є вітрові електростанції (ВЕС), сумарна потужність яких в світі станом на 2015 рік становила 356 ГВт, та сонячна енергетика. Частка сонячної енергії у світовому електроспоживанні нині становить 280 ГВт – близько 2% потужності споживання.

Метою роботи є оцінювання темпів збільшення генерування ФЕС в енергосистемі України загалом, та Південно-західній електроенергетичній системі зокрема.

Результати дослідження

Україна досить інтенсивно нарощує об'єми електричної енергії, що виробляється на фотоелектричних станціях (ФЕС) (див. рис. 1). Переважна частина ФЕС під'єднуються до розподільних електричних мереж. Це зумовлено, з одного боку технічними особливостями, а з іншого, фінансовими можливостями. Під'єднання фотовольтаїчних електростанцій до розподільних мереж призводить до того, що ці мережі набувають властивостей електричної системи зі всіма перевагами і недоліками. В такому випадку розподільні електричні мережі з джерелами розосередженого генерування, зокрема ВДЕ, логічно буде називати локальними електричними системами (ЛЕС).

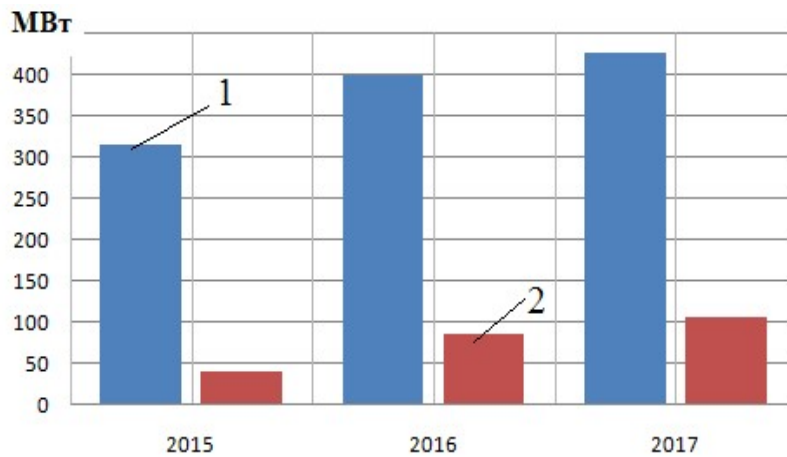


Рис. 1. Приріст установленної потужності ФЕС за останні роки (МВт): по ОЕС України (1) та ПАТ «Вінницяобленерго» (2)

Розбудова ВДЕ, зокрема ФЕС, відбувається нерівномірно в межах України. Так, за даними Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), на початок 2017 року майже чверть потужності ФЕС під'єднано до мереж ПАТ «Вінницяобленерго» (див. рис. 1). Очевидним є і те, що по районах Вінницької області теж розподіл нерівномірний. Це призводить до появи ЛЕС зі значною потужністю відновлювальних джерел електроенергії. Відсоток навантаження, яке покривається ВДЕ, може досягати в окремих районах 20%. Враховуючи особливості таких джерел енергії, необхідно розробити методи і засоби для визначення їх впливу на надійність електропостачання, зокрема балансову та забезпечення економічності передавання електроенергії та її якості.

Висновки

Відновлювальні джерела енергії мають великий вплив на роботу електричних мереж, зокрема розподільних. Завдяки цьому частина РЕМ набуває властивостей, характерних для локальної електричної системи.

Зростання генерування ВДЕ, породжує нові проблеми, до яких теперішні підходи в експлуатації діючих електричних мереж є застарілими. В основу розвитку існуючих та побудови нових ЕМ покладено концепцію SMART Grid, функціонування якої добре зарекомендувало себе за кордоном.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, "Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах", *Технічна електродинаміка*. 2011. – №1. – С. 46 – 53. ISSN 1607-7970.
2. О. В. Кириленко, А. В. Праховник, "Енергетика сталого розвитку: виклики та шляхи побудови", *Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск*. – 2010. – С. 10–16. – ISSN 1727-9895
3. Renewables 2012 global status report [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журналу: http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012_low.pdf.

Барановський С.В — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Stahov O.O. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕНЕРУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМНІ ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проаналізовано вплив генерування сонячних електростанцій на режимні параметри роботи електричних мереж. Зокрема до уваги бралася залежність місця під'єднання сонячної електростанції (СЕС) при оцінюванні додаткових втрат потужності та електроенергії внаслідок функціонування СЕС. Також встановлено залежність між потужністю генерування СЕС та зміною напруги у вузлі схеми.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, сонячні електричні станції, якість електричної енергії.

Abstract

In this work the influence of solar power generation on the power parameters of electric networks operation is analyzed. Particular attention was paid to the dependence of the junction of the solar electric stations (SES) in the assessment of additional losses of power and electricity due to the operation of the SES. Also, the relationship between the generation power of the SES and the voltage change in the node of the circuit is established.

Keywords: renewable energy sources, solar power station, quality of electric energy.

Вступ

Україна досить інтенсивно нарощує об'єми генерування електричної енергії, що виробляється на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) загалом та на сонячних електричних станціях (СЕС), зокрема. Приріст встановленої потужності СЕС по ОЕС України та ПАТ «Вінницяобленерго» в період з 2015 року по початок 2017 року становив 120 МВт та 60 МВт, відповідно.

Результати дослідження

Переважна частина генерувальних потужностей СЕС під'єднуються до розподільних електричних мереж (РЕМ). В деяких РЕМ електроенергія генерована СЕС покриває більше 20% навантаження. Це вимагає диспетчерський персонал рахуватись з такими джерелами при веденні режиму роботи електромереж.

Поряд з цим, до уваги слід брати й те, що генерування СЕС має досить суттєвий вплив на якість електричної енергії. По-перше, генерування СЕС призводить до збільшення дози флікера, що може відбуватися при різкій зміні потужності генерування, введенні чи/або виведенні потужних ВДЕ, взаємодії між ВДЕ та регулюючими пристроями. По-друге, відновлювальні джерела енергії можуть бути джерелами гармонік високих порядків. По-третє, ВДЕ впливають на коливання напруги на шинах підстанції (ПС), до якої вони під'єднані (рис.1).

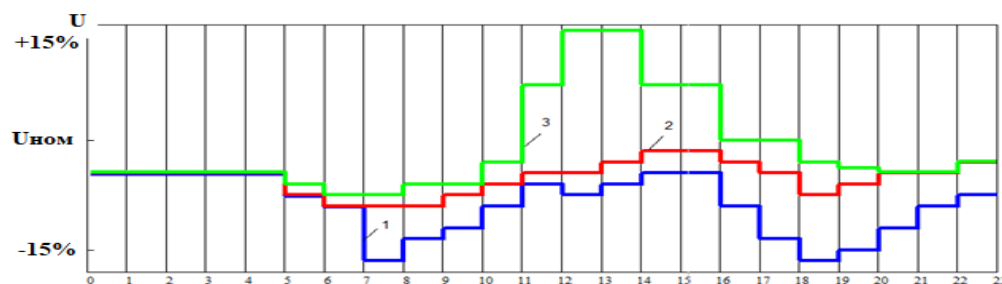


Рис.1. Зміна рівнів напруги на шинах ПС: 1 – без ВДЕ; 2 – з потужністю ВДЕ співрозмірною з потужністю навантаження; 3 – відхилення напруги у вузлі з потужністю ВДЕ більшою за потужність навантаження.

Перераховані вище фактори, впливають на несинусоїдальність кривої напруги, що призводить до скорочення терміну експлуатації вартісного силового обладнання, що в свою чергу може призвести до непередбачуваних відмов, елементів електричної мережі, та збільшити тривалість та кількість перерв в електропостачанні. Виходячи з цього, необхідно розробити методи та засоби оцінювання впливу генерування СЕС на технічний стан силового обладнання електричних мереж.

Добовий графік електричних навантажень нерівномірний, і потужність генерування ВДЕ залежить від погодних умов, тривалості світлового дня, тому також змінюється протягом доби. Щоб врахувати вказані зміни, доцільно перейти до оцінювання втрат електроенергії. На рис. 2 та 3, як приклад, наведено залежності втрат активної потужності для тестової 14-ти вузлової схеми IEEE, від потужності генерування ВДЕ, встановлених в різних вузлах.

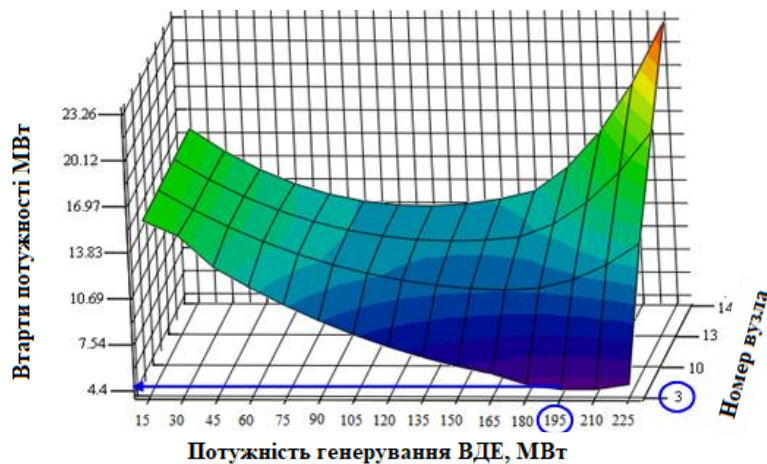


Рис. 2. Залежність зміни втрат активної потужності в ЕМ з врахуванням нестабільності генерування СЕС

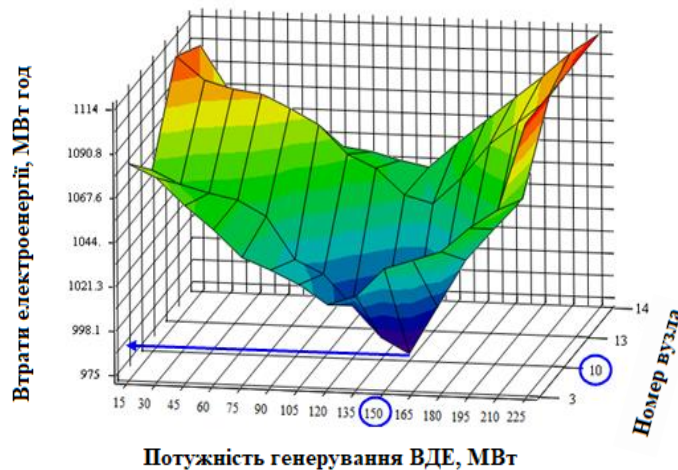


Рис.3. Графічна залежність зміни втрат електроенергії в ЕМ з врахуванням змін добового графіка електричних навантажень.

Висновки

Проаналізувавши залежності (рис. 2) та (рис. 3), можна зробити висновок, що вузол під'єднання та встановлена потужність ВДЕ, яка забезпечує мінімум втрат активної потужності для поточного режиму, може змінюватись внаслідок врахування природної нестабільності генерування джерела (рис. 2) та змін добового графіка електричних навантажень (рис. 3). Виходячи з цього, для визначення потужності ВДЕ, оптимальної за критерієм мінімуму втрат електроенергії, потрібно проаналізувати зміну потужності ВДЕ протягом доби та оцінювати нерівномірність добового графіка навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.В. Кириленко, І.В. Трач, "Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації", *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – 2009. – Вип. 24. – С. 3-7. ISSN 1727-9895
2. Ю.І. Тугай, В.В. Козирський, О.В. Гай, В.М. Бодунов, "Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів", *Технічна електродинаміка*. – 2011. – № 5. – С. 63-67. ISSN 1607-7970
3. В. В. Павловський, А. О. Стелюк, О. В. Ленґа, А. М. Захаров, "Моделювання інерційного відгуку в ОЕС України в умовах значної частки електростанцій на відновлюваних джерелах енергії", *Технічна електродинаміка*. - 2015. - № 4. - С. 53-56. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED_2015_4_11.

Прокопенко Ігор Олександрович – аспірант, асистент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет.

Науковий керівник: Лежнюк Петро Дем'янович – доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри електричних станцій і систем; Вінниця, Україна; e-mail: lezhpd@gmail.com.

Prokopenko Igor O. – postgraduate, Assistant Professor of Department of Electrical Systems and Stations, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: Lezhniuk Petro D. – Dr. Sc. , Professor, Head of Department of power plants and systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine.; e-mail: lezhpd@gmail.com.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ В СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В роботі проведено дослідження дефектів в силових трансформаторах та виявлено основні причини їх виникнення. Розроблено узагальнену систему класифікації дефектів в силових трансформаторах.

Ключові слова: дефект, силовий трансформатор, ізоляція, діагностування.

Abstract. The investigation of defects in power transformers was shown in this work. Also it was found the main reasons for their appearance. I was developed a generalized classification system for defects in power transformers.

Keywords: defect, power transformer, isolation, diagnostics.

Вступ

Останніми роками в Україні спостерігається збільшення споживання електричної енергії та, як наслідок, зростання навантаження на електроенергетичне обладнання. У той же час велика кількість потужних силових трансформаторів, які є важливим та дороговартісним обладнанням, експлуатуються з перевищенням призначеного ресурсу (розрахункового терміну служби). Багато фахівців відзначають, що замінювати трансформатор після закінчення його терміну експлуатації (25 - 30 років) в більшості випадків недоцільно [1-3]. Це спричинено тим, що, якщо умови роботи обладнання впродовж терміну експлуатації відповідали розрахунковому, а навантаження не перевищувало номінальних значень, велика ймовірність того, що стан його твердої ізоляції (основний параметр, що визначає реальний термін служби трансформатора) після завершення призначеного ресурсу залишається задовільним [4].

Для забезпечення необхідного рівня надійності роботи енергосистеми, при подальшій експлуатації обладнання, особливу увагу приділяють контролю його технічного стану. Таким чином, на сучасній стадії розвитку енергетики підвищується актуальність питань дефектів силових трансформаторів.

Результати дослідження

Однією з основних складових частин сучасних електричних систем є силові трансформатори, сумарна потужність яких у зв'язку з багаторазовою трансформацією електричної енергії в 5-6 разів перевищує генераторну потужність. Силовий трансформатор - це електричний апарат, для виробництва якого потрібні дороговартісні матеріали: електролітична мідь, високоякісна холоднокатана електротехнічна сталь, трансформаторна олива високого ступеня очищення та ін.

Незважаючи на те, що проектування і виробництво силових трансформаторів в Україні проводилося на рівні, що не поступається кращим зарубіжним фірмам, в експлуатації вони вимагають виконання комплексу профілактичних заходів: хроматографічних аналізів масла, електричних випробувань, поточних і капітальних ремонтів та ін .

В зв'язку з тим, експлуатація силових трансформаторів проводилася і проводиться не завжди належним чином, а також через фізичне і моральне старіння обладнання, ймовірність аварій силових трансформаторів на сьогоднішній день досить висока. Це може призвести до:

- втрати об'єкта, як матеріальної цінності або потреби великих інвестицій на відновлення обладнання;
- ймовірності "ефекту доміно", коли аварійний процес впливає на сусіднє обладнання та навколишнє середовище;
- перервою в електропостачанні споживачів.

Остання обставина в умовах ринкової економіки може супроводжуватися значним збитком, що в підсумку може перевищити економічні втрати від перших двох причин. Проблема посилюється тим, що в сучасних електричних мережах обладнання вичерпало свій нормативний ресурс або знаходиться на стадії завершення свого терміну експлуатації. Таким чином, можна стверджувати, що будь-які дослідження і розробки, спрямовані на підвищення надійності експлуатації старіючого трансформаторного обладнання, є актуальними [5].

Забезпечення надійності роботи трансформатора в процесі його експлуатації досягається за рахунок застосування захисних і конструкційних елементів, а також проведення необхідного регламентного обслуговування шляхом відповідних випробувань. Аналіз класифікації дефектів в

будь-якому об'єкті може проводитися різними способами, кожен з яких, з одного боку, по-своєму інформативний, а з іншого боку, обмежений. В силових трансформаторах дефекти можуть класифікуватися наступним чином:

- за часом розвитку: раптові, уповільнені і т.д.;
- за місцем прояви: торцеві котушки обмотки НН, нижня балка магнітопровода і т.д.;
- за функціональним принципом: підвищені поля розсіювання, значні циркулюючі струми і т.п.;
- за відхиленням характеристик матеріалів від нормованих значень і порушень технологічних процесів: порушення цілісності листів електротехнічної сталі, порушення геометричних розмірів охолоджуючих каналів обмоток, неправильне виконання транспозиції обмоток і т.д.;
- за прорахунками в проектуванні: неточність теплового розрахунку обмоток, неврахування підвищених полів розсіювання на кришці бака і т.д.;
- проявам процесів старіння: утворення шламу в маслі, тепла деструкція поздовжньої ізоляції і т.д.

В автоматизованих системах діагностики [6] класифікація дефектів повинна сприяти послідовному залученню різних діагностичних методів для найбільш достовірного та економічного їх виявлення і оцінки ступеня небезпеки, а також для максимально точної локалізації місця дефекту.

Дослідження дефектів в силових трансформаторах та аналіз різних запропонованих класифікацій в [7-9] показав, що такі класифікації мають ряд недоліків. Зокрема, в [7] класифікація дефектів в силових трансформаторах зводиться до двох груп – теплових та електричних дефектів, що не враховує всього різноманіття можливих пошкоджень в трансформаторі. Логічна схема класифікації дефектів трансформаторів, яка наведена в [8] не пов'язує пошкодження з конкретними конструктивними елементами трансформатора. В [9] дефекти в значній мірі дублюються для кожної конструктивної системи трансформатора.

З урахуванням розглянутих класифікацій в роботі запропоновано використовувати узагальнену систему класифікації дефектів (рис.1), в якій виключені такі недоліки, розглянуті в [7-9]. Така система класифікації дефектів силових трансформаторів в більшості випадків виявляється достатньою для оцінки стану трансформатора на першому етапі діагностування.



Рис.1 - Узагальнена система класифікації дефектів силових трансформаторів

Висновок

Запропонована узагальнена система класифікації дефектів силових трансформаторів, в якій зроблена спроба виключити виявлені в інших підходах недоліки, дозволяє розділити аномальні процеси, що визивають дефект, та конструктивні елементи трансформатора. Така система класифікації враховує ряд найчастіших дефектів силових трансформаторів та причин їх виникнення. Серед найпроблемніших визначено такі дефекти в силових трансформаторах, як: порушення ізоляції між паралельними вітками, витік оливи, порушення головної та поздовжньої ізоляції, порушення системи очищення оливи. Класифікація внутрішніх пошкоджень трансформаторів показала, що надійність сучасного трансформатора в значній мірі визначається його ізоляцією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Современные методы комплексной диагностики силовых трансформаторов 35 кВ и выше [Электронный ресурс] // Информационно-справочное издание «Новости электротехники» – 2006. – №2(38). – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/16.php>.
2. Сазыкин В.Г. Организационные аспекты эксплуатации изношенного электрооборудования / В.Г. Сазыкин // Промышленная энергетика. – 2000. - №4. – С.28-35.
3. Эксплуатация силовых трансформаторов [Электронный ресурс] // Электроэнергетика - Режим доступа: http://forca.com.ua/instrukcii/pidstancii/ekspluatsiya-silovyh-transformatorov_5.html.
4. Савваитов Д.С., Тимашова Л.В. Техническое состояние основного оборудования подстанций и ВЛ и мероприятия по повышению надежности. - Электрические станции, 2004, № 8. - С.14 - 18.
5. Объем и нормы испытаний электрооборудования: / Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. - 6-е изд., с изм. и доп. РД 34.45- 51.300-00.М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. - 256 с.
6. Компьютерная система диагностики трансформаторного оборудования / Л.В. Виноградова, Е.Б. Игнатьев, В.Н. Ларионов и др.. / Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем: Труды ИГЭУ / ИГЭУ. – Иваново, 1997. – С.203-208.
7. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворённых в масле: / Утв. Департаментом научно-технической политики и развития РАО "ЕЭС России" 12.12.2000; Разраб. департамент АО ВНИИЭ, ЗАО "Изолятор". Срок действ, установлен с 01.01.2001. - М.: АО ВНИИЭ, 2001. - 42 с.
8. Турин В. В., Соколов В. В. Обследование силовых трансформаторов в эксплуатации // Электротехника. - 1994. - № 9. - С. 43-18.
9. Классификация дефектов в силовых масляных трансформаторах / Л. Виноградова, Е. Б, Игнатьев, Т. Лхамсурэнгийн, Г. В. Попов //Высоковольтная техника и электротехнология / ИГЭУ. - Иваново, 1999. - С. 14-21.

Хавтурко Віталій Васильович — студент групи 1Е-14б, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Khavtyrko Vitalii Vasylovych - student of 1E-14b group, Department of electricity, electromechanics and electrical engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia.

Біоенергетика в Україні: проблеми розвитку, перспективи виробництва та використання біогазу

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто питання поточного стану, існуючих бар'єрів та перспектив розвитку біоенергетики в Україні. Показано можливість, важливість і актуальність використання біомаси як палива.

Ключові слова: біоенергетика, біопаливо, відновлювальна енергетика, сектор біоенергетики.

Abstract

Considered the question of the current state and prospects of existing barriers to bioenergy development in Ukraine. Highlited possibility of the importance and relevance of using biomass as fuel.

Keywords: Bioenergy, biofuels, renewable energy, bioenergy sector.

Вступ

В останні роки суттєво зросла цікавість підприємців, інвесторів та громадськості до біоенергетики, яка базується на відновлювальних біологічних ресурсах. При цьому більш перспективним напрямком визнається отримання електроенергії з відходів тваринництва і рослинництва. В умовах стрімкого росту цін на енергоресурси зацікавленість в таких проектах цілком зрозуміла та логічна, адже в країнах Центральної та Південної Європи подібні електростанції з великим успіхом використовуються вже більше двох десятиліть [1-2].

Загальне виробництво енергії з біогазу в Україні згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 р в порівнянні з 2015-м році передбачається збільшити майже в 4 рази (в перерахунку на електрику). Це дозволить до 2020 р довести обсяги заміщення природного газу біопаливом (включаючи біогаз) до 7,2 млрд. м³/ рік. Однак щоб досягти заявлених цілей при сьогоdnішніх показниках використання біомаси для виробництва енергії необхідно збільшити нинішню швидкість впровадження біогазових установок майже в 1,4 рази. За оцінкою Німецької ради з питань біогазу (Biogasrat e.V., Берлін, Німеччина) загальний потенціал заміщення природного газу біометаном в Україні сягає 26,5 млрд. м³/ рік. При цьому, за даними Держенергоефективності, на весь опалювальний сезон 2016 - 2017 рр. Україні знадобиться 16,4 млрд. м³ газу [3].

Електроенергетичні аспекти застосування біогазової технології

При частці метану 45-50% біогаз теоретично демонструє енергетичний потенціал в розмірі 5 кВт·год/м³. При використанні біогазу забезпечується наступний вихід енергії:

- в формі монотонного палива з отриманням електроенергії – 34-36%;
- в формі котельного палива 89-93%;
- в формі моторного палива з забезпеченням когенерації (одночасного вироблення) теплової, електричної енергії 74-88%.

До ряду найбільш перспективних проектів в даний час відносять когенераційні електростанції, функціонуючі на базі мікротурбінного обладнання. Цікавість до подібних установок викликана їх унікальними технічними властивостями, наприклад, можливість їх роботи без газопідготовки. Мікротурбінне обладнання, що функціонує в когенеративному режимі, дозволяє майже на чверть збільшити ефективність використання палива і вдвічі знизити експлуатаційні витрати (в порівнянні з традиційним газопоршневим обладнанням).

Ще більш перспективним і економічно вигідним варто визнати виробку електроенергії з біологічного газу з використанням паливних елементів. В даному випадку забезпечується пряме перетворення газу в електроенергію, яке не потребує його спалювання. Крім більш високої екологічної чистоти процесу досягається більш високий його ККД. Паливні елементи в даному випадку є простими комірками (своєрідними акумуляторами), в яких проходять хімічні реакції горючих речовин з окислювачами. Внаслідок цих реакцій виробляється електрика. Однак до кінця завдання ефективного використання біологічного газу в паливних елементах не вирішено, оскільки їх мембрани піддаються руйнуванню внаслідок дії речовин які містяться в біогазі [4].

Іноземна наукова періодика свідчить про те, що в даний час дослідження, пов'язані з пошуком матеріалів для виконання мембран, знаходяться в завершальній стадії. Зокрема, встановлено, що малу сприйнятливість до забруднення мають високотемпературні матеріали. Присутність CO₂ в складі біогазу (15-50%) дозволило німецьким фахівцям застосувати при виробництві електроенергії паливні компоненти групи MCFC, здатні функціонувати в середовищі, створюваному біогазом. На катод таких компонентів, що мають ККД 49%, подається біогаз, а на анод – кисень [5].

Показник собівартості отримання з біологічного газу за схемою когенерації 1 кВт·год електричної енергії становить 0,8-0,12 грн. Однак, якщо застосовувати газ виключно для вироблення електрики, то його

собівартість перевищить собівартість мережевої електроенергії приблизно на 35%. Набагато вигідніше забезпечити переробку відходів на біогазову установку із забезпеченням одночасного отримання:

- газу;
- тепла;
- електроенергії;
- палива для автомашин;
- біологічних добрив.

Що стосується інвестиційного аспекту виробництва електроенергії з біогазу, то капітальні витрати на 1 кВт базової потужності біогазової установки знаходяться в діапазоні € 2000-4500 і залежать від типу біомаси і розмірів установки. Станції значної потужності (понад 10 МВт), що функціонують на цукровому жомі або жирових відходах, демонструють капітальні витрати на 1 кВт в розмірі близько € 1500-1800. Капітальні витрати на малі станції (до 1 МВт), які застосовують гній ВРХ, можуть досягати € 7000 НА 1 кВт [6].

Ефективність застосування біологічного газу в істотній мірі залежить від параметрів нерівномірності споживання енергії. Якщо обсяги генерації газу можуть бути досить стабільними і протягом року, і протягом доби, то електроенергетичні навантаження піддаються принципових змін. Як підсумок, при спаді споживання обсяг одержуваного біологічного газу буде надлишковим, а при пікових навантаженнях – недостатнім [7].

У проєктах, які передбачають вироблення електроенергії з біогазу, потрібно вирішувати проблеми, пов'язані з нарощуванням ККД застосування газу. У цьому сенсі до перспективних напрямків відносять:

- збагачення біологічного газу з метою застосування його в вигляді моторного палива для техніки;
- акумуляцію в газгольдерах зайвого біогазу в моменти спаду споживання.

Оцінка потужностей виробництва біогазу в Україні

Оцінка загального обсягу споживання (встановлена потужність, валове виробництво електроенергії), очікуваного з кожного джерела відновлюваної енергії (ВДЕ) в Україні, визначає, що, для досягнення обов'язкових індикативних цілей Національного плану дій, з нинішніх 330 ГВт·год енергії (показник на 01 Січня . 2016 г.) до 2020 р потрібно досягти величини 1270 ГВт · год теплової та електричної енергії, виробленої з біогазу.

На діаграмі рис. 1 наведена оцінка зростання загальної встановленої потужності біопаливних енергетичних установок в Україні, МВт, включаючи біогазову енергогенерацію, і частку біомаси в енергетичних балансах від всіх видів поновлюваних джерел енергії (тверде паливо та біогаз). Вона показує, що при колосальному наявному потенціалі виробництва біогазу в Україні, частка виробництва енергії з біомаси не перевищить 11,5%, а частка енергії з біогазу з 0,3% в 2014 р підніметься до 2020 році лише до 4,88% від загальної кількості енергії з ВДЕ.



Рисунок 1 – Збільшення виробництва енергії з біомаси в Україні

"Зелений тариф" і виробництво біогазу в Україні

Мотивуючі заходи для збільшення виробництва біогазу в Україні передбачені законодавчо і встановлені в так званому "Зеленому тарифі", який відноситься тільки до виробництва електрики з відновлюваних джерел, ігноруючи можливості з виробництва теплової енергії з біогазу.

Після внесення 16 липня 2015 року змін до закону "Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії" від 4 червня 2015 року діє новий порядок величини "зеленого тарифу", визначений у євро до 2030 р [2].

Цими змінами тариф для електростанцій, що виробляють електрику з біогазу і біомаси, був встановлений однаковим і тепер дещо збільшений. Зараз ціна закупівлі електроенергії, виробленої з біомаси та біогазу в Україні, за "зеленим тарифом" в залежності від часу введення установки в експлуатацію, становить:

- для установок з виробництва електроенергії з біогазу в Україні, введених в експлуатацію до 31/12/2016 р. - 0,1239 євро за кВт-год;
- з 1/01/2017 до 31/12/2019 - 0,1239 євро за кВт-год;
- з 1/01/2020 до 31/12/2024 - 0,1115 євро за кВт-год;
- з 1/01/2025 до 31/12/2029 - 0,0991 євро за кВт-год.

«Зелений тариф» за електроенергію, вироблену на тих станціях, які були введені в експлуатацію в минулі роки, буде залишатися незмінним. Таким чином, закон стимулює виробників будувати в Україні установки по виробництву електрики з біогазу прискореними темпами, щоб мати можливість скористатися підвищеною ставкою тарифу.

Законодавство України також встановило в ст. 197.16 Податкового кодексу України звільнення від сплати ПДВ за обладнання, матеріали та комплектуючі для виробництва енергії з ВДЕ, ввезені на митну територію України, а згідно зі ст. 282 Митного кодексу України вони звільнюються також від ввізного та вивізного мита. Перелік таких товарів повинен встановлюватися Кабінетом Міністрів України, чого досі не зроблено. Ще одна пільга - ст. 213.2.8. Податкового кодексу України звільняє від акцизу продаж електроенергії, виробленої на «кваліфікованих» когенераційних установках та з відновлюваних джерел енергії.

Зміни в закон "Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії" змінили порядок визначення так званої "Місцевої складової", ввівши надбавки в межах 5% і 10% до тарифу за використання складових українського виробництва понад 30% і 50% відповідно за умови введення таких об'єктів електроенергетики з ВДЕ в експлуатацію в період з 01/07/2015 по 31 / 12/2024 р.

Складові прибутковості інвестицій у виробництво біогазу в Україні

Біогаз виникає в результаті бродіння практично будь-яких видів біомаси. Це горючий газ, що складається за обсягом на 50 - 70% з метану, на 25 - 50% з вуглекислого газу, на 0,1 - 10% з водяної пари, на 0,01 - 5% з азоту (0,01-5 V -%), на 0,01 - 2% з кисню, водню (0 - 1%), аміаку (0,01 - 2,5 мг / м³) та сірководню (10 - 30000 мг / м³).

Зміст основного пального компонента - метану - в біогазі багато в чому залежить від використовуваного сировини і особливостей процесу бродіння. Для виробництва біогазу в Україні можуть бути використані всілякі органічні відходи тваринництва і м'ясопереробки, гній і пташиний послід, відходи цукрового, пивної і зернової промисловості, відходи і продукти лісового господарства, спеціально вирощені енергетичні рослини, мул стічних вод, газ при дегазації звалищ сміття і багато інше (рис. 2).

Від виду використовуваного сировини залежить і кількість одержуваного біогазу. Наприклад, з тони гною великої рогатої худоби утворюється 50 - 65 м³ біогазу, а з тони кукурудзяного силосу можна зробити 230 - 250 м³ біогазу. Тому середня вартість обладнання для виробництва біогазу сильно різниться в залежності від обсягів переробки та виду сировини. За оцінкою НАУ для установок середньої потужності (до 1000 кВт) величина інвестицій в обладнання знаходиться в межах 800 - 6000 євро за 1 кВт встановленої потужності (в перерахунку на електроенергію) при терміні окупності від 6 до 9 років з урахуванням «зеленого тарифу» і до 12 - 15 років без нього.

Крім можливості отримувати електроенергію, виробництво біогазу забезпечує отримання теплової енергії та високоякісних органічних добрив (т. зв. «дигестатів»), теж є джерелами прибутку.



Рисунок 2 – Потенціал щорічного виробництва біогазу в Україні за оцінкою НАУ за видами сировини

Висновки

Україна має величезний потенціал виробництва біогазу. Незважаючи на це, за даними Голови Держенергоефективності (SAEE) С. Савчука, станом на 1 листопада 2016 року, в Україні налічувалося всього 12 промислових біогазових установок, в той час як у Німеччині їх число зараз перевищує 9500 одиниць. За оцінкою експертів НАУ і SAEE, головним фактором, що стримує виробництво біогазу в Україні та його повсякденне використання, є фактична відсутність доступу до загальних комунальних тепломереж, що не дозволяє використовувати надлишкову теплову енергію, отриману на когенераційних і теплових станціях на біогазі за межами власної інфраструктури цих підприємств. Також фактично відсутні нормативно-правова база, технічні вимоги та інфраструктура для підключення підготовленого біогазу (нормалізованого, доведеного до якості природного газу) до загальних газорозподільних мереж, подібно до того, як це питання визначено для електроенергії з ВДЕ. До сих пір є складнощі із землевідведенням для окремих спеціалізованих, неаграрних підприємств. Невирішені також організаційно-правові питання по використанню біогазу, отриманого при дегазації звалища сміття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Annual Statistical Report on the contribution of biomass to the energy system in the EU27. Prepared by AEBIOM. - 2011.
2. Аналитическая записка БАУ №1 «Место биоэнергетики в проекте обновленной Энергетической стратегии Украины до 2030 года». Режим доступа: www.uabio.org/activity/uabio-analytics.
3. Блюм Я.Б., Гелетуа Г.Г., Григорук И.П. и др. Новейшие технологии биоэнергоконверсии. – К.: «Аграр Медиа Групп», 2010. – 326 с.
4. Svitlana Trybush, Willow for Energy: Myths and Reality. Proc. Of 8th International Conference on Biomass for Energy, 25-26 September 2012, Kyiv, Ukraine.
5. Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI столітті», Кудря С.О., Резцов В.С., Київ - 2016.
6. Гелетуа Г.Г., Железная Т.А., Трибой А.В. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 2 // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36, №5. – С. 73-80.
7. Ткаченко С.Й. Методичні основи моделювання системи термостабілізації реактора біогазової установки / Ткаченко С.Й., Степанов Д.В., Резидент Н.В. // Праці за матер. IV всеукр. наук.-техн. конф. «Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві». – Вінниця. – 2001. – С. 137-141.

Владислав Анатолійович Гриник — студент гр. 1Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kurtcobain14.04.1997@gmail.com.

Vladyslav A. Hrynyk —student of 1E-14 group, department of electromechanics and electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : kurtcobain14.04.1997@gmail.com.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Було проведено дослідження взаємного впливу типових генераторів і енергосистеми на струми короткого замикання.

Ключові слова: генератор, струм, система, коротке замикання.

Abstract

The research of the mutual influence of typical generators and the power system on short-circuit currents was carried out.

Keywords: generator, current, system, short circuit.

Для наближеного розрахунку періодичної складової струму короткого замикання в будь-який момент перехідного процесу широко застосовується метод типових кривих, який заснований на використанні спеціальних кривих $I_{nt} / I'' = f(t)$ в залежності від електричної віддаленості точки короткого замикання [1].

Однак проблема розрахунку значно ускладнюється у випадку паралельної роботи генераторів з електричною системою і наявності спільного зв'язку з точкою короткого замикання через загальний опір $x_{заг}$ (рис.1, а).

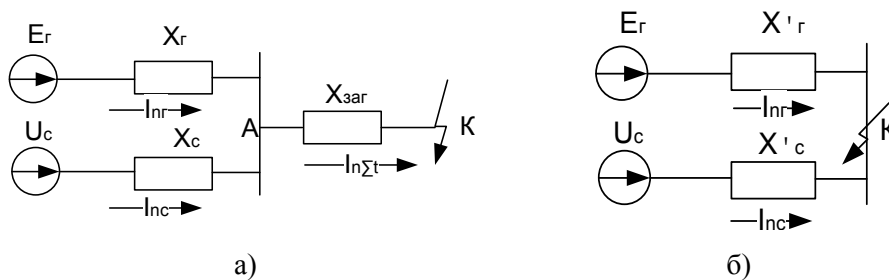


Рис.1. Початкова (а) і спрощена (б) схеми заміщення електричної мережі

Наявність спільного з'єднання (т. А) різномісних джерел призводить до суттєвого перерозподілу струму короткого замикання на протязі перехідного процесу і потребують індивідуального їх врахування. В сучасних літературних джерелах взаємний вплив генераторів і енергосистеми враховують різними способами:

- за рахунок використання допоміжних типових кривих [1];
- за допомогою перетворення початкової схеми заміщення (рис. 1,а) в спрощену схему двопромевої зірки (рис. 1, б).

В спрощеній схемі заміщення еквівалентні значення опорів x_2 та x_c визначається з урахуванням дійсних величин ЕРС генераторів і напруги системи або за умови їх рівності [2].

Проведені розрахунки результуючого струму короткого замикання $I_{n\Sigma t}$ різними способами дозволив зробити їх порівняльний аналіз і визначити можливий діапазон використання більш точних і наближених методів розрахунку. Розрахована відносна похибка величини струму в залежності від співвідношення x_c / x_2 і часу перехідного процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТОНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен. - Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000. - 597с.
2. Готман В. И. Короткие замыкания и несимметричные режимы в электроэнергетических системах. - Томск, 2011. - 240 с.

Кушнір Денис Сергійович – студент групи 1Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1e.14b.kyshnir@gmail.com

Андрієнко Тетяна Вікторівна – студентка групи 1Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 1e.14b.andrienko@gmail.com

Науковий керівник: **Свиридов Микола Павлович** – канд. техн. наук, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

Kyshnir Denys S.- Department of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsa, e-mail: 1e.14b.kyshnir@gmail.com

Andrienko Tetyana V.- Department of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsa, e-mail: 1e.14b.andrienko@gmail.com

Supervisor: **Sviridov Nikolay P.** - Cand. Sc. (Eng), Professor of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsa

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовані літературні джерела в яких відображені різні дефекти СТ. Запропоновано використовувати комп'ютерне моделювання магнітопроводу та обмоток СТ для ефективного дослідження пошкоджень СТ.

Ключові слова: силовий трансформатор, частота, частотний аналіз, регулятор під навантаженням.

Abstract

The damage of power transformers (PT) of domestic and foreign production was investigated. Analyzed literary sources in which various defects of PT are displayed. It is proposed to use computer simulation of magnetic circuit and PT windings for effective investigation of damages of PT.

Keywords: power transformer, frequency, frequency analysis, regulator under load.

Вступ

Енергетика в сучасних умовах – це сукупність ряду складних систем по генерації та перетворенню енергетичних ресурсів, виробітку, передачі, та використанню всіх видів енергії.

На сьогоднішній день електроенергетичні компанії почали все більше використовувати FRA аналізатори, які виявляють пошкодження силових трансформаторів на ранній стадії їх розвитку [1]. Однак існуюча методика визначення таких дефектів полягає в порівняльному аналізі амплітудо-частотних характеристик (АЧХ) та фазочастотних характеристик (ФЧХ) діагностованих трансформаторів. Дані характеристики отримуються під час попереднього та поточного діагностування [2]. В той же час відсутність попередніх характеристик унеможливорює порівняльний аналіз. Враховуючи те, що вимірювання цих характеристик здійснюється на виведеному з роботи трансформаторі, то потрібен тривалий час для накопичення бази даних про АЧХ (ФЧХ) експлуатованих трансформаторів [3]. Велика частина електрообладнання пропрацювало 25 і більше років. Економічно виправданим є експлуатація такого обладнання, якщо воно нормально функціонує за умов застосування комплексного діагностичного дослідження його стану, яке потрібно вдосконалювати та впроваджувати в експлуатацію.

Результати роботи

Аналіз літературних джерел дав можливість визначити частотні діапазони в яких найбільш інформативно, на АЧХ та ФЧХ відображаються характерні дефекти силових трансформаторів, наприклад: 0,2÷2 кГц – пошкодження осердя; 2÷10 кГц – пошкодження осердя та обмотки; 10÷40 кГц – пошкодження обмотки; 0,4÷1 МГц – пошкодження заземлення; 1÷5 МГц – неправильне приєднання щупів [4]. Також досліджено математичну та комп'ютерну моделі обмотки, які дозволяють визначити вплив осьових та радіальних деформацій обмоток на їх АЧХ та ФЧХ. Результати дослідження наведені на рис. 1.

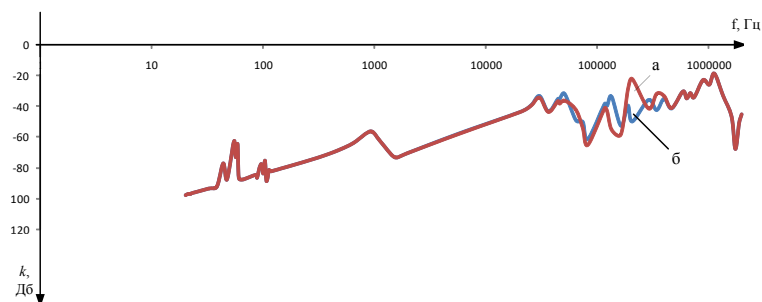


Рисунок 1 – Виміряні АЧХ двох одностипних силових трансформаторів ТМН-6300/35 (а) трансформатор що не має пошкоджень, а у іншого (б) – є осьовий зсув витків обмотки

Висновки

Метод виявлення деформацій обмотки силових трансформаторів полягає у порівнянні між собою графіків АЧХ, ФЧХ не деформованої і деформованої обмоток. З метою досліджень ефективності такого порівняння доцільно використовувати не лише фізичні, математичні моделі обмотки та магнітопроводу, а і комп'ютерні моделі, користуючись відомим програмним забезпеченням, наприклад таким, як MatLab Simulink.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптимальне керування нормальними режимами ЕЕС з урахуванням технічного стану трансформаторів із РПН [Електронний ресурс] / Лежнюк П. Д., Рубаненко О. С., Казьмірук О. І. // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – №4. – 9 с.
2. K. Ragavan, L. Satish, Localization of changes in a model winding based on terminal measurements: experimental study, IEEE Trans. Power Deliv. 22 (July) (2015) 1557–1565.
3. Рубаненко, О.Є. Визначення дефектів трансформаторного обладнання з використанням частотних діагностичних параметрів / О. Є. Рубаненко, М. П. Лабзун, М. О. Гришук // Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення всучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2017. – № 23 (1245). – С. 41-46.
4. Рубаненко, О.Є. Виявлення пошкоджень обмоток та магнітопроводу силових трансформаторів за допомогою FRA-ANALYZER / О. Є. Рубаненко, М. О. Гришук, А. О. Матвєєв // Проблеми і перспективи енергозбереження в комунальному господарстві та на промислових підприємствах, Матеріали доповідей 4 Всеукраїнського наукового семінару. – Луцьк: ЛНТУ. – 2017. – С. 94-96.

Матвєєв Андрій Олександрович – магістрант групи ЕС-17м, факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця e-mail: andrej_m2000@ukr.net

Науковий керівник: **Рубаненко Олександр Євгенійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет. Вінниця e-mail: rubanenkoae@ukr.net

Andriy O. Matveyev - Master of the ES-17m group, Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia e-mail: andrej_m2000@ukr.net

Rubanenko Alexander Yevheniovych - associate professor of the department of electric power stations and systems, candidate of technical sciences, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: rubanenkoae@ukr.net

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА СТАДІЇ ПЕРЕДПРОЕКТНИХ РОЗРАХУНКІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Доповідь присвячена аналізу впливу відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж з використанням натурно-імітаційного моделювання.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, електричні мережі, режими роботи, взаємовплив.

Abstract

The report is devoted to the analysis of the influence of renewable energy sources on the functioning of distribution electric networks using simulation.

Keywords: renewable energy sources, electrical networks, operating modes, interactions.

Вступ

В останні роки в Україні швидко зростає частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячних електростанцій прямого перетворення. Зумовлено це тим, що у країні запроваджено низку стимулів для сприяння інтеграції джерел енергії, які зменшують викиди парникових газів та економлять енергетичні ресурси. Сьогодні вже немає сумнівів, що розвиток відновлюваної енергетики є безповоротним та безальтернативним процесом в Україні [1].

Однак важливим аспектом інтегрування ВДЕ є безпека, надійність та ефективність функціонування електричної системи, зокрема розподільних електричних мереж (ЕМ), адже переважна більшість ВДЕ України експлуатується саме в розподільних мережах. У випадку, коли генерування ВДЕ узгоджене з навантаженням ЕМ, ефективність експлуатації останніх підвищується.

Проте часто проектні рішення щодо приєднання ВДЕ виявляються технічно недосконалими через бажання зменшити вартість реалізації. Так, недоліки проекту, закладені ще на етапі передпроектних умов та видачі технічних умов на приєднання ВДЕ певної встановленої потужності потребують для виправлення надмірних капіталовкладень і, зазвичай, не усуваються. Це призводить до негативного впливу джерел на режими мереж та електроспоживання через їх обмежену пропускну здатність у місці приєднання ВДЕ, перевантаження силових трансформаторів тощо. Отже, актуальною проблемою є впровадження засобів для комплексного оцінювання потенційного впливу ВДЕ на надійність та енергоефективність електромереж на стадії передпроектних досліджень.

Метою роботи є вдосконалення підходу для оцінювання ефективності приєднання відновлюваних джерел до електромережі з урахуванням їх впливу на втрати потужності та якість електричної енергії.

Результати дослідження

Зростання встановленої потужності ВДЕ призводить до переходу від суто централізованого до комбінованого електропостачання споживачів, коли частку електроенергії виробляють розосереджені джерела. Така ситуація спостерігається, наприклад, у окремих електромережах Ямпільського району, де максимальна потужність генерування відновлюваних джерел перевищує 50% максимальної потужності суміжного електроспоживання. Через це змінюються напрямки та характер перетікань електроенергії, що впливає на режим напруг, якість електроенергії та економічність її транспортування.

Введення в експлуатацію сонячних електростанцій: 1700 кВт у с. Слобода-Бушанська, 3260 кВт у с. Цекинівка та 2720 кВт у с. Гальжбіївка, призвело до локального перевищення генерування над споживанням протягом 5-12 годин на добу. А це створює принципово нові умови роботи розподіль-

них мереж, які вимагають дослідження.

Ці умови ускладнюються ще й тим, що графіки вироблення електроенергії ВДЕ, зокрема сонячними станціями, практично не співпадають з графіками електроспоживання сільських районів, до мереж яких вони приєднані. Отже, результати дослідження взаємовпливу засобів генерування та споживачів лише за максимальними, або середніми потужностями виявляються хибними, навіть у разі застосування поправочних коефіцієнтів.

Для отримання необхідного обсягу інформації та оцінювання на стадії передпроектних розрахунків впливу функціонування відновлюваних джерел електроенергії на режими ЕМ, пропонується використовувати натурно-імітаційне моделювання. Сутність підходу полягає у поєднанні результатів вимірювання параметрів ЕМ та імітаційних розрахунків аналогічних параметрів за типовими псевдовимірними параметрами генерування ВДЕ, або електроспоживання. На даний момент, враховуючи сучасний стан інформаційного забезпечення енергопостачальних компаній України, це виявляється єдиним дієвим підходом для вирішення проблеми дослідження взаємовпливу ВДЕ не лише на етапі передпроектних розрахунків, але й на стадії експлуатації ВДЕ [2].

На стадії проектування дані щодо графіків навантаження та генерування ВДЕ відсутні. У методиках оцінювання втрат електроенергії передбачено їх врахування за допомогою коефіцієнтів форми. Однак значно кращий результат забезпечує імітація зміни навантаження та генерування за типовими графіками [3].

Представлення типових графіків навантаження та генерування ВДЕ у програмному комплексі «ВТРАТИ» подано на рис. 1. Їх використання на стадії передпроектних розрахунків та техніко-економічного обґрунтування дозволяє враховувати відмінність графіків для різних вузлів навантаження та генерування та імітувати режими роботи електромереж, близькі до реальних.

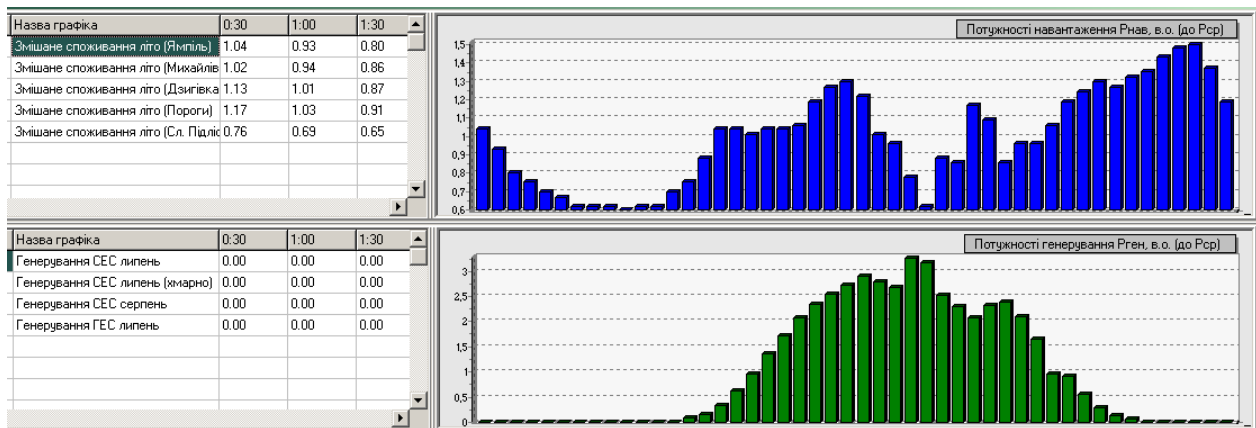


Рис. 1. Характерні графіки навантаження та генерування

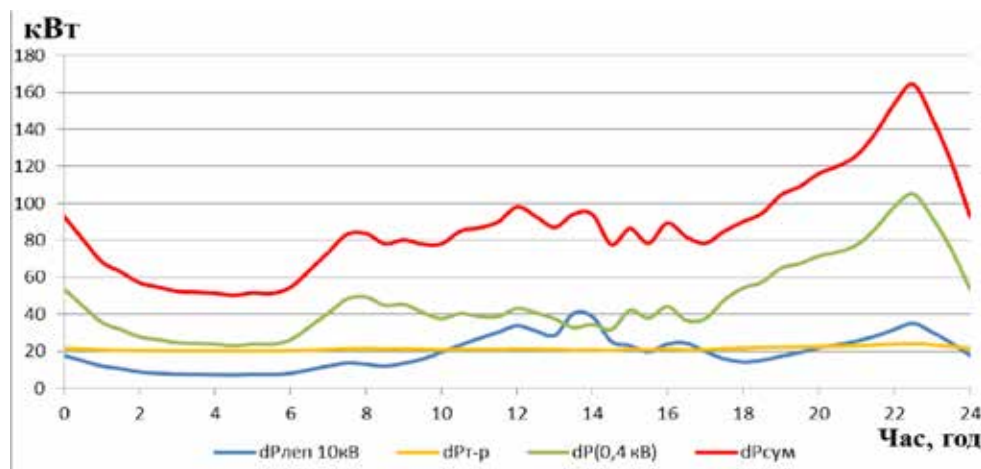


Рис. 2. Результати оцінювання втрат електроенергії в мережах з ВДЕ за типовими графіками навантаження та генерування (зображено графіки зміни втрат в ЛЕП 10 кВ, у трансформаторах, у мережах 0,4 кВ та сумарних втрат)

Таким чином, виявляється можливим оцінювати показники якості електроенергії, зокрема рівні напруги у вузлах, опрацьовувати перемикання комутаційних апаратів протягом звітного періоду, враховувати завантаженість ліній електропередачі та їх температуру, перевантаження трансформаторів протягом окремих періодів доби тощо. Отже, запропонований підхід до оцінювання впливу ВДЕ на режими електромереж сприяє вдосконаленню інформаційного забезпечення процесу проектування в ЕМ, а отже, підвищенню ефективності проектних рішень щодо розвитку електричних мереж з ВДЕ в Україні.

Результати проведених досліджень з використанням натурно-імітаційного моделювання режимів електромереж з ВДЕ було визначено шляхи нормалізації їх режимних параметрів. Важливим тут є коригування потужності ГЕС, зміною якої можна вирівнювати профіль напруги в електромережах. Однак, найбільш ефективним способом є зміна кутів запалювання інверторів сонячних електростанцій, що забезпечує необхідний кут зсуву фаз між струмом та напругою у вузлі приєднання і дозволяє коригувати перетікання реактивної потужності. А це, в свою чергу, дозволяє нормалізувати режим напруг у мережах.

Висновки

1. Приєднання відновлюваних джерел електроенергії до електричних мереж позитивно впливає на параметри електроспоживання у випадку, коли встановлені потужності ВДЕ не перевищують максимальної потужності споживання. У інших випадках необхідно проводити додаткові дослідження на етапі формування технічних умов на приєднання джерел.

2. Через зміну напрямків перетікань електроенергії в електромережах загальноприйняті методи та підходи до регулювання напруги в них не завжди є ефективними. Проблема регулювання напруги має вирішуватися узгоджено обласними енергопостачальними компаніями та власниками ВДЕ з використанням наявних регулювальних пристроїв.

3. Встановлено, що приєднання асинхронних гідрогенераторів до електричних мереж дозволяє підвищити якість напруги. Покращується профіль напруги, зменшується несиметрія напруги та коефіцієнт вищих гармонік, що позитивно впливає на функціонування споживачів електроенергії, а також сонячних електростанцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лежнюк П. Д. Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, В. В. Кулик // Енергетика та електрифікація. – 2015. – № 1. – С. 8–12.

2. Кулик В.В. Коригування тарифів за впливом відновлюваних джерел електроенергії на функціонування електричних мереж / В.В. Кулик, В.В. Тептя // Відновлювана енергетика XXI століття: XXI міжнарод. наук.-практ. конф.: матеріали конференції. – Крим, 2017. – С. 250–253.

3. Буславець О.А. Типові графіки електричних навантажень у 3D зображенні / О. А. Буславець, А. О. Квицинський, Л. Н. Кудачький, С. Я. Меженний, Л. В. Мойсеєнко // Енергетика та електрифікація. – 2016. – № 2. – С. 2–12.

Фещук Юрій Анатолійович — студент магістерської підготовки, кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кулик Володимир Володимирович — доктор техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Feschuk Yuriy A. — Student of Master's Degree, Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kulyk Volodymyr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Були розглянуті сучасні вакуумні вимикачі: їх переваги над повітряними, електромагнітними та маломасляними вимикачами. Зроблені припущення щодо подальшого розвитку вакуумних технологій в енергетиці.

Ключові слова: вимикач, вакуум, гасіння дуги, електроенергетика.

Abstract

Modern vacuum switches were considered: their advantages above, air, electromagnetic and littleoily switches. The done suppositions are in relation to further development of vacuum technologies in energy.

Keywords: Switch, vacuum, extinguishing of arc, electroenergy.

Вступ

Останнім часом масляні та маломасляні вимикачі на підстанціях почали замінювати вакуумними вимикачами, що мають значно кращі характеристики але мають більшу вартість. Вакуумний вимикач в енергетиці це високовольтний комутаційний апарат для виконання операцій включення та відключення електричного струму в робочому й аварійному режимах.

Результати дослідження

Основна відмінність усіх високовольтних вимикачів між собою – це спосіб гасіння дуги. Перші розробки вакуумних вимикачів були розпочаті в 30-ті роки ХХ століття, тодішні моделі могли комутувати невеликі струми при напрузі до 40 кВ. Достатньо потужні вакуумні вимикачі в ті роки так і не були створені через недосконалість технології виготовлення вакуумної апаратури, і перш за все, через проблему підтримання глибокого вакууму у герметичній камері.

Сьогодні частка вакуумних вимикачів у високовольтних електричних мережах до 35 кВ у Китаї становить 100%, в Європі більше 65 %, в Україні наближається до відмітки у 60% від усіх комутаційних пристроїв що виготовляються на середні напруги[2]. Вакуумні вимикачі мають ряд переваг над іншими вимикачами. Вони мають високу експлуатаційну надійність: щільність відмов вакуумних вимикачів на порядок нижче порівняно з традиційними вимикачами (масляними, електромагнітними). Мають високу комутаційну зносостійкість і скорочення витрат з обслуговування. Без ревізій та ремонтів число відключень робочих струмів вакуумним вимикачем сягає 20 тисяч. На масляних вимикачах ревізія проводиться після 500-100 відключень в робочому режимі. Для повітряних вимикачів це від 1000 до 2500 відключень. Вакуумні вимикачі мають велику швидкодію і збільшений механічний ресурс, головна причина цього це хід контактів дугогасильної вакуумної камери що становить не більше 6-10 мм, проти 100-200 мм в масляних та електромагнітних конструкціях. Це зумовлено тим, що міцність вакууму на електричний пробій значно перевищує електричні міцності масляного та повітряного дугогасильного середовища. Вакуумні дугогасильні камери не потребують поновлення дугогасильного середовища, що знижує витрати на їх експлуатацію. При однакових номінальних параметрах комутуваних струмів і напруг, маса вакуумного вимикача значно нижче ніж у інших типів вимикачів. А мала енергія приводу, невеликі динамічні навантаження і відсутність витоку газів, масла забезпечує безшумність роботи, екологічну безпеку і високу пожежо та вибухобезпечність та можливість роботи в агресивному середовищі.

Висновки

Отже, вимикачі створені з використанням вакуумної технології – це нова ступінь у розвитку комутаційних апаратів високовольтних розподільчих мереж. З усього вищесказаного можна зробити припущення, що вакуумні вимикачі у найближчому майбутньому замінять масляні, повітряні та маломасляні комутаційні апарати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравченко А. Н., Метельский В. П., Рассальский А. Н. Высоковольтные выключатели 6—10 кВ // Электрик. — 2006. № 9-10, 11-12; 2007.-№ 1-2.
2. Вакуумний вимикач 6, 10, 35 кВ: принцип роботи (схема) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://dovidkam.com/remont/elektrika/vakuumnij-vimikach-6-10-35-kv-princip-roboti-sxema.html>.

Аніпченко Дмитро Олексійович – студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** – канд., техн. Наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Anipchenko Dmytro A. – student Department of Electric Power Stations and Sestem , Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Netrebskyy Volodymyr V.** – Cand., Sc. Sciences, Associate Professor of electrical plants and systems, Vinnytsia, National Technical University, Vinnytsia

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Були розглянуті сучасні елегазові вимикачі: їх переваги та недоліки над повітряними, електромагнітними та маломасляними вимикачами. Зроблені припущення щодо подальшого розвитку елегазових технологій в енергетиці.

Ключові слова: вимикач, елегаз, гасіння дуги, електроенергетика.

Abstract

The modern sulphur hexafluoride switches were considered: their advantages and disadvantages over air, electromagnetic and littleoily switches. The done suppositions are in relation to further development of sulphur hexafluoride technologies in energy.

Keywords: Switch, sulphur hexafluoride, extinguishing of arc, electroenergy.

Вступ

Основним обладнанням розподільчих мереж є комутаційні апарати, від роботи яких залежить надійність усіх підстанцій, ліній електропередач та розподільчих пристроїв у всіх режимах експлуатації [1].

З кінця минулого століття відбувся якісний стрибок у технології виготовлення високовольтних комутаційних апаратів: на заміну масляним та повітряним вимикачам прийшли апарати з використанням дугогасильного середовища газоподібної шестифтористої сірки – елегазу. Елегазовий вимикач – це високовольтний комутаційний апарат, що використовує елегаз в якості середовища гасіння електричної дуги; призначений для оперативних включень та відключень окремих ланцюгів або електрообладнання в енергосистемі, в нормальних або аварійних режимах.

Результати дослідження

Елегазові вимикачі почали посилено розроблятися в останні десятиріччя і мають великі перспективи при напругах 110 – 1150 кВ і струмах відключення до 80 кА. У технічно розвинених країнах елегазові вимикачі високої і надвисокої напруги (110 – 1150 кВ) практично витіснили всі інші типи апаратів [2].

На сьогоднішній день, використання елегазу в якості дугогасильного середовища, більш ефективно в порівнянні зі стисненим повітрям і маслом, є найбільш перспективним і швидко розвивається. В елегазових вимикачах застосовуються різні способи гасіння дуги в залежності від номінальної напруги, номінального струму відключення та експлуатаційних особливостей у місці установки. Робота елегазових дугогасних пристроїв на відміну від повітряних дугогасних пристроїв при гасінні дуги проходження газу через сопло відбувається не в атмосферу, а в замкнутий об'єм камери, заповнений елегазом при відносно невеликому надлишковому тиску. Основні переваги елегазового обладнання визначаються унікальними фізико-хімічними властивостями елегазу. При правильній експлуатації елегаз не старіє і не вимагає такого ретельного догляду за собою, як масло. Також до переваг елегазових вимикачів можна віднести: можливість застосування на всі класи напруг понад 1 кВ; відносно малі габарити і маса; пожежо та вибухобезпечність; швидкість дії; висока відключаюча здатність; надійне відключення малих індуктивних та ємнісних струмів в момент переходу струму через нуль без зрізу і виникнення перенапруг; безшумна робота; можливість створення серій з уніфікованими вузлами; придатність для зовнішньої і внутрішньої установки. До недоліків елегазових вимикачів слід віднести: високу вартість обладнання і поточні витрати на експлуатацію, так як вимоги до якості елегазу дуже високі; комутаційний ресурс елегазового вимикача нижче, ніж у аналогічного вакуумного вимикача; необхідні високоякісні ущільнення резервуарів і магістралей, так як елегаз дуже текучий.

Висновки

Отже, елегазові вимикачі хоча і недешеві, але є найбільш ефективними та надійними з поміж інших. Тому з усього вищесказаного можна зробити припущення, що саме елегазові вимикачі у найближчому майбутньому замінять масляні, повітряні та маломасляні комутаційні апарати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения: учебное пособие / В.В. Афонин, К.А. Набатов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. унта, 2009. – 96 с.
2. Електричні апарати: підручник / [Бржецький В.О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П. Д., Рубаненко О.Є.]. – Херсон ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602 с.

Смажний Євгеній Олександрович – студент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Smazhnyi Yevheniy A. – student Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **NetrebskyVolodymyr V.** – Cand. Sc. Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ПЕРЕВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА НАПРУГУ 20кВ З УРАХУВАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Майбутні електричні мережі будуть містити в собі різні відновлювальні джерела як альтернативи централізованої генерації енергії. Вартість електричної енергії, виробленої відновлювальними джерелами, буде залежати від виду джерела, доступності відновлювальної енергії, використання накопичувачів енергії і т.д.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, розподілена генерація.

Abstract

Future electrical grids will include various renewable sources as alternatives to centralized generation of energy. The cost of electric energy produced by renewable sources will depend on the type of source, the availability of renewable energy, the use of energy storages, etc.

Keywords: renewable energy sources, distributed generation.

Споживання електроенергії зростає з кожним роком і в недалекому майбутньому стане неможливою передача необхідної потужності до споживача через лінії електропередачі 6 та 10 кВ. Вирішенням цієї проблеми є переведення ліній на напругу 20кВ. Збільшення класу напруги призведе до збільшення пропускну здатності і зменшення втрат в лінії електропередачі.

Крім того, на сьогоднішній день електрична енергія перед тим як потрапить до споживача перетворюється щонайменше шість разів в трансформаторах. Втрати в кожному із трансформаторів приблизно складають по 1%, а їх не менше шести на шляху від джерела енергії до споживача. Отже велика кількість класів напруг неминуче призводить до великих втрат на трансформацію. Це і є ще однією перевагою переведення на напругу 20кВ, адже два класи напруги 6 та 10кВ замінюється одним. Також не слід забувати, що електроенергетичні системи майбутнього повинні поєднувати традиційні джерела електроенергії, без яких проблематичне електропостачання великих споживачів та забезпечення доцільних темпів зростання електроспоживання, а також розподілене генерування, в тому числі і відновлювальні джерела енергії. Останні починають розвиватись все швидше і швидше, і їх кількість на території України постійно збільшується, а всі нові джерела будуються з урахуванням передачі енергії на напрузі 6 або 10 кВ. Але ж набагато вигідніше передавати енергію від таких джерел на напрузі 20 кВ, через менші втрати та можливість розміщувати такі генерації на більшій відстані від споживача. Для цього просто треба забезпечити необхідні умови.

Отже переведення електричної мережі 6 та 10 кВ на 20 кВ призведе до: зменшення втрат в лінії, зменшення струмів що протікають по проводах, зменшення кількості класів напруг мережі та можливості встановлення РДЕ на більшій відстані від споживача без додаткових перетворень струму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Циганенко Б. В. Особливості функціонування розподільних мереж середнього класу напруги та їх переведення на напругу 20 кВ / Б. В. Циганенко, В. В. Кирик // Гідроенергетика України. - 2016. - № 3-4. - С. 7-13

Слободянюк Д.О. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — доктор технічних наук, професор, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Slobodsaniuk D.O. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Lezhnyuk Petro D.** - Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), professor, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine.

РОЛЬ ГЕС В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Практично у всіх країнах світу великі електростанції спільно працюють в енергосистемах. Диспетчерські управління енергосистем здійснюють оперативне керівництво режимами роботи електростанцій, оптимізуючи функціонування всіх електростанцій, ліній електропередачі та інші.

Ключові слова: енергосистема, електростанції, лінії електропередач.

Abstract

In almost all countries of the world, large power plants work together in power grids. Dispatcher management of power systems carry out operational management of operating modes of power plants, optimizing the functioning of all power plants, power lines, etc.

Keywords: power system, power plants, power lines.

Розвиток енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі та рівня життя населення. Забезпечення подальшого розвитку та ефективного функціонування паливно-енергетичного комплексу України є основою успішної реалізації політики. Україна має розвинений гідроенергетичний комплекс. Вітчизняний машинобудівний комплекс забезпечує виготовлення обладнання як для реконструкції та відновлення, так і для спорудження гідроелектростанцій різних типорозмірів. На сьогодні гідроелектростанції експлуатуються у 159 країнах та забезпечують виробництво 16,3% всієї виробленої у світі електроенергії. Гідроенергетика забезпечує найбільш ефективний процес отримання електроенергії, при низьких експлуатаційних затратах та тривалому терміні експлуатації. В даний час, існуюча потужність великих ГЕС становить біля 9% всіх генеруючих потужностей ОЕС України, однак існує потенціал для подальшого зростання до 15-20%. Основною метою роботи є визначення ролі гідроелектростанцій в енергосистемі України[1].

Робота ГЕС в енергосистемі має певні особливості, викликані залежністю від річкового стоку та від режимів роботи водоймищ комплексного призначення, а також обмеженнями за умовами нижнього б'єфа. Більшість ГЕС також працюють у режимі синхронного компенсатора для вироблення реактивної потужності. ГЕС покривають найбільш складну пікову й напівпікову частини графіка навантажень. При цьому ГЕС при покритті пікової частини графіка навантаження в середньому працюють 2-5 години на добу, а напівпікової частини графіка 5-15 годин на добу, виконують функцію аварійного та навантажувального резервів енергосистеми, використовуються в якості джерел реактивної потужності[2].

За прогнозами світове споживання електроенергії у порівнянні з 2000 р. зросте до 2030 у 2 рази, а до 2050 р. - у 4 рази. У таких умовах зростає роль гідроенергетики, яка використовує відновлювальні екологічно чисті гідроенергетичні ресурси. В Україні при загальній потужності ГЕС 4,6 млн. кВт освоєно 60% економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу. В ОЕС України, де на ГЕС виробляється лише 5% загальної кількості електроенергії, а на АЕС 55%, існує надзвичайно гострий дефіцит високоманеврованих потужностей[3].

Отже, при подальшому розвитку електроенергетики на базі гармонічного поєднання атомної і вугільної електроенергетики, гідроенергетики та інших відновлювальних джерел гідроенергетика відіграватиме найважливішу роль в оптимізації структури генеруючих потужностей ОЕС України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/GES-993ae> [Електронний ресурс].
2. Аршневикий Н.Н. Гидроэлектрические станции : Учебник для вузов / М.Ф. Губин, В.Я. Карелин - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 464 с.
3. <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2> [Електронний ресурс].

Руснак І.М.— студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович**— доктор технічних наук, професор, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Rusnak I.M. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Lezhnyuk Petro D.**- Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), professor, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine.

Роль ГАЕС в енергосистемі України

Вінницький національний технічний університет

Анотація

На сьогоднішній день практично у всіх країнах світу існують проблеми з регулюванням графіків навантажень в енергосистемі, тому цілком доцільне вивчення гідроенергетики та використання електричних станцій і їх розташування, місце та вплив на енергосистему, що ми і будемо розглядати в даній роботі.

Ключові слова: енергосистема, електричні станції, графіки навантажень.

Abstract

Today, in almost all countries of the world there are problems with the regulation of load schedules in the power grid, so it is expedient to study hydropower and the use of power plants and their location, place and influence on the grid, which we will consider in this work.

Keywords: power system, electric power stations, load schedules

Надійне, економічно обґрунтоване й екологічно безпечне задоволення потреб населення й економіки в енергетичних продуктах є пріоритетним завданням енергетичної політики держави. При цьому, забезпечення сталого подальшого розвитку та ефективного функціонування паливно-енергетичного комплексу України є основою успішної реалізації такої політики. У даному контексті гідроенергетика важлива не тільки з точки зору виробництва електричної енергії, але й цілим комплексом додаткових функцій, які забезпечують сталість функціонування енергетичної системи та економіки України. [1].

Гідроенергетика є найбільш технологічно освоєним способом виробництва електроенергії, який широко використовується у світі та є гарантованим енергоресурсом. На сьогодні, гідроелектростанції експлуатуються у 159 країнах та забезпечують виробництво 16,3 % всієї виробленої у світі електроенергії. Гідроенергетика забезпечує найбільш ефективний процес отримання електроенергії, при низьких експлуатаційних затратах та тривалому терміні експлуатації.

Гідроенергетика відіграє важливу роль у забезпеченні стійкості об'єднаної енергетичної системи України оскільки забезпечує енергетичну систему високо маневреними потужностями в регулюванні добових графіків навантаження з покриттям пікової частини та заповненням нічних провалів, а також виконує функцію аварійного резерву потужності.

Українська гідроенергетика - це 6 гідроелектростанцій Державної акціонерної генеруючої компанії «Дніпрогідроенерго» (каскад Київських ГЕС і ГАЕС, Канівська, Кременчуцька, Дніпродзержинська, Дніпровська, та Каховська ГЕС), а також Дністровська ГЕС у складі Державної акціонерної енергогенеруючої компанії «Дністрогідроенерго». Сумарна встановлена потужність гідроагрегатів на ГЕС цих двох компаній - 4700 МВт. [2]

В даній роботі ми розглянемо проблеми, сучасний стан та перспективи розвитку гідроенергетики України, а також системне значення гідроакумулюючих електричних станцій (ГАЕС) в енергосистемі на прикладі Дністровської ГАЕС. Ми покажемо як змінюються добові графіки навантажень, а саме покриття піків та заповнення провалів за допомогою основних режимів: турбінний, насосний, режим синхронного компенсатора з турбінним та насосним напрямком обертання та як регулюють реактивні потужності використовуючи агрегати ГАЕС.

Дністровська ГАЕС є однією з найбільших зі споруджуваних гідроакумулюючих електростанцій у світі. Її проектна потужність складає 2268 МВт у генеруючому режимі і 2947 МВт у насосному режимі. [3] Тому, потужності Дністровської ГАЕС мають потенціал бути задіяними у випадку інтеграції енергосистеми України в UCTE і прийняти участь у покритті попиту на маневрову електроенергію. Крім цього, це призведе до покращення ринкової привабливості електроенергетики України. Географічно ГАЕС розташована біля західних кордонів України, що дає можливість експорту електроенергії найбільш доцільно використовувати її маневрові можливості при виконанні договорів. Тому в даній роботі ми розглянемо також доцільність будівництва ГАЕС і вплив на економіку держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гідроенергетика України і її роль в енергетичному балансі держави [Електронний ресурс]. – Режим доступу до доповіді: http://mpe.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=93902&cat_id=35082
2. В.Ю. Синюгин. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. Москва: ЭНАС, 2008. - 352с.
3. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до аналітичної доповіді: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/GES-993ae.pdf>

Корчевий Р.Ю. — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Лежнюк Петро Дем'янович** — доктор технічних наук, професор, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Korchevyi R.Y. - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

Supervisor: **Lezhnyuk Petro D.** - Doctor of Technical Sciences (Ph. D.), professor, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine.

ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ ПРИ ВТРАТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджено можливість задіяння малих гідроелектростанцій (МГЕС) та визначення їх встановленої потужності для подачі та/або підтримання відповідного рівня напруги на шинах фотоелектричної станції (ФЕС). Здійснено аналіз перехідного процесу, що виникає під час втрати централізованого живлення. Досліджено вплив генерування ФЕС на якість електроенергії при втраті централізованого живлення та визначено час можливого функціонування ЛЕС, споживачі якої живляться виключно від відновлювальних джерел енергії.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, фотоелектрична станція, локальна електрична система, мала гідроелектростанція, відновлення електропостачання, якість електроенергії.

RESTORATION OF ELECTRICAL SUPPLY IN LOCAL ELECTRICAL SYSTEMS AFTER LOSS OF CENTRALIZED POWER

Abstract

In this paper, the possibility of using small hydroelectric power stations (SHPP) and determination of their installed capacity for the supply and/or maintenance of an appropriate voltage level on photovoltaic (PV) buses is investigated. Analysis of the transient process that occurs during the loss of centralized power is carried out. The influence of PV generation on the quality of electricity in the event of loss of centralized power was positively influenced and the timing of the possible functioning of the LES, whose consumers are fed exclusively from renewable energy sources, were determined.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaic station, local electric system, small hydroelectric power station, renewal of electricity, quality of electric power.

Вступ

Останнім часом спостерігається чітка тенденція до збільшення кількості і одиначної встановленої потужності розосереджених джерел генерування (РГ), значна частина такого генерування припадає на розподільні електричні мережі (РЕМ). У випадку коли встановлена потужність РГ, зокрема фотоелектричних станцій та малих гідроелектростанцій, зростає до 15% і більше, від сумарної потужності навантаження, РЕМ набуває ознак локальної електричної системи [1-3].

Для якої виникають задачі які характерні для традиційних електричних систем. Враховуючи значну кількість морально та фізично застарілого силового обладнання, можливі випадки збільшення тривалості часу та частоти відмов в електропостачанні. Виходячи з цього було проаналізовано показники SAIDI та SAIFI для електричних мереж класом напруги 10кВ. Серед електричних мереж, що розглядалися (для прикладу проводився аналіз Ямпільські районні електричні мережі 10кВ, живильний фідер 15, рис.1) дані показники перевищують норматив.

Тому актуальною є задача дослідження можливості відновлення електропостачання споживачів ЛЕС, за допомогою сумісного використання МГЕС та ФЕС.

Виходячи з цього **метою даної роботи** є дослідження можливості відновлення електропостачання споживачів ЛЕС за рахунок сумісного використання фотоелектричних станцій та малих гідроелектростанцій при повній втраті живлення від централізованих джерел.

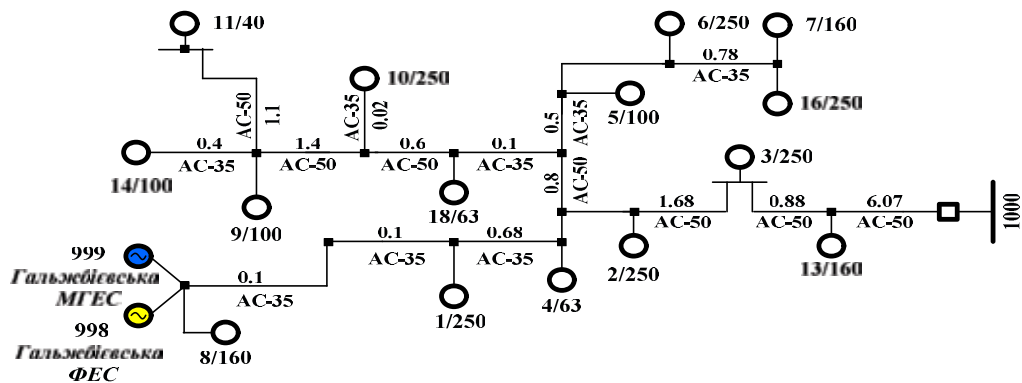


Рис.1. Фрагмент схеми Ямпільських електричних мереж 10 кВ

Результати дослідження

Використовуючи пакет прикладних програм Matlab & Simulink, здійснено моделювання фрагменту схеми (рис.1). Математична модель (рис.2) дозволяє дослідити можливість подачі живлення на шини фотоелектричної станції в разі втрати централізованого електропостачання.

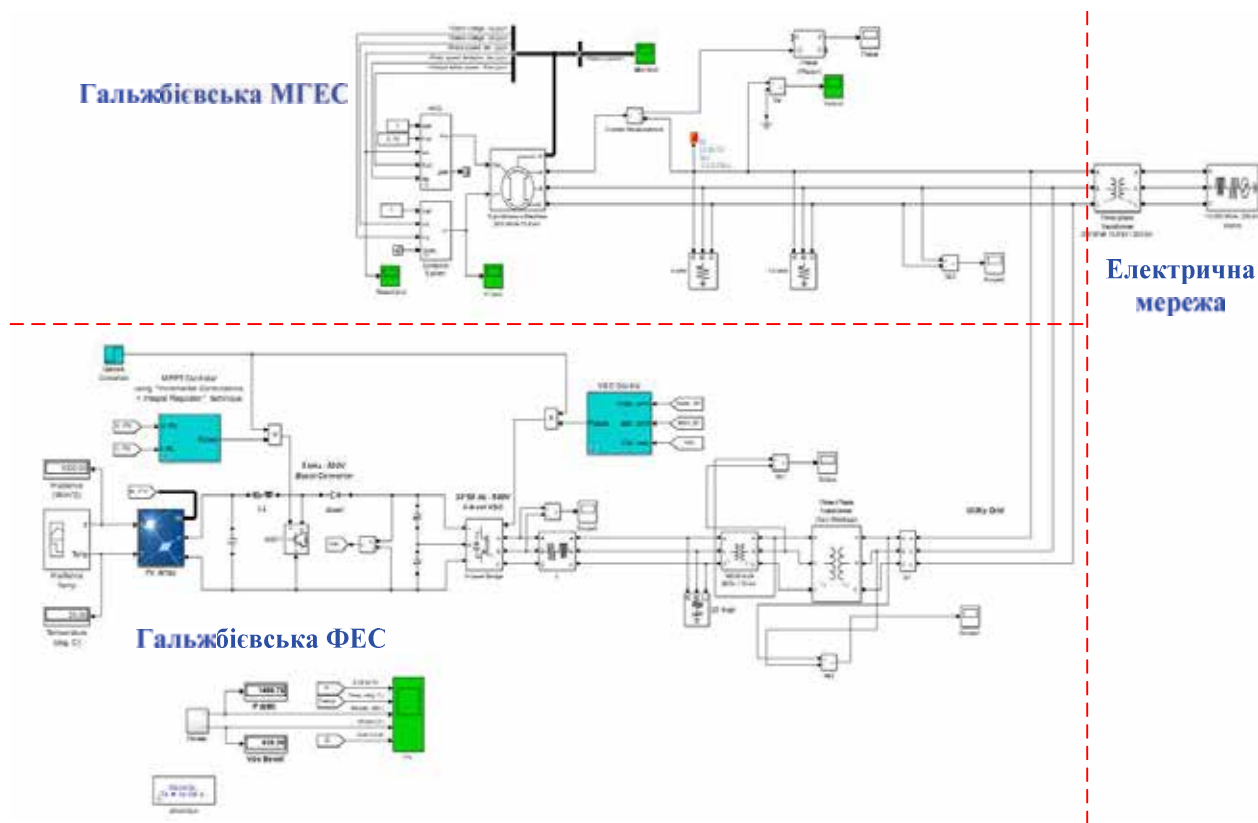


Рис.2. Модель Ямпільських електричних мереж 10 кВ в середовищі Simulink

Висновки

Результати моделювання можливості відновлення електропостачання споживачам ЛЕС в разі втрати централізованого живлення показують, значний потенціал використання ВДЕ в цьому напрямку. Зокрема, ВДЕ можуть значний час підтримувати живлення споживачів при цьому забезпечувати нормат по якості електричної енергії та економічність функціонування електричної мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Buslavets, O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Legnuk, O. Rubanenko // Eastern-European journal of enterprise technologies – 2015. – No. 2/8 (74). – P. 35-41. – doi: 10.15587/1729-4061.2015.39881
2. Bae, I. Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode. / I. Bae, J. Kim// IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. – Vol.22. – No.2.– P.785-790. – doi:10.1109/TPWRS.2007.894842.
3. Víctor H. Méndez Quezada, Juan Rivier Abbad, and Tomás Gómez San Román “Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation”, IEEE Transactions on power systems, vol. 21, no. 2, pp.533-540, May 2006.

Котилко І.В. — пошукач, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: i.kotylko@gmail.com.

Кравчук С.В. — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Науковий керівник — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: lezhpd@gmail.com.

Kotylko Iryna - searcher, Vinnitsa National Technical University, searcher of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: i.kotylko@gmail.com.

Kravchuk Serhii - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: sv.kravchuk@ukr.net.

Supervisor: **Lezhniuk P.D** – Dr.Sc., Professor, head of electric stations and systems department, Vinnitsa National Technical University, professor of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: lezhpd@gmail.com.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГ ПРИ КОМУТАЦІЇ ВАКУУМНИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. В роботі проведено аналіз несприятливих і небезпечних для електроустаткування процесів у мережах середніх класів напруги під час комутацій вимикачів різних виробників. Приведені технічні вимоги, які рекомендується застосовувати до вакуумних вимикачів і запропонована методика їх перевірки.

Ключові слова: вакуумні і масляні вимикачі, комутації, високочастотні процеси, технічні вимоги, випробування вимикачів.

Abstract. In the work the analysis of unfavorable and dangerous for electrical processes in networks of middle classes of voltage during switches of switches of different manufacturers. The claimed technical requirements, which are recommended for vacuum switches and the proposed method for their verification.

Keywords: vacuum and oil switches, switching, high-frequency processes, technical requirements, test switches.

Вступ

Вакуумні вимикачі (ВВ) в даний час є досить затребуваним обладнанням в мережах середніх класів напруги. З самого початку використання вакуумних вимикачів спостерігалось пошкодження комутуваного ними обладнання.

Пошкодження викликаються несприятливими процесами, які супроводжують комутації вимикачів: перенапруження, викликані струмами зрізу; ескалація перенапруг в циклі високочастотних (ВЧ) повторних пробоїв; перенапруги при включенні в циклі ВЧ зустрічних пробоїв; перенапруги в результаті віртуальних струмів зрізу; ВЧ кидки струму високої амплітуди.

Перераховані процеси характерні тільки для вимикачів з жорсткими дугогасними середовищами, в число яких входить вакуум.

Високі кратності перенапруг небезпечні в першу чергу для електричних машин, рівень ізоляції яких складає близько $2,8U_{\text{фм}}$. Високі частоти перехідного процесу при комутаціях ВВ представляють серйозну небезпеку для виткової ізоляції високовольтного обладнання, кабельних муфт та кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену (ЗПЕ).

В даний час в повній мірі вирішити проблему виникнення ВЧ перенапруг при комутації ВВ не вдалося ні закордонним ні вітчизняним виробникам комутаційних апаратів. За результатами досліджень [1], активне впровадження ВВ в мережах 6-10 кВ гірничо-металургійних підприємств, призвело до росту однофазних замикань на землю (ОЗЗ), спровокованих комутаційними перенапругами (КП). Там же зазначено, що число аварійних відключень, пов'язаних з КП, зросла в середньому в 3,8 рази за 6 років експлуатації ВВ (2012-2018 рр.).

Результати дослідження

Великою швидкістю замикання контактів серед ВВ характеризується вимикач ВВТЭ-М-10-20/630, що дало змогу підвищити швидкість падіння електричної міцності і зменшити тривалість зустрічних пробоїв, але негативно відбивається на параметрах вібрації контактів при включенні, під час якого множинні пробої в вакуумних дугогасних камерах (ВДК) знову мають місце, швидкість замикання контактів у вимикачі ВМП-10-20/1000 набагато більша, ніж у досліджених ВВ, тому вібрації контактів при включенні має найбільші значення, однак пробої при включенні відсутні, що пов'язано з характером дугогасного середовища.

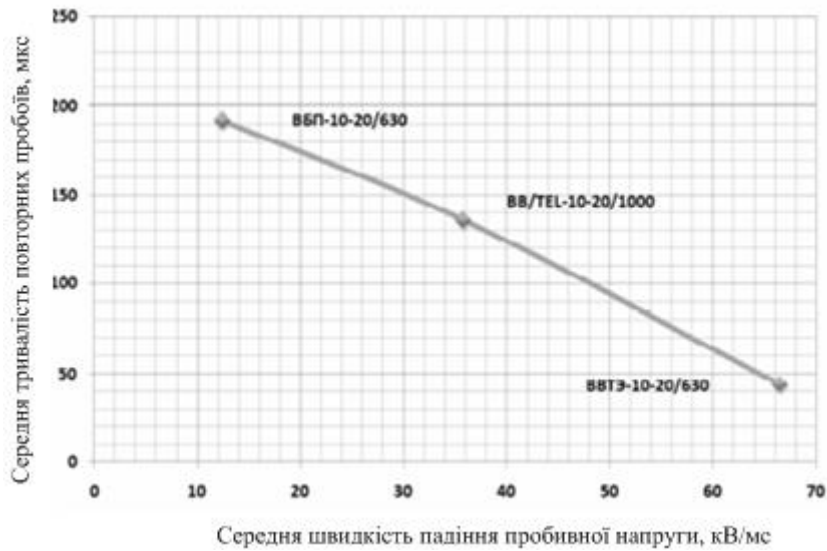


Рис. 1 – Залежність тривалості зустрічних пробивів від швидкості падіння пробивної напруги, кВ/мс

Таблиця 1 - Основні характеристики вимикачів, отримані в ході досліджень (середні значення)

Характеристика/ вимикач	ВБП-10- 20/630	ВВ/TEL-10- 20/1000	ВВТЭ-М- 10-20/630	ВМП-10- 20/600
Швидкість контактів при замиканні, м/с	0,66 (червоний)	0,94 (оранжевий)	1,26 (зелений)	3,38 (зелений)
Швидкість падіння пробивної напруги, кВ / мс (тривалість зустрічних пробивів, мкс)	12,4 (192,0) (червоний)	35,8 (135,7) (оранжевий)	66,5 (43,8) (зелений)	- (0) (зелений)
Швидкість контактів при розмиканні, м/с	1,05 (оранжевий)	0,6 (оранжевий)	1,17 (зелений)	3,83 (зелений)
Швидкість зростання пробивної напруги, кВ / мс	19,7 (оранжевий)	24,1 (оранжевий)	61,8 (зелений)	7,02 (оранжевий)
Вібрація	Відсутня (зелений)	Відсутня (зелений)	Присутня (червоний)	Присутня (оранжевий)
Середня кратність перенапруг при включенні	3,34Uфм (к червоний)	2,97Uфм (оранжевий)	1,89Uфм (зелений)	2,55Uфм (зелений)
Неодноразовність замикання контактів, мкс	150 (зелений)	430 (зелений)	320 (зелений)	1150 (оранжевий)
Струм зрізу, А	3,3 (зелений)	2,7 (зелений)	2,9 (зелений)	2,35 (зелений)
Перехідний опір контактів, мкОм	38-44 (зелений)	37-41 (оранжевий)	35-39 (зелений)	55-185 (червоний)
Електрична міцність до 2 мм, кВ/мм	18,8 (червоний)	38,1 (зелений)	52,8 (зелений)	1,8* (зелений)

У вимикачах ВВ / TEL-10-20 / 1000 і ВВП-10-20 / 630 вібрація контактів, що призводить до обриву дуги струму, відсутня, що пов'язано з низькою швидкістю замикання контактів, але кількість зустрічних пробоїв при цьому значно збільшується.

Найбільше значення неодноразовості при замиканні має вимикач ВВ / TEL-10-20/1000, але це пояснюється відсутністю механічного зв'язку між полюсами (кожен полюс вимикача приводиться в рух власним електромагнітом). Максимальна неодноразовість замикання вимикача ВВП-10-20/600 більше 1 мс, що ймовірно викликано, як і високі параметри вібрації, більшим терміном експлуатації вимикача (більше 40 років).

Перенапруги при відключенні на перевищують $1,9U_{фм}$, що пояснюється низькими струмами зрізу. Величина струму зрізу в сучасних ВВ завдяки підбору оптимального матеріалу для виготовлення контактів не перевищує 3,5 - 5 А. Такі малі значення струмів зрізу безпосередньо не викликають перенапруг високої кратності.

Оскільки при зрізі струму підвищується напруга, зріз струму є характеристикою, яка впливає на ймовірність виникнення ескалації перенапруг при відключенні, тому необхідно прагнути до його зменшення, не погіршуючи тим самим відключаючу здатність ВВ.

Висновок

Вакуумні вимикачі, проаналізовані в дослідженні мають задовільні характеристики, проте для підвищення безаварійної роботи електрообладнання необхідно виконати доопрацювання кожного типу вимикача. У вимикачі ВВТЕ-М-10-20/630 необхідно усунути вібрацію контактів, у ВВ/TEL-10-20/1000 і ВВП-10-20/630 необхідно збільшити швидкість руху контактів при ввімкненні і вимкненні, крім того в ВВП-10-20/630 необхідно поліпшити характеристики ВДК.

Використавши порівняльну характеристику вимикачів різних типів, виявлено, що при комутації масляного вимикача зустрічних ВЧ пробоїв не з'являлося - це пов'язано з тим що масло м'якше дугогасне середовище в зв'язку з чим при переході через нуль струм високої частоти не гаситься і дуга продовжує горіти до повного замикання контактів. При відключенні ж дуга до переходу через нуль горить тривалий час і відбувається випаровування масла з утворенням газів під високим тиском, які тепер вже є жорстким дугогасним середовищем, в зв'язку з чим спостерігається деяка кількість повторних пробоїв при відключенні. Повторні пробої в масляному вимикачі мають тривалість і не викликають ескалацію оскільки. Це пов'язано з тим, що під час повторних пробоїв газу вистигають, так як немає постійного впливу струму промислової частоти і їх тиску, а відповідно і дугогасна здатність зменшується.

Необхідно розробляти вимоги до різних типів вимикачів, визначати область їх застосування і враховувати можливість використання в майбутньому в якості дугогасного середовища рідкі синтетичні матеріали.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудрявцев А.А. Исследование аварийности в сетях 6-10 кВ горно-металлургических предприятий.// Новости ЭлектроТехники. – 2009. – №6(60).
2. Назарычев А.Н. Анализ основных преимуществ применения вакуумных выключателей.// Энергоэксперт. - 2007. - №4-5.
3. Дягтерев И.Л. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов, сопровождающих коммутации вакуумных выключателей. – Автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.14.12 / И.Л. Дегтярев – Новосибирск, 2006. – 21 с.
4. Евдокунин Г. А. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения / Г. Тиллер. – СПб.: издательство Сизова М.П., 2000. – 114 с.
5. Беляков Н.Н. Защита от перенапряжений установок с вакуумными выключателями // Электрические станции. 1994. № 9. С. 65-71.

Юлія Володимирівна Малогулко — к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Онищук Ольга Олегівна — студентка групи 2ЕСМ-17м, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Juliya V. Malogulko —Ph.D., Assistant Professor of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : Juliya_Malogulko@ukr.net;

Olha O. Onyshchuk - student of 2ЕСМ-17m group, Department of Electricity, Electromechanics and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧІЙ МЕРЕЖІ 0,4 кВ З СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
76019, Івано-Франківськ, Карпатська, 15

Анотація.

Проведено аналіз впливу фотоелектричних систем в розподільних мережах 0,4 кВ на якість електроенергії та електромагнітну сумісність. Згідно з експериментально вимірними миттєвими значеннями струмів і напруг, які генерує СЕС, зроблено порівняння допустимих значень основних параметрів електричної енергії з експериментальними даними. Результати вимірювання показали, що якість електроенергії при наявності гармонічних спотворень в мережі може не відповідати діючим стандартам. Проведено моделювання різних режимів локальної мережі з генерацією енергії сонячною електростанцією в мережі Matlab Simulink при зміні нелінійного навантаження та наявності гармонічних спотворень в мережі.

Ключові слова: сонячна електростанція, інвертор, енергоефективність, показники якості, електромагнітна сумісність, низьковольтні електромережі 0,4 кВ, Matlab Simulink.

Abstrakt.

This paper presents of the influence of photovoltaic systems in 0.4 kV distribution networks on the quality of electricity and electromagnetic compatibility. According to the experimental instantaneous values of currents and voltages which are generated by solar power plants it is compared permissible values of electric energy main parameters with experimental data. The measurement results showed that the quality of electricity in the presence of harmonious distortions in the network may not meet current standards. The simulation of different modes of the local network with the generation of energy by a solar power station in the Matlab Simulink network is carried out when changing the nonlinear load and the presence of harmonic distortions in the network.

Key words: solar power station, inverter, energy efficiency, quality indices, electromagnetic compatibility, 0,4 kV low voltage electric networks, Matlab Simulink..

Вступ

Зростання кількості сонячних електростанцій в розподільчих електромережах 0,4 кВ та їх непостійний характер генерування впливає на баланс електроенергії в точках приєднання, рівні напруги і на основні параметри якості електроенергії (ПЯЕ), які повинні відповідати сучасним нормативним документам. Проаналізувавши досвід провідних європейських країн, які мають найбільшу частку сонячних джерел енергії в сумарному балансі енергосистеми та технічні вимоги стандартів [1,2,3], які регламентують вимоги до сумісної роботи в енергосистемі можна зробити висновки про необхідність контролю та вимірювання ПЯЕ та електромагнітної сумісності (ЕМС) до і після ввімкнення таких СЕС в локальну електромережу.

Результати досліджень

При експериментальних дослідженнях під час генерування електроенергії сонячними електростанціями в Івано-Франківській області [3] було зафіксовано відхилення ПЯЕ відносно діючих стандартів. Найчастіше такі проблеми виникають в локальних електромережах, які мають велику кількість нелінійних споживачів з ємнісним навантаженням. Сумісна робота СЕС в мережі може супроводжуватися зростанням рівня вищих гармонік струму, що знижує ефективність роботи електрообладнання. Вирішити проблему може застосування комбінованих L-C та L-C-L фільтрів, однак доцільність їх встановлення на малопотужних електростанціях неможливо визначити без додаткових обстежень.

Іншим шляхом визначення ефективності роботи сонячних електростанцій в розподільних мережах 0,4 кВ є моделювання в середовищі Matlab Simulink, яке дозволяє отримати зміну напруги мережі при різних параметрах навантаження. Для цього необхідно мати точно розраховані дані елементів та адекватну модель. Для більш детального аналізу виникає необхідність використання

нелінійного навантаження, яке змодельоване в блоці «Локальна мережа 10 кВ», а також введення житлового навантаження в вигляді «навантаження з гармонічними спотвореннями». Проведене моделювання показало суттєві зміни напруги в вибраних для вимірювання вузлах в конкретних діапазонах параметрів, які не відповідали нормованим значенням.

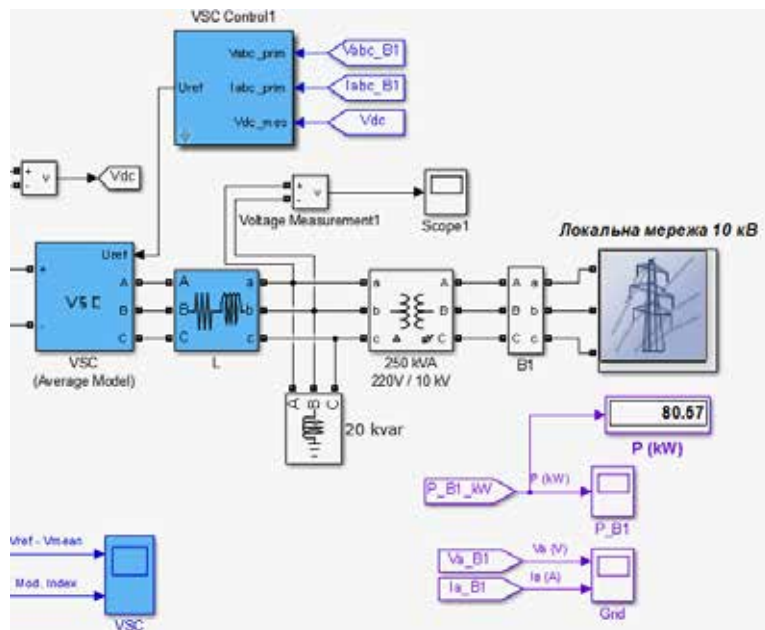


Рисунок 1 – Моделювання роботи СЕС в середовищі Matlab Simulink

Окремої уваги заслуговує робота однофазних сонячних електростанцій в мережах 0,4 кВ. Такі джерела генерування можуть, як вирівняти симетрію напруг, так і призвести до відхилення коефіцієнтів несиметрії до ненормованих значень. При застосуванні інтелектуальної системи можна за допомогою перемикачів такої електростанції на різні фази виконувати симетрування напруги в різні періоди часу, використовуючи прогнозування кількості електроенергії та моніторинг струмів та напруг.

Висновки.

Підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу з відновлювальними джерелами в розподільних мережах 0,4 кВ потребує додаткових досліджень та моніторингу параметрів ЕМС. Необдумане підключення сонячних електростанцій без додаткових розрахунків та збільшення рівня розгалуженості локальних мереж з великою кількістю джерел генерування може спричинити невідповідність напруги в деяких вузлах та проблеми з використанням інверторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гладь І. В. Експериментальне дослідження несиметричного режиму низьковольтної мережі при однофазному генеруванні електроенергії сонячною електростанцією [Текст] Бацала Я. В., Гладь І. В. Нафтогазова енергетика.-2017.-№1.-с.123-131.
2. ДСТУ EN 50160:2008. EN501060 «Voltage Characteristics in Public Distribution Systems». Характеристики напруги електропостачання у розподільчих мережах загальної призначення.
3. Electromagnetic Compatibility (EMC) Low-Frequency Standards. Online source, date accessed 5th January, 2014. [Electronic resource] - Mode of access: www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/IEC.pdf

Гладь Іван Васильович – к. т. н., доцент, доцент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу,

Бацала Ярослав Васильович – асистент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний університет нафти і газу, e-mail: batsala2012@gmail.com

Glad Ivan V. – Cand. S c. (Eng.), Associate Professor, department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

Batsala Yaroslav V. - assistant department of Electricity Supply Systems, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG)

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА РЕЖИМ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано метод пошуку оптимальних місць під'єднання та потужностей генерування відновлювальних джерел електроенергії. Показано їх вплив на нормальний режим роботи електричних мереж.

Ключові слова: відновлювальні джерела електроенергії, нормальний режим, оптимальні місця, потужність.

Abstract

The method for finding optimal places to connect and capacity to generate renewable electricity. Showing their impact on the normal mode of electrical networks.

Keywords: renewable electricity, normal mode, optimal places, power.

Вступ

На сьогоднішній день у багатьох розвинених країнах світу гостро стоїть питання дефіциту генерувальних потужностей [1]. Таку нестачу частково можна компенсувати за допомогою приєднання до електричних мереж (ЕМ) відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) – джерел електричної енергії, з'єднаних безпосередньо з розподільною електричною мережею або підключених до неї з боку споживачів [2].

Метою роботи є дослідження впливу ВДЕ на рівні напруг та втрати активної потужності в ЕМ, з урахуванням зміни навантаження у вузлах, місць та потужностей відновлювальних джерел генерування.

Результати дослідження

Якщо навантаження вузла ЕМ більше або рівне вихідній потужності РДЕ, то втрати потужності зменшуються. Якщо сумарна вихідна потужність встановлених РДЕ в ЕМ більша ніж її сумарне навантаження, то в такому випадку втрати можуть збільшуватись [3]. Це спостерігається в тому випадку, коли відбувається транспортування електричної енергії у зворотному напрямку, тобто від кінця ЕМ до її головної ділянки [4]. Отож для визначення оптимальних місць підключення відновлювальних джерел електроенергії використовуємо метод запропонований в [5].

Вектор-рядок T_i складається з коефіцієнтів, які показують, яку частку в сумарних втратах i -тої вітки складає протікання по ній потужності до кожного вузла:

$$\dot{T}_i = (\dot{U}_i M_{\Sigma_i}) \cdot \hat{C}_i \dot{U}_d^{-1}, \quad (1)$$

де U_t – транспонований вектор напруг у вузлах включаючи і балансувальні (тут і далі індекс “ t ” означає, що матриця або вектор є транспонованими). M_{Σ_i} – вектор-стовпець матриці інцидентів, з'єднань віток у вузлах M_{Σ} ; C_i – i -й вектор-рядок матриці розподілу струмів у вузлах J_{Σ} по вітках схеми; U_d – діагональна матриця напруг у вузлах без балансувальних вузлів;

Для того, щоб знайти значення активної потужності ВДЕ можна застосувати наступну формулу [6]:

$$P_{ВДЕ} = P_n + \frac{|U_i| \cdot |U_i|}{R_{i,i}} \cdot \sum_{j=1, j \neq i}^n \left[P_j \cos(\delta_i - \delta_j) + jQ_j \sin(\delta_i - \delta_j) \right] \cdot \frac{R_{i,j}}{|U_i| \cdot |U_j|}, \quad (2)$$

де $|U_i|$ - модуль напруги у вузлі, n - кількість вузлів в схемі, $R_{i,j}$ - i та j елемент матриці вузлових опорів схеми, δ_i - фаза в i -тому вузлі, P_j, Q_j - активна та реактивна потужність навантаження в j -тому вузлі відповідно.

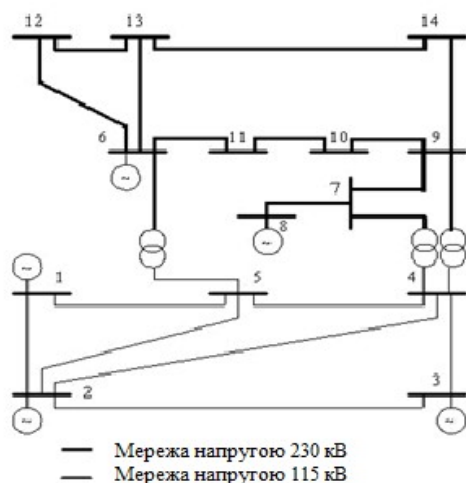


Рис. 1. Тестова схема IEEE на 14 вузлів

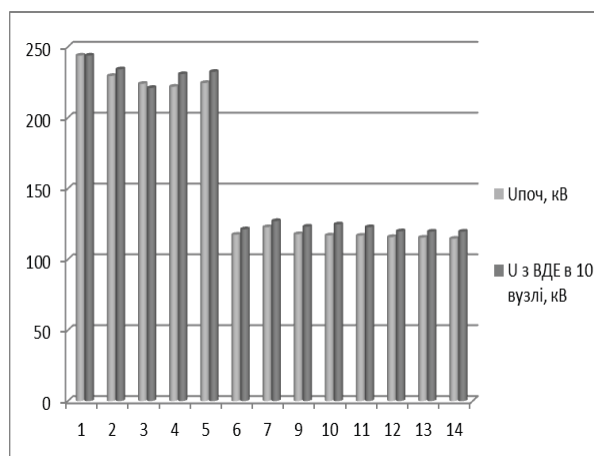


Рис. 2. Напруги у вузлах тестової схеми до та після приєднання ВДЕ

Серед усіх вузлів, обираємо вузол для під'єднання за вказаним алгоритмом, що знаходиться в мережі 115кВ та забезпечить найменший показник втрат активної потужності у вітках схеми, очевидно, що це буде вузол 10. Проаналізувавши дані розрахунку, можна оцінити вплив ВДЕ на рівні напруг у вузлах тестової схеми. Результати розрахунку представлені на рис. 2

Висновки

Джерела нетрадиційної і відновлювальної енергії мають різноплановий вплив на роботу електричної мережі. Переваги в збільшенні частки розосередженого генерування можливі лише при обранні вірного методу пошуку оптимальних місць під'єднання та потужності генерування ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 1. – С. 46-53.
2. Shukla T.N., Singh S.P., Naik K.B. Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses in radial distribution networks // International Journal of Engineering, Science and Technology. – 2010. – Vol. 2. – №3 – Р. 94–106.
3. Кириленко О.В., Павловський В.В., Яндульський О.С., Стелюк А.О. Керування режимом роботи електростанції з відновлюваними джерелами енергії в умовах зміни частоти в енергосистемі // Технічна електродинаміка. - 2012. -№ 4. - С. 52-57.
4. Кулик В.В., Малогулко Ю.В., Магас Т.Є. [Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid](#) // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – №4. – С. 1–6. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/download/1404/999>.
5. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. [Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами](#): Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. –123 с
6. Лежнюк П.Д., Кравчук С.В. Оптимізація схем під'єднання нетрадиційних і відновлювальних джерел електроенергії в електричних мережах // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2014.– №2.– с. 168-173.

Культатицька Анна Сергіївна — студент, кафедра електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — канд. техн. наук, асистент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. email : sv.kravchuk@ukr.net

Kulmatutska Anna S. - student, department of electric stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Kravchuk Sergiy V.** — Ph.D. ,assistant of Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : sv.kravchuk@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ МЕРЕЖЕВОГО ІНВЕРТОРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано комп'ютерну модель, яка допомагає досліджувати роботу фотоелектричної станції із нечітким регулятором.

Ключові слова: фотоелектрична станція, оптимізація, мережевий інвертор.

Abstract

In this work is proposed computer model that helps to investigate the work of a photovoltaic station with a fuzzy controller.

Keywords: photovoltaic station, optimization, network inverter.

Вступ

Розробка нових моделей оптимізації роботи інвертора, нові алгоритми потребують перевірки їх працездатності. Розвиток сучасних комп'ютерів дозволяє дуже ефективно використовувати імітаційне моделювання у наукових дослідженнях, виробництві, техніці та інших прикладних сферах діяльності. За допомогою спеціального програмного забезпечення, що симулює різноманітні явища та процеси, користувач має можливість будувати віртуальні складні експерименти, досліджуючи незвичайні та неможливі в дійсності дії. Використання комп'ютерного імітаційного моделювання дає змогу проводити необмежену кількість експериментів, що повністю позбавляє від затрат на сировину та матеріали.

Результати дослідження

У процесі дослідження систем автоматичного регулювання, обчислювальних математичних задач найбільш ефективним є використання пакета прикладних програм MATLAB з широким класом предметно-орієнтованих бібліотек (Toolbox) та інструментом візуального моделювання Simulink [1].

Пропонуємо математичну модель оптимізації процесу перетворення енергії на фотоелектричній станції з використанням математичного апарату нечітких множин, та здійснено налаштування нечіткого регулятора в ППП MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

Для перевірки адекватності запропонованої математичної моделі оптимізації процесу перетворення енергії на фотоелектричній станції з використанням апарату нечіткої логіки було розроблено комп'ютерну модель в ППП Matlab фотоелектричної станції потужністю 250 кВт, яка складається з 88 паралельних стрінгів, кожна з яких містить 7 послідовно з'єднаних модулів типу SunPower SPR-415E-WHT-D.

При збільшенні навантаження на мережу відбувається зниження напруги, що сигналізує про необхідність збільшення пропускної здатності мережі. При зменшенні навантаження відбувається зворотній процес. В результаті роботи було промодельовано режим роботи ФЕС при зміні пропускної здатності мережі та отримано графіки перехідних процесів.

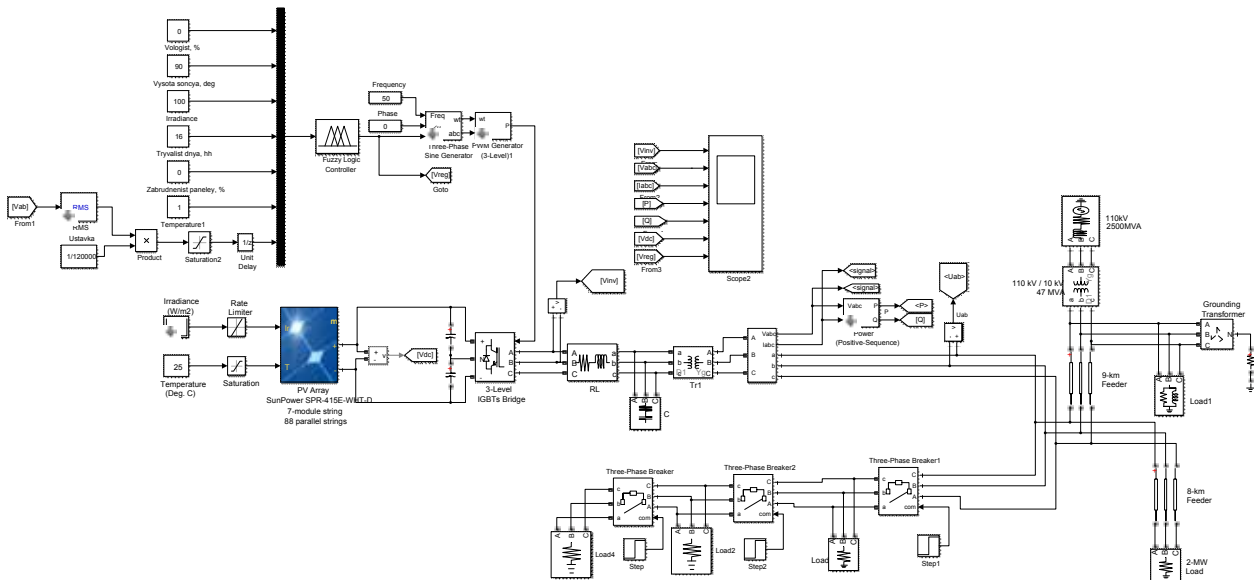


Рисунок 1 – Комп’ютерна модель сонячної фотovoltaїчної електростанції в ППП Matlab

Висновки

У роботі розроблено комп’ютерну модель в ППП Matlab Simulink Library Simscape Power Systems ФЕС потужністю 250 кВт з нечітким регулятором. Дана модель дозволяє здійснювати налаштування роботи регулятора фотоелектричної станції, здійснювати корегування вагових коефіцієнтів, та яка дозволяє перевірити адекватність запропонованої моделі оптимізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кветний Р. Н. Комп’ютерне моделювання систем та процесів: методи обчислень. Ч.1: навч. посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О. М. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: posibnyku/171..htm.

Лежнюк Петро Дем’янович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Бартецька Ірина Анатоліївна – аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bartetskayairina@gmail.com.

Lezhniuk Petro Demianovych – Dr. Sc., Professor, Head of Department of power plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bartetska Iryna Anatoliivna – Post-Graduate Student of Department of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ПАСИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ТА ЗАЗЕМЛЕННЯ БУДІВЛІ

ТОВ «ФЛЕКСЕЛ УКРАЇНА»

Анотація

Пропонується огляд пасивних елементів, що є основою контуру заземлення будь якої будівлі.

Ключові слова: блискавкозахист, контур заземлення, блискавкоприймачі, стрижні заземлення, струмовідводи.

Abstract

The review of passive elements, which are the basis of the earthing system of any building, is proposed.

Keywords: lightning protection, ground loop, lightning-collectors, grounding rods, current drives.

Звичним, повсякденним і в той же час воістину страшним явищем природи є блискавка. Одночасно на всій планеті може існувати до декількох тисяч таких розрядів. Щорічно блискавка вбиває до тисячі людей.

Сила блискавки може досягати до 200 тисяч ампер. Удар такого розряду в дах будівлі практично напевно викличе пожежу.

Як правило, від розряду блискавки спалахують тільки ті будівлі і споруди, які не обладнані захистом від блискавки.

Вперше зіткнувшись з необхідністю встановити блискавкозахист на своїй будові, багато хто задається питаннями:

- Що застосовується для забезпечення захисту від блискавок?
- Чим забезпечити захист від блискавки?
- Як організувати захист від блискавки

Все зводиться до одного раціонального алгоритму дій:

- проектування системи блискавкозахисту;
- підбір необхідних елементів для організації;
- монтаж системи блискавкозахисту.

Підбір необхідних елементів для організації блискавкозахисту (згідно проекту)

Системи блискавкозахисту складаються з трьох основних елементів: блискавкоприймача, струмовідводу і заземлювачів. Класична схема, запропонована Бенджаміном Франкліном ще в далекому 1752 році, лежить в основі всіх сучасних систем захисту від блискавок.

Захист споруди здійснюється за рахунок перехоплення та відводу в землю блискавичних струмів. Блискавкозахист необхідний для будь-якої споруди, а особливо для будівель, покритих металочерепицею або металевою крівлею.

Блискавкоприймачі

Блискавкоприймач необхідний для прийому прямого удару блискавки. Зазвичай він розташовується в зоні ймовірного контакту з блискавкою. Для збільшення висоти конструкції використовуються спеціальні металеві щогли. Для великих об'єктів рекомендується влаштовувати декілька окремих стрижнів по периметру з автономними струмовідводами.

Найчастіше, блискавкоприймачі виготовляються з алюмінієвих сплавів, а також зі сталі оцинкованої методом гарячого оцинкування зануренням. Блискавковідвід здатний витримати великі динамічні і теплові навантаження. Залежно від типу споруди, що захищається, існує кілька варіантів блискавкоприймачів. Це пристосування може бути виконано у вигляді сітки з струмопровідного матеріалу, металевого стрижня або троса чи дроту, який натягнутий над об'єктом, що захищається.

Струмовідводи

Струмовідвід виготовляється зі сталевий, алюмінієвий, або мідного дроту, або троса. Прокладають в місцях ймовірного удару блискавки. Такими місцями зазвичай є кровельні коньки, а також з краю, та біля виступів фронтонів.

Для струмовідводу використовується провідник перерізом у 8 або 10 мм. У сучасних системах всі з'єднання виконуються болтовим з'єднанням. У місцях, де можливий контакт з людиною, струмовідвід необхідно ізолювати. Крім того, повинен бути прямий доступ до струмовідводу для регулярних оглядів.

Заземлювачі

Стрижні заземлення (заземлювачі) є одним з основних елементів блискавкозахисту. Стрижні заземлення виготовляються з гарячеоцинкованої, обмідненої і нержавіючої сталі.

Вони необхідні для відводу в ґрунт електричного струму, який виникає в результаті ураження споруд та інженерних мереж розрядом блискавки. Заземлювачі представляють собою провідники, які призначені для з'єднання з іншими конструктивними елементами системи блискавкозахисту. Вони завжди розташовуються в землі. Основне завдання цього пристосування - максимально безпечний розподіл електричного струму в ґрунті. Глибина залягання заземлювачів залежить від типу ґрунтів на конкретній місцевості.

Варто також відзначити, що існує два види заземлення - горизонтальне і вертикальне. Перший варіант використовується в тому випадку, якщо неможливо провести глибинну установку цього пристосування. Тому горизонтальні заземлювачі застосовуються на скельних і гравійних ґрунтах. Вертикальні заземлювачі призначені для глибокого проникнення в ґрунт. Таким чином, вони забезпечують високу ефективність і відмінну провідність.

Опір заземлення вимірюється в Ом, і в ідеальному випадку повинен дорівнювати 0. Однак на практиці значення недосяжно, тому для захисту від блискавки встановлений максимальний поріг - не більше 10 Ом. Однак величина залежить від питомого опору ґрунту, тому для піщаних ґрунтів, де цей параметр досягає 500 Ом/м, збільшується допустимий параметр заземлювача до 40 Ом.

Організація блискавкозахисту та заземлення споруд вимагає особливих професійних знань і навичок.

Компанія «Флексел Україна» надає максимальне сприяння в навчанні співробітників монтажних і проектних компаній, організації навчального процесу навчання студентів ВНЗ в області прокладки кабельних трас в кабельних лотках, трубах, а також організації блискавкозахисту та заземлення будівель.

Писаренко Дмитро Георгійович — директор ТОВ «Флексел Україна», м.Київ, e-mail: Dmytro.pysarenko@flexel.com.ua

Pysarenko Dmytro G. — director “Flexel Ukraine”, Ltd, Kyiv, email : Dmytro.pysarenko@flexel.com.ua

СУЧАСТНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ПРОКЛАДАННІ КАБЕЛЬНИХ ТРАС В МЕТАЛЕВИХ ЛОТКАХ

ТОВ «ФЛЕКСЕЛ УКРАЇНА»

Анотація

Пропонується огляд різних систем металевих кабельних лотків. Акцент робиться на найбільш сучасних сітчастих кабельних лотках.

Ключові слова: *прокладання кабельних трас, кабельні лотки, вибір оптимального кабельного лотка, захисний матеріал, опорні аксесуари.*

Abstract

The review of various systems of metal cable trays is offered. The emphasis is on the most modern wire mesh cable trays..

Keywords: *laying cable routes, cable trays, the selection of the optimal cable tray, protective material, supporting accessories.*

Важливою частиною в будівництві будь-яких споруд є прокладка кабельних трас для підведення електрики до об'єкта.

Варіанти прокладки кабелів

1. Відкрита прокладка
2. Прокладка в штробі
3. Прокладка в пластикових коробах, в гладкостінних і гофрованих трубах
4. Прокладка в металевих лотках
5. Прокладка в землі

Організація кабельних трас за допомогою кабельних лотків має низку беззаперечних переваг:

- простота і зручність обслуговування в процесі експлуатації, завжди легко видалити зайвий кабель або додати до траси нові дроти;
- зручність та економічність монтажу;
- естетичний вигляд.

Для того, щоб кабельна траса надійно прослужила протягом усього терміну експлуатації, її необхідно правильно змонтувати.

При виборі правильного лотка має значення:

1. Тип лотка
2. Товщина сталі
3. Захисний матеріал
4. Переріз лотка
5. Тип монтажу (підібрати правильні опорні елементи)
6. Необхідні поворотні вироби
7. З'єднувальні, та кріпильні аксесуари

Для початку, треба підібрати правильний тип лотка:

1. Лотки перфоровані

2. Лотки суцільні
3. Кабельрости (або лотки сходового типу)
4. Сітчасті (або дротяні) лотки
5. Лотки під заливку в бетон

Матеріал, що використовується для захисту сталі, з якої виготовляються лотки дозволяє застосовувати їх в будь-яких середовищах експлуатації, в тому числі дуже агресивних.

Треба підібрати лоток з необхідного захисного матеріалу:

1. Оцинковані методом Сендзіміра DIN 10142/10147
2. Електролітична оцинковка DIN 50961
3. Гаряче цинкування методом занурення EN ISO 1461
4. Нержавіюча сталь 304 та 316L AISI 304/316
5. Полімерна фарба IEC 439-1

Існує пряма залежність передбачуваного навантаження на погонний метр лотка, і товщиною сталі, з якої виготовляють кабельні лотки.

Безумовно, одно з вирішальних значень має відстань між опорами.

Будь-який тип прокладки кабельних лотків характеризується поняттям «система»

Система кабельних лотків повинна в себе включати всі необхідні аксесуари, що дозволяють вирішувати будь-які завдання з прокладання кабельних трас.

- Достатній асортимент перетинів лотків
- Оптимальний набір поворотних аксесуарів для виконання будь-яких конфігурацій трас
- Надійні з'єднувальні елементи для виконання з'єднань траси
- Кріпильні матеріали

Опорні аксесуари, що дозволяють виконувати всі типи монтажу:

- а. Настінний горизонтальний монтаж
- б. Настінний вертикальний монтаж
- в. Монтаж до стелі
- г. Підлоговий монтаж
- д. Монтаж під фальшпідлогою/монтаж під заливку бетоном

Прорахувати специфікацію на системі кабельних лотків

- Спеціальне програмне забезпечення (AutoCAD, Revit)
- Технічний спеціаліст

СІТЧАСТІ (ДРОТЯНІ) ЛОТКИ - НАЙБІЛЬШ СУЧАСНІ, ЗРУЧНІ В ПРОРАХУВАННІ СПЕЦІФІКАЦІЇ, МОНТАЖІ, ТА ЕСПЛУАТАЦІЇ.

«Европейский союз поддерживает развитие науки и техники и уделяет большое внимание образованию. Цель – квалифицированная рабочая сила и высокотехнологичное производство».

<http://europarlamenti.info/ru/Cennosti-i-celi/celi/>

Прокладання кабельних трас вимагає особливих професійних знань і навичок.

Щоб забезпечити високу надійність та довговічність електричних силових та слабкострумних кабельних ліній, що споруджуються, в умовах експлуатації, необхідно суворе дотримання всіх вимог, які відображені в "Правилах улаштування електроустановок".

Компанія «Флексел Україна» надає максимальне сприяння в навчанні співробітників монтажних і проектних компаній, організації навчального процесу навчання студентів ВНЗ в області прокладки кабельних трас в кабельних лотках, трубах, а також організації блискавкозахисту та заземлення будівель.

Писаренко Дмитро Георгійович — директор ТОВ “Флексел Україна”, м.Київ, e-mail: Dmytro.pysarenko@flexel.com.ua

Pysarenko Dmytro G. — director “Flexel Ukraine”, Ltd, Kyiv, email : Dmytro.pysarenko@flexel.com.ua

СТИМУЛЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ ЗІ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі висвітлено питання інвестування заходів зі зменшення втрат в електричних мережах. Розглянуто систему стимулюючого регулювання компенсації реактивної потужності із застосуванням теорії активних систем.

Ключові слова: енергозбереження, теорія активних систем, компенсація реактивної потужності.

Abstract

In this work is explaining the problem of investing in reducing losses in electrical networks measures. Also is considering the system of stimulating regulation of compensation of reactive power by using the theory of active systems.

Key words: energy saving, theory of active systems, compensation of reactive power.

Вступ

Проблеми підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та стимулювання впровадження нових засобів підвищення ефективності енерговикористання на сучасному етапі стали предметом багатьох досліджень. Для реалізації інвестиційних проектів зі зменшення втрат в електричних мережах необхідно вирішити три завдання: по-перше, вибрати джерела фінансування; по-друге, визначити критерії оцінювання заходів з енергозбереження; по-третє, оцінити ефективність заходів з енергозбереження для кожного конкретного споживача. В основу поставленого питання буде покладено теорію активних систем [1].

Результати дослідження

Задачі стимулювання впровадження нових засобів підвищення ефективності енерговикористання відносяться до задач, яким характерні взаємозалежність дій і результатів діяльності різних посадових осіб і колективів, інтереси яких істотно відрізняються.

Розглянемо системустимулювання, яку доцільно подати як дворівневу модель активної системи (рис. 1), що складається з центра – на верхньому рівні ієрархії і агентів – на нижньому рівні [2].

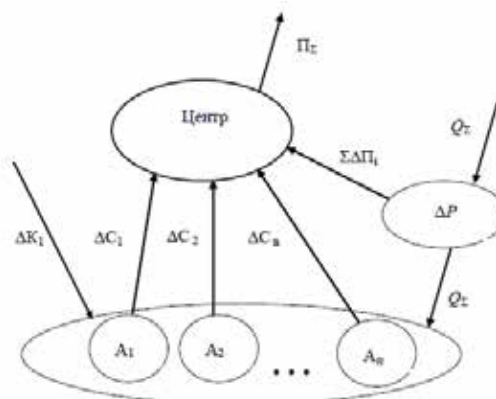


Рисунок 1. Модель активної системи компенсації реактивної потужності

Цільові функції центра і агентів багатоелементної активної системи з сильно зв'язаними агентами відповідно будуть

$$\begin{aligned}\Phi(v, y) &= H(z) - v_i(y); \\ f_i(v_i, y) &= v_i(y) - c_i(y),\end{aligned}$$

де $H(z)$ – дохід центра, який залежить від агрегованих показників діяльності всіх агентів; $v_i(y)$, $c_i(y)$ – відповідно витрати на стимулювання та затрати окремих агентів, які залежать від дії всіх агентів.

Агент вибирає дію y , під якою можна розглядати обсяг виконаних робіт або кількість відпрацьованих годин, направлених на енергозбереження. Виконання дії вимагає від агента витрат $c(y)$ і приносить центру дохід $H(y)$. Центр компенсує затрати агенту шляхом матеріального стимулювання у вигляді грошової винагороди $v(y)$.

Стратегією центра є вибір такої функції стимулювання $v(y)$, за якої досягається максимум цільової функції $\Phi(y)$.

В теорії активних систем [3] доведено, що оптимальною (δ -оптимальною) є квазікомпенсаторна система стимулювання.

В електроенергетиці широко застосовують систему стимулювання D-типу, яка полягає в перерозподілі доходу, наприклад, якщо $v(y)=0,5H(y)$. Оскільки агент вибирає дію y , за якої досягається максимум $f(y)$, то максимум цільової функції $f(y)$ досягається, якщо $y=y_2^* < y_1^*$ (рис. 2б).

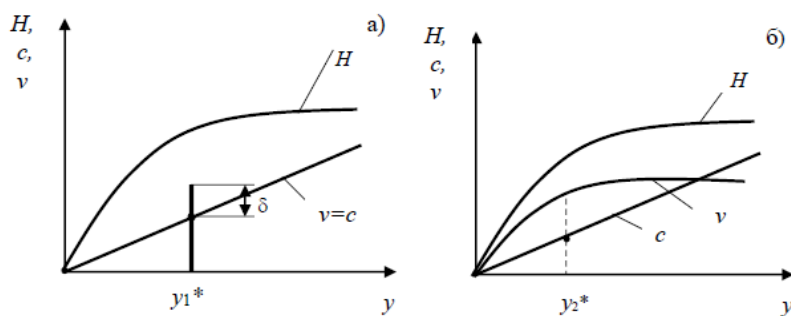


Рисунок 2. Дохід, затрати праці і витрати на стимулювання

Агент може вибрати дію $y > y_2^*$, збільшивши свою винагороду. Однак дуже скоро це йому стає невигідним, оскільки дохід починає спадати, а затрати збільшуються пропорційно y . З метою стимулювання агента до збільшення дії необхідно збільшити його частку в загальному доході, наприклад $v(y)=0,75H(y)$. Тоді максимум цільової функції $f(y)$ зміститься вправо. Крім того, в силу прагнення максимізації винагороди, агент може збільшити y . Таким чином, система перерозподілу з лінійною залежністю функції стимулювання може забезпечити близьку дооптимальної стратегію стимулювання.

Висновки

Запропонована система стимулювання впровадження нових засобів підвищення ефективності енерговикористання із застосуванням теорії активних систем є однією з найбільш доцільних в питанні інвестування заходів зі зменшення втрат в електромережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Новиков Д.А., Петраков С.Н. Курс теории активных систем / Д. А. Новиков, С. Н. Петраков. – М.: Синтег, 1999. – 103 с.
2. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук: Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2008. - 110 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://burbelo.vk.vntu.edu.ua/file/512ea1f1747bcc448e76292343f2a42.pdf>
3. Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах / Д. А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 312с.

Ліна Віталіївна Попсуй – студентка групи 4Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 4e14b.popsui@gmail.com

Науковий керівник: **Михайло Йосипович Бурбело** – доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Lina. V. Popsui – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 4e14b.popsui@gmail.com.

Supervisor: **Mykhailo Y. Burbelo** – Doc. Sc. (Eng), Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ АМОРФНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ В КУРСОВИХ ТА ДИПЛОМНИХ ПРОЕКТАХ

Вінницький коледж Національного університету харчових технологій

Анотація

Наведено аналіз особистого досвіду заохочення студентів до виконання творчих завдань при роботі над дипломним проектом.

Ключові слова: дипломний проект, втрати потужності, аморфний трансформатор.

Abstract

The analysis of personal experience of encouraging the confeders to fulfill creative tasks during work on the diploma project is given.

Keywords: graduation project, power loss, amorphous transformer.

Вступ

Основними характеристиками, що визначають технічний рівень силових трансформаторів, є втрати електроенергії (холостого ходу та короткого замикання), матеріалоемність (витрата електротехнічної та конструкційної сталі, обмотувального проводу, електроізоляційних матеріалів, трансформаторного масла та ін.), якість виготовлення, надійність та зручність обслуговування в експлуатації.

Потужність навантаження трансформатора менше ніж потужність, що споживається на вході первинної обмотки внаслідок наявності втрат. Втрати в трансформаторі в процесі перетворення енергії поділяються на втрати в обмотках ΔP_m та втрати в сталі $\Delta P_{ст}$. Втрати в обмотках трансформатора пропорційні квадрату струму (навантаженню) (або втрат короткого замикання, що представляють собою втрати в міді обмоток, а також додаткових втрат в стінках бака та інших металевих частинах, викликаних потоком розсіювання).

На промисловому підприємстві силові трансформатори встановлюють на головних знижувальних, на цехових і спеціальних підстанціях (перетворювальних, електропічних, зварювальних і ін). Втрати електроенергії в трансформаторах є неминучими, однак їх розмір повинний бути доведений до можливого мінімуму шляхом правильного вибору потужності, числа силових трансформаторів, а також раціонального режиму їх роботи.

Сучасні трансформатори характеризуються кращими технічними характеристиками в порівнянні з відповідними аналогами, що випускались в минулому столітті. Це зумовлено появою нових технологій, нових матеріалів, нових конструктивних рішень, що впроваджені в процес виготовлення трансформаторів. Результатом цього в тому числі є і суттєве зменшення втрат холостого ходу в сучасних трансформаторах. В зв'язку з цим необхідно виховувати у майбутніх спеціалістів прагнення до використання сучасних електроапаратів, до здатності обґрунтовувати доцільність такого впровадження та оцінювати його результати.

Отримані результати

Одне із завдань, що отримує студент, починаючи роботу над дипломним проектом, полягає в виборі для системи електропостачання, що проектується, кількості, потужності та місця установки силових трансформаторів. В процесі роботи над дипломним проектом необхідно формувати у студента інтерес до самостійної творчої роботи. Особлива зацікавленість може посилюватись усвідомленням того, що вирішення виданого завдання має реальну користь, що з'являється можливість виконати розрахунки для діючої системи електропостачання.

Реальним прикладом може бути варіант коли студент, проходячи практику на підприємстві, збирає там необхідний для виконання проекту матеріал. На перших зустрічах йому можна поставити завдання зібрати таку інформацію про трансформатори, які експлуатуються на підприємстві:

- кількість та потужності трансформаторів;
- їх рік виготовлення;
- графіки навантаження;
- режими експлуатації.

Зібраний матеріал використовується для розрахунків ефекту від використання нових типів трансформаторів або від переходу на інший режим їх експлуатації.

Таким чином, замінивши застарілі трансформатори ТМ 1000 на нові аморфні ТМ (Г) 1000 шляхом розрахунку оцінили економію електроенергії та зменшення втрат. Результати такого розрахунку наведені на рисунку, де одночасно також показані значення втрат в трансформаторах, які експлуатуються в системі електропостачання. Необхідна для такого розрахунку інформація була отримана як на підприємстві, так і в процесі проектування. Наприклад, в дипломному проекті, де об'єктом проектування була система електропостачання олієжиркомбінату, студент мав можливість порівняти ефективність використання в тих же умовах аморфних трансформаторів. За розрахунками кількість та потужність трансформаторів зівпала із встановленими на підприємстві, але на підприємстві експлуатують трансформатори 1975 року випуску, для яких $\Delta P_m = 10,9$ кВт; $\Delta P_{ct} = 2,55$ кВт (тіж параметри але для трансформаторів 1965 року такі $\Delta P_m = 11,5$ кВт; $\Delta P_{ct} = 2,95$ кВт, а 2012 року – $\Delta P_m = 10,2$ кВт; $\Delta P_{ct} = 1,5$ кВт), вибрані аморфні трансформатори мають такі параметри $\Delta P_m = 9,2$ кВт; $\Delta P_{ct} = 0,374$ кВт. Ефект у зменшенні сумарних втрат в трансформаторах видно з рисунка 1.

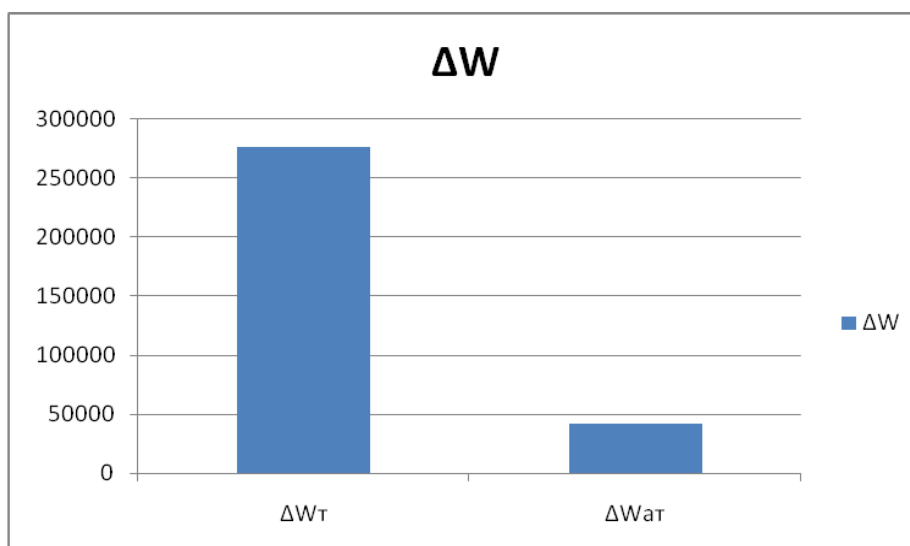


Рис. 1. Зниження втрат електроенергії за результатами заміни трансформаторів

Економія електроенергії становить: $E = 276717,2 - 42188,99 = 234,528$ тис. кВт год./рік.

Додатково до цього студент отримує завдання дізнатись про інші як позитивні, так і негативні властивості аморфних трансформаторів.

Висновок

Видаючи студентам завдання на дипломне або курсове проектування, доцільно включати задачі, вирішення яких потребує творчого підходу та необхідності висувати ідеї щодо обґрунтування доцільності або недоцільності провадження того або іншого рішення і виконувати відповідні розрахунки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Трансформатор ТМГ 1000 аморфный. Режим доступу: <http://transformator.ru/production/transformatory-tmg/tmg-1000-amorfnyu/>

Наталія Василівна Терешкевич – викладач-методист Вінницького коледжу Національного університету харчових технологій.

Natalya Vasilivna Tereshkevich – teacher-methodologist of Vinnitsa College of the National University of Food Technologies.

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ОБМЕЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ГРУПИ ОДНОФАЗНИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ НА НЕСИМЕТРІЮ РЕЖИМУ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено математичну модель, що дозволяє прийняти рішення з обмеження потужності вузла живлення групи електроприймачів несиметричного виконання із врахуванням його впливу на несиметрію режиму.

Ключові слова: несиметрія режиму, математична модель, обмеження потужності.

Abstract

A mathematical model is developed that allows us to make a decision to limit the power of the power node of the asymmetric electrical receivers group taking into account its effect on the asymmetry of the mode.

Keywords: asymmetry of the regime, mathematical model, power limitation.

Вступ

В будь-якій електроенергетичній системі має місце виробнича задача забезпечення балансу потужності генерації та споживання електроенергії. Особливо важливою стає така задача в енергосистемах, які мають дефіцит потужності генерації, який може скластися в наслідок дефіциту генерованої потужності, або недостатку енергоносіїв, або як результат першого та другого одночасно.

Один із шляхів оперативного вирішення даної проблеми це зменшення максимуму споживання потужності в енергосистемі шляхом зменшення потужності споживачів електроенергії. Така задача вирішується в два етапа. На першому етапі приймається рішення на рівні енергосистеми, в результаті чого приймається рішення з обмеження потужності окремих споживачів. На другому етапі приймаються рішення на рівні споживача, які реалізуються шляхом вимикання деякого технологічного обладнання.

Серед можливих випадків можуть бути такі, коли рішення з обмеження потужності приймається із врахуванням параметрів режиму, що встановиться в результаті реалізації визначеної вимоги. Окремим випадком є обмеження потужності вузла, до якого під'єднано групу електроприймачів несиметричного виконання. Оскільки вимикання несиметричних електроприймачів позначаються на несиметрії електричного режиму системи, то такий взаємопов'язаний ефект може прийматись до уваги. Але досліджень, які дозволяють прийняти таке рішення недостатньо для практичного їх використання. Задача обмеження потужності однофазних електроприймачів залишається не вивченою і як оптимізаційною вона не ставилась (не обґрунтовувались критерії оптимальності, технічні обмеження, в рамках яких мають прийматись рішення, відсутні математичні моделі).

Результати дослідження

Проведені дослідження, обмежені лише випадками трипровідної мережі, в якій несиметричні електроприймачі під'єднані до лінійних напруг, а вимога з обмеження потужності реалізується виключно вимкненням однофазних електроприймачів.

За критерій ефективності в розробленій моделі керування взято модуль струму зворотної послідовності в лінії живлення групи несиметричних електроприймачів.

Обмеженнями математичної моделі забезпечується:

- вимога енергосистеми щодо зменшення потужності;
- нижнє допустиме значення потужності групи несиметричних електроприймачів, що необхідно, для виключення можливості отримання технічно недопустимого розв'язку – вимкнення всіх електроприймачів і забезпечення області пошуку розв'язку оптимального;

– можливість вимкнення будь-якого із несиметричних електроприймачів.

Оскільки кожен несиметричний електроприймач може знаходитись в двох станах «вимкнено» або «ввімкнено», то для опису зручно скористатись булевими змінними. Змінні математичної моделі такий зміст: якщо в результаті розв'язання задачі керована змінна $X_n=1$, то n -й несиметричний електроприймач має залишатись ввімкнутим, а якщо $X_n=0$, то навпаки, його слід вимкнути.

В цілому, математична модель обмеження потужності групи несиметричних електроприймачів має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \sum_{n=1}^m a_n x_n + j \sum_{n=1}^m b_n x_n \right| \rightarrow \min \\ \sum_{n=1}^m P_n x_n \leq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P \\ \sum_{n=1}^m P_n x_n \geq \sum_{n=1}^m P_n - \Delta P - 2P_{n \max} \\ x_n + \bar{x}_n = 1, n = 1, 2, \dots, m \\ x_n, \bar{x}_n \in \{1, 0\}. \end{array} \right.$$

де a_n та b_n – дійсна та уявна складова вектора струму зворотної послідовності, що генерується електроприймачем n , $n=1, 2, \dots, m$;

P_n – активна потужність по вузлу навантаження несиметричних електроприймачів на момент прийняття рішення з обмеження потужності;

ΔP – значення потужності обмеження;

$$P_{n \max} = \max \{P_1, P_2, \dots, P_m\}.$$

Математична модель потребує забезпечення мінімуму струму зворотної послідовності в лінії живлення, який є мірою рівня несиметрії, шляхом вимкнення окремих несиметричних електроприймачів і відноситься до класу нескалярних. Для її аналізу слід скористатись одним із відомих алгоритмів нескалярної оптимізації.

Практичне значення математична модель має в комплексі моделей для інших рівнів прийняття керуючого рішення.

Висновки

1. Приймати рішення з обмеження потужності в системі електроспоживання слід із врахуванням впливу на електричні режими.

2. Обмежити потужність вузла, що живить групу електроприймачів несиметричного виконання, забезпечивши при цьому мінімально можливий рівень несиметрії режиму, можна прийнявши рішення за допомогою розробленої математичної моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аввакумов В. Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов. – К. : Вища шк., 1990. – 188 с. – ISBN 5-11-001321-7/.
2. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні : навчальний посібник / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 136 с.
3. Милосердов В.О. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики : Навчальний посібник / В.О. Милосердов, Л.Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 123 с.

Леонід Борисович Терешкевич – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

Олександр Олексійович Хоменко – аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

Leonid Boris Tereshkevich – Cand. Sc. (Eng), associate professor, professor of department of the electrical engineering systems of electro-consumption and power management, Winnitca national technical university.

Alexander Alex Khomenko is a graduate student of department of the electrical engineering systems of electro-consumption and power management, Winnitca national technical university.

НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ SMART-БУДИНКІВ НА БАЗІ ПРОТОКОЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ KNX ФІРМИ HAGER

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано сучасний метод автоматизованого керування системою електрообладнання житловим будинком на базі використання європейського протоколу передачі даних KNX фірми Hager.

Ключові слова: будинок, електрообладнання, керування, передача даних, протокол.

Abstract

A modern method of automated control of the electrical system of a residential building based on the use of the European protocol for the transfer of KNX data from the Hager company was proposed.

Keywords: house, electrical equipment, control, data transmission, protocol.

Вступ

Сучасний розвиток систем електропостачання вимагає приділити значну увагу енергозберігаючим технологіям, якими можливо керувати в реальному часі. Одним з напрямків такої автоматизації систем електропостачання сучасних об'єктів різного роду власності, які живляться від джерел різної напруги, є впровадження Smart-технологій.

Актуальність цієї роботи підтверджується тим, що більшість розвинутих країн світу поступово переходить до управління енергетичними структурами різноманітних об'єктів, використовуючи мережу Інтернет з віддаленим доступом [1]. Одним із найважливіших питань ефективного функціонування Smart-систем є сумісність її компонентів на різних рівнях електричної мережі, тобто питання стандартів, які визначають та закріплюють основні принципи функціонування мережі та взаємодії її складових. В разі успішного вирішення цього завдання на перших етапах запровадження Smart-систем подальша інтеграція до мережі нових компонентів системи буде відбуватися за загальновідомим принципом «plug and play» – «приєднуйся та працюй» [2].

Результати дослідження

Дослідження, проведені в роботі присвячені пошуку і вибору існуючих на ринках Європи Smart-технологій універсального призначення, які можуть бути адаптовані, після відповідного доопрацювання, для впровадження в українські системи електропостачання.

Найбільш поширеною інтелектуальною системою управління електричними споживачами електричних мереж обрано систему керування «розумними-будинками» яка базується на використанні єдиного протоколу управління KNX німецької фірми Hager. Ця фірма має представництво на ринку енергетичного обладнання України і пропонує широкий спектр послуг, в тому числі і з програмування та впровадження Smart-технологій.

При консультативній підтримці українського представництва фірми Hager розроблена та запропонована наступна інтелектуальна система управління електрообладнанням житлового будинку, структурна схема якого представлена на рисунку 1.

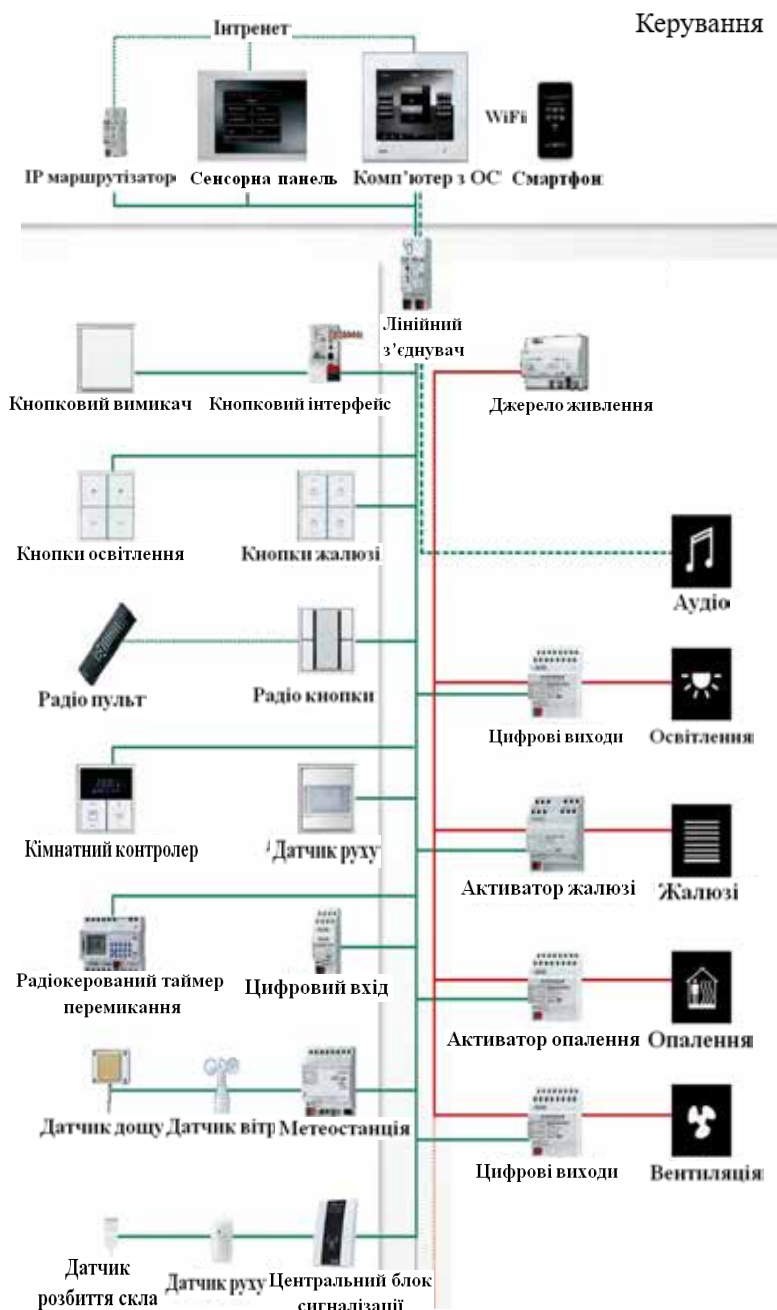


Рис.1. Інтелектуальна структурна схема Smart-будинку

Висновок

Використання протоку KNX дає можливість підключати нові споживачі електричної енергії та робить інтелектуальну систему універсальною, що підтверджується і тим, що до асоціації протоколу KNX приєдналися понад 350 компаній зі всього світу з більш ніж 7000 сертифікованих продуктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1.U.S. DepartmentofEnergy. Smart Grid / Department of Energy.
<https://energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid>
- 2.Standards For Transmission and Distribution System Integration: Towards «plug and play» of Utility Applications // SISCO, Inc., 2003. – http://www.sisconet.com/downloads/Utility_PnP_08.pdf

Владислав Васильович Слівінський – студент групи 3Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Юрій Петрович Войтюк – кандидат технічних наук, асистент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний

університет, м. Вінниця.

Юлія Андріївна Шулле – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Vladislav V. Slivinsky – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Yuri P. Voytyuk - Cand. Sc. (Eng), assistant of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЗАСТОСУВАННЯ АСКОЕ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СЕП

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано сучасний спосіб автоматичного дистанційного курування системою електропостачання та контроль споживання електроенергії в режимі реального часу, яке дозволяє встановлення двох та трьох зонних лічильників, відслідковування аварій, перенавантажень та стану мережі по всіх основних параметрах.

Ключові слова: система електропостачання, виробництво, електроенергія, автоматизована система комерційного обліку електроенергії.

Abstract

The modern way of automatic remote control of the power supply system and real-time control of electricity consumption is proposed, which allows the installation of two and three zone meters from the observation of accidents, overloads and the state of the network in all major parameters.

Keywords: power supply system, production, electricity, automatic system for commercial accounting of power consumption.

Вступ

На сучасному етапі розвитку промисловості актуальною проблемою стає електропостачання промислово-виробничих об'єктів, контроль якості електропостачання та швидкості внесення змін в систему постачання електричної енергії. Все це можна здійснювати за допомогою таких систем як: ЛУЗОД, АСКОЕ, АСТОЕ [1]. Відповідно до п. 3.35 ПКЕЕ діючі об'єкти, (крім багатоквартирних житлових будинків та населених пунктів) з приєднаною потужністю 150 кВт і більше та середньомісячним обсягом споживання за попередні 12 розрахункових періодів 50 тис. кВт і більше, а також нові об'єкти з приєднаною потужністю 150 кВт і більше та середньомісячним заявленим обсягом споживання електричної енергії 50 тис. кВт і більше, зобов'язані облаштувати свої енергоустановки системами ЛУЗОД або АСКОЕ [2]. Дані системи вже давно використовуються в розвинутих закордонних виробництвах та поступово починають запроваджуватися не тільки на потужних підприємствах України, але й на об'єктах малої потужності та побутових споживачах.

Результати дослідження

Для забезпечення надійного рівня електропостачання найкраще підходить система АСКОЕ (аббревіатура фрази «автоматизована система комерційного обліку електроенергії»). Вона надає можливість в реальному часі в будь-якому кінці світу перевірити та внести зміни в систему електропостачання по конкретному параметру електроенергії для окремого приймача електричної енергії. Чого не можна зробити з системою ЛУЗОД, яка надає дані СЕП тільки енергопостачальній компанії. АСКОЕ зв'язує всі електричні прилади в одну систему, контроль якої здійснюється дистанційно з комп'ютера.

Розглянемо дворівневу систему розроблену на базі створеної системи фірми ТОВ ТЕГА (рис. 1) [3].

Верхній рівень АСКОЕ складається із:

1. Серверу збору, передачі, обробки і зберігання даних, який являє собою персональний комп'ютер із встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням Energo-S та програмою керування базами даних;
2. Комунікаційного обладнання верхнього рівня системи (мережеві плати, перетворювачі інтерфейсів, модеми);
3. Автоматизованих робочих місць (АРМ) користувачів системи (операторів, розрахункових груп, головного енергетика та ін.).

Нижній рівень АСКОЕ складається із засобів вимірювання, обліку та зберігання даних:

1. Вимірювальні трансформатори струму;
2. Вимірювальні трансформатори напруги;
3. Багатофункціональні електронні лічильники електроенергії, які дозволяють здійснювати облік як

спожитої, так і генерованої активної та реактивної потужності в багатотарифних режимах, вести графіки навантажень, здійснювати моніторинг параметрів мережі тощо; 4. Комунікаційне обладнання, що забезпечує передачу всіх облікових даних від лічильників до верхнього рівня системи. До такого обладнання належать перетворювачі інтерфейсів, модеми GSM та радіозв'язку, сервери доступу TCP/IP.

На Українському просторі існує чимало компаній які займаються розробками таких систем під ключ, або наданням товарів. Найвідоміші з них VoliEnergoGroup, ТОВ ТЕГА, Укренергобезпека, ГРАНД ТЕСЛА та інші.

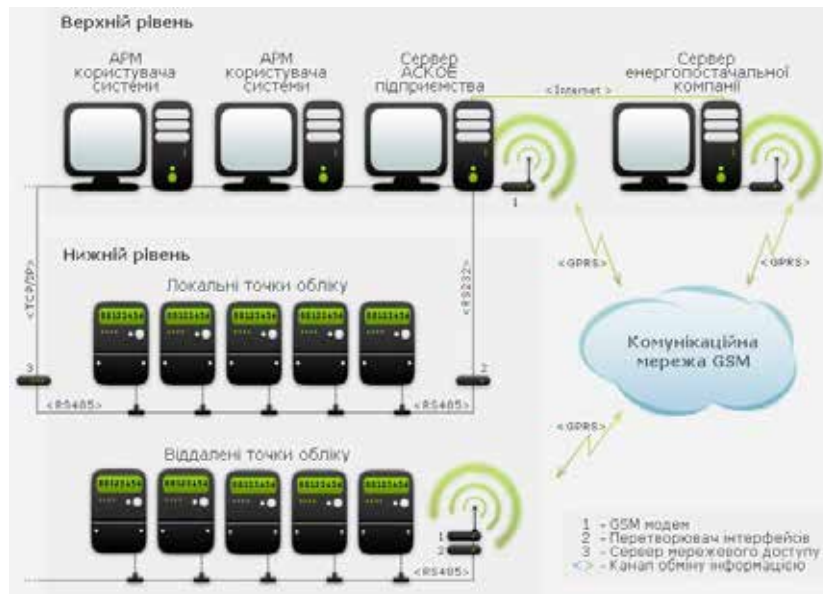


Рис.1. Структурна схема роботи АСКОЕ

Висновок

Використання АСКОЕ дозволяє: дотримуватися встановленого режиму в виробництві і стежити за витратою електричної енергії; поліпшити точність обліку електроенергії, регулярно отримувати достовірну та оперативну інформацію; створити умови для зниження енерговитрат і економії електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизированные системы учета электроресурсов ЛУЗОД, АСКОЕ, АСТОЕ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voltenergo.com.ua/services/avtomatizirovannyie-sistemyi-ucheta-elektroresurov-luzod-askoe-astoe/>
2. Впровадження систем АСКОЕ в житлових будинках Києва. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kyivenergo.ua/ee-home/sistemi_askoe
3. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tega.com.ua/energoss>

Богдан Павлович Станіславов – студент групи ЗЕ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. stanislavovbogdan1997@gmail.com

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Bogdan P. Stanislavov – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ З ДОПОМОГОЮ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПОДІЛУ ВТРАТ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показано, що економічні еквіваленти реактивної потужності вузлів електричної мережі (ЕЕРП) можна знаходити за допомогою коефіцієнтів розподілу втрат. Це дозволяє проводити розрахунок ЕЕРП за схемою мережі та її параметрами, що відповідає фізичним умовам формування еквіваленту.

Ключові слова: економічні еквіваленти реактивної потужності, електрична мережа,

Abstract

Was shown that the economic equivalents of the reactive power of the nodes of the electrical network (EERP) can be found using the loss distribution coefficients. This allows carry out the calculation according to the scheme of the network and its parameters which corresponds to physical conditions of formation of EERP.

Keywords: economic equivalents of the reactive power, electrical network.

Вступ

Основним інструментом стимулювання впровадження установок компенсації реактивної потужності в електричній мережі споживачів є плата за реактивну енергію, яка визначається відповідно [1]. Ця плата визначається втратами активної енергії на передачу реактивної потужності мережами електропередавальної організації (ЕО) до споживача. При розрахунку вказаної плати ЕО відносно кожного вузла навантаження представляють еквівалентним джерелом реактивної потужності, яке характеризується економічним еквівалентом реактивної потужності.

Існує ряд методів визначення ЕЕРП [1, 2]. Недоліком цих методів є залежність еквівалентних характеристики мереж ЕО від реактивних навантажень інших вузлів. Це ускладнює розрахунок плати за реактивну енергію та її прогнозування споживачами.

Метою роботи є розробка методу розрахунку економічного еквівалента реактивної потужності вузла навантаження електричної мережі, величина якого не залежить від реактивних навантажень інших вузлів.

Результати дослідження

Показаний вище недолік можна усунути, розраховуючи ЕЕРП за допомогою коефіцієнтів розподілу втрат [3]. Розглянемо можливість цього підходу для елементарної схеми, заступна схема якої зображена на рис. 1.

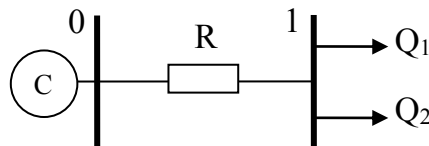


Рис. 1. Заступна схема розрахункової мережі: С – енергосистема.

Знайдемо втрати, які створюють відповідно реактивні навантаження Q_1 і Q_2 :

$$\Delta P_1 = \Delta U_1 \cdot \frac{Q_1}{U_1}, \quad \Delta P_2 = \Delta U_2 \cdot \frac{Q_2}{U_1}, \quad (1)$$

де ΔU_1 , ΔU_2 – спади напруги на ділянці 01 відповідно від протікання реактивних навантажень Q_1 і Q_2 ; U_1 – напруга у вузлі 1.

Якщо врахувати, що $\Delta U_{1*} = \frac{\Delta U_1}{U_1}$ і $\Delta U_{2*} = \frac{\Delta U_2}{U_2}$ відносні спади напруги, то (1) переписеться:

$$\Delta P_1 = \Delta U_{1*} \cdot Q_1, \quad \Delta P_2 = \Delta U_{2*} \cdot Q_2.$$

Останні вирази перепишемо з врахуванням коефіцієнтів розподілу навантаження $Q = Q_1 + Q_2$
 $\alpha_1 = \frac{Q_1}{Q}$ і $\alpha_2 = \frac{Q_2}{Q}$:

$$\Delta P_1 = \Delta U_{1*} \cdot \alpha_1 \cdot Q; \quad \Delta P_2 = \Delta U_{2*} \cdot \alpha_2 \cdot Q. \quad (2)$$

Оскільки величина $\Delta U_* \alpha$ визначається аналогічно коефіцієнту розподілу втрат T $\Delta U_* \alpha_1 = T_1$, $\Delta U_* \alpha_2 = T_2$, то для розрахунку ЕЕРП доцільно використовувати коефіцієнти розподілу втрат. В цьому випадку втрати, які створює навантаження Q_i , для довільної електричної мережі можна представити наступним чином:

$$\Delta P_i = T_i \cdot Q_i, \quad (3)$$

де T_i – i -й елемент матриці коефіцієнтів розподілу втрат.

З формули (3) видно, що коефіцієнт T_i показує частку втрат в мережі, зумовлену реактивним навантаженням Q_i . Цей коефіцієнт визначається схемою мережі електропередавальної компанії та її параметрами і відповідає фізичним умовам формування втрат активної потужності від перетоків реактивної. Тобто $T_i = D_i$.

Висновки

1. Існуючі методи розрахунку економічних еквівалентів реактивної потужності для вузлів мережі електропередавальної компанії залежать від реактивних навантажень інших вузлів, що ускладнює їх визначення і відповідно прогнозування плати за реактивну енергію

2. Запропонований метод розрахунку економічних еквівалентів реактивної потужності базується на даних про схему мережі електропередавальної компанії та її параметри, відповідає фізичним умовам формування втрат активної потужності від перетоків реактивної і дозволяє прогнозувати плату за реактивну енергію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Економічні еквіваленти реактивної потужності. Математичний та чисельний аналіз / [Д.Б. Банін, О. С. Яндутьський, М. Д. Банін та ін.] // Промелектро. – 2004. – №1. – С.22-33.
2. Рогальський Б.С. Економічні еквіваленти реактивної потужності (ЕЕРП) та їх використання / Б.С. Рогальський, О.М. Нанака // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №6. – С.126-129.
3. Лежнюк П.Д. Взаємовплив електричних мереж і систем / П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін – Вінниця: ВНТУ, 2008. –122 с.

Анатолій Вікторович Ольшевський – студент групи ЕМ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: 123.88.123@mail.ru.

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email : demov@yandex.ru.

Anatoliy V. Olcewski – Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Alexander D. Demov** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ДЕКОМПОЗИЦІЯ РАДІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі запропоновано декомпозицію радіальної електричної мережі при розрахуванні компенсування реактивної потужності. Показано незалежність оптимальних реактивних потоків в окремих лініях розподільних мереж, що дозволяє проводити розрахування компенсування реактивної потужності окремо в цих лініях.

Ключові слова: декомпозиція, компенсація реактивної потужності, електричні мережі.

Abstract

The radial electric networks decomposition for the calculation of the reactive power compensation is proposed in this work. The purpose of this research is the electric network simplification and taking into account the reactive power generation, transmission and consumption in these networks. This work shows that the optimal reactive flows are independent in the feeding and distributive networks. This allows to calculate the reactive power compensation separately in these networks.

Keywords: decomposition, compensation of reactive power, electric networks.

Вступ

Втрати електроенергії в електричних мережах можна значно зменшити шляхом компенсування реактивної потужності (КРП) в них. Основою існуючих методів розрахування КРП є системний підхід, що базується на розв'язанні такої задачі одночасно для всієї електричної мережі [1]. Розв'язувати цю задачу в такій постановці складно, оскільки це потребує значних затрат по збору інформації.

Метою роботи є розробка методу розділення електричної мережі при розв'язанні задачі КРП на окремі частини (декомпозиції електричної мережі), що дозволяє спростити розрахунок і зменшити затрати на збір інформації.

Результати дослідження

Основною умовою можливості вказаної декомпозиції є рівність значень функцій критеріїв КРП електричних мереж до і після їх декомпозиції:

$$\alpha_{\Sigma} (Q_{KV_i}) = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^{m_j} \alpha_j (Q_{KV_{jl}}), \quad (1)$$

де $\alpha_{\Sigma} (Q_{KV_i})$ – значення функції критерію КРП для всієї електричної мережі в залежності від значень потужностей компенсувальних установок (КУ) Q_{ki} при розв'язанні задачі без декомпозиції; $i=1, \dots, k$, k – кількість вузлів електричної мережі; $\alpha_j (Q_{KV_{jl}})$ – значення функцій критеріїв КРП j -их підсистем в залежності від потужностей КУ $Q_{KV_{jl}}$; $l=1, \dots, m_j$, m_j – кількість вузлів j -ої підсистеми;

$j=1, \dots, n$, n – кількість підсистем електричної мережі; $\sum_{j=1}^n m_j = k$.

При розв'язанні задачі в якості критеріїв КРП в електричних мережах прийнято: 1) величину зниження втрат активної енергії від перетоків реактивної; 2) величину затрат на передавання і генерування реактивної потужності.

Умова (1) по першому критерію для довільної радіальної електричної мережі, в якій кожна з підсистем замінені опором R_j та навантаженням Q_j , запишеться як:

$$\delta P_{\Sigma} (Q_{KYj}) = \sum_{j=1}^n \frac{(Q_j - Q_{KYj})^2}{U_n^2} \cdot R_j, \quad (2)$$

де $\delta P_{\Sigma} (Q_{KYj})$ – сумарне зниження втрат електроенергії в радіальній електричній мережі в залежності від потужностей Q_{KYj} ; U_n – номінальна напруга мережі.

З (2) видно, що для даної мережі виконується умова (1) і при розрахуванні КРП така мережа може бути розділена на n -підсистем.

Розглянемо розрахунок КРП для радіальної електричної мережі, заданої матрицею вузлових активних провідностей Y , відповідно другого критерію КРП. Матриця-стовпець оптимальних значень потоків реактивної потужності для цієї мережі визначається як:

$$Q_c^{opt} = YC, \quad (3)$$

де C – матриця-стовпець, всі елементи якої $C_i = \frac{C_{KY} \cdot U_n^2}{2 \cdot C_0}$; C_{KY} – питома вартість КУ; C_0 – вартість втрат активної потужності [2].

Для радіальної мережі матриця вузлових активних провідностей є діагональною і її елементи – це власні провідності вузлів Y_{ii} . З урахуванням цього матриця оптимальних потоків реактивних потужностей для цієї мережі запишеться:

$$Q_c^{opt} = \begin{pmatrix} Y_{11} \cdot C_1 \\ Y_{22} \cdot C_2 \\ \dots \\ Y_{ii} \cdot C_i \\ \dots \\ Y_{kk} \cdot C_k \end{pmatrix}, \quad (4)$$

З (4) видно, що при розрахуванні КРП по мінімуму затрат радіальна мережа ділиться на незалежні частини, що забезпечує декомпозицію електричної мережі.

Висновки

Електричні радіальні мережі при розрахуванні КРП доцільно розділити на підсистеми, що дає змогу зменшити інформацію необхідну для вказаного розрахунку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами // Офіційний вісник України. – 2002. – №6.
2. Демов, О. Д. Оптимізація процесу впровадження компенсуювальних установок в розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній : монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 98 с.

I. С. Ситар – студент групи ЕМ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **О. Д. Демов** – канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: demov@yandex.ru.

I. S. Sitar – Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **A. D. Demov** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні заходи з енергозбереження в тепличному господарстві, досліджено різницю заміни на альтернативні джерела електроенергії.

Ключові слова: альтернативні джерела, теплиця, теплові насоси, економія, сонячні батареї.

Abstract

The main measures on energy saving in the greenhouse economy are considered, and the difference of replacement with alternative sources of electricity is investigated.

Keywords: alternative sources, greenhouse, heat pumps, economy, solar panels.

Вступ

На тлі енергетичної кризи актуальним є питання переходу від традиційних джерел енергії до нових, альтернативних, які екологічно менш небезпечні. Передусім це енергія сонця. Це особливо актуально для України, промисловість якої витрачає в 4-5 разів більше енергії, ніж будь-яка країна Європи, що робить продукцію не конкурентоспроможності [1].

Метою роботи є порівняти ефективність інновацій на основі альтернативних джерел енергії в овочівництві закритого ґрунту, запропонованих у світовій практиці та обґрунтувати параметри ефективності діяльності досліджуваного підприємства.

Результати дослідження

З метою пошуку найоптимальнішого варіанта модернізації енергетичних потужностей було проведено економічне обґрунтування витрат на опалення теплиць альтернативними видами палива на базі голландської технології ПАТ "Комбінат Тепличний" з розрахунку на 1 га та по підприємству в цілому. Було розраховано економію опалення тепловим насосом "вода/вода" порівняно з газовим котлом [1]. За одержаними результатами дослідження можливих варіантів опалення теплиць альтернативними видами палива було встановлено, що рівень фінансових витрат при застосуванні теплових насосів порівняно з опаленням газом зменшиться орієнтовно на 51-65% залежно від технологій.

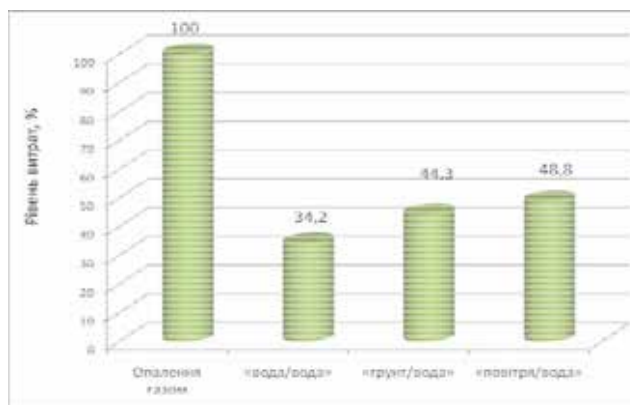


Рис. 1. Рівень фінансових витрат при застосуванні теплових насосів порівняно з опаленням газом залежно від технології

Було розглянуто також таке джерело енергії як сонячна радіація. Радіаційний режим території України сприятливий для практичного використання сонячної енергії. Середньорічна кількість

сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах від 1000 кВт-год/м² у її північній частині [2].



Рис. 2. Середньорічний потенціал сонячної енергії, кВт-год/м²

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні 1235 кВт-год/м², що відповідає енергомісткості близько 100 л дизельного палива або 100 м³ природного газу, є набагато вищим ніж, наприклад, у Німеччині (1000 кВт-год /м²) та Польщі (1080 кВт год/м²). Це свідчить про сприятливі можливості для ефективного використання сонячної енергії на території України. За дослідженнями [3], річне виробництво електроенергії в Південній Італії на широті 41° становить 1300 – 1400 кВт-год/м², де потрапляння сукупної річної сонячної радіації на горизонтальну поверхню більше ніж 5 ГДж/м².

Висновки

Ефективним джерелом енергії для тепличних господарств є поєднання сонячних батарей і теплових насосів. Кожен кіловат потужності сонячних батарей дозволяє отримати 5 кВт теплової енергії при застосуванні теплових насосів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Олексюк А. О., Челапко С. О., Горделюк А. А. Створення енергоресурсозберігаючих систем гео-термального теплопостачання з використанням сонячної енергії та теплових насосів // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. -2011. -№1(12) – с.143-150
2. Лазоренко В. О. Розробка моделі енергоефективної теплиці з використанням традиційних джерел та сонячної енергії // Науковий вісник НУБіП України. – 2011. – вип. 166(4).
3. Giuliano Vox, Meir Teitel, Alberto Pardossi at al. Sustainable greenhouse systems. Nova science publishers. Italy, Inc., 2010. 79 p.

Владислав Олегович Буженко – студент групи 4Е-14Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vlad.byjik@gmail.com

Науковий керівник: **Юрій Анатолійович Лобатиук** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Vladislav O. Buzhenko – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vlad.byjik@gmail.com

Supervisor: **Yurii A. Lobatiuk** – Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ЯК БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Було розглянуто способи управління енергоефективністю промислового підприємства та визначено максимально доступний і простий спосіб зменшення витрат електроенергії.

Ключові слова: енергоменеджмент, енергоефективність, натрієва лампа, енергозберігаючі технології.

Abstract

The ways of controlling the energy efficiency of an industrial enterprise were considered and the most accessible and easy way to reduce.

Keywords: energy management, energy efficiency, sodium lamp, energy saving technologies.

Вступ

Енергозбереження та енергоефективність – важливі питання для будь-якого промислового підприємства, в тому числі і для ПАТ «Маяк» (м. Вінниця). Пов'язано це з тим, що підприємство, яке утворило та налагодило систему енергетичного менеджменту (СЕМ), поліпшує свою енергоефективність, може впроваджувати новітні засоби з енергозбереження, покращує виробничий цикл. Інтенсивність і прибутковість виробництва напряму залежить від енергетичних складових.

В даний час на ПАТ «Маяк» відсутня налагоджена СЕМ та новітні енергозберігаючі і енергоефективні технології. Наявна система енергозбереження є неефективною і потребує оновлення. Щоб вирішити цю проблему на підприємстві пропонується створити відділ енергоменеджменту у якому будуть розробляти проекти щодо впровадження інновацій, яким під силу змінити усталені принципи виробництва та споживання енергії [1].

Результати дослідження

Був проведений аналіз енергоефективності підприємства, в результаті якого було визначено цехи, в яких буде найдоцільніше встановити енергозберігаючі технології, наприклад заміна дугових ртутних ламп (ДРЛ) на натрієві лампи. Характеристики обох видів ламп наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики дугових ртутних ламп (ДРЛ) і натрієвих ламп

Лампа	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Термін служби, год.	Цоколь	Ціна, грн.
ДРЛ	250	13000	6000	E40	150
Натрієва	150	15000	12000	E40	211,7

Серед двох типів ламп, які досліджуються, найбільший строк служби є у натрієвої лампи ($T_{\max} = 12000$ год.).

Для підвищення показників енергетичної ефективності даного підприємства необхідно покращити стандарти енергоефективності будівель, встановити «розумні» енергомережі і лічильники споживання енергії, проводити інформаційно-роз'яснювальну роботу з працівниками, а також укріплювати потенціал по збору даних енергоспоживання, цільові показники енергоефективності. За відсутності сучасного управління системою енергетичного менеджменту на підприємстві

ПАТ «Маяк» та дієвого контролю за споживанням енергетичних ресурсів необхідно запровадити облік та аналіз споживання енергоресурсів, провести енергоаудити та розробити енергоефективні заходи, впровадити планування нових норм споживання енергоресурсів, забезпечити улаштування енергоефективної світлодіодної системи внутрішнього освітлення цехів, впровадити альтернативні джерела енергії для підігріву води на потреби цехів, модернізувати теплові вводи та системи опалення з використанням енергозберігаючих технологій [2].

Перша і основна складова СЕМ – це персонал служби енергоменеджменту. Друга складова – система обліку енергоресурсів та факторів, які впливають на енерго- та ресурсоспоживання. Недосконалість наявних систем обліку не може бути виправданням у не запровадженні системи енергоменеджменту. Для підвищення оперативності аналізу енергоспоживання та відповідних дій службам енергетичного менеджменту потрібні автоматизовані системи комерційного обліку енергоресурсів (АСКОЕ) [3,4]. Третя складова – алгоритм прийняття управлінських рішень та дій, для чого створюють пакет документів, що регламентують діяльність енергоменеджменту та вносять доповнення в інші чинні установчі документи. Необхідно гармонійно вписати систему енергетичного менеджменту в наявні управлінські структури.

Висновки

Таким чином, визначено коло першочергових питань, які необхідно вирішувати для досягнення більшої енергоефективності підприємства та можливі способи енергозбереження на підприємстві. Був проведений аналіз енергоефективності на ПАТ «Маяк» та було запропоновано можливі варіанти для вирішення поставленої задачі. У даний час на підприємстві практично відсутня система енергозбереження, тому впровадження СЕМ є надзвичайно актуальним питанням. При цьому застосувавши системний підхід можна отримати максимальний результат поставлених цілей енергетичного менеджменту, тобто вдосконалити продуктивну якість роботи підприємства, знайти можливості економічної роботи, що суттєво впливає на енергетичний розвиток підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хохлявин С. А. Стандарт ISO 50001: системний підхід к енергоменеджменту// ЭнергоАудит. – 2009. – № 3 (11). – С. 39.
2. Денисюк С. П. ISO 50001: цілі стандарту та перспективи його впровадження в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_3_ISO_50001.pdf
3. Шулле Ю. А. АСКОЕ як інструмент ефективного енергоменеджменту на підприємствах АПК / Ю. А. Шулле // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 165. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2015. – С. 25-27.
4. Шулле Ю. А. Програмно-технічне забезпечення енергозберігаючих заходів [Електронний ресурс] / Ю. А. Шулле // Матеріали XIII міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2016)", м. Вінниця, 3-6 жовтня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/13142>.

Ірина Володимирівна Валькова – студент групи ЕСЕ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rentalsira@gmail.com.

Юлія Андріївна Шулле – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Irina V. Val'kova – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rentalsira@gmail.com.

Iuliia A. Shullie – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

МЕТА І ЗАВДАННЯ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У ПРОМИСЛОВОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто поняття «нормалізація енергоспоживання». Визначено основну мету та завдання нормалізації витрати енергії.

Ключові слова: енергоспоживання, підприємство, економія, промисловість.

Abstract

It was considered a concept of "normalization of energy consumption". It was determined the main purpose and tasks of energy consumption normalization.

Keywords: energy consumption, enterprise, economy, industry.

Вступ

Під поняттям «нормалізація енергоспоживання» розуміють процес встановлення планової величини витрати енергії на одиницю продукції або виконання одиниці роботи (тобто встановлення планової величини питомої витрати енергії).

Значення нормалізації енергоспоживання в промисловості дуже велике. По-перше, визначаючи науково обґрунтовані норми питомої витрати енергії, створюється база для розрахунку потреби в енергії різних виробничих об'єктів: підприємств, їх підрозділів, окремих агрегатів і технологічних процесів. З іншого боку, норми питомої витрати енергії дозволяють об'єктивно оцінювати ефективність енерговикористання в умовах обсягу, що змінюється, і асортименту продукції, що випускається окремими агрегатами, цехами або підприємствами [1].

Результати досліджень

Найголовнішою метою нормалізації енергоспоживання в промисловості є:

- забезпечення раціонального й економного витрачання енергії у виробництві;
- встановлення початкових величин для планування енергоспоживання.

При цьому основним завданням нормалізації енергоспоживання (тобто способом досягнення поставлених цілей) є розроблення і використання у виробництві технічно і економічно обґрунтованих, прогресивних норм питомої витрати енергії [1].

Маючи результати енергетичного обстеження на підприємстві можна розробляти заходи з метою економії та заощадження коштів, які витрачаються на оплату паливно-енергетичних ресурсів. Завдання, яке ставить перед собою енергоаудит, полягає в тому, щоб визначити, як і де можна заощаджувати енергетичні ресурси. Наприклад, створюючи центри обліку енергії на підприємстві можна визначити, де найбільше використовується енергія та яким чином обсяг її використання можна зменшити.

Під питомою нормою енергоспоживання розуміють об'єктивно необхідну кількість його споживання на одиницю продукції або реалізація одиниці роботи встановленої якості в конкретних, прогресивних виробничих умовах. Інакше кажучи, нормою питомого споживання енергії є максимально допустима кількість енергоспоживання в цих виробничих умовах. Види норм питомої витрати енергії показано на рис. 1.

Нормалізація енергоспоживання органічно пов'язана з удосконаленням як виробництва, так і самого енергогосподарства підприємства. Разом з тим встановлення норм питомої витрати енергії засноване також на енергетичному обліку, контролі та аналізі енерговикористання, і утворює спільно з ними планову комплексну систему робіт, що систематично проводяться, забезпечують ефективне використання енергоресурсів [1, 2].

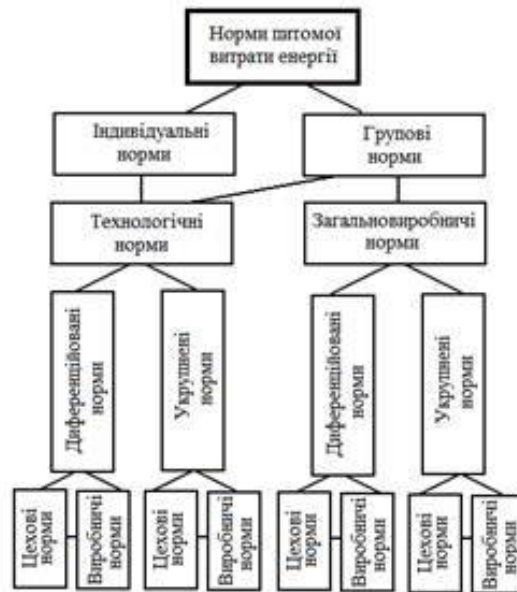


Рис. 1. Види норм питомої витрати енергії

З рис.1 видно, що питомі витрати енергії розподіляються між індивідуальними та груповими нормами, які, в свою чергу, поділяються на технологічні та загальновиробничі [1].

Що ж зараз змусить промислових споживачів енергії починати серйозно, практично займатися енергозбереженням? Це може бути досягнуто за допомогою законодавчих засобів, наприклад, шляхом впровадження обов'язкової сертифікації продукції та виробів з їх енергоефективності. Також, необхідний стимул для споживачів енергії. Цим стимулом може послугувати здорожчання ціни на енергію, або ж навпаки, її зменшення. У першому випадку менше використання – менше плати; а в другому – чим менше використання, тим більше «вільних» коштів, які потім можна розподіляти між працівниками того цеху, який найбільше заощадив. Але у першому та другому випадках існує потреба у об'єктивній оцінці ефективності споживання енергії споживачами. На сьогоднішній день єдиним способом отримання такої оцінки є вирішення проблеми нормалізації споживання енергії.

Висновки

Отже, безпосередньо у споживачів енергії, і перш за все промислових, вже є необхідність у нормалізації свого енергоспоживання, але вже з економічних міркувань, а не під адміністративним тиском. Принаймні слід вважати, що без вирішення завдання нормалізації енергоспоживання не може бути і мови про практичне енергозбереження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах: навчальний посібник /В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 195 с.
2. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

Надія Олександрівна Манжак – студент групи 4Е-166, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nadiamanzhak1998@gmail.com

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шуллє** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Nadia A. Manzhak – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nadiamanzhak1998@gmail.com

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні поняття й аналіз паливно-енергетичних балансів, їх практичне застосування на підприємстві. За результатами роботи зроблено висновки, щодо актуальності розглянутого питання.

Ключові слова: енергозбереження, підвищення енергоефективності, енергетичні баланси, нормування енерговитрат.

Abstract

The basic concepts and analysis of fuel and energy balances, their practical application at the enterprise are considered. The results of work made conclusions on the relevance of the issue.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy balances, energy efficiency rationing.

Вступ

В умовах ринкової економіки прийняття будь-яких управлінських рішень виходить з прагнення отримати не випадковий, а необхідний підприємству результат. Його досягненню передують ряд цілеспрямованих дій, покликаних забезпечити одержання необхідного результату, який би найбільшою мірою враховував інтереси й можливості підприємства в економічних умовах, що складаються. З цієї точки зору створення системи енергоменеджменту та розроблення енергетичних балансів може бути визначено як уміння передбачати мету і результати діяльності підприємства.

Результати дослідження

Одним з шляхів успішної реалізації програм енергозбереження є впровадження системи енергоменеджменту (СЕМ). Енергетичний менеджмент є одним з обов'язкових елементів в структурі загальної системи управління підприємства, яке поставило собі за мету скорочення споживання енергоресурсів шляхом їх ефективного використання, а отже скорочення видатків на їх придбання та підвищення конкурентоздатності. Основна мета енергоменеджменту – досягнення високої енергоефективності господарювання при найкращому використанні людського і ресурсного потенціалу об'єкта діяльності і мінімальному негативному впливі на навколишнє середовище. Для досягнення цієї мети необхідні чіткі стратегія, тактика і конкретна програма дій, яка дозволить вирішити проблему, що відокремлює існуючу ситуацію від бажаної. При цьому енергоменеджмент має бути ефективно (результативно) і стабільно працюючою системою, яка базується на отриманні енерготехнологічної інформації за допомогою обліку, проведення типового енерготехнологічного вимірювання, перевірки, аналізування ефективності енерговикористання, впровадженні енергозберігаючих заходів, та забезпечувати досягнення головної мети – зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів на виробництво продукції та поліпшення конкурентних позицій об'єкту.

Основним методом планування та аналізу енерговикористання в промисловості є енергетичні баланси. Вони дозволяють встановлювати необхідні величини і співвідношення між споживанням, виробництвом і отриманням енергоресурсів.

Під енергобалансом розуміють систему взаємозв'язаних показників, які відображають кількісну відповідність між надходженням і використанням всіх видів енергетичних ресурсів. Він є основним узагальненим документом для комплексного аналізу використання енергоресурсів і планування заходів щодо підвищення ефективності енергоспоживання. Таким чином, розроблення енергобалансів дозволяє створити науково-технічну основу для нормалізації енергоспоживання в промисловості.

Існує декілька різновидів енергобалансів. Класифікують їх за двома основними ознаками.

Залежно від масштабу вирішення завдань, від об'єктів складання енергетичні баланси підрозділяються на баланси окремих агрегатів, груп агрегатів або установок і баланси окремих технологічних процесів, ділянок, цехів, промислових підприємств. У даному розділі мова піде про

енергобаланси окремих агрегатів і установок. Ці баланси складаються з метою аналізу ефективності енерговикористання у виробництві, встановлення раціональних режимів роботи енергоустановок, а також для розроблення обґрунтованих, прогресивних норм питомої витрати енергії на одиницю продукції, яка випускається відповідними агрегатами.

За своїм призначенням енергобаланси підрозділяються на фактичні і планові. Фактичні баланси є звітними і відображають існуючий стан використання енергії зі всіма виправданими і невиправданими її витратами і втратами при реально досягнутих значеннях питомої витрати енергії.

Планові (перспективні) показники енергобалансу, у свою чергу, необхідно підрозділити на нормалізовані і раціональні. Нормалізовані енергобаланси розробляються на основі фактичних балансів з урахуванням прогресивних норм і нормативів втрат і корисного використання енергії. Такі енергобаланси відображають потенційно можливий рівень ефективності енергоспоживання, щодо якого виявляються резерви і намічаються заходи щодо економії енергоресурсів.

Раціоналізовані енергобаланси також складаються на основі фактичних балансів, але з урахуванням проведення всіх реально можливих у даних умовах виробництва заходів щодо зниження корисної витрати та інших втрат енергії.

Енергетичний баланс будь-якого вигляду містить дві частини: прибуткову і витратну. Кожна з частин балансу полягає, у свою чергу, з однієї або декількох статей. Статті прибуткової частини балансу відображають види енергоресурсів і джерела їх надходження (від енергозабезпечувальної організації, від власної генеруючої установки і таке інше). Статті витратної частини балансу відображають об'єкт або напрям використання енергії, а також види її втрат. При цьому питома вага статей у загальній величині надходження або витрати енергії, виражена у відсотках, характеризує структуру відповідно прибутковій або витратній частині енергобалансу.

Висновки

Отже, підприємствам необхідно підтримувати баланс між постачанням та ефективним використанням енергоресурсів. Враховуючи енергозберігаючу політику, одним із напрямків стратегії розвитку підприємства, має стати єдиний підхід до нормування енергоспоживання. Це повинно сприяти розробці прогнозів, формуванню лімітів енергоспоживання, ефективному енерговикористанню. Єдиний підхід допоможе стимулювати заощадження енергоресурсів. Нормування повинно застосовуватися до всіх видів енергоресурсів. Існуючі методики нормування витрат електроенергії потрібно удосконалювати за допомогою обґрунтованих методів побудови балансів споживання електричної енергії

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чмут Т.К. Управління енергетичним підприємством: навчальний посібник / Т.К. Чмут. – Харків, 1999. – 358с.
2. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах: навчальний посібник /В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 195 с.
3. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

Микола Борисович Гилун – студент групи 4Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 4e14b.polishchuk@gmail.com

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Nikolay B. Gilun – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 4e14b.polishchuk@gmail.com

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі висвітлено основні питання щодо організації енергетичного господарства на підприємстві. Розглянуто комплекс технічних засобів та спеціалізованих підрозділів, що забезпечують підприємство всіма необхідними видами енергії та енергоносіїв відповідних параметрів.

Ключові слова: енергозбереження, енергетичне господарство, енергозабезпечення.

Abstract

In this work is explaining the main issues of the organization of energy economy at the enterprises. The complex of technical means and specialized subsections providing the enterprises with all necessary types of energy is considered.

Key words: energy saving, energy organization, energy supply.

Вступ

Виробнича діяльність сучасного промислового підприємства пов'язана із споживанням енергетичних ресурсів як власного виробництва, так і отриманих ззовні. Знання організаційної структури енергетичного ринку, системи взаємовідносин між покупцями та продавцями електричної енергії на оптовому ринку електроенергії допомагає керівництву підприємства при виборі постачальника електроенергії за регульованим або нерегульованим тарифом та при підписанні контрактів на поставки енергоносіїв [1].

Результати дослідження

Традиційне енергогосподарство промислового підприємства належить до допоміжних ділянок виробництва. Проте за своєю суттю процес споживання енергії є однією з найважливіших сторін діяльності підприємства, оскільки виробничі процеси майже завжди вимагають тих або інших витрат енергії. Тому енергогосподарство не може розглядатися просто як рядова ділянка допоміжного виробництва. Це одна з найважливіших ділянок виробництва. Його стану, розвитку і вдосконаленню повинні приділяти повсякденну і серйозну увагу не тільки працівники енергетичної служби, але і керівництво підприємства [2].

Енергетичне господарство промислового підприємства – дуже специфічний підрозділ. З одного боку, воно є складовою частиною цього підприємства, але в той же час входить до складу енергогосподарства відповідного регіону, територіально й енергетично пов'язаного з електроенергетичною системою. Як відомо, до складу енергогосподарства промислового підприємства входять численні й різноманітні агрегати, обладнання, цехові і заводські мережі, розподільні пристрої, перетворювальні й генеруючі енергоустановки.

У технологічному відношенні енергогосподарство підприємства підрозділяється на [2]:

- виробничу частину, до якої належать генеруючі, перетворювальні, утилізаційні й акумулюючі енергоустановки (заводські електростанції, котельні, компресорні, насосні установки, установки з виробництва холоду та ін.);
- передавальну і розподільну частини, до яких відносять цехові і загальнозаводські мережі і розподільні пристрої;
- споживаючу частину, до якої належать різноманітні енерговикористовувальні агрегати.

Система енергогосподарства підприємства може бути організована як централізована, децентралізована або змішана. Персонал з обслуговування енергетичного господарства підприємства має подвійну підпорядкованість – начальнику цеху та головному енергетику підприємства.

У разі розрахунку потреби в енергії та паливі треба враховувати виробничу програму на плановий період, прогресивні норми витрат палива та енергії на одиницю продукції, норми витрат енергії та палива на власні потреби, організаційно-технічні заходи підприємства, відпуск енергії за межі підприємства, норми витрат енергії в мережах [3].

Нормування енергоспоживання полягає у визначенні його максимально допустимих витрат на відповідну облікову одиницю. Норми повинні відображати прогресивний рівень енерговикористання, що відповідає передовій технології й організації виробництва. Норми енергоспоживання розраховують як питомі витрати енергії на одиницю продукції, робочі місця, агрегати, а також за дільницями, цехами і підприємством загалом [1].

Основними завданнями енергетичного господарства підприємства такі: надійне постачання підприємства усіма видами енергії за визначеними у державі тарифами (цінами), найбільш економічне використання енергії на підприємстві, впровадження нової енергозберігаючої енергетичної техніки і технології на підприємстві, підвищення продуктивності праці та зниження собівартості продукції енергетичного господарства, забезпечення виконання правил та норм експлуатації та ремонтів енергетичного обладнання підприємства [3].

Висновки

Для здійснення перерахованих в роботі завдань, а також для розроблення й упровадження заходів щодо економії всіх видів енергії на підприємствах необхідно створювати енергетичні господарства, структура яких залежить від багатьох чинників: типу виробництва, обсягу випуску продукції, енергоємності продукції, розвитку кооперації з іншими підприємствами та ін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чмут Т.К. Управління енергетичним підприємством: навчальний посібник / Т.К. Чмут. – Харків, 1999. – 358с.
2. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах: навчальний посібник /В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 195 с.
3. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

Олександр Степанович Березовський – студент групи 4Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 4e14b.berezovskiy@gmail.com

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Olexandr. S. Berezovskiy – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 4e14b.berezovskiy@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПЛАНУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі висвітлено актуальність енергоефективного використання паливно-енергетичних ресурсів. Показано доцільність створення на підприємствах автоматизованих систем контролю і планування енергоспоживання.

Ключові слова: енергозбереження, енергетична ефективність, промислове підприємство.

Abstract

In this work was explained the problem of energy-efficient use of fuel and energy resources. The expediency of creation of automated control systems and energy consumption planning at enterprises is shown.

Keywords: energy saving, energy efficiency, industrial enterprise.

Вступ

Головним завданням будь-якого підприємства, особливо в сучасних надскладних економічних умовах, виступає максимізація прибутку за мінімізації використання ресурсів. Вітчизняні підприємства потребують в першу чергу суттєвого зменшення використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Для вирішення задач управління ефективністю енерговикористання активно використовується підхід, відмінний від системи нормування питомих витрат ПЕР, – побудова систем контролю і оперативного планування енергоспоживання. Такі системи створюються для окремих невеликих (локальних) об'єктів – окремих установок, агрегатів, процесів, підрозділів підприємства. Вони дозволяють безпосередньо контролювати абсолютні витрати енергоносіїв, а «еталоном» чи «стандартом» енергоспоживання є математична модель абсолютних витрат енергії на об'єкті, побудована у залежності від факторів, що характеризують умови протікання виробничого процесу. Але системи контролю і оперативного планування енергоспоживання не забезпечують енергозбереження, а лише створюють сприятливі умови для його здійснення.

Результати дослідження

Автоматизація процесу контролю і планування енергоспоживання дозволить:

- забезпечити ефективне і оптимальне функціонування бізнес-процесів щодо формування енергоспоживання підрозділами підприємства;
- керівництву підприємства і користувачам системи отримати повну, оперативну і достовірну інформацію для проведення поглибленого аналізу і оцінки енергоспоживання та ухвалення рішень;
- виконати оперативний контроль споживання енергоресурсів підприємства, оперативно реагувати на зміни виробничих ситуації за рахунок інформаційної узгодженості роботи цехів і виробничих майданчиків підприємства;
- своєчасно надавати інформацію про потребу в енергоресурсах цехами підприємства.

Такі цілі досягаються за рахунок:

- забезпечення комплексного автоматизованого обліку всіх ділянок діяльності підприємства в рамках єдиної інформаційної бази;
- впровадження сучасних стандартів і концепцій управління ресурсами підприємства, планування виробництва, фінансового планування і бюджетування;
- підвищення оперативності збору, передачі та обробки інформації, а також обміну її між ланками інформаційної системи;
- підвищення продуктивності праці персоналу в результаті звільнення його від трудомістких ручних робіт;
- підвищення достовірності інформації;

- підвищення якості розрахунку фінансових показників і узагальнених числових характеристик результатів діяльності підприємства;
- підвищення наочності, зручності використання та інформативності отримуваних даних;
- одержання доступу керівного персоналу підприємства до всіх інформаційних ресурсів системи;
- проведення автоматизації інформаційного пошуку, отримання інформації безпосередньо на робочих місцях кінцевих користувачів; автоматизація контролю помилок та інших переключень;
- створення єдиної бази даних підприємства.

Прикладом бази даних підприємства може бути інформаційна база з електрозбереження, яка дозволяє: раціонально зберігати інформацію по електрозбереженню будь-якого споживача; оперативно формувати заходи по економії електроенергії; нарощувати інформацію по електрозбереженню, не змінюючи структури бази; виконувати обробку та аналіз інформації з енергетичних обстежень, що містяться в базах даних; виявляти випадки нераціонального використання електроенергії, а також створити інформаційну базу для вирішення задач прогнозування обсягів споживання електроенергії і коштів на її оплату на наступний період.

Створення та використання автоматизованої систем контролю і планування енергоспоживання виявляється дуже корисним на тих об'єктах, на яких впроваджуються затратні енергозберігаючі заходи, оскільки такі системи дозволяють здійснювати моніторинг фактично досягнутого енергозбереження, а отже, і фактично одержаної економії витрат на енергоресурси.

Висновки

Автоматизовані системи контролю і планування енергоспоживання вважаються одним з найбільш ефективних способів управління використанням енергоресурсів для локальних енергоспоживаючих об'єктів. Автоматизована система контролю і планування енергоспоживання здатна виконувати функцію «обліку» фактично досягнутого рівня економії паливно-енергетичних ресурсів на підприємстві. Використання АСКОВЕ, SCADA та баз даних з енергозбереження дозволить в повній мірі вирішувати завдання систем контролю і планування енергоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Єпіфанова І. Ю. Оцінювання ефективності споживання енергетичних ресурсів промислових підприємств / І. Ю. Єпіфанова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://epifanova.vk.vntu.edu.ua/file/monograph/f623f63a5e11d8f14a6b954a82871827.pdf>.
2. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України // Відп. ред. А.К. Шидловський / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
3. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах: навчальний посібник /В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 195 с.
4. Шулле Ю. А. Програмно-технічне забезпечення енергозберігаючих заходів [Електронний ресурс] / Юлія Шулле // Матеріали XIII міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2016)", м. Вінниця, 3-6 жовтня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/13142>.
5. Демов О. Д. Створення інформаційної бази електрозбереження промислових підприємств м. Вінниці / О. Д. Демов, Ю. А. Шулле, В. В. Захаров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1. – С. 62-65.

Андрій Олександрович Воробей – студент групи ЕСЕ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: valanir.vin@gmail.com.

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Andriy. O. Vorobey – Power and Electrical Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: valanir.vin@gmail.com.

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДІАГНОСТУВАННЯ КОНДЕНСАТОРІВ СИЛОВОЇ СХЕМИ СТАТКОМ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розроблено математичну модель системи діагностування конденсаторів ланки постійного струму статичних синхронних компенсаторів, яка дозволяє вчасно виявляти критичний стан робочого конденсатора та запобігати пошкодженням компенсаторів.

Ключові слова: конденсатор, інвертор, діагностування, компенсатор.

Abstract

Abstracts. The paper presents the mathematical model and the structure of diagnosis system for capacitors of DC circuits of static synchronous compensators, which allows to identify the critical operating state of the capacitor and to prevent damage of the compensators.

Keywords: capacitor, inverter, diagnosis, compensator.

Вступ

Контроль стану та діагностика окремих елементів систем компенсації реактивної потужності необхідні в більшій чи меншій мірі залежно від їх застосування. Діагностика допомагає запобігти незапланованому простою обладнання, організувати роботу обладнання в аварійному режимі на випадок несправності, зменшити час та затрати відновлення роботи обладнання [1, 2]. Конденсатори, що входять до складу статичних синхронних компенсаторів, мають обмежений термін експлуатації, який часто менший, ніж у силових напівпровідників.

Метою роботи є розробка математичної моделі системи діагностування конденсаторів ланки постійного струму статичних синхронних компенсаторів, яка враховує фактичний термін напрацювання на відмову конденсатора, динамічні збурення та дозволяє вчасно виявляти критичний стан робочого конденсатора.

Результати дослідження

Електролітичні конденсатори, які використовуються в складі автономних інверторів напруги перетворювачів частоти регульованих електроприводів володіють відповідним терміном напрацювання на відмову в роботі (англ. *Lifetime*), який при розробці системи діагностування являється визначальним, оскільки є функціоналом багатьох критеріїв експлуатації перетворювачів частоти.

В загальному випадку фактичний термін напрацювання L_f на відмову визначається за паспортним терміном напрацювання на відмову L_n та експлуатаційним коефіцієнтом k [3]

$$L_f = L_n \cdot k. \quad (1)$$

Час напрацювання конденсатора, який відповідає поточному ресурсу може бути визначеним, виходячи з (1) як різниця між паспортним терміном напрацювання та фактичним

$$t = L_n - L_f = L_n \cdot (1 - k). \quad (2)$$

Імовірність безвідмовної роботи електронної апаратури визначається, виходячи з відомої інтенсивності відмов λ , що найчастіше має постійне значення ($\lambda = const$)[4]

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (3)$$

Відповідно, імовірність виникнення відмови в процесі роботи конденсатора на момент часу t визначатиметься

$$N(t) = 1 - P(t). \quad (4)$$

Отже, функція залежності імовірності виникнення відмови $N(t)$ від експлуатаційного коефіцієнту, яка отримана шляхом підстановки рівняння (2) в вираз (4) з відповідним перетворенням t через k , матиме вигляд симетричної експоненти (рис. 1).

$$N(k) = 1 - e^{(-\lambda \cdot L_n \cdot (1-k))}. \quad (5)$$

Слід зауважити, що більшому значенню імовірності виникнення відмови відповідає і більша кількість конденсаторів, яка вийшла з ладу при досягненні відповідного значення експлуатаційного коефіцієнта. Тому в процесі розробки структури системи діагностування в якості основного діагностичного параметру буде розглядатись саме експлуатаційний коефіцієнт k .

Експлуатаційний коефіцієнт враховує вплив трьох вагових коефіцієнтів на фактичний термін напруження: температури, пульсуючого (випрямленого) струму та робочої напруги та визначається їхнім добутком [5].

$$k = k_t \cdot k_r \cdot k_v. \quad (6)$$

Температурний ваговий коефіцієнт зазвичай визначається за правилом «10 Кельвінів»: зниження температури оточуючого середовища на 10 К приводить до збільшення терміну експлуатації вдвічі. Температурний коефіцієнт розраховується за формулою [6]

$$k_t = 2^{\frac{T_o - T_a}{10}}, \quad (7)$$

де T_o – максимально допустима температура експлуатації, T_a – фактична температура роботи конденсатора.

Ваговий коефіцієнт k_r враховує вплив пульсуючого струму, що отриманий після випрямлення на мостовій схемі випрямляча перетворювача частоти. На величину пульсуючого струму впливає також режим роботи електроприводу та інвертора (розгін, гальмування, динамічна зміна навантаження тощо). Внаслідок зміни амплітуди пульсуючого струму змінюватимуться і втрати потужності в конденсаторі $P \cdot ESR$ (*equivalent series resistance* – еквівалентний послідовний опір конденсатора в колі змінного струму), зміна втрат потужності також впливатиме на тепловий режим конденсатора. ESR конденсаторів залежить від частоти пульсуючого струму та робочої температури. В роботі прийmemo значення частоти пульсуючого струму рівним 300 Гц, що відповідає частоті пульсацій випрямленої напруги в схемі Міткевича, така частота пульсацій практично не приводить до відхилення ESR відносно його номінального значення, що встановлюється при частоті 100-120 Гц [5]. В [3] запропоновано для розрахунку вагового коефіцієнту пульсуючого струму використати емпіричну залежність, яку можна виразити за допомогою рівняння (8)

$$k_r = \begin{cases} 4 \exp\left(\left(1 - \frac{I_a}{I_o}\right) \cdot \frac{T_o - T_a}{10}\right), & \text{якщо } T_a > 85^\circ\text{C}, I_a > I_o; \\ 2 \exp\left(\left(1 - \frac{I_a}{I_o}\right) \cdot \frac{T_o - T_a}{10}\right), & \text{якщо } T_a \leq 85^\circ\text{C}, I_a \leq I_o; \end{cases} \quad (8)$$

де I_a – фактичний пульсуючий струм конденсатора, I_o – номінальний пульсуючий струм конденсатора для промислової частоти.

Отже, для встановлення експлуатаційного коефіцієнту k та визначення ступеня його наближення до несправного стану слід вимірювати наступні параметри: температуру конденсатора, миттєве значення струму конденсатора та напругу на його виводах. За вказаними параметрами слід по рівняннях (7-8) визначити вагові коефіцієнти, а за рівнянням (6) обчислити ваговий коефіцієнт.

Висновок щодо можливості подальшої експлуатації перетворювача частоти з діагностованим конденсатором [7] доцільно формувати не миттєво при виході експлуатаційного коефіцієнта k за зону нечутливості, але слід враховувати і часовий фактор. Така модель може бути описана виразом (9).

$$k(t) = 2^{\frac{T_o - T_a(t)}{10}} \cdot m^{\left(1 - \frac{I_a(t)}{I_o}\right) \frac{T_o - T_a(t)}{10}} \cdot \left(\frac{U_a(t)}{U_o}\right)^n, \quad (9)$$

$$\begin{cases} k(t) < k_{нз} \wedge k(t - \tau) < k_{нз} \wedge \frac{dk(t)}{dt} \leq 0 \rightarrow \text{несправність}; \\ k(t) \in [k_{нз}; k_{гз}] \wedge \frac{dk(t)}{dt} \leq 0 \rightarrow \text{на межі несправності}; \\ k(t) > k_{гз} \vee \left(k(t) \in [k_{нз}; k_{гз}] \wedge \frac{dk(t)}{dt} > 0\right) \rightarrow \text{справний стан}, \end{cases}$$

де τ – час затримки для формування діагностичного висновку.

Включення похідної по часу експлуатаційного коефіцієнта є обов'язковим та дозволить уникнути прийняття системою діагностування хибних рішень навіть при виході його за допустимі межі (в основному в сторону $k_{нз}$), однак тенденції до повернення його в зону нечутливості, або переходу $k(t)$ із зони нечутливості відносно критичного значення в зону справної стійкої роботи з високим k . Разом з тим при тривалому і незворотному процесі зниження обчисленого коефіцієнту k система повідомить про роботу конденсатора на межі справності, або про його несправність.

Висновки

Розглянуто вплив параметрів роботи конденсаторів перетворювачів частоти на їх термін напрацювання на відмову, що дозволяє сформулювати математичну модель системи діагностування конденсаторів та її структурну схему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fuchs Friedrich. Some Diagnosis Methods for Voltage Source Inverters In Variable Speed Drives with Induction Machines/ Friedrich W. Fuchs // University of Kiel, Germany. – IEEE, Industrial Electronics Conference, Roanoke, Virginia, USA, 2002 – 8 p.
2. Gasperi M. L. A Method for Predicting the Expected Life of Bus Capacitors / M. L. Gasperi – Rockwell Automation // IEEE Industry Applications Society, Annual Meeting. 1997 – 6 p.
3. Albertsen A. Electrolytic Capacitor Lifetime Estimation / Dr. Arne Albertsen – Jianghai Europe Electronic Components GmbH, 2012 – 13 p.
4. Половко А. М. Основы теории надежности // А. М. Половко, С. В. Гуров. – . СПб.: БХВ-Петербург. – 2008. – 704с.
5. Радюшкин О. Методы оценки срока эксплуатации электролитических конденсаторов / Олег Радюшкин. – Силовая электроника. – 2010. – № 5. – С. 19-22.
6. Khandebharad A. R. Electrolytic capacitor online failure detection and life prediction methodology / A. R. Khandebharad, R. B. Dhumale, S. S. Lokhande // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2015. – №2, vol. 4 – P.78-83. – ISSN 2321-7308.
7. Левицький С. М. Система діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти / С. М. Левицький, Д. П. Проценко, А. А. Бартецький // Вісник Харківського НТУ "ХПІ". – 2015. – №12(1121). – С.320-323. – ISSN 2079-3944.

Левицький Сергій Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроживлення та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: *Бурбело Михайло Йосипович* — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електротехнічних систем електроживлення та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Levytskyi Sergiy M. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Electric Consumption Systems and Power Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: *Burbelo Myhailo J.* — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electric Consumption Systems and Power Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИКОРИСТАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано метод визначення коефіцієнта використання для світлотехнічного розрахунку освітлювальної установки.

Ключові слова: освітлювальна установка, світильник, коефіцієнт використання, освітлення.

Abstract

The method of coefficient of use for the lighting calculation of a lighting installation is proposed.

Keywords: lighting installation, lamp, utilization rate, lighting.

Вступ

З установками штучного освітлення повсякденно доводиться стикатися всім і з усіх інженерних пристроїв вони є, мабуть, найбільш масовими. Їх здійснення і експлуатація вимагають великих витрат матеріальних засобів, електроенергії і людської праці, але ці витрати з надлишком окупаються тим, що забезпечується можливість нормального життя та діяльності людей в умовах відсутності або недостатності природного освітлення [1]. Більш того, системи штучного освітлення вирішують ряд задач, взагалі недоступних природному освітленню, в той же час від особливостей пристроїв штучного освітлення, які часом здаються дуже незначними, багато в чому залежать і продуктивність праці, і безпека роботи, і здоровий зір, і архітектурний вигляд приміщення.

Метою дослідження є аналіз методу розрахунку коефіцієнта використання світлового потоку для підвищення ефективності реконструкції діючих систем освітлення.

Результати дослідження

При реконструкції систем освітлення потрібно визначати коефіцієнт використання освітлювальної установки, який характеризує ефективність використання світлового потоку джерела світла [2, 3].

Його можна визначити скориставшись уявною площинкою АБ, що проходить через центри світильників.

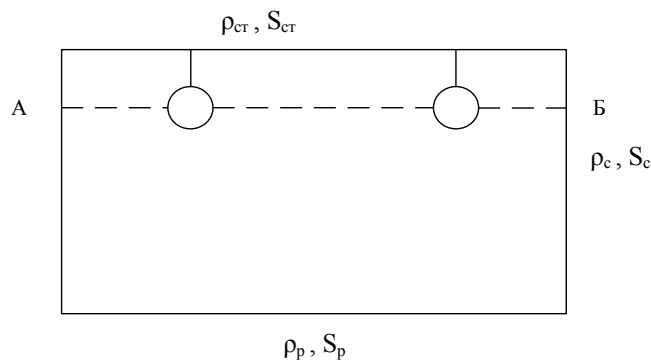


Рис. 1. Розрахункова схема

Коефіцієнт використання освітлювальної установки :

$$\eta = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{дж}}} \quad (1)$$

де $\Phi_{\text{дж}}$ – світловий потік джерела, прийmemo 1000 Лм;

Φ_p – значення світлового потоку, який встановився на розрахунковій площині:

$$\Phi_p = \Phi'_{AB} \cdot A + \Phi'_c \cdot B + \Phi'_p \cdot C, \quad (2)$$

де А, В, С – коефіцієнти використання світлових потоків світильників, які безпосередньо падають на площину АБ, стіни і розрахункову площину відносно розрахункової площини;

$\Phi'_{AB}, \Phi'_c, \Phi'_p$ – світлові потоки світильників, що безпосередньо потрапляють на площину АБ, стіни і розрахункову поверхню.

Визначення світлового потоку що встановився на поверхні:

$$\Phi_i = \Phi'_i + \sum_{k=1}^3 \Phi_k \cdot \rho_k \cdot U_{ki}, \quad (3)$$

де Φ'_i – частина світлового потоку, яка потрапляє безпосередньо на і-ту поверхню;

ρ_k – коефіцієнт відбиття к-тої поверхні;

U_{ki} – коефіцієнт використання, який визначає, яка частина світлового потоку, що випромінюється к-тою поверхнею, потрапляє на і-ту поверхню.

Висновки

Використання даного методу підвищує точність розрахунку штучного освітлення під час його реконструкції шляхом врахування реальних параметрів приміщення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2006. – К. : Мінрегіон України, 2012. – 34 с.
2. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчёты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. – Л. : Энергия, 1973. – 199 с.
3. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.

Олексій Вікторович Бабенко — к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net

Валентина Сергіївна Петелько — студентка групи Е-166мс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: valya.petelko@gmail.com

Aleksey V. Babenko - Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Valentyna S. Petelko - Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ВПЛИВ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ НА ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ

Вінницький національний технічний університет.

Анотація

Показано що між енергопостачальними компаніями та промисловими споживачами в процесі впровадження компенсуючих установок складається «гральна ситуація», що зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження компенсуючих установок в мережі енергопостачальних компаній.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, розподільна мережа, зниження втрат електроенергії.

Abstract

It is shown that between distribution companies and industrial consumers in the process of compensating units is "play-situation" that determines the feasibility of playing methods for calculating the compensatory implementation units in a network of power supply companies.

Keywords: reactive power compensation, distribution network, reducing energy losses.

Вступ

Компенсація реактивної потужності (КРП) є одним з ефективних заходів зниження втрат електроенергії в розподільних мережах енергопостачальних компаній (ЕК). Реактивні навантаження цих мереж створюють промислові та комунально-побутові споживачі. Величина останніх спів розмірна з реактивними навантаженнями промислових споживачів, що зумовлює необхідність їх компенсації. Відповідно [1] комунально-побутові споживачі не проводять заходів по КРП.

Метою роботи є аналіз впливу КУ промислових споживачів на втрати, які створюють реактивні навантаження комунально-побутових споживачів та їх кількісна оцінка

Результати дослідження

Оскільки компенсацією реактивних навантажень комунально-побутових споживачів здійснює ЕК, то будемо вважати, що це навантаження ЕК.

Розглянемо розв'язання задачі для схеми мережі, заступна схема якої показана на рис. 1.

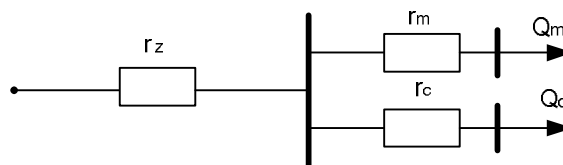


Рис. 1. Заступна схема узагальненої мережі живлення промислових споживачів та ЕК

Величина втрат активної потужності, створених навантаженнями ЕК та промислових споживачів, в даній мережі визначається за виразом:

$$\Delta P = \frac{1}{U_n^2} [(r_z + r_c) Q_c^2 + (r_z + r_m) Q_m^2 + 2Q_c Q_m r_z], \quad (1)$$

де Q_c , Q_m — реактивні навантаження ЕК (комунально-побутових споживачів) та промислових споживачів ЕК, відповідно; r_z , r_c , r_m — еквівалентні опори живильних мереж, розподільних мереж ЕК та промислових споживачів, відповідно.

Очевидно перша і друга складові втрат ΔP створені безпосередньо першим і другим навантаженнями. Третя складова є спільними втратами цих навантажень.

Таким чином величина зменшення втрат від установаження КУ в мережах ЕК залежить не тільки від реактивних навантажень комунально-побутових споживачів, а від і реактивних навантажень промислових споживачів, які живляться від цих мереж. Причому величина реактивних навантажень цих споживачів на перспективу визначається неоднозначно, оскільки це зв'язано з загальним економічним станом споживачів, який в ринкових умовах однозначно не прогнозується. Тобто між ЕК та промисловими споживачами, які живляться від цих мереж, в процесі впровадження КУ складається «гральна ситуація». Це зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження КУ в мережі ЕК.

Висновки

Змінюючи ступінь компенсації реактивної потужності в мережах промислового споживача, можна значно змінити втрати активної потужності, що створюються реактивним навантаженням комунально-побутових споживачів. При чому між ЕК та промисловими споживачами, які живляться від цих мереж, в процесі впровадження КУ складається «гральна ситуація», що зумовлює доцільність застосування гральних методів при розрахунку впровадження КУ в мережі ЕК.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зорин В. В. Особенности определения мест установки и мощности батарей конденсаторов в узлах городской сети. / Зорин В. В., Демов А. Д. // Республиканский межведомственный научно-технический сборник: Электрические сети и системы. – Львов: Высшая школа, 1981, вып.17, С. 108 – 112
2. Зорін В. В. Підвищення пропускної здатності кабельних ліній електропередач напругою 6-10 кВ за допомогою компенсації реактивної потужності / В. В. Зорін, О. М. Майстренко // Енергетика. - 2014. - № 1. - С. 71-79.

Вадим Дмитрович Григоренко — студент групи 3е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e14b.grigorenko@gmail.com;

Науковий керівник: **Михайло Йосипович Бурбело**— Професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Hrihorenko Vadim D. — Department of of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : 3e14b.grigorenko@gmail.com;

Supervisor: **Burbelo Mikhail Y.** — Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Енергозбереження на виробництві

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі висвітлено завдання енергозбереження на виробництві.

Ключові слова: енергоспоживання, підприємство, економія.

Abstract

In this work we will watch the task of energy saving at the enterprise.

Keywords: energy consumption, enterprise, economy.

Вступ

Електроенергія є одним з найважливіших продуктів у індустріальному суспільстві. Дослідження показали, що середній прибуток, тривалість життя та інші важливі фактори рівня життя пов'язані зі споживанням електроенергії на душу населення в окремому регіоні чи в країні в цілому. Як і всі природні ресурси, енергетичні ресурси можуть виснажитися, тому важливо заощаджувати якомога більшу кількість енергії. Збереження електричної енергії є важливою частиною загальної тенденції щодо захисту навколишнього середовища.

Результати дослідження

Мета даної роботи – виявлення причин нераціонального використання електроенергії на підприємствах та аналіз основних напрямків роботи в питаннях енергозбереження.

Можна виділити наступні напрямки економії електричної енергії на виробництві:

- економія електроенергії зменшенням її втрат;
- енергозбереження засобами електроприводу;
- економія електроенергії методами компенсації реактивної потужності;
- економія електроенергії при експлуатації електрообладнання.



Рисунок 1 - Напрямки енергозбереження на виробництві

Основний спосіб зниження споживання електроенергії – її економія за рахунок зменшення втрат електроенергії в системах електропостачання (трансформаторах, лініях), а також за рахунок раціоналізації та вдосконалення технологічного процесу споживання електроенергії електродвигунами.

Зменшення втрат електроенергії в трансформаторах можна досягти шляхом правильного вибору числа потужності трансформаторів; раціонального режиму їх роботи; виключення холостого ходу при малих навантаженнях.

Для зменшення втрат в лініях живлення необхідно зменшити протікаючий через них струм. Це можливо при використанні резервних та паралельно працюючих ліній, а також при підвищенні напруги в мережі.

Особливе значення для економії електроенергії мають питання зниження електричного навантаження цеху в години максимуму енергосистеми.

Ще один з напрямків економії електроенергії – це компенсація реактивної потужності, яка дає можливість отримати значну економію енергетичних ресурсів і є частиною вирішення загальної проблеми підвищення ККД роботи систем електропостачання та поліпшення якості електроенергії.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів).

Висновок

Як бачимо існують кілька напрямків збереження електроенергії. І який з них доцільно вибрати залежить від специфіки та можливостей підприємств. Оптимальним же варіантом є поєднання усіх напрямків роботи в питаннях енергозбереження на підприємствах. Отже, енергозбереження є важливою частиною підприємства, так як без збереження енергії будуть великі матеріальні втрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергозбереження промислових підприємств / В.В. Дзеджула. – Вінниця : ВНТУ, 2014. - 66с.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://publish.vntu.edu.ua/txt/Dzedzyla_594-6.pdf
2. Енергозбереження в промисловості / А.В. Праховник, О.М. Суходоля, С.П. Денисюк, В.В. Прокопенко – Київ : КНТУ, 2011. - 517с.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://electroprivod.kpi.ua/images/books/ЕvP_09/all.pdf

Андрій Олегович Богач – студент групи ЗЕ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. 3e14.bogach@gmail.com

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Andriy O. Bogach – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Olexandr D. Demov** – Docent of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ СВІТЛОДІОДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано ефективність використання енергозберігаючих світильників на базі світлодіодів при проектуванні електричних освітлювальних установок.

Ключові слова: освітлювальна установка, світлодіод, енергозбереження, ефективність.

Abstract

The modern method of designing electric lighting installations using energy saving lamps with the use of LEDs is proposed.

Keywords: lighting unit, LED, energy saving, efficiency.

Вступ

Електричне освітлення в житті людини відіграє велику роль. Значимість його визначається тим, що при правильному виконанні освітлювальних установок (ОУ), електричне освітлення (ЕО) сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості аварій та випадків травматизму, знижує стомлюваність робітників; забезпечує значну працездатність і створює нормальний естетичний, фізіологічний і психологічний вплив на людину.

Комплексним критерієм що оцінює ефективність освітлювальної установки, є річні наведені витрати, що враховують первинні витрати і експлуатаційні витрати, а також витрата електроенергії, який часто розглядається як самостійний показник.

Для технічно нескладних об'єктів, а також об'єктів, будівництво яких здійснюється за типовими і повторно застосовуваним проектам проектування ОУ ведеться в одну стадію – розробляється робочий проект (РП). Для великих і складних об'єктів ведеться двостадійне проектування. На першій стадії виконується технічний проект (П), на другій - робоча документація (РД). РП складається з світлотехнічної та електричної частин і робочих креслень.

Результати дослідження

Дослідження, проведені в роботі присвячені пошуку і вибору існуючих на ринках світлодіодних освітлювальних установок універсального призначення, які можуть бути використані, як в промисловості так і в якості вуличного освітлення.

Одним з популярних виробників освітлювальних установок є компанія СЕТО, що виготовляє світлодіодні світильники, які набули популярності у м. Вінниця, під назвою Собра з використанням в них світлодіодів Chip-on-Board. Цим та подібним їм світильникам притаманні відмінні характеристики освітленості та енергоефективності. Проаналізовано технічні параметри світильників однакової потужності Собра та ЖКУ-11У, криві світла яких представлено на рис. 1 і рис. 2.

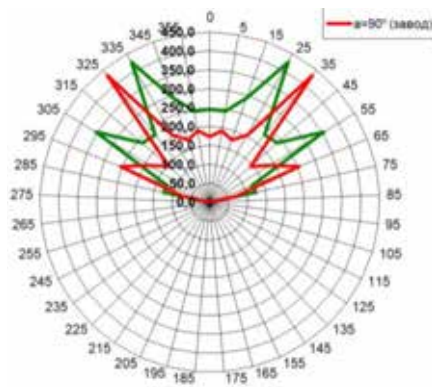


Рис.1. Крива світла світильника ЖКУ-11У

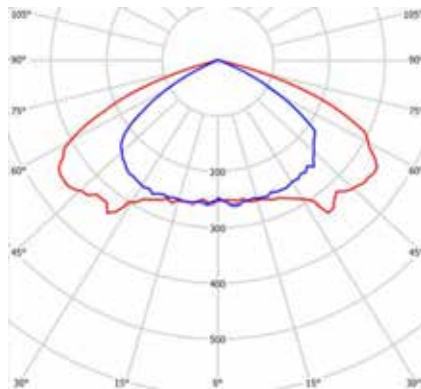


Рис.2. Крива світла світильника Cobra

Висновок

Використання світлодіодних світильників є раціональним, оскільки аналіз кривих світла показав, що у світильників Cobra більш рівномірне розподілення світла та більший світловий потік при меншому споживанні електроенергії, відповідно вони є більш енергоефективними в порівнянні з ЖКУ-11У.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабенко О. В. Наближений метод побудови кривої сили світла світильників вуличного освітлення / О. В. Бабенко, В. В. Захаров, А. А. Видмиш // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 38–42.
2. Справочная книга по светотехнике. 2-е издание. Ю.Г.Басов, М.М. Гуторов, С.А. Ключев - М.,1995. – с. 950

Андрій Васильович Падун – студент групи ЗЕ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Юрій Анатолійович Лобатиук** – канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Andriy V. Padun – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: padun2014@gmail.com

Supervisor: **Yurii A. Lobatiuk** – Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОПТИМАЛЬНЕ ПОЄДНАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ І ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі висвітлено питання поєднання використання організаційних і технічних заходів з енергозбереження на підприємствах.

Ключові слова: заходи з енергозбереження, енергоефективність

Abstract

The paper covers the issues of combining the use of organizational and technical measures for energy conservation in enterprises.

Keywords: energy saving measures, energy efficiency.

Вступ

Одним з визначальних умов зниження витрат на промислових підприємствах і підвищення економічної ефективності виробництва в цілому є раціональне використання енергетичних ресурсів. Разом з тим, енергозберігаючий шлях розвитку вітчизняної економіки можливий лише при формуванні і подальшій реалізації програм енергозбереження на окремих підприємствах, для чого необхідне створення відповідної методологічної та методичної бази. Відкладання реалізації енергозберігаючих заходів завдає значних економічних збитків підприємствам і негативно відбивається на загальній екологічній та соціально-економічній ситуації. Крім цього, подальше зростання витрат у промисловості та інших галузях народного господарства супроводжується зростаючим дефіцитом фінансових ресурсів, що затримує оновлення виробничої бази підприємств відповідно до досягнень науково-технічного прогресу.

Для запобігання фінансових втрат при формуванні сукупності енергозберігаючих заходів потрібна розробка і вдосконалення методів оцінки ефективності програм енергозбереження, які враховують багатоваріантність використання джерел інвестицій, призначених для їх реалізації. Зменшення енергетичної складової у витратах виробництва дозволить отримати додаткові кошти для забезпечення прийняттого рівня морального та фізичного зносу технологічного обладнання

Результати дослідження

Оптимальне поєднання організаційних і технічних заходів повинно міститись у програмі енергозбереження підприємства. Основними принципами програми енергозбереження є:

- Пріоритет підвищення ефективності використання палива та енергії над збільшенням обсягів видобутку та виробництва;
- Поєднання інтересів споживачів, постачальників та виробників палива та енергії;
- Першочерговість забезпечення виконання екологічних вимог до видобутку, виробництва, переробки, транспортування та використання палива та енергії;
- Обов'язковість обліку юридичних осіб виготовляються і витрачаються ними енергетичних ресурсів, а також обліку фізичними особами одержуваних енергетичних ресурсів;
- Сертифікація паливно-, енергоспоживаючого, енергозберігаючого та діагностичного обладнання, матеріалів, конструкцій, транспортних засобів, а також енергетичних ресурсів;
- Зацікавленість виробників і постачальників енергетичних ресурсів у застосуванні ефективних технологій;

- Здійснення заходів програми за рахунок власних коштів або на поворотній основі.

Основними цілями програми енергозбереження підприємства є:

- Підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів на одиницю продукту підприємства;

- Зниження фінансового навантаження за рахунок скорочення платежів за паливо, теплову та електричну енергію;

- Поліпшення фінансового стану підприємства за рахунок зниження платежів за енергоресурси і, відповідно, додаткове поповнення бюджету області за рахунок податкових надходжень.

Цілі програми досягаються шляхом впровадження ефективних технологій та розробки ефективних фінансово-економічних механізмів виробництва, транспортування та споживання енергетичних ресурсів, проведення заходів з енергозбереження, впровадження систем обліку.

Основні напрямки енергозбереження:

- Енергоаудит. Проведення енергетичних обстежень організацій;

- Енергооблік. Впровадження централізованих систем обліку енергоресурсів на промислових підприємствах.

- Регулювання енергоспоживання. Впровадження систем регулювання споживання енергоресурсів від джерела їх виробництва до кінцевого споживання;

- Реконструкція промислових вентиляційних установок;

- Модернізація паливних та електричних печей;

- Модернізація енергетичного устаткування.

Для успішного виконання і подальшого розвитку програми найбільш підходящим інструментом є система управління проектами, широко застосовувана в світовій практиці.

Програма повинна створювати умови, що дозволяють поєднувати інтереси її учасників у напрямку намічених пріоритетів. Вона є багатопроектною середовищем з різним статусом проблем і проектів: найважливіші проблеми, які потребують термінових дій; проблеми, що потребують додаткового опрацювання; проблеми, які вирішуються в ході регулярного планування; регіональні, районні, міські, галузеві проекти, проекти окремих підприємств і т. д. Тому для досягнення поставлених цілей необхідна система управління, структура якої буде розроблятися і оптимізуватися при формуванні нормативно-правової бази енергозбереження підприємства.

Висновки

Таким чином, розробка програми енергозбереження, що враховує поєднання енергозберігаючих заходів є досить актуальним в наш час.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нестеров П.М. Економіка природокористування і ринок. - К.:, 2001.

2. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : навчальний посібник / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 95 с.

Євгеній Борисович Кутик — студент групи Е-16бмс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Олексій Вікторович Бабенко — к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net

Eugen B. Kutyk - *Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.*

Aleksey V. Babenko - *Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто частотні перетворювачі як найновітніший та найекономічніший спосіб регулювання швидкості електропривода. Розраховано вартість впровадження частотного привода в насосних системах.

Ключові слова: перетворювач частоти, частотно-керований електропривод, частота, дроселювання.

Abstract

Т! "#\$%&' ()&*##, -#! ')&./! #/ -, +! &0!, +-&/ 1), + !"'! !&' (0-()")&3+! !2' -#! /#.*! ,4! !d. T! c), + of i&#/%' .ng a f# \$%&' (dri*! is c-2' %2+d.

" #S%&' ()! f\$%&' () * c+(, %\$%&' () * dr/, % f\$%&' () *.



Оіля 123 вироблено5 електроенергі5 спо7 ивається про9исловими пі! приє9 ствами. : сере! видів спо7 ивачів ; пер<е 9 ісце 4е=аперечно належить асинхронним !вигунам. >т7 е, найбіль< перспективні =асоби електро=ереженн" 9 о7 на =найти в системах електроприво! у.

? остійний ріст цін на енергоносі5 сти9 улю8 во! оканали і пі! приє9 ства 7 итлово-ко9 унального ко9 плексу впровад7 увати енергоз4ерібаючі технологі5 !о "ких ві! носиться і частотно-

регульований електроприво! .

? еретворювач частоти це електронний пристрій !л" =9іни частоти електричного стру9 у @апрубиАВ]. Дого основна Еункці" F плавне регулювання частоти о4ертанн" електро! вигуна 4у! ь "кого 9 ехані=9 у. Гайбіль< просте і еЕективне =астосування управлінн" насосни9 и агрегатами станцій пі! качки во! опрові! них 9 ереж та силових розпо! ільних пунктів. Величина еконо9 і5 електроенергі5 при впровад7 енні перетворювачів частоти 9 о7 е складати ві! 15 !о НЗ в =алежності ві! точки робочого режи9 у електроприво! а [2,3].

Вис+овк*

В сере! ньо9 у величина еконо9 і5 при установці ? I на насосах коливається в районі 35-ЖЗ . € розрахуку отри9 ано, Lо !ля насосного агрегату поту7 ністю 1Н кВт. Величина екно9 і5 на рік становить 170122 кВтЧо!, Lо в брошово9 у вираженні складає 285768 брн. Вартість перетворювача частоти сері5 NOP О на 1НкВт становить або 108300 брн. Q? ДВ. Раким чино9, тер9 ін окупності в цьо9 у випадку становить @28300 S28Н768АЧ2 = J, НН9 ісяц".

T?UT OK BUK>VUTR: G>WXRYV: RYVU

1. Тан!лер А. С., Сар4атов Р. С. : вто9 атическое частотное управление асинхронными двигателял"9 и. [осква, \] нерги" ^, 1974.

2. Прилипко О.О., Петрусь В.В. Кількісне регулювання систем теплопостачання з використанням частотних перетворювачів // Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2016. – Режим доступу <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2016/paper/view/41/284>

3. Frequency Converter for Pumps. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.frequencyinverters.org/frequency-converter-for-pumps-278604.html>

Поліщук Роман Володимирович – студент групи 4Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 4e14b.polishchuk@gmail.com

Науковий керівник: **Кравець Олександр Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕСЕМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Polishchuk Roman Vladimirovich – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 4e14b.polishchuk@gmail.com

Scientific supervisor: **Kravets Oleksandr Nikolaevich** - Cand. tech Sciences, associate professor of the ESEEM Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ОПТИМІЗАЦІЯ СПОСОБУ ПРОКЛАДАННЯ ПРОВІДНИКІВ В ЦЕХОВИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто основні способи прокладання провідників в цехових мережах. Досліджена важливість правильного вибору провідників.

Ключові слова: провідник, прокладка, електричні мережі, кабелі, оболонки,

Abstract

The main ways of laying conductors in cage networks are considered. The importance of choosing the right conductors is investigated.

Keywords: conductor, gasket, electrical networks, cables, sheaths.

Вступ

Основними споживачами електричної енергії є промислові підприємства. Вони витрачають більше половини всієї енергії, що виробляється в нашій країні, а також на них працюють тисячі робітників. Тому на підприємствах особливо важливо забезпечити оптимальне використання коштів та повну безпеку працівників

Метою роботи є дослідження прокладання провідників згідно певних норм, оптимізація способу прокладання.

Результати дослідження

Прокладка електричних мереж виконується ізольованими та неізольованими провідниками. Ізольовані провідники (проводи і кабелі) виконуються захищеними і незахищеними. Захищені провідники зверху електричної ізоляції мають металеву або іншу оболонку, яка захищає ізоляцію від механічних пошкоджень. Незахищені провідники таких оболонок не мають.

Прокладка в трубах забезпечую достатній надійний захист від механічних провідів, що особливо важливо для цехових мереж промислових підприємств, але пов'язана з використанням великої кількості труб (тонкостінних сталевих, пластмасових і т.п.). Прокладка в трубах має недоліком те, що при протягуванні через труби можливе пошкодження ізоляції, незручність при необхідності заміни провідника. Проте у вибухонебезпечних приміщеннях згідно ПУЕ така прокладка в трубах обов'язкова, причому використовуються кабелі марки ВБВ та АВБВ. В захисних трубах застосовують стоїчну прокладку та підпідложну прокладку з розподільчими коробками.

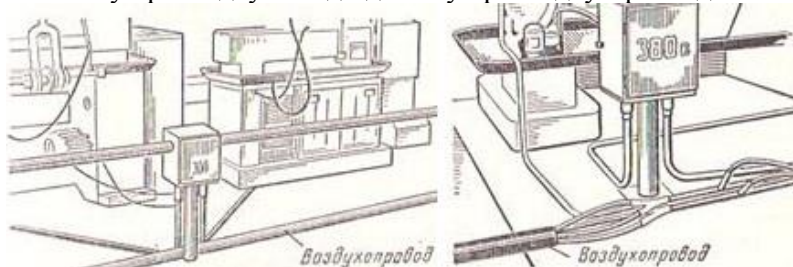


Рис. 1. Стоїчна та підпідложна прокладка

Дані види прокладки зручні в цехах, в яких по умовах експлуатації потрібний добрий огляд технологічних процесів.

Відкрита прокладка проводів з кріпленням на роликах, ізоляторах і інших відкритих конструкціях є найбільш простою та дешевою, проте вона не забезпечує достатню надійність та захист проводів від механічних пошкоджень і використовується крайнє рідко. Більш вдосконаленою є прокладка проводів в лотках і коробах, різних трубах, а також на роликах. Особливо зручна ця прокладка при великій кількості проводів і кабелів для складних багавиговувних агрегатів та автоматичних ліній.

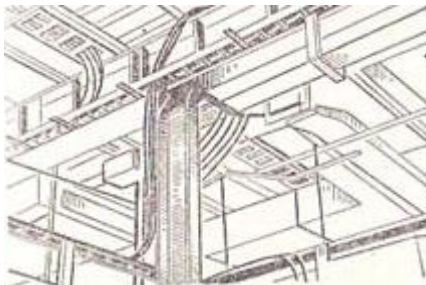


Рис. 2. Прокладка проводів і кабелів в лотках

Висновки

Встановлено, що правильний підбір способу прокладання провідників забезпечить зручну та безпечну експлуатацію, а також допоможе зберегти кошти, якщо це можливо, в залежності від примушення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурбело М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків, 2012. — 122 с.
2. Правила улаштування електроустановок, вид. 3-тє, перероб. і доп., 2015. — 736 с.

Олександр Сергійович Матат – студент групи 4Е-14Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 3e14b.matat@gmail.com

Науковий керівник: **Олексій Вікторович Бабенко** – доцента кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net

Oleksandr S. Matat– Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3e14b.matat@gmail.com

Supervisor: **Aleksey V. Babenko** - Associate Professor of the Department of Electrical Systems of Power Consumption and Energy Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ВИРІВНЮВАННЯ ДОБОВОГО ГРАФІКА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі висвітлено питання плати за електроенергію до і після вирівнювання графіка електричних навантажень.

Ключові слова: добовий графік навантажень, тариф, електроенергія.

Abstract

In this work, the issue of payment for electricity before and after the alignment of the schedule of electrical loads is highlighted.

Keywords: daily load schedule, tariff, electricity.

Вступ

Важливим напрямком удосконалення організації електроспоживання є дослідження і розробка способів зниження пікових навантажень енергосистем шляхом регулювання добового графіка навантажень підприємств. Коло цих питань протягом тривалого часу знаходиться в центрі досліджень багатьох відомих вітчизняних і іноземних вчених. Намагання оптимізувати і узгодити процес електроспоживання з процесом виробництва електроенергії відображається в різних тарифах на електроенергію. В кожному з цих видів тарифів присутня спрямованість на використання економічних важелів примусу підприємств - споживачів електроенергії впроваджувати заходи вирівнювання графіка електричного навантаження.

Добовий графік навантаження в енергетичній мережі України характеризується різким зростанням навантаження в часи вечірнього піку і значним пониженням в часи нічного провалу. Так, в найбільш неблагополучний робочий день зимового періоду відношення мінімального навантаження в нічні години до максимального навантаження в період вечірнього піку – коефіцієнт нерівномірності графіка – складає 0,74 (для ідеально рівного графіка цей коефіцієнт дорівнює одиниці; для порівняння: в Білоруській енергосистемі цей показник ще гірший і дорівнює 0,66.)

Один із підходів до вирівнювання добового графіка навантаження заключається в залученні до режимної взаємодії споживачів електроенергії. Для цієї мети використовуються зонні тарифи, стимулюючі перенос споживачами свого навантаження з піків на поза пікові інтервали графіка, особливо на час нічного провалу.

Результати дослідження

Для дослідження економічної ефективності впровадження розрахунку за спожиту електроенергію згідно диференційованого тарифу використано дані з офіційної сторінки ПАТ «Вінницяобленерго».

Приводиться розрахунок для незгладженого графіка.

Розрахунок за загальним тарифом:

$$C_{M_{\text{заг}}} = C_p \cdot n_m \cdot 1,2 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i, \quad (1)$$

де C_p - роздрібний тариф на електричну енергію без врахування ПДВ, грн./кВт·год;

n_m - число днів в місяці;

1,2- коефіцієнт, який враховує ПДВ;

P_i - значення і-того ступеню середньодобового графіка потужності, кВт;

t_i - тривалість і-того ступеню середньодобового графіка потужності, год.

Розрахунок за двозонним тарифом:

$$C_{M_{д.з.}} = C_p \cdot n_M \cdot 1,2 \cdot \left(\kappa_{31}^2 \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i + \kappa_{32}^2 \sum_{j=1}^m P_j \cdot t_j \right), \quad (2)$$

де $\kappa_{31}^2, \kappa_{32}^2$ - тарифні коефіцієнти двозонного тарифу, відповідно для першої та другої зони;

n- кількість ступенів 1-ї зони;

m- кількість ступенів 2-ї зони.

Розрахунок за тризонним тарифом:

$$C_{M_{т.з.}} = C_p \cdot n_M \cdot 1,2 \cdot \left(\kappa_{31}^3 \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i + \kappa_{32}^3 \sum_{j=1}^m P_j \cdot t_j + \kappa_{33}^3 \sum_{p=1}^l P_p \cdot t_p \right), \quad (3)$$

де l - кількість ступенів 3-ї зони;

$\kappa_{31}^3, \kappa_{32}^3, \kappa_{33}^3$ - тарифні коефіцієнти тризонного тарифу відповідно для 1-ї, 2-ї та 3-ї зони;

Для згладжування добового графіка змінюють технологічний процес.

Проводиться розрахунок за формулами (1),(2), (3) для згладженого добового графіка підприємства.

Розрахунки показали, що завдяки вирівнюванню графіка навантаження у випадку тризмінної роботи підприємства, що досліджувалось, оплата за спожиту електроенергію знизилась в 1,5 рази.

Висновки

Таким чином, зміна технологічного процесу є доцільною і дозволить підприємству скоротити витрати на плату за електроенергію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию, т.2. Электроснабжение/ Под общ. ред. А.А.Федорова – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 586 с.
2. Праховник А. В. Управление электрической нагрузкой предприятий / А. В.Праховник, П. Я. Экель, В. П. Калинин // Общие вопросы энергетики и энергосбережения – К. : ИПЭ АН УССР. – 1991. – С. 97–105.
3. Офіційний сайт ПАТ «Вінницяобленерго» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.voe.com.ua – Назва з екрану.

Владислав Васильович Петелько — студент групи 3Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kozaktvlad@gmail.com

Олексій Вікторович Бабенко — к.т.н. доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net

Vladislav V. Petelko - Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Aleksey V. Babenko - Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТІВ БУДІВНИЦТВА СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовані проблеми, які виникають на шляху будівництва промислових сонячних електростанцій – як альтернативного шляху забезпечення енергетичної безпеки України в умовах сьогодення.

Ключові слова: сонячна електростанція, інсоляція, фотовольтаїка, інвертор, сонячний модуль.

Abstract

The problems that arise during the construction of industrial solar power plants as an alternative way of ensuring the energy security of Ukraine in the present conditions are analyzed.

Keywords: Solar Power Plant, insolation, photovoltaic, inverter, solar module.

Вступ

Одним із перспективних напрямів відновлювальних джерел енергії є сонячна енергетика. В остання десятиліття дана галузь активно розвивається в світовій промисловості і побуті. Завдяки розвитку нових технологій і запровадженню субсидованих тарифів («зелених» тарифів) сонячні енергетичні системи і пристрої дозволяють здійснювати ефективний виробіток та економію електричної енергії, завдяки природнім, практично невичерпним можливостям світлового випромінювання Сонця із практично відсутнім впливом на екологічний стан довкілля. Розробки і промислова продукція в цій області на сьогодні дуже активно розвиваються в таких країнах як Німеччина, США, Великобританія, Японія, Корея, Китай, а також Україна.

Результати дослідження

Питання економічної ефективності при плануванні проектів розглядаються в різних масштабах та на різних стадіях планування. Відповідно розрізняють і методи, що застосовуються на окремих етапах планування та оцінки:

- на етапі проведення технічного аналізу та при плануванні фінансування проекту, коли відомі не всі умови підприємницької діяльності;
- на вирішальній стадії оцінки необхідно розглянути проект в цілому, приймаючи до уваги результати часткового аналізу, а потім прийняти позитивне або відхиляюче проект рішення [1].

Ключове завдання підвищення техніко-економічної ефективності зводиться до збільшення питомого показника кількості виробленої електричної енергії при мінімальних затратах будівництва СЕС. Слід відзначити, що можуть бути використані різні шляхи досягнення цього завдання:

- використання новітніх інноваційних сонячних модулів і панелей з високим ККД (ККД >14-17 % порівняно із традиційними технологіями);
 - розташування станції в умовах максимальної сонячної інсоляції (більше 1000 Вт/м²);
 - використання оптимізованої структури станції і практичних технологій здешевлення будівництва;
 - використання незадіяних земельних площ або земель суміжного функціонального призначення.
- Відомо, що одним із ключових вагомих факторів затрат собівартості проекту СЕС є необхідні

виділені земельні ресурси [2]. Тож, цей показник повинен враховуватись як ключовий в будівництві СЕС.

Використання концепції мінімалізму проекту в залежності від необхідних умов – зменшення кількості компонентів та як наслідок вартості проекту СЕС за рахунок адаптування його до певних умов (наприклад, використання набірних елементів і електричних кіл постійного струму із відмовою від інверторів, які складають до 40—45 % вартості проекту). Інші перспективні технологічні прийоми і підходи до оптимізації проекту будівництва СЕС із застосуванням технологій зменшення вартості проекту і компонент сонячних електростанцій.

Висновки

Оскільки альтернативна енергетика та зокрема її галузь — сонячна енергетика представляються дуже перспективним ринком на найближчі 20-30 років із використанням державних програм субсидування та підтримки її, то ключовим завданням оптимізації проектів будівництва СЕС є пошук оптимального співвідношення цих основних техніко – економічних параметрів для досягнення точки максимальної ефективності проекту. Для цього необхідно здійснювати пошук оптимального критерію ефективності проекту СЕС, який би максимально зміг узгодити і врахувати основні показники проекту сонячних електростанцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В. П. Кожем'яко, В. Г. Домбровський, В. Ф. Жердецький, В. І. Маліновський, Г. В. Притуляк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — № 2(22). — 2011. — С. 142—157.
2. Солнечная электростанция: прибыльный бизнес или недешевая игрушка? / Матеріали компанії Rentechno [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.rentechno.ua/articles/solnechnaya-energetika-pribilny-biznes.html

Олександр Володимирович Іванішин – студент групи 4Е-14Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ivanischyn@ukr.net

Науковий керівник: **Юрій Анатолійович Лобатиук** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Alexander V. Ivanishin – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Yurii A. Lobatiuk** – Cand. Sc. (Eng), Senior Lecturer of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто світлодіодні лампи як найновітніші та найекономічніші джерела світла. Розраховано вартість впровадження світлодіодного освітлення.

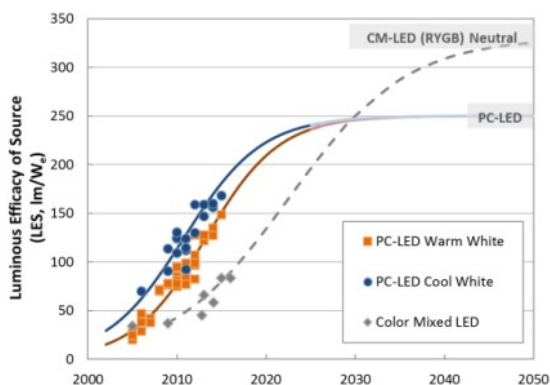
Ключові слова: освітлення, світлодіод, джерела світла, лампа.

Abstract

LED bulbs are considered as the newest and most beneficial sources of light. The cost of LED lighting is calculated.

Keywords: lighting, light-emitting diode, light source, lamp.

Найбільш перспективними джерелами освітлення на даний час є беззаперечно світлодіоди (LED). Їх енергетична ефективність збільшується щороку — якщо у ламп, які виготовлялися у 2010 р. світловіддача була в середньому 80-100 лм/Вт, то у 2017 р. середня світловіддача вже склала 130-150 лм/Вт [1]. В лабораторних умовах компанія Сгее досягнула показника світловіддачі 303 лм/Вт [2].



Головним елементом кожного світлодіода є напівпровідниковий кристал. Цей елемент безпосередньо перетворює електричний струм у випромінювання. У світлодіодах велика частина енергії перетворюється в світловий потік. Функціонування цих приладів засновано на принципі р-п переходу. Під впливом електричного струму в області контакту даних елементів відбувається рекомбінація носіїв негативних і позитивних зарядів, в результаті чого відбувається випускання фотонів, завдяки яким і створюється випромінювання[3].

На основі світлодіодів створюються лампи з стандартними цоколями, які призначені замінити прості лампи розжарювання у побуті. Також створюються світильники промислового призначення та світильники для освітлення вулиць. Навіть, якщо порівняти світильники з натрієвими лампами високого тиску та світлодіодні світильники, в яких світловіддачі близькі за значеннями — перевага у рівні освітленості дорожнього полотна буде за технологією LED через використання більш ефективної оптичної системи.

Висновки

Світлодіодний світильники SE 50W забезпечує 6-кратну економію споживання електроенергії порівняно із лампою ДРЛ-250Вт [4]. Із розрахунку видно, що впровадженні світлодіодні світильники споживають 9125 кВт·год в рік, в той час коли світильники з лампами ДРЛ 250 споживають 54750 кВт·год за рік. Економія в рік складає 51556,25 грн, строк окупності $\approx 1,89$ роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. [Maury Wright](http://www.ledsmagazine.com/articles/2017/10/us-doe-publishes-2017-ssl-r-d-plan-for-led-and-oled-technology.html). US DOE publishes 2017 SSL R&D plan for LED and OLED technology – [Електронний ресурс] URL: <http://www.ledsmagazine.com/articles/2017/10/us-doe-publishes-2017-ssl-r-d-plan-for-led-and-oled-technology.html>
2. Cree First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier. [Електронний ресурс] - URL: <http://www.cree.com/news-media/news/article/cree-first-to-break-300-lumens-per-watt-barrier>
3. Коган Л.М. Техніко-економічні питання використання світло діодів в якості індикації та підсвічування в системі відображення/ Л.М. Коган. М.: Светотехника, 2010 – 289 с.
4. Медведєв Ю. LEDніковий період / Медведєв Ю, Борисов К. // «Ілюмінатор», 1 (3) – 2013. – С. 54 – 58.

Нечуя Владислав Сергійович – студент групи 4Е-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vlad-nech2@mail.ru

Науковий керівник: **Кравець Олександр Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕСЕЕМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Nechuya Vladislav Sergeevich – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vlad-nech2@mail.ru

Scientific supervisor: **Kravets Oleksandr Nikolaevich** - Cand. tech Sciences, associate professor of the ESEEM Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОВОЛЬТАЇЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто розробку лабораторного стенда для дослідження енергетичних характеристик фотовольтаїчних панелей.

Ключові слова: лабораторний стенд, дослідження, енергетичні характеристики, фотовольтаїчні панелі, сонячна енергія

Abstract

The development of a laboratory bench for the study of energy characteristics of photovoltaic panels is considered.

Keywords: Laboratory bench, research, energy characteristics, photovoltaic panels, solar energy

Вступ

Ознакою сучасного підходу до проблеми енергозабезпечення виробничої і комунально-побутової сфери агропромислового комплексу є впровадження енергоощадних технологій та широке використання альтернативних джерел енергії [1]. Фотовольтаїчні панелі – одні із генераторів альтернативних видів енергії, що перетворюють електромагнітне випромінювання в електрику. Виробництво панелей розвивається швидкими темпами у самих різних напрямках. Один із технологічних викликів, що поставлені перед нафтогазовою промисловістю, зв'язаний із ефективним і раціональним використанням енергії, у тому числі альтернативною і відновлювальною з головною метою – економії вуглеводнів [2]. Саме тому у навчальній програмі дисциплін «Енергозбереження» та «Електрозбереження в промисловості», що викладаються студентам, які навчаються за спеціалізацією «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Енергетичний менеджмент», особлива увага приділяється вивченню питання енергозбереження шляхом застосування такого виду альтернативного джерела електроенергії як фотовольтаїчні панелі. Особливу увагу слід звернути наданню змоги студентам отримати практичні вміння під час проведення експериментів, які б були максимально наближені до натурних.

З цією метою на базі лабораторії енергозбереження кафедри ЕСЕМ було розроблено навчальний стенд для дослідження енергетичних характеристик фотовольтаїчних панелей.

Результати дослідження

Лабораторна робота передбачає не лише дослідження енергетичних характеристик фотовольтаїчних панелей, а також можливість наглядного аналізу конструкції та особливостей монтажу. Лабораторний стенд виконаний на базі фотовольтаїчних панелей Q.SMART UF L 105 у кількості трьох одиниць. Робота передбачає проведення наступних досліджень: аналіз найбільш вигідної позиції панелей по відношенню до сонячного випромінювання (панелі розміщені на рухомому каркасі); дослід холостого режиму роботи панелей із зняттям залежності напруги від рівня

освітлення (для чого передбачений люксометр); дослід для зняття навантажувальної характеристики, що дає змогу студентам в ручному режимі визначити точку максимальної потужності. Схема електрична принципова зображена на рис. 1.

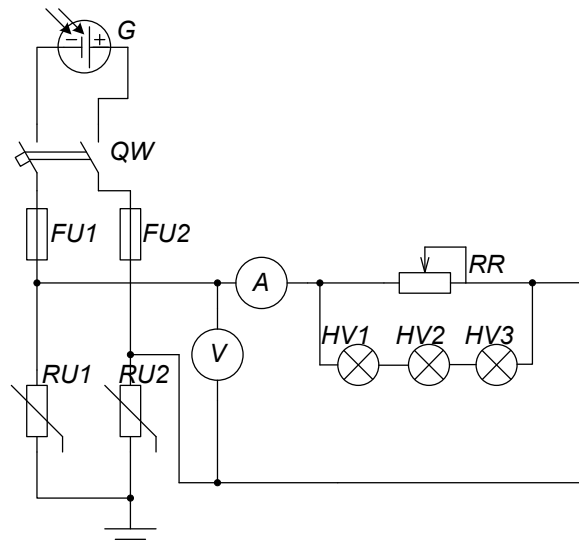


Рис.1 Схема електрична принципова стенда для дослідження фотовольтаїчних панелей

До складу стенда входять крім фотовольтаїчних панелей та електровимірювальних пристроїв входять типові електротехнічні елементи захисту і сигналізації електричних кіл.

Висновки

Розглянуто розробку стенда для дослідження енергетичних характеристик фотовольтаїчних панелей. Зразок фотовольтаїчної електростанції в силу розміщення розробленого стенду у приміщенні лабораторії під час проведення лабораторної роботи не здатний генерувати номінальну потужність, однак представлена студентам можливість проведення досліджень у максимально наближених до натурних умов варта такої ціни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гальчак В.П. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця: Навчальний посібник / В.П. Гальчак, В.М. Боярчук – Львів:, 2008. – 135 с.
2. Бессель В.В. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие / В.В. Бессель, В.Г. Кучеров, Р.Д. Мингалева – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 90 с.

Лобатюк Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Lobatiuk A. Yurii – candidate of Engineering Sciences, senior lecturer, Department of Electrical Power Consumption and Power Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: lobatiukyurii@gmail.com

Олександр Вікторович Хливнюк – студент групи ЕМ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Oleksandr V. Hlyvniuk – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ВПЛИВ НА РОБОТУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З НЕСИМЕТРИЧНОЮ НАПРУГОЮ БАТАРЕЙ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі висвітлено основні заходи та використання керованих батарей статичних конденсаторів симетричного виконання для компенсації реактивних навантажень, які дозволяють зменшити втрати активної потужності та знизити плату постачальнику за спожиту електроенергію.

Ключові слова: батареї статичних конденсаторів, системний розрахунок, реактивне навантаження, реактивна потужність, конденсаторні установки, економія, надійність електричної мережі, перетоки реактивної потужності, мережі споживачів.

Abstract

In this work, the main measures and the use of controlled batteries of static capacitors of symmetrical execution for compensation of reactive loads are considered, which allow to reduce the loss of active power and reduce the payment to the supplier for the consumed electricity

Keywords: static capacitor batteries, system calculation, reactive load, reactive power, capacitor units, economy, reliability of the electrical network, overflows of reactive power, consumers' networks.

Вступ

Відомо, що для роботи електроустановок діючих електричних систем, як і для більшості приймачів електроенергії в складі споживачів, необхідна реактивна енергія, яка по суті не пов'язана з виконанням корисної роботи, але приводить до додаткових витрат активної електроенергії в діючих електричних системах та погіршенню її якості.

Додаткові витрати активної електроенергії в діючих електричних системах від реактивної складової складають понад 20% від сукупних витрат. Науковою громадськістю визнано, що найбільш дієвим і ефективним способом зниження потоку реактивної електроенергії в діючих електричних системах, а значить, й додаткових витрат активної енергії від нього, є цілеспрямована дія на баланс реактивної потужності у вузлах діючих електричних систем, тобто компенсація реактивної потужності, що супроводжується підвищенням пропускну здатності діючих електричних систем, підвищенням надійності та ефективності їх роботи в цілому, зокрема зменшенням витрат активної енергії на її транспортування при забезпеченні належного рівня якості електроенергії

Результати дослідження

Використання керованих батарей статичних конденсаторів (БСК) симетричного виконання (з однаковими смностями фаз) для компенсації реактивних навантажень є одним із високоефективних засобів, які дозволяють зменшити втрати активної потужності та знизити плату постачальнику за спожиту електроенергію. Для поліпшення кінцевого результату керування та підвищення ефективності використання БСК доцільно передбачати принципову схему секцій, яка надає можливість їх ввімкнення як на лінійну (за схемою трикутника), так і на фазну (за схемою зірки з нулем) напругу.

Такі секції БСК мають більшу кількість комбінацій їх ввімкнення, що дозволяє із дискретного ряду потужностей точніше підібрати необхідне значення. Несиметричні режими розподільних мереж

впливають на роботу під'єднаних до них БСК, але вплив БСК за таких умов на режим електричної мережі вивчено не достатньо, що не дозволяє правильно оцінювати всі ефекти при реалізації керувальних впливів.

Увімкнення БСК, що мають однакові фазні (схема з'єднань — зірка з нулем) або міжфазні (схема з'єднань трикутником) ємності, до мережі із несиметрією напруги приводить до того, що відповідні потужності набувають різних значень. Додавки напруги, які створюються в результаті увімкнення, будуть різні як по фазним, так і по міжфазним напругам. Їх можна охарактеризувати як несиметричні і аналіз виконати, застосувавши метод симетричних складових.

Для симетричних систем зворотної і нульової послідовностей опори $z_2^{(1)}$; $z_2^{(2)}$; $z_0^{(1)}$; $z_0^{(2)}$ залишаються активно-індуктивними, а струм ємності має відносно відповідного вектора напруги зсуву $\pi/2$ рад. (як і для систем прямої послідовності). Тому, за аналогією, як для прямої послідовності правомірними є аналітичні співвідношення

$$\Delta U_2 = I_2^{БСК} (x_2^{(1)} - jr_2^{(1)}); \quad (1)$$

$$\Delta U_0 = I_0^{БСК} (x_0^{(1)} - jr_0^{(1)}); \quad (2)$$

де $I_2^{БСК}$; $I_0^{БСК}$ — вектори струмів зворотної та нульової послідовностей, що створюються БСК. Із (1) та (2) можна отримати:

$$\Delta U_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{U_2}{U_{нф}^2} \cdot z_2^{(1)} \Delta Q_n; \quad (3)$$

$$\Delta U_0 = \frac{1}{3} \cdot \frac{U_2}{U_{нф}^2} \cdot z_0^{(1)} \Delta Q_n; \quad (4)$$

Розглянемо як зміняться величини коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній — k_{2U} після та нульовій — k_{0U} після послідовності після увімкнення БСК симетричного виконання в залежності від вихідних величин цих коефіцієнтів — k_{2U} до, k_{0U} до для других схем зовнішніх мереж підприємства. Результати виконаних розрахунків подані графічними залежностями, рис. 1.1 та 1.2

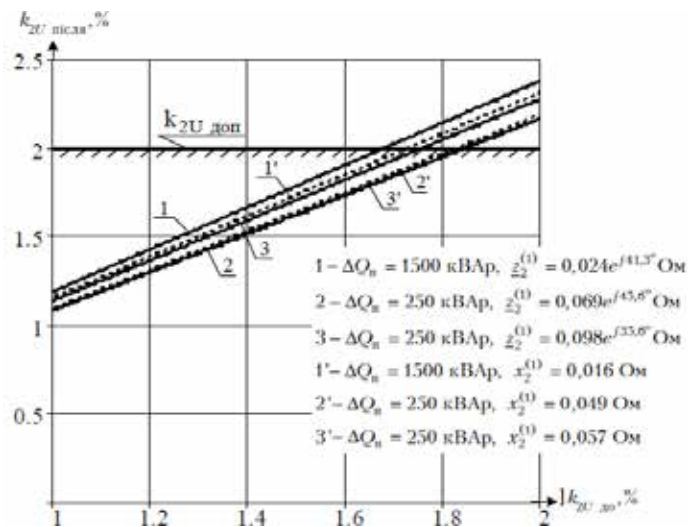


Рисунок 1.1 - Залежність величини коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності після увімкнення БСК симетричного виконання в залежності від його вихідної величини.

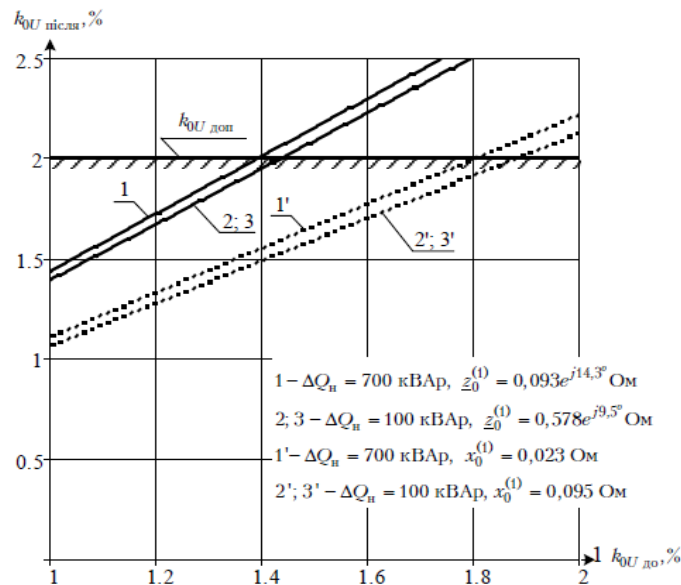


Рисунок 1.2 - Залежність величини коефіцієнта несиметрії напруги по нульовій послідовності після ввімкнення БСК симетричного виконання в залежності від його вихідної величини.

Висновок

Увімкнення БСК симетричного виконання в цілому збільшує втрати активної потужності, зумовлені несиметрією режиму (в зовнішніх мережах вони зменшуються, а в мережах споживача — навпаки збільшуються). Зростання додаткових втрат від несиметрії режиму для конкретного прикладу становить невеликий відсоток порівняно зі зменшенням активних втрат від передачі реактивних навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. АСУ в електроспоживанні : навчальний посібник / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 136 с.
2. Рогальський Б. С. Концепція компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів та енергопостачальних компаній / Б. С. Рогальський, О.М. Нанака, А.В. Праховник, М.А. Денисенко, В.М. Божко // Промелектро – 2006. – №3. С. 4-5.
3. Скоробогатова В.І. Підвищення функціональної ефективності управління потоками реактивної енергії в діючих електричних мережах / В.І. Скоробогатова, Б.І. Кулик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – № 30. – С. 118-121.

Андрій Миколайович Гриб – студент групи 3Е-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 3e14b.hryb.a.m@gmail.com

Науковий керівник: **Леонід Борисович Терешкевич**– кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Andrii M. Hryb – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 3e14b.hryb.a.m@gmail.com

Supervisor: **Leonid B. Tereshkevich** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ПОНЯТТЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗГІДНО ISO 50001

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто поняття енергетичних характеристик згідно ISO 50001, як один із з показників функціонування системи енергоменеджменту.

Ключові слова: енергетична характеристика, показники, стандарт.

Abstract

The concept of energy performance according to ISO 50001 is considered as one of the indicators of functioning of the energy management system.

Keywords: energy performance, indicators, standard.

З 1 січня 2015 року в Україні діє міжнародний стандарт ДСТУ ISO 50001:2014. Цей стандарт регламентує процес підвищення енергоефективності за рахунок впровадження служби енергетичного менеджменту. Стандарт ґрунтується на методології, відомій як цикл постійного поліпшення «Плануй — Виконуй — Перевірйай — Дій». Тобто постійною задачею енергоощадних підприємств є оцінка енергетичних характеристик, планування кроків до підвищення енергоефективності, впровадження цих кроків, перевірка отриманого ефекту.

Відповідно, важливими, з точки зору якісної оцінки впроваджених заходів, є поняття енергетичних характеристик.

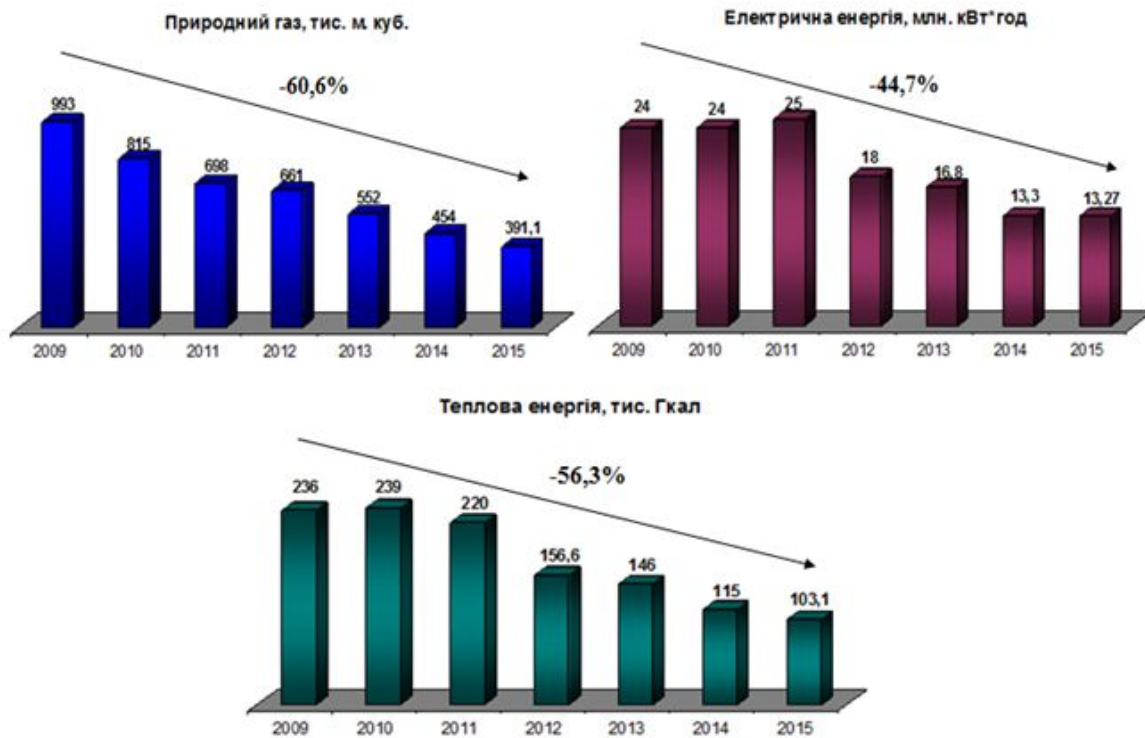
Енергетичні характеристики – виміряні результати, які стосуються енергетичної ефективності, застосування, використання енергії і споживання енергії.

Показники енергетичної характеристики можуть бути простим параметром, простою пропорцією чи складнішою моделлю. Приклади показників енергетичної характеристики можуть охоплювати витрату енергії за певний проміжок часу, витрату енергії на одиницю продукції й багатоваріантні моделі. Організація може вибрати ІЕЕ, що дають інформацію стосовно енергетичних характеристик її діяльності та актуалізувати ці показники у випадку, коли відбувається зміна в економічній діяльності чи базових критеріях, що впливають на відповідний показник енергетичної ефективності для тих випадків, коли це необхідно.

Як приклад енергетичних характеристик, розглянуто споживання енергоресурсів бюджетними установами Кривого Рогу у розрізі років [3].

Висновки

Питання енергоефективності на промислових підприємствах України є ключовим у розвитку промисловості. Наслідкування політики енергоефективності є вимогою сьогодення. Одним із шляхів реалізації енергоефективної політики є впровадження системи енергетичного менеджменту. На доповнення до планів заходів, орієнтованих на досягнення конкретних поліпшень енергетичних характеристик, організація може мати плани заходів, що передбачають поліпшення всього енергетичного менеджменту чи вдосконалення процесів власне системи енергетичного менеджменту.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Іншеков Є. Ключові елементи ISO 50001 та пеший досвід його впровадження у містах України [Електронний ресурс] / Є. Іншеков, А. Коpecь. — Київ. — 2014. — Режим доступу до ресурсу: http://journal.esco.co.ua/esco/2014_6_7/art55.pdf
- 2 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2011, IDT): ДСТУ ISO 50001:2014. — [Чинний від 2015-01-01]. — Київ: МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ, 2015, 19 с. — (Національний стандарт України).
3. Звіт з виконання в 2015 році Програми енергоефективності м. Кривого Рогу на 2010-2015 роки [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: http://kr.gov.ua/ua/news/pg/120216255838439_s/

Борових Оксана Олександрівна – студентка групи 4Е-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Kseniy12@meta.ua

Науковий керівник: **Кравець Олександр Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри ЕСЕЕМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Borovykh Oksana Oleksandrivna – Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Kseniy12@meta.ua

Scientific supervisor: **Kravets Oleksandr Nikolaevich** - Cand. tech Sciences, associate professor of the ESEEM Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Економія електроенергії і зниження втрат в електричних мережах

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У даній роботі висвітлено завдання економії електроенергії і зниження втрат в електричних мережах

Ключові слова: електроенергія, економія, втрати.

Abstract

In this work we will watch the task of electricity savings and losses in electrical networks.

Keywords: electricity, savings, losses.

Вступ

Зростання втрат енергії в електричних мережах визначається об'єктивними закономірностями розвитку енергетики в цілому. Основними з них є: тенденція до концентрації виробництва електроенергії на великих електростанціях; безперервне зростання навантажень електричних мереж, пов'язане з зростанням навантажень споживачів і відставанням темпів приросту пропускної здатності мережі від темпів приросту споживання електроенергії і генеруючих потужностей.

Різка загострення проблеми втрат електроенергії в електричних мережах вимагає активного пошуку нових шляхів її вирішення, нових підходів до вибору відповідних заходів, головне, до організації роботи із зниження втрат. Відомо, що нерівномірність графіка навантаження здійснює істотний вплив на рівень втрат електроенергії.

Втрати електричної енергії характерні для всіх систем розподілу електричної енергії. Правильне проектування та експлуатація електричних систем дозволяють не тільки звести їх до мінімуму, а й забезпечити зниження витрат на електроенергію.

Результати дослідження

Втрати в лініях залежать від значення опорів і струму, що пропускається через лінії. Опір діючих ліній може вважатися практично постійним. Звідси випливає, що для зменшення втрат електроенергії можливий один шлях — зменшення струму, що протікає через них. Зменшити значення струму можна, наприклад використанням у роботі значної кількості резервних ліній або збільшенням поперечного перерізу проводів.

При наявності паралельних ліній бажано з розумінням економії електроенергії тримати їх включеними паралельно. При використанні їх на паралельну роботу, сумарний (еквівалентний) опір цих мереж зменшиться, і, отже, втрати активної та реактивної енергії при її передачі скоротяться.

Будь-яке обладнання під час експлуатації потребує технічного обслуговування та ремонту. При проведенні ремонту обладнання, навантаження на інше (резервне) обладнання збільшується, що значно збільшує втрати потужності. Втрати електроенергії від проведення ремонту основного обладнання прямо пропорційно залежить від часу його проведення. Таким чином, значна тривалість ремонту призводить до значних втрат електричної енергії.

Висновок

Головною метою енергозбереження має стати пріоритет підвищення ефективності використання електричної енергії. Рациональне використання електроенергії залежить від комплексу заходів спрямованих на зниження втрат при експлуатації систем електропостачання, до яких входить вирівнювання графіку навантаження. Для того щоб споживач безперебійно отримував електричну енергію високої якості, необхідно систематично спостерігати за роботою електричної мережі, вчасно обслуговувати і рационально розподіляти навантаження по фазах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. http://www.energetika.by/arch/~page__m21=10~news__m21=169 Вирівнювання графіку електричного навантаження енергосистеми.
2. Железко Ю. С. Розрахунок, аналіз і нормування втрат електроенергії в електричних мережах / Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. – М: ЭНАС, 2003. – 280 с.

Олександр Миколайович Ілік – студент групи ЗЕ-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. 3e14.Ilyk@gmail.com

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Olexandr M. Ilyk – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Olexandr D. Demov** – Assistant Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ПО ЕКОНОМІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

На даному етапі науково-дослідної роботи розглянуто основні заходи з енергозбереження промислових підприємств, поняття й аналіз енергозбереження, розглянуто способи збереження електроенергії та заміни на новітні та енергозаощаджувальні технології. За результатами роботи зроблено висновки, щодо актуальності розглянутого питання.

Ключові слова: енергозбереження, установки, промисловість, економія, освітлення, засоби енергозбереження.

Abstract

At this stage of the research work the main measures on energy saving of industrial enterprises, concept and analysis of energy saving are considered, ways of saving electricity and replacing the latest and energy saving technologies are considered. According to the results of work, conclusions are made regarding the relevance of the issue under consideration.

Keywords: energy saving, installation, industrial, economy, lighting, energy saving.

Вступ

В останні роки розвинені країни активно працюють над питаннями енергозбереження, що обумовлено обмеженістю і закінченістю викопної сировини (нафта, вугілля, газ, уран тощо); зростаючим світовим попитом на енергію за рахунок постійного зростання економіки, промисловості і добробуту населення; глобальними змінами клімату із-за збільшення емісії парникових газів; постійним і часто непередбачуваним зростанням цін на вуглеводні; активною «атомофобією» у багатьох країнах Західної Європи і боротьбою «зелених» проти атомної енергетики, що ще більше загострилися після землетрусу в Японії і аварії на АЕС «Фукусіма» в березні 2011 року. Аналіз проблеми енергозбереження показав, що більше половини електроенергії, що виробляється в світі, споживають електродвигуни. Тому над їх вдосконаленням працюють всі провідні електротехнічні компанії світу.

Енергозбереження, впровадження нових технологій, що потребують менших затрат енергії, має бути основним напрямом подальшого розвитку народного господарства. За розрахунками вчених, зниження питомої енергомісткості національного доходу України вдвоє збереже споживання енергії в наступних роках.

Отже, потреба енергії стає дедалі більшою. Електростанції працюють із повною навантаженням, особливо напружено – в осінньо-зимовий період року у годинник найбільшого споживання електроенергії: з 8.00 до 10.00 і з 17.00 до 21.00. І напружений час десь такі необхідні виробництва кіловат-години витрачаються не зовсім раціонально. У пустинних приміщеннях горять електричні лампи, безцільно працюють електричні апарати. Встановлено, що 15-20% споживаної у промисловості електроенергії пропадає через безбережливість робітників.

Простота і доступність електроенергії породили в багатьох людей уявлення про невичерпності наших енергетичних ресурсів, пригупили почуття необхідності її економії.

Результати дослідження

Енергозбереження в приводі

Продумане і добре спроектоване електропостачання об'єктів, запорука їх високої енергоефективності, це може в перспективі дати можливість використання енергозберігаючих технологій. Розробкою проектів електропостачання займаються спеціалізовані компанії і організації. Про їхню компетентність може вказувати їх здатність створювати проекти різного роду мереж, це і низьковольтних, високовольтних і слабкострумівих мереж.

Підвищення енергетичної ефективності повинно розглядатися як виявлення і реалізація заходів та інструментів з метою забезпечення задоволення потреб у послугах та товарах при найменших економічних та соціальних витратах на необхідну енергію та мінімальних втратах, необхідних для збереження природного середовища.

Усе зростаючі технологічні вимоги, жорсткість показників якості виробничих процесів, необхідність швидкого перенастроювання промислового устаткування, обумовлює останніми роками стійку тенденцію впровадження в різні галузі народного господарства регульованих електроприводів.

Розвиток математичної теорії машин змінного струму, створення удосконалених напівпровідникових приладів, використання сучасних засобів керування, включаючи мікроконтролери, дозволили створити високоякісні і надійні системи регульованих асинхронних електроприводів, що стають основним видом регульованого електропривода.

З іншого боку, у зв'язку зі зростанням цін на електроенергію й обмежені можливості збільшення потужності енергогенеруючих установок проблема енергозбереження, у тому числі зниження енергоспоживання, набуває останнім часом особливої актуальності.

Основними типами регульованих асинхронних електроприводів з двигунами з короткозамкненим ротором є:

- частотно – регульований електропривод, що дозволяє задовольнити найвищі вимоги по діапазону і якості регулювання швидкості і відпрацюванню складних законів руху;
- система з реалізацією енергії ковзання – асинхронно-вентильний каскад АВК;
- система тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун ТРН-АД, призначена для масових електроприводів з керованими пускогальмівними режимами та режимами короткочасного зниження швидкості.

Таблиця 1 – типи електроприводів для машин з висотою вала 112 мм.

Тип електропривода	Номінальна потужність, кВт	Номінальна потужність до об'єму активних матеріалів	ККД
Постійного струму	7	1	76
Асинхронний	9	1,2	81
Вентильно-індукторний	11	1,7	85

Компенсація реактивної

Реактивна потужність і енергія погіршують показники роботи енергосистеми, тобто завантаження реактивними струмами генераторів електростанцій збільшує витрату палива; збільшуються втрати в мережах і приймачах; збільшується спад напруги в мережах.

Реактивний струм додатково навантажує лінії електропередачі, що призводить до збільшення перерізів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних витрат на зовнішні і внутрішньо майданчикові мережі. Реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті по тарифах, що діють, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

Основні споживачі реактивної потужності — асинхронні електродвигуни, які споживають 40% всієї потужності спільно з побутовими і власними потребами; електричні печі 8%; перетворювачі 10%; трансформатори всіх ступенів трансформації 35%; лінії електропередач 7%.

Поняття електричної потужності може бути витлумачено як «здатність електрообладнання виконувати механічну роботу» або як «кількість роботи, виконану за одиницю часу».

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою КП зменшуються втрати потужності і напруги. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

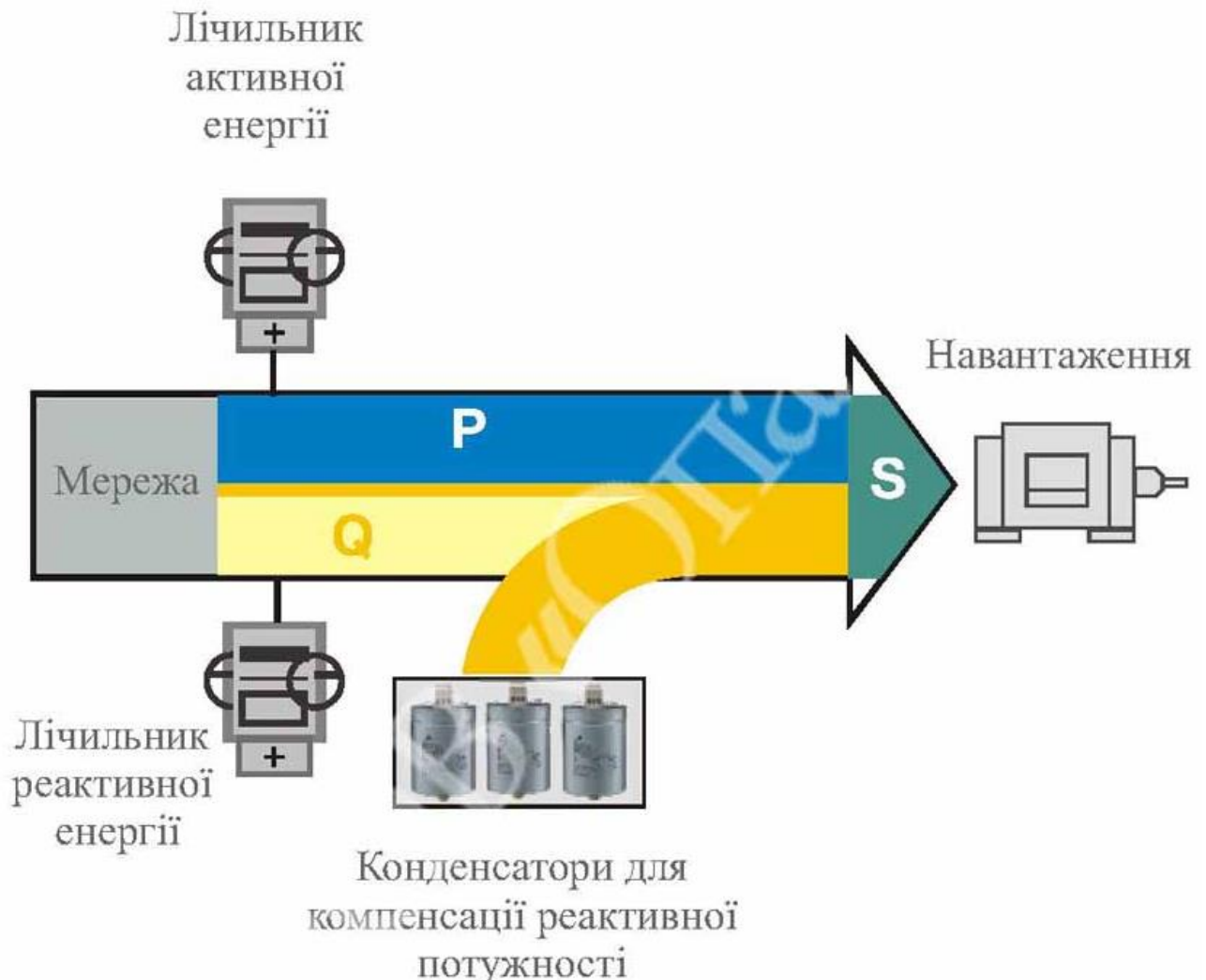


Рисунок 1 – схематичне представлення КРП навантаження з допомогою конденсаторної установки.

Потужність вимірюється у ватах (Вт), найбільш часто використовувані кратні одиниці - це кіловати (кВт) і мегавати (МВт), а частинні одиниці - мілівати (мВт).

В обладнанні змінного струму, дію якого оснований на електромагнітних процесах (трансформатори, електродвигуни та інші пристрої, що генерують свої власні магнітні поля), спільно існують три види потужності:

- Активна потужність (P)
- Реактивна потужність (Q)
- Удавана (повна) потужність (S)

Зв'язок цих трьох різних видів потужності один з одним можна описати через так званий трикутник потужностей. Кут φ , утворений активною і повною потужністю, визначає фазовий зсув між напругою (U) і струмом (I), а значення косинуса цього кута дорівнює коефіцієнту потужності (PF) за умови відсутності гармонічних спотворень.

Проблема енергозбереження в освітлювальних установках

Проблема енергозбереження в освітлювальних установках набула особливого значення. Проблема пов'язана з безперервним зростанням масштабів використання електроенергії на освітлення. На освітлення витрачається до 20% всієї електроенергії, що використовується.

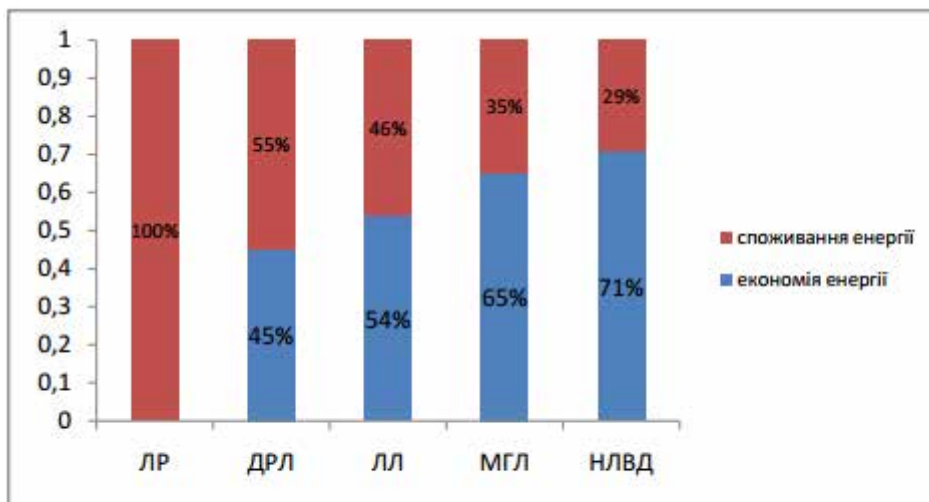
Нераціональне використання електроенергії пов'язане перш за все з тим, що значна група світильників для промислового освітлення має низький ККД і малоефективний розподіл сили світла. Для вирішення енергетичних і економічних проблем, пов'язаних з електричним освітленням необхідно значно підвищити ефективність використання електроенергії в освітлювальних установках.

Вирішення цих проблем зводиться до рішення чотирьох основних задач:

- 1) вдосконалення засобів освітлення за рахунок використання прогресивних джерел світла;
- 2) вдосконалення способів освітлення за рахунок впровадження нових принципів проектування та нормування освітлення;
- 3) поліпшення експлуатації освітлювальних установок;
- 4) стимулювання споживачів електроенергії за використання енергозберігаючих джерел світла.

Основні заходи щодо підвищення енергоефективності освітлення наступні:

- Заміна джерел світла новими енергоефективними лампами при забезпеченні встановлених норм освітленості;
- Максимальне використання природнього освітлення в денний час і автоматичне керування штучним освітленням залежно від рівня природнього освітлення. Керування включенням освітлення може здійснюватися від інфрачервоних датчиків присутності людей або рухи;
- Використання сучасної освітлювальної арматур з раціональним світлорозподілом;
- Використання електронної пускорегулюючої апаратури (ЕПРА);
- Застосування автоматичних вимикачів для систем чергового освітлення в зонах тимчасового перебування персоналу;
- Фарбування поверхонь виробничих приміщень і встаткування у світлі тони для підвищення коефіцієнта використання природнього й штучного освітлення.



ЛР – лампи розжарювання; ДРЛ – дугові ртутні лампи; ЛЛ – люмінесцентні лампи;
 МГЛ – металогалогенні лампи; НЛВД – натрієві лампи високого тиску

Рисунок 2 – Економія електроенергії за рахунок переходу на ефективні джерела світла.

Висновок

Було висвітлено тему енергозбереження в промислових підприємствах як одну із самих актуальних питань сьогодення. Освітлювалися способи для вирішення питання енергозбереження, розглянуто популярні способи покращення ситуації в даному питанні, та до яких позитивних наслідків може призвести збереження енергії. Також, для оптимального споживання електроенергії бажано використовувати новітні технології. Це дуже необхідно так як зараз в світі постає гостре енергетичне питання, де економія енергоресурсів на виробництві є дуже важливим питанням, від якого залежатиме майбутнє благополуччя суспільства. Вирішування цих проблем допоможе зберегти величезні кошти, покращить екологічну ситуацію в промислових зонах та позбавить від енергетичної залежності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. АСУ в електроспоживанні : навчальний посібник / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2016. - 136 с.
2. Конюхова Е.В. Электроснабжение объектов: Учеб.пособие для студ. Учреждений сред. Проф. Образования. – М, Издательство «Мастерство», 2002 – 187 – 196 с.
3. Иншеков, Е. Н. Энергосбережение и энергетические услуги: общие положения и мировые тенденции / Е. Н. Иншеков // Промелектро. – 2007. – № 1. – С. 42–47. – Бібліогр.: с. 47.
4. Находов, В. Ф. Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / В. Ф. Находов // Промелектро. – 2007. – № 1. – С. 34–42. – Бібліогр.: с. 42. Вагнер Г. Основы исследований операций. – М.: Мир, 1972, т.1, – с.335.
5. О.М. Закладний Енергозбереження засобами промислового електроприводу/ О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – Київ: Кондор, 2005. – 405 с.

Андрій Павлович Кравчук – студент групи ЗЕ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
andrey.kravchuk.pavlovich@gmail.com

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулє** – Кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

Andrii P. Kravchuk – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Julia A. Shulle** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University.

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Приведено аналіз застосування засобів та пристроїв підвищення якості електричної енергії в розподільчих мережах.

Ключові слова: СТК, СТАТКОМ, несиметрія напруги, несинусоїдність напруги, реактивна потужність.

Abstract

The analysis of the use of means and devices for increasing the quality of electric energy in distribution networks is given.

Keywords: STK, STATKOM, voltage unbalance, non-sinusoidal voltage, reactive power..

Вступ

За оцінками, наведеними в різних джерелах, середньостатистичні втрати електроенергії в мережах споживача знаходяться в межах 5-10%, а втрати зумовлені погіршенням якості електроенергії в електроприймачах можуть сягати 20-30%. Одні із основних причин таких втрат є недостатній рівень компенсації реактивної потужності, несиметрія та несинусоїдність напруги.

Результати дослідження

Установки динамічної компенсації реактивної потужності на базі статичних тиристорних компенсаторів (СТК) забезпечують одночасну оптимізацію низки параметрів якості електроенергії (відхилення, коливання та несиметрії напруг)[1]. Однією з проблем компенсації впливу швидкозмінних навантажень на мережу є забезпечення бажаної швидкодії СТК. Принципову схему СТК подано на рис. 1.

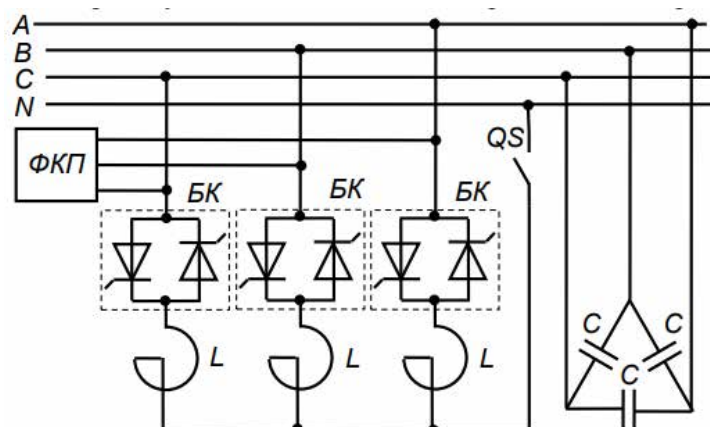


Рис. 1 Структурна електрична схема СТК

Однак, в даний час з'являються нові розробки сучасних силових установок, побудовані на використанні IGBT-ключів і виконують ті ж функції. В першу чергу інтерес представляють кілька типів пристроїв СТАТКОМ[3].

СТАТКОМ відрізняється від СТК іншим пристроєм, збільшеним набором функцій і поліпшеними характеристиками. Він призначений для регулювання реактивної потужності в широких межах (плюс-мінус 100% номінальної потужності).

Спрощено, СТАТКОМ, це перетворювач напруги на керованих силових транзисторах. Принцип роботи СТАТКОМ ідентичний принципом роботи агрегатів безперебійного живлення, з напруги джерела постійного струму за рахунок широтно-імпульсної модуляції і використання фільтра гармонік формується синусоїдна напруга. СТАТКОМ є 3-х фазний джерело напруги з регульованою амплітудою і фазою відокремлений від мережі реакторами. Головною властивістю СТАТКОМ - здатність генерувати струм будь-якої фази щодо напруги мережі, причому не залежно від рівня і якості напруги мережі.

СТАТКОМ володіє високою швидкістю, малим вмістом вищих гармонік, малими габаритами, може використовуватися в будь-яких електричних мережах. Вважається, що сьогодні це найбільш досконале статичну пристрій FACTS. Однак в даний час сфера його застосування значно обмежена у зв'язку з дорожнечою і складністю пристроїв в порівнянні з СТК. Принципову електричну схему СТАТКОМ подано на рис. 2.

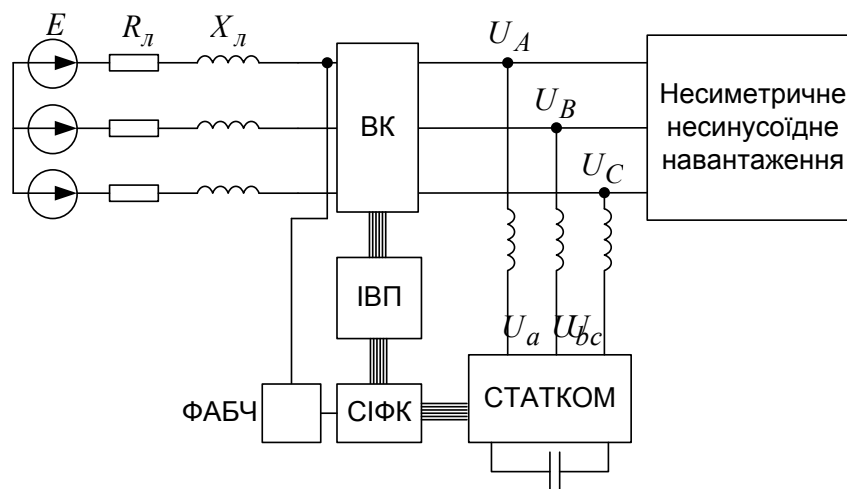


Рис. 2 Структурна електрична схема СТАТКОМ

Висновки

Проаналізовано сучасні засоби та пристрої підвищення якості електричної енергії в розподільчих мережах. Представлені принципи роботи СТК та СТАТКОМ та їх порівняльна характеристика.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Войтюк Ю. П. Підвищення ефективності компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах з різкозмінними несиметричними навантаженнями : дис. к. т. н. : 05.14.02 / Вінницький національний технічний університет. Вінниця, 2017. 116 с.
2. Сучасні силові активні фільтри та імпульсні джерела живлення з корекцією коефіцієнта потужності : монографія / В. В. Бурлака, С. К. Поднебенна, С. В. Гулаков. – Маріуполь : ПДТУ, 2015. – 196 с.
3. Немахов А. И. Анализ быстродействия силовых схем управляемой компенсации реактивной мощности. Россия. г. Москва, НИУ «МЭИ».

Юрій Васильович Лобода – асистент-аспірант кафедри кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Yuri Loboda - assistant graduate student of department of electrical power consumption and power management

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В УМОВАХ ПОГІРШЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано вплив відхилення, несиметрії, провалів та несинусоїдності напруги на роботу асинхронних двигунів.

Ключові слова: асинхронний двигун, несиметрія напруги, несинусоїдність напруги, відхилення напруги.

Abstract

The influence of deviation, asymmetry, failure and non-sinusoidal voltage on the work of asynchronous motors is analyzed.

Keywords: Asynchronous motor, asymmetry of voltage, non-sinusoidal voltage, voltage deviation.

Вступ

Найпоширенішими електроприймачами в промисловості є асинхронний двигун тому дослідження впливу якості електроенергії на його роботу є досить актуальною темою. Одним з головних умов забезпечення нормальної роботи електродвигунів є живленням їх електроенергією, параметри якої відповідають певним вимогам до її якості. Основні показники якості електроенергії (ПКЕ) які найбільш згубно впливають на роботу асинхронного двигуна (АД) є відхилення напруги, коливання напруги, несинусоїдність і несиметрія напруги. Щоб уникнути тривалого порушення нормальної роботи електродвигунів основні ПКЕ не повинні виходити за межі своїх нормальних значень. Недотримання цих умов спричиняють збільшення втрат електроенергії та можуть призвести до передчасного виходу з ладу.

Результати дослідження

Зменшення напруги на асинхронних двигунах призводить до зменшення швидкості обертання ротора, зростання струму, перегріву, зростання втрат, погіршення ізоляція, скорочення терміну служби і т. д.

Несинусоїдальні режими надають істотне вплив на надійність роботи електродвигунів. Це пояснюється тим, що при наявності вищих гармонік в кривій напруги більш інтенсивно протікає процес старіння ізоляції, ніж в разі роботи електроустаткування при синусоїдальній напрузі. Так, наприклад, при коефіцієнті несинусоїдальності 5%, через два роки експлуатації тангенс кута діелектричних втрат конденсаторів збільшується в 2 рази.

Несиметрія напруги несприятливо позначається на роботі і терміні служби асинхронних двигунів. Так, несиметрія напруги в 1% викликає значну несиметрію струмів в обмотках (до 9%). Токи зворотної послідовності накладаються на струми прямої послідовності і викликають додатковий нагрів статора і ротора, що призводить до прискореного старіння ізоляції і зменшення розполагаемой потужності двигуна. Відомо, що при несиметрії напруги в 4% термін служби асинхронного двигуна, що працює з номінальним навантаженням, скорочується приблизно в 2 рази; при несиметрії напруги в 5% наявна потужність асинхронного двигуна зменшується на 5 - 10%.

Висновки

Проаналізовано вплив якості електроенергії на асинхронні двигуни та приведено приклади розрахунку для конкретних випадків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Закладной А.Н. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей Закладной А.Н., к.т.н., доцент; Закладной О.А., аспирант Национальный технический университет Украины «КПИ».
2. Слоним Н.М. Испытания асинхронных двигателей. – М., Энергия, 1980.
3. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, С. М. Левицький, М. О. Казак. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
4. Влияние качества электроэнергии на работу электродвигателей. Электроснабжение : веб-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/851-vlijanie-kachestva-jelektroenergii-na.html>.
5. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Киев, : Госстандарт Украины. 1999. –30с.

Юрій Васильович Лобода – асистент-аспірант кафедри кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Yuri Loboda - assistant graduate student of department of electrical power consumption and power management

Мінімізація втрат електроенергії на виробництві

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В даній праці розглянуто основні проблеми та завдання мінімізації витрат електроенергії на промисловому виробництві.

Ключові слова: енергоефективність, виробництво, електроенергія, мінімізація.

Abstract

In this paper reviewed the main problems and tasks of minimizing electricity consumption in industrial production are considered.

Keywords: energy efficiency, manufacturing, electricity, minimization.

Вступ

Сьогодні електроенергія, через відносну легкість виробництва, транспортування і споживання є одним із найважливіших, якщо не головним видом енергії, споживаної людством. Особливо це стосується промисловості. Саме тому гостро постає питання раціонального використання, заощадження, оптимізації виробництва електроенергії в умовах вичерпних природних ресурсів; недостатнього, на сьогоднішній день, виробництва електроенергії з невичерпних ресурсів (сонячне випромінювання, енергія вітру, тощо.), і постійно зростаючого попиту на різні джерела енергії. Як наслідок через поступове зростання населення і відповідно виробничих потужностей. Крім того ще в кінці ХХ ст. гостро постало питання екологічної безпеки і збереження навколишнього середовища, яке є не менш актуальним і на сьогодні.

Результати дослідження

Основним завданням даної роботи є аналіз промислового виробництва, з метою визначення основних факторів нераціонального використання електричної енергії. Та визначення основних напрямків покращення енергоефективності промислового виробництва.

В результаті аналізу можна виділити декілька факторів високих енергетичних витрат:

- великий моральний та фізичний знос основного обладнання;
- невелика енергоефективність застарілого обладнання;
- великі пускові струми промислових асинхронних двигунів;
- великі витрати на освітлення, низька ступінь ефективності штучного освітлення;
- відсутність компенсації реактивної потужності.

На даний момент значною проблемою є високий ступінь зносу промислового обладнання, на разі ця частка енергетичних втрат на виробництві складає 8-12 % і поступово зростає. Основним шляхом вирішення даної проблеми вважається формування й реалізація програм енергозбереження як на окремих підприємствах, так і загальної методологічної, методичної бази. Також створення правої бази і окремих субсидій для підприємств які модернізують своє обладнання або замінюють його на більш енергоефективне. Довгострокові державні кредити на придбання більш досконалих вузлів виробництва. Приваблення зарубіжних інвестицій шляхом надання пільг на податки, або їх часткове полегшення, з гарантією юридичної безпеки. Зменшення людського фактору шляхом автоматизації виробництва.

Зменшення втрат електроенергії в застарілому обладнанні можна досягти шляхом встановлення регулюючих пристроїв, що забезпечить раціональні режими їх роботи; виключення холостого ходу при малих навантаженнях; заміни окремих вузлів, а також регулярного технічного обслуговування, і також повної заміни застарілого обладнання.

В більшості випадків асинхронні двигуни вмикаються на пряму в мережу, в колі статора замикаються контакти електромагнітного пускача, обмотки підключаються до лінійної напруги мережі, виникає магнітне поле і яке приводить двигун в рух; при цьому виникають великі струми – пускові, які фактично рівні струмам короткого замикання, з'являються великі втрати. Найпопулярнішими методами обмеження таких втрат є: пуск на пониженій напрузі за допомогою переключення з «зірки» на «трикутник» під час пуску і перемикання на «трикутник» через декілька секунд після пуску, це можна реалізувати, наприклад, за допомогою реле часу. Але такий тип пуску підходить не завжди, тому деколи доцільно використовувати так званий реостатний пуск, з включення і виключення додаткових опорів, але найефективнішим вважається пуск з використання частотного перетворювача. Змінюючи частоту і величину напруги на двигуні, перетворювач дозволяє асинхронному двигуну запускатися і працювати з оптимальними параметрами.

Існує багато шляхів поліпшення енергоефективності освітлення, опишемо основні: більш світла обробка стін і стель, для відбивання світла, підвищення ступеню енергоефективності штучного освітлення шляхом, заміни його на досконаліше, контроль за використання електроенергії, встановлення облікових пристроїв, ефективно використання природного освітлення.

Ще один з напрямків економії електроенергії – це компенсація реактивної потужності, яка дає можливість отримати значну економію енергетичних ресурсів і є частиною вирішення загальної проблеми підвищення ККД роботи систем електропостачання та поліпшення якості електроенергії.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів).

Висновок

На наш час існує достатньо напрямків мінімізації та оптимізації використання електроенергії на промислових підприємствах. Оптимальним варіантом є робота в усіх напрямках вказаних вище. Важливим фактором є підтримка мінімізації використання електроенергії з боку держави, а також специфіка окремих підприємств. На даному етапі, в умовах вичерпних природних ресурсів і зростаючого попиту, гостро стоїть питання оптимізації використання і економії електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергозбереження промислових підприємств / В.В. Джеджула. – Вінниця : ВНТУ, 2014. - 66с.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://publish.vntu.edu.ua/txt/Dzedzyla_594-6.pdf
2. Енергозбереження в промисловості / А.В. Праховник, О.М. Суходоля, С.П. Денисюк, В.В. Прокопенко – Київ : КНТУ, 2011. - 517с.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://electroprivod.kpi.ua/images/books/ЕvP_09/all.pdf

Задворний Максим Сергійович – студент групи ЗЕ-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. 3e14b.zadvorniy@gmail.com

Науковий керівник: **Олександр Дмитрович Демов** – доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Maxim S. Zadvornyy – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Olexandr D. Demov** – Docent of the department of electrical systems of power consumption and energy management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

СУЧАСНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ НА БАЗІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕТІ. УСТАНОВКИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

ТОВ «ЕТІ Україна»

Анотація

Запропоновано шляхи вирішення проблеми наявності реактивної потужності мережі. Найбільш дієвим є застосування установок компенсації реактивної потужності.

Ключові слова: реактивна потужність, конденсатор, контактор, регулятор реактивної потужності, установка компенсації реактивної потужності.

Abstract

The ways of solving the problem of presence of reactive power of the network are offered. The most effective is the use of reactive power compensation systems.

Keywords: reactive power, capacitor, contactor, reactive power regulator, installation of compensation of reactive power.

Вступ

В сучасному світі важко знайти галузь, де б не використовувались електродвигуни змінного струму або трансформатори. При роботі електричного обладнання можна виокремити три види потужності: активна (P), реактивна (Q) та загальна (S) потужності. Наявність в електромережі реактивної складової потужності призводить до погіршення якості електроенергії та низки негативних явищ таких як: втрати потужності, падіння напруги, збільшення потужності трансформаторів та перетину кабелів, збільшення плати за електроенергію. Для вирішення проблем пов'язаних з явищем реактивної потужності – є застосування установок компенсації реактивної потужності.

Результати дослідження

Установки компенсації реактивної потужності складаються з конденсаторних батарей, контакторів для їх підключення, регулятора реактивної потужності, пристроїв захисту та комутації (рис. 1).

Конденсатори використовуються для коригування коефіцієнта потужності індуктивних споживачів (трансформаторів, електричних двигунів та інших) в електричних мережах для напруги до 660 В. Лінійка сухих конденсаторів серії LPC представлена потужністю від 1 до 50 кВАр. Вони складаються з циліндричного алюмінієвого корпусу, всередині якого встановлено діелектрик з трьома поліпропіленовими шарами, металізованими алюмінієм і цинком з одного боку (тип МКР). Дане покриття забезпечує низький рівень втрат і високу стійкість до високих імпульсним струмів, а також сприяє самовідновленню конденсатора при пробіі.

Для забезпечення захисту внутрішніх елементів конденсатора застосовується роз'єднувач, який спрацьовує при виникненні надлишкового тиску. Призначенням пристрою є переривання струму короткого замикання при досягненні конденсатором закінчення терміну служби і його нездатності до подальшого відновлення.

Після від'єднання конденсатора від мережі на його виводах ще присутня залишкова напруга, що становить небезпеку для обслуговуючого персоналу. Для його усунення всі трифазні конденсатори мають розрядні резистори, які знижують рівень напруги до рівня менше ніж 75В за 3 хвилини.

Для захисту від струмів короткого замикання використовуються запобіжники (стандарті ІЕС 60269 і VDE 0636 регламентують вибір запобіжників для застосування в електричних колах з індук-

тивним навантаженням). Запобіжники не повинні використовуватися для захисту конденсаторів від перевантаження. Захист від перевантаження повинен здійснюватися за допомогою внутрішнього роз'єднувача надлишкового тиску, що встановлений в конденсатор.

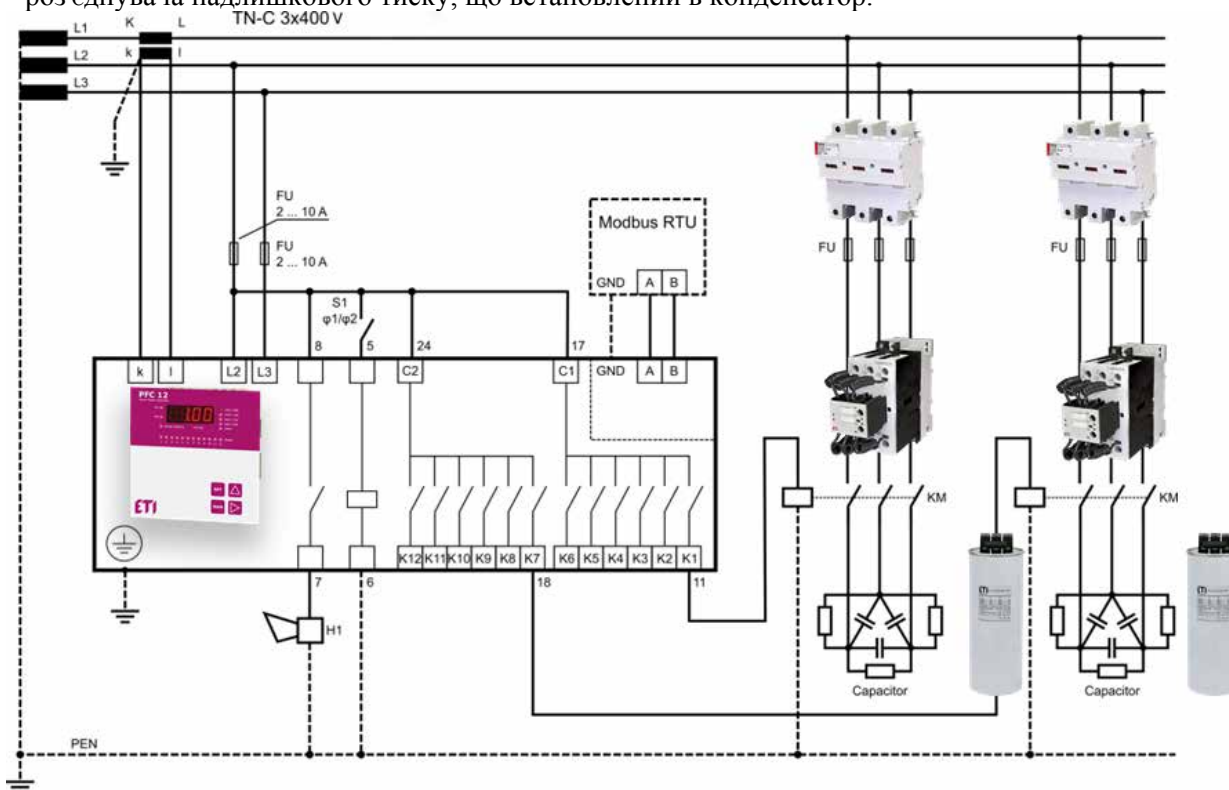


Рис. 1. Приклад установки компенсації реактивної потужності на базі обладнання ЕТІ

В установках компенсації реактивної потужності конденсатори піддаються частим комутаціям, в ході яких окрім номінального струму виникають високі пускові струми. Тому для комутації конденсаторних батарей використовують спеціальні контактори. **Контактори для конденсаторних батарей серій СЕМ СN, СЕМ СК та СЕМ СК...N** оснащені додатковими струмообмежуючими контактами. При підключенні конденсатора спочатку замикаються додаткові контакти, обмежуючи пускові струми, і лише через декілька мс підключаються основні контакти. Контактори обираються в залежності від потужності конденсаторів. Використання таких контакторів забезпечує стабільність характеристик конденсаторів в ході експлуатації та попереджує появу імпульсних перенапруг та просадку напруги при підключенні конденсаторів в установці.

Регулятори реактивної потужності типу PFC відслідковують активну та реактивну складові потужності шляхом вимірювання миттєвого значення струму та напруги в електричній мережі. В результаті цих замірів визначається фазний зсув між струмом та напругою, потім це значення порівнюється з заданим бажаним значенням $\cos\phi$. В залежності від фактичного відхилення коефіцієнта потужності, регулятор подає сигнал на підключення або відключення необхідних ступеней.

Висновки

Використання установок компенсації реактивної потужності дає наступні переваги : підвищення ефективності енергомережі, підвищення строку експлуатації електрообладнання, покращення якості енергомережі та значну економію при оплаті за електроенергію.

Мірошник Оксана Леонідівна — керівник проектно-технічного відділу ТОВ «ЕТІ Україна», Київ, e-mail: miroshnyk@eti.ua

Авдєнцов Сергій Олександрович — провідний спеціаліст проектно-технічного відділу ТОВ «ЕТІ Україна», Київ, e-mail: avdientov@eti.ua

Miroshnyk Oksana - head of technical department "ETI Ukraine" LTD, Kiev, e-mail: miroshnyk@eti.ua
Avdientov Serhii - specialist of technical department "ETI Ukraine" LTD, Kiev, e-mail: avdientov@eti.ua

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ЯК ОСНОВА ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто поняття енергетичного менеджменту і його місце на підприємстві.

Ключові слова: енергетичний менеджмент, система.

Abstract

The concept of energy management and its place in the enterprise are considered.

Keywords: energy management, system.

Вступ

Проблема енергозбереження є важливим питанням для підприємств. Термін «енергетичний менеджмент» сприймають як систему управління, яка забезпечує роботу суб'єкта господарювання, при якій споживається тільки необхідна для виробництва кількість палива і енергії.

Результати досліджень

Система енергетичного менеджменту (СЕМ) – частина загальної системи управління підприємством, яка включає в себе організаційну структуру, функції управління, обов'язки та відповідальність, процедури, процеси, ресурси для формування, впровадження, досягнення цілей політики енергозбереження [1, 2].

Завдання енергетичного менеджменту на підприємстві:

- енергозбереження;
- оптимальна експлуатація обладнання;
- пошук нових ефективних джерел енергії;
- системний аналіз;
- компенсація екологічних наслідків енерговикористання.

Систему енергетичного менеджменту можна розглядати як сукупність таких етапів:

1-й етап: Підготовчі роботи.

Перед введенням в дію СЕМ необхідно провести підготовчі роботи, що пов'язані з аналізом існуючих систем розподілу енергії.

2-й етап: Збір інформації про витрати енергії.

Формують планові показники енергоефективності для окремих центрів обліку енергії (ЦОЕ). СЕМ отримує з ЦОЕ данні стосовно споживання окремих видів енергії за певні проміжки часу (позмінно або щоденно).

3-й етап: Розробка планових показників.

Після зібрання експериментальних даних, будують регресійні залежності. Для кожного виду споживання енергії використовується окрема залежність. Для побудови регресійної залежності необхідно мати достатню кількість вихідної інформації, яка знайдена з високою точністю.

4-й етап: Контроль ефективності використання енергії в ЦОЕ.

Контроль здійснюють шляхом зіставлення фактичного енергоспоживання з плановим. Планове споживання беруть з регресійних залежностей, що побудовані за минуломісячними даними. Якщо фактичні енерговитрати перевищують довірчі інтервали регресійної залежності, то результат роботи ЦОЕ є не задовільний. Якщо менше області довірчих інтервалів регресійної залежності, то реєструється задовільний результат.

5-й етап: Управління енерговикористанням ЦОЕ.

Оперативне управління енерговикористанням ЦОЕ здійснюється безпосередньо під керівництвом осіб, які відповідають за використання енергії. Отримана інформація від СЕМ складає основу для

управління.

Циклічність енергетичного менеджменту показана на рисунку 1.

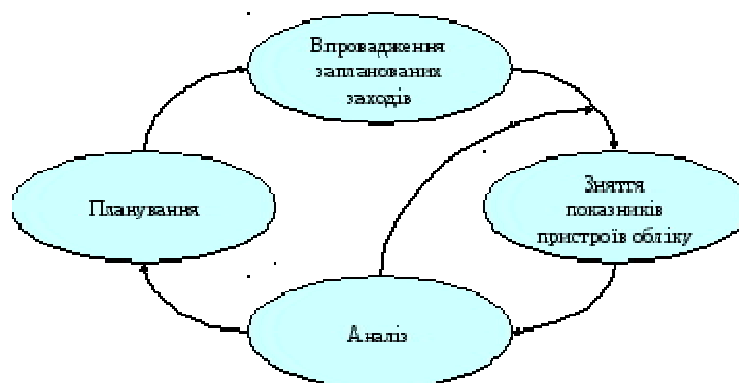


Рис. 1. Циклічність енергетичного менеджменту

Висновок

Отже, енергетичний менеджмент дозволяє отримати точне уявлення про споживання енергії на підприємстві і порівнювати це споживання з плановими показниками. Після впровадження СЕМ на підприємстві спостерігається покращення виробничого циклу, проводяться найбільш ефективні заходи по енергозбереженню, а також спостерігається постійне отримання віддачі від цих засобів та заходів у вигляді фінансового прибутку. Впровадження системи енергетичного менеджменту сприяє сталому енергетичному розвитку підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрушків Б.М., Кузьмін О.Є. Основи менеджменту. – Львів, «Світ», 1995. – 296 с.
2. Виханский О.С., Наумов А.И. Менеджмент: Учебник, 3-е изд. – Гардарика, 1998. – 528 с.

Яна Анатоліївна Ясько – студентка групи 4Е-16Б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: yasohka14@gmail.com;

Науковий керівник: **Юлія Андріївна Шулле** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Yana A. Yasko – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yasohka14@gmail.com;

Supervisor: **Iuliia A. Shullie** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Анотація

В роботі реалізована Bond Graph модель асинхронного електроприводу відцентрового насосного агрегату із системою керованого пуску. Проведено дослідження режимів роботи електроприводу відцентрового насоса, а саме прямий та регульований пуск. Одержані результати моделювання дають змогу синтезувати енерго-ефективні режими роботи насосних агрегатів магістральних нафтопроводів.

Ключові слова: асинхронний електропривід, пристрій плавного пуску, відцентровий насос, енергоефективні режими, Bond Graph модель.

Abstract

In the work, the Bond Graph model of the asynchronous electric drive of a centrifugal pump unit with a controlled start system is implemented. The study of operating modes of the electric drive of a centrifugal pump, namely direct and regulated start, was carried out. The obtained results of simulation allow to synthesize energy-efficient modes of operation of pumping units of main oil pipelines.

Keywords: asynchronous electric drive, soft starter, centrifugal pump, energy efficient modes, Bond Graph model.

Вступ

Проблема ефективного функціонування електротехнологічного обладнання насосних станцій магістральних нафтопроводів особливо гостро постає в умовах сучасного стрімкого росту цін на енергоносії. Неоптимальні перехідні режими роботи призводять до порушення технологічного процесу, передчасних та аварійних виходів з ладу насосних агрегатів, невиконання планів перекачування нафти і як наслідок, до незапланованих фінансових затрат. В зв'язку з цим виникає актуальна задача оптимізації пускових режимів роботи електроприводних насосних агрегатів нафтоперекачувальних станцій магістральних трубопроводів, які обладнані зазвичай відцентровими насосами з приводом від асинхронного двигуна [1].

Метою роботи є розроблення комп'ютерно-орієнтованих моделей електроприводних відцентрових насосних агрегатів з приводом від асинхронного двигуна, які б давали можливість прогнозувати і реалізовувати енергооптимальні пускові режими роботи.

Результати дослідження

На даний момент існують різноманітні схемні рішення проблеми пуску високовольтних двигунів, які реалізують найбільш доцільні методи: прямого пуску; пуску з допоміжними механізмами і машинами; пуску з використанням засобів, які змінюють параметр джерела живлення. Властивостями пускової системи може володіти і сама система електроприводу, коли можливість плавного пуску потужного двигуна закладена в схемному рішенні. До таких систем відносять вентильні електроприводи постійного і змінного струму. Для інших систем електроприводу пускова система буде окремим елементом, який працює тільки в момент пуску.

Основною задачею дослідження було порівняння різних законів регулювання напруги при різному часі розгону пристрою плавного пуску (ППП) – софтстартера, та аналіз спожитої енергії за час пуску в порівнянні з прямим пуском високовольтного двигуна насосного агрегату магістрального нафтопроводу. Задачу дослідження реалізовано за допомогою комплексної Bond Graph моделі електроприводного відцентрового агрегату, яку доповнено підмоделлю регулятора напруги.

Розроблення Bond Graph підмоделі ППП базується на тому, що напруга на затискачах двигуна має змінюватись за різними законами. Рішень що до керованого пуску може бути декілька. Найбільш доцільним способом керованого пуску в даному випадку є застосування регуляторів напруги (софтстартерів). Отже, розрахункові блоки підмоделі ППП за рахунок зміни їх параметрів дають можливість реалізувати наступні пускові режими:

- прямий пуск;
- лінійна зміна напруги під час пуску;
- експоненційна зміна напруги під час пуску.

Запропоновано підмодель регулятора напруги (рис.1) методом Bond Graph представити модульованими трансформаторами *MTF* з обчислювальними блоками *m1*; *m2*; *m3*, за допомогою яких реалізується різні закони зміни напруги. В модульованому трансформаторі *MTF* енергія не зберігається і не розсіюється, а лише перетворюється. Внаслідок такого перетворення, напруга U_1 трансформуються в напругу U_2 , а струми у зворотному напрямі. Такий перетворювач характеризується коефіцієнтом трансформації m , який розраховується в обчислювальних блоках *m1*; *m2*; *m3*.

Рівняння що описують зміну напруги софтстартера в часі

$$U_{TRU\ line} = U_0 \cdot \frac{t}{t_u}, \quad (1)$$

$$U_{TRU\ exp} = U_0 \cdot \left(1 - e^{-t/T_e} \right), \quad (2)$$

де U_0 – початкова напруга, яка подається на ППП;

t_u – час зміни значення напруги під час пуску (час розгону софтстартера);

t – час імітаційного моделювання;

T_e – постійна часу експоненційного закону зміни напруги.

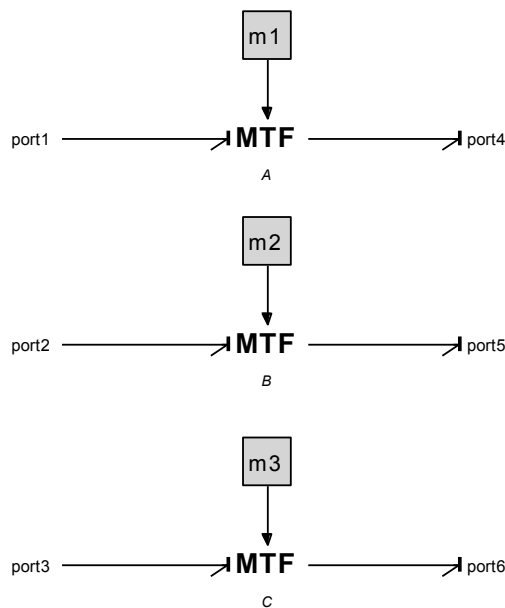


Рисунок 1 – Підмодель пристрою плавного пуску методом Bond Graph

Для аналізу спожитої енергії за час пуску насосного агрегату в Bond Graph модель встановлено давач енергії в одну із фаз статора двигуна. Розрахунок спожитої агрегатом за час пуску енергії проводиться за наступною формулою

$$E = 3 \int_0^t u_{sw}(t) \cdot i_{sw}(t) dt, \quad (2)$$

де $u_{sw}(t)$, $i_{sw}(t)$ – відповідно миттєві значення напруги та струму на затискачах однієї фази статорної обмотки двигуна; t – час пуску.

Провівши аналіз пускових режимів високовольтного двигуна насосного агрегату магістрального нафтопроводу із застосуванням софтстартера з лінійним та експоненційним законом регулювання напруги встановлено, що за однакового часу t_U зміни величини напруги для експоненційного закону характерний швидший розгін двигуна. Крім того за однакового часу розгону двигуна кратність пускового струму та електродинамічного моменту для експоненційного закону менша в порівнянні з лінійним. Також встановлено, що із збільшенням часу розгону двигуна збільшується споживана енергія за час пуску насосного агрегата. Так для лінійного закону регулювання напруги починаючи з часу розгону софтстартера понад $t_U=12$ с. споживана енергія стає більшою в порівнянні з прямим пуском двигуна. Таким чином зменшення кратності пускових струмів та електродинамічних моментів за допомогою софтстартера може призвести до збільшення споживання енергії регульованим електроприводом за час пуску в порівнянні з прямим пуском. Отже, в кожному конкретному випадку пуску насосного агрегату магістрального нафтопроводу необхідно проводити аналіз доцільності застосування того чи іншого закону регулювання напруги з точки зору підвищення рівня ефективності функціонування в порівнянні з енергоспоживанням.

Використання запропонованої Bond Graph моделі в системах плавного пуску насосних агрегатів дозволяє реалізувати більш раціональні алгоритми керування, які забезпечить вирішення питання підвищення рівня енергоефективності та ресурсозбереження магістральних нафтопроводів

Висновки

Удосконалено Bond Graph модель асинхронного електроприводу відцентрового насосного агрегату шляхом доповнення її підмоделлю пристрою плавного пуску. Проведено аналіз пускових режимів роботи нафтоперекачувальних агрегатів із лінійним та експоненційним законом регулювання напруги та встановлено, що експоненційний закон значно пришвидшує розгін агрегату, зменшує кратність пускових струмів та електромеханічних зусиль в залежності від часу розгону софтстартера. Застосування софтстартерів для плавного пуску високовольтних двигунів магістральних насосних агрегатів дає змогу усунути коливання електродинамічного моменту на валу, що в свою чергу призводить до зменшення гідравлічних ударів в перекачувальних агрегатах, механічних навантажень на підшипники, сполучні муфти, вали, вузли кріплення приводів та кількості аварій на трубопроводі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курляк П.О. Моделювання динамічних режимів роботи електроприводних відцентрових насосних агрегатів магістральних нафтопроводів на основі методу Bond Graph: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 “Електротехнічні комплекси та системи” / П.О. Курляк. — Вінниця, 2012. — 22 с.
2. Курляк П.О. Застосування комп’ютерно-орієнтованого методу *Bond Graph* для дослідження перехідних процесів електроприводних відцентрових насосних агрегатів [Текст] / Петро Курляк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011.–№11(186).–с.221-225. – ISSN 2074–2630.
3. Костишин В.С. Створення комп’ютерно-орієнтованих моделей електроприводних агрегатів нафтогазової промисловості [Текст] / Володимир Костишин, Петро Курляк // Нафтогазова енергетика. – 2007.– №1(2). – С.50-56. – ISSN 1993–9868.

Курляк Петро Омелянович — канд. техн. наук, доцент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, e-mail: pkurlyak@gmail.com.

Костишин Володимир Степанович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.

НЕСТАНДАРТНИЙ АНАЛІЗ В ТОЕ: ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В КОЛАХ 1 ПОРЯДКУ З ПОРУШЕННЯМ ЗАКОНІВ КОМУТАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто використання математичного апарату нестандартного аналізу для аналізу перехідних процесів в електричних колах 1 порядку з порушенням законів комутації.

Ключові слова: нескінченно мале число, нескінченно велике число, нестандартне число, стандартне число, кола 1 порядку.

Abstract

Application of mathematical apparatus of the non-standard analysis for analysis of transients in electric circuits of 1 order with infringement of laws of switching is considered.

Keywords: infinitesimal number, indefinitely large number, non-standard number, standard number, circuits of 1 order.

Вступ

Існують електричні кола, для яких при аналізі перехідних процесів неможливе безпосереднє застосування законів комутації. Зазвичай, в таких колах застосовують узагальнені закони з використанням поточкозчеплень індуктивностей та зарядів ємностей, що суттєво ускладнює розрахунки. Втім в таких колах можливе використання і звичних законів комутації, якщо застосувати математичний апарат нестандартного аналізу.

Коротко нагадаємо аксіоматику нестандартного аналізу [1 – 3]. Число α будемо називати *нескінченно малим* числом, число $\beta = \frac{1}{\alpha}$ – *нескінченно великим* числом. До нескінченно малих та великих чисел можуть бути застосовані всі алгебраїчні операції (додавання, віднімання, множення, ділення, зведення в ступінь тощо) та теореми (комутативності, асоціативності тощо). Розрізняють нескінченно малі та великі числа різного порядку, а саме: $\alpha > \alpha^k$ – нескінченно малі числа першого та k -го порядку; $\beta < \beta^k$ – нескінченно великі числа першого та k -го порядку.

Перед тим, як перейти до застосування вищенаведених виразів для розв'язання різноманітних прикладних задач відзначимо, що не існує загальних правил вибору параметру, який доцільно прирівняти до нескінченно малого (або нескінченно великого) числа. Цей вибір здійснюється дослідником в залежності від контексту конкретної задачі. При цьому слід мати на увазі, що у випадку необхідності заміни нескінченно малими числами одразу кількох *різноманітних* параметрів однієї задачі, визначення співвідношень порядків цих чисел є зовсім непростою проблемою і вимагає, іноді, додаткових досліджень.

Аналіз перехідного процесу в індуктивному колі з магнітним зв'язком

Розглянемо коло, в якому між індуктивностями існує магнітний зв'язок (рис. 1). Визначимо перехідний струм $i_1(t)$.

Третя вітка (з комутаційним апаратом) до комутації мала опір r_3 . Після комутації замінимо розрив цієї вітки нескінченно великим опором $r_3 = \beta$, що дає можливість застосувати стандартні закони комутації.

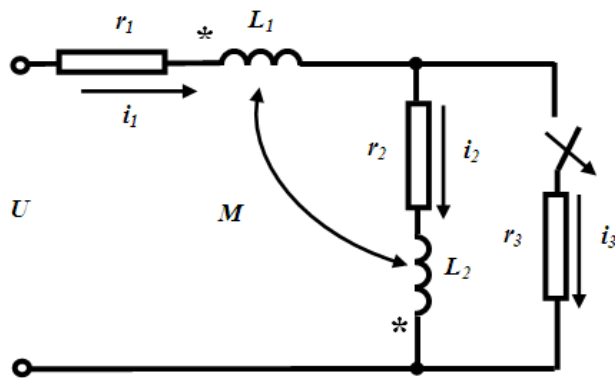


Рисунок 1 – Електричне коло 1 порядку з магнітним зв'язком

Для формування характеристичного рівняння складемо систему рівнянь за законами Кірхгофа

$$\begin{aligned}
 i_1 &= i_2 + i_3, \\
 L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} + r_1 i_1 + \beta i_3 &= U, \\
 L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} + r_2 i_2 - \beta i_3 &= 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Після незначних перетворень отримаємо характеристичне рівняння у вигляді

$$(L_1 L_2 - M^2) p^2 + [L_1 r_2 + L_2 r_1 + (L_1 + L_2 - 2M)\beta] p + r_1 r_2 + (r_1 + r_2)\beta = 0 \tag{2}$$

Висновки.

Застосування ідей та методів нестандартного аналізу в галузі теоретичної електротехніки дає можливість використовувати традиційний класичний метод аналізу перехідних процесів в колах з порушенням законів комутації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпов Ю. О. Розширення області застосування символічного методу розрахунку електричних кіл за рахунок використання методів нестандартного аналізу (частина 1) / Ю. О. Карпов, С. Ш. Каців, А. В. Козловський // Вісник Інженерної Академії України. – 2013 – №1. – с. 236-239.
2. Карпов Ю. О. Розширення області застосування символічного методу розрахунку електричних кіл за рахунок використання методів нестандартного аналізу (частина 2) / Ю. О. Карпов, С. Ш. Каців, А. В. Козловський // Вісник Інженерної Академії України. – 2013 – №2. – с. 262-265.
3. Робинсон А. Введение в теорию моделей и метаматерику алгебры / Робинсон А. – М.: Наука, 1967. – 376 с.

Самойл Шулімович Каців – канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: katsyv@ukr.net.

Samoil Sh. Katsyv – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Theoretical the Electrical Engineer and Electric Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: katsyv@ukr.net.

НЕСТАНДАРТНИЙ АНАЛІЗ В ТОЕ: ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В КОЛАХ 2 ПОРЯДКУ З ПОРУШЕННЯМ ЗАКОНІВ КОМУТАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто використання математичного апарату нестандартного аналізу для аналізу перехідних процесів в електричних колах 2 порядку з порушенням законів комутації.

Ключові слова: нескінченно мале число, нескінченно велике число, нестандартне число, стандартне число, кола 2 порядку.

Abstract

Application of mathematical apparatus of the non-standard analysis for analysis of transients in electric circuits of 2 order with infringement of laws of switching is considered.

Keywords: infinitesimal number, indefinitely large number, non-standard number, standard number, circuits of 2 order.

Вступ

Існують електричні кола, для яких при аналізі перехідних процесів неможливе безпосереднє застосування законів комутації. Зазвичай, в таких колах застосовують узагальнені закони з використанням поточкозчеплень індуктивностей та зарядів ємностей, що суттєво ускладнює розрахунки. Втім в таких колах можливе використання і звичних законів комутації, якщо застосувати математичний апарат нестандартного аналізу.

Коротко нагадаємо аксіоматику нестандартного аналізу [1 – 3].

Нехай R – впорядкована множина дійсних чисел. Число α називається *нескінченно малим числом* тоді та лише тоді, коли

$$\forall r \in R (\alpha < r). \quad (1)$$

Число $\beta = \frac{1}{\alpha}$ називають *нескінченно великим числом*. В цьому випадку можна записати

$$\forall r \in R (\beta > r). \quad (2)$$

До нескінченно малих та великих чисел можуть бути застосовані всі алгебраїчні операції (додавання, віднімання, множення, ділення, зведення в ступінь тощо) та теореми (комутативності, асоціативності тощо).

Розрізняють нескінченно малі та великі числа різного порядку, а саме:

- $\alpha > \alpha^2 > \alpha^3 > \alpha^k$ – нескінченно малі числа першого, другого, третього, k -го порядку;

- $\beta < \beta^2 < \beta^3 < \beta^k$ – нескінченно великі числа першого, другого, третього, k -го порядку.

Перед тим, як перейти до застосування вищенаведених виразів для розв'язання різноманітних прикладних задач відзначимо, що не існує загальних правил вибору параметру, який доцільно прирівняти до нескінченно малого (або нескінченно великого) числа. Цей вибір здійснюється дослідником в залежності від контексту конкретної задачі. При цьому слід мати на увазі, що у випадку необхідності заміни нескінченно малими числами одразу кількох *різноманітних* параметрів однієї задачі, визначення співвідношень порядків цих чисел є зовсім непростою проблемою і вимагає, іноді, додаткових досліджень.

Аналіз перехідних процесів в колах 2 порядку

Визначимо перехідну напругу на ємностях та струм в індуктивності в колі, що зображене на рис. 1, а.

Для забезпечення можливості використання другого закону комутації будемо вважати, що вітка з ємністю C_2 містить резистор $r_2 = \alpha \approx 0$ (рис. 1, б).

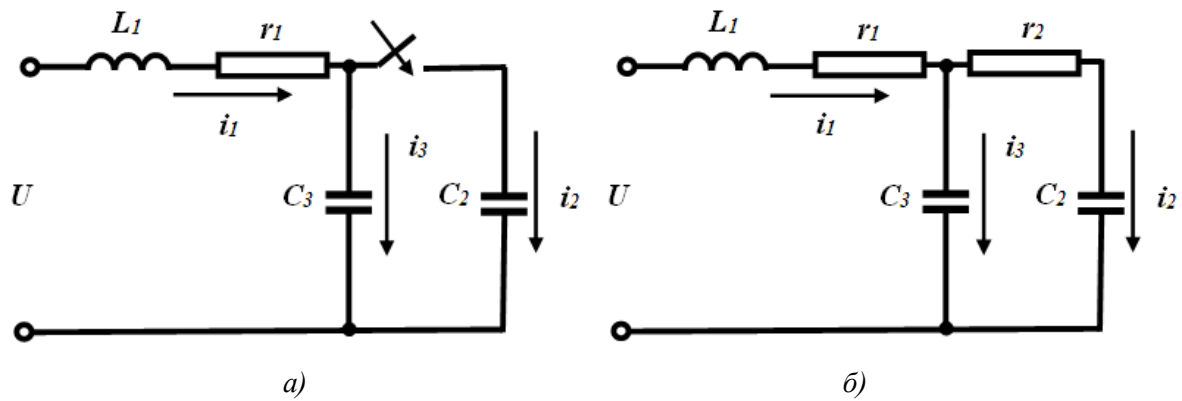


Рисунок 1 – Електричне коло 2 порядку

За методом вхідного опору

$$Z_{\text{вх}}(p) = r_1 + pL_1 + \frac{\left(r_2 + \frac{1}{pC_2}\right) \frac{1}{pC_3}}{r_2 + \frac{1}{pC_2} + \frac{1}{pC_3}} = r_1 + pL_1 + \frac{\left(\alpha + \frac{1}{pC_2}\right) \frac{1}{pC_3}}{\alpha + \frac{1}{pC_2} + \frac{1}{pC_3}} =$$

$$= \frac{r_1(\alpha C_2 C_3 p^2 + (C_2 + C_3)p) + pL_1(\alpha C_2 C_3 p^2 + (C_2 + C_3)p) + \alpha C_2 p + 1}{\alpha C_2 C_3 p^2 + (C_2 + C_3)p}$$

сформуємо характеристичне рівняння:

$$\alpha L_1 C_2 C_3 p^3 + [\alpha r_1 C_2 C_3 + L_1(C_2 + C_3)]p^2 + [r_1(C_2 + C_3) + \alpha C_2]p + 1 = 0. \quad (3)$$

Висновки.

Застосування ідей та методів нестандартного аналізу в галузі теоретичної електротехніки дає можливість використовувати традиційний класичний метод аналізу перехідних процесів в колах з порушенням законів комутації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпов Ю. О. Розширення області застосування символічного методу розрахунку електричних кіл за рахунок використання методів нестандартного аналізу (частина 1) / Ю. О. Карпов, С. Ш. Каців, А. В. Козловський // Вісник Інженерної Академії України. – 2013 – №1. – с. 236-239.
2. Карпов Ю. О. Розширення області застосування символічного методу розрахунку електричних кіл за рахунок використання методів нестандартного аналізу (частина 2) / Ю. О. Карпов, С. Ш. Каців, А. В. Козловський // Вісник Інженерної Академії України. – 2013 – №2. – с. 262-265.
3. Робинсон А. Введение в теорию моделей и метаматематику алгебры / Робинсон А. – М.: Наука, 1967. – 376 с.

Самойл Шулімович Каців – канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: katsyv@ukr.net.

Samoil Sh. Katsyv – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Theoretical the Electrical Engineer and Electric Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: katsyv@ukr.net.

ЗАКОН ПЕРЕТВОРЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТРИГОНОМЕТРИЧНОГО РЯДУ ФУР'Є ПРИ ВІДОБРАЖЕННІ НЕПЕРЕРВНОЇ ФУНКЦІЇ В РОЗРИВНУ ПЕРШОГО РОДУ. МАТЕМАТИЧНИЙ ЕТЮД

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджено нескінченновимірний лінійний гільбертів простір 2π -періодичних функцій, побудований над множиною дійсних чисел, із заданим в ньому скалярним добутком. Як результат математично отримано і описано узагальнений закон перетворення коефіцієнтів тригонометричного ряду Фур'є під час трансформації неперервної на періоді функції в розривну першого роду, що створило можливість для проведення прямого спектрального аналізу стосовно широкого класу розривних функцій, здатних аналітично описувати динаміку фізичних і технічних систем (наприклад, електротехнічних) у разі штучної дискретизації їх континуального руху в просторі та часі.

Ключові слова: спектральний аналіз, множина, відображення, закон відображення, лінійні простори функцій, скалярний добуток, евклідов та гільбертів простори, ортогональний та ортонормований базиси функцій, ряд Фур'є, коефіцієнти Фур'є, неперервна та розривна функція, тригонометричний ряд, узагальнене електричне коло, фізичне явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, силова електроніка, теоретичні основи електротехніки

Abstract

We study the infinite-dimensional linear Hilbert space of periodic functions over the set of real numbers with a given scalar product. The generalized law of transforming the coefficients of a trigonometric Fourier series under the mapping of a continuous function on a period into a discontinuous first kind is described mathematically. It was possible to directly perform spectral analysis of a wide class of discontinuous functions that are able to analytically describe the dynamics of physical and technical (for example, electrical) systems in the case of discretization of their continual motion in space and time.

Keywords: spectral analysis, set, map, law of transition, linear function space, scalar product, Euclidean and Hilbert spaces, orthogonal and orthonormal bases, Fourier series, Fourier coefficients, continuous and discontinuous function, trigonometric series, generalized electric circuit, phenomenon of the hyper-valence interaction, power electronics, electrical engineering theory

Вступ

Передмова

Загальновідомо [1], що основні для математичного аналізу класи дійсних, комплексних чи (узагальнено) векторозначних функцій відносно стандартних арифметичних операцій (як то додавання функцій та множення функції на число) утворюють лінійні простори S .

Кожна функція f з такого простору може бути представлена лінійною комбінацією

$$f = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k f_k \quad (1)$$

деякої системи лінійно незалежних функцій $\{f_1, f_2, \dots\}$, які також належать розглядуваному простору.

Для зазначених лінійно незалежних функцій $\{f_1, f_2, \dots\}$ лінійна комбінація дорівнює нулю

$$\sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k f_k = 0 \text{ лише за умови } \alpha_k = 0, \text{ де } k \in \mathbb{N}, \text{ що є фундаментальною ознакою таких систем.}$$

З-поміж систем лінійно незалежних функцій $\{f_1, f_2, \dots\}$ найбільш практичними для розкладання виду (1) є ортогональні $\{s_1, s_2, \dots\}$ або ортонормовані $\{e_1, e_2, \dots\}$ системи. Для їх ідентифікації

використовують операцію скалярного добутку (f, g) , внаслідок чого зазначені в розкладанні (1) лінійно незалежні функції $\{f_1, f_2, \dots\}$ лінійного простору S із визначеним на ньому скалярним добутком будуть: 1) ортогональною системою функцій (або ортогональним базисом) $\{s_1, s_2, \dots\}$, якщо для будь-якого комбінаторного сполучення пари індексів $i, j \in \mathbb{N}$ скалярний добуток таких функцій $(s_i, s_j) = 0, i \neq j$; 2) ортонормованою системою функцій (або ортонормованим базисом) $\{e_1, e_2, \dots\}$, якщо скалярний добуток $(e_i, e_j) = \delta_{i,j}$, де $\delta_{i,j}$ – символ Кронекера.

Розкладання (1) в ортогональному $\{s_1, s_2, \dots\}$ або ортонормованому $\{e_1, e_2, \dots\}$ базисах носить назву ряду Фур'є. В свою чергу, числа $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots\}$ називаються коефіцієнтами Фур'є функції f , визначеними відносно заданого ортогонального або ортонормованого базисів.

Кожний коефіцієнт ряду Фур'є α_k є скалярним добутком функції f з відповідною цьому коефіцієнту функцією s_k (або e_k), приведеною до квадрату її норми $\|s_k\|^2 = (s_k, s_k)$, оскільки $(f, s_k) = \left(\sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i s_i, s_k \right) = \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i (s_i, s_k) = \alpha_k (s_k, s_k)$. Тоді для ортогонального базису $\{s_1, s_2, \dots\}$ $\alpha_k = \frac{(f, s_k)}{(s_k, s_k)}$, а для ортонормованого $\{e_1, e_2, \dots\}$ – $\alpha_k = \frac{(f, e_k)}{(e_k, e_k)} = (f, e_k)$, позаяк $(e_k, e_k) = \|e_k\|^2 = 1$.

Геометрична інтерпретація функції f як вектора, який задано в розглядуваному лінійному просторі функцій S , виявляє кожний з коефіцієнтів Фур'є α_k як проєкцію $\alpha_k = (f, e_k)$ цього вектора f на напрям одиничного вектора e_k з ортонормованої системи функцій $\{e_1, e_2, \dots\}$, де кожна з таких функцій теж подається як векторна величина, але з нормою, що дорівнює одиниці.

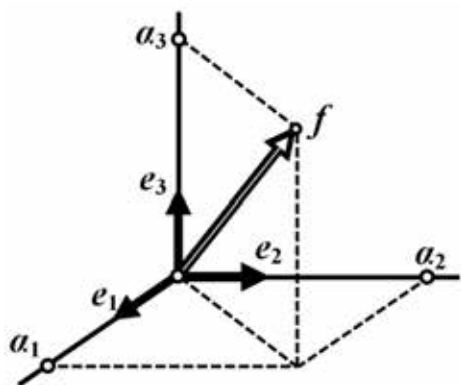


Рис. 1 Наближена геометрична аналогія між гільбертовим простором функцій та тривимірним евклідовим простором

У випадку розкладання функції f як вектора в ортогональному базисі $\{s_1, s_2, \dots\}$ коефіцієнти Фур'є α_k будуть числами, пропорційними зазначеним проєкціям (f, e_k) , тільки вже з коефіцієнтами пропорційності, відмінними від одиниці і оберненими до норми:

$$\alpha_k = \frac{(f, s_k)}{(s_k, s_k)} = \frac{(f, \|s_k\| e_k)}{\|s_k\|^2} = \frac{(f, e_k)}{\|s_k\|}. \quad (2)$$

Через наявну часткову ізоморфність корисною також є наближена геометрична аналогія поміж скінченновимірним евклідовим простором з фізично-зручною вимірністю $n = 3$ та нескінченновимірним гільбертовим простором розглядуваних нами функцій f (рис. 1) з повнотою відносно метрики, індукованої природною нормою на ньому.

З-поміж ортогональних базисів, як з теоретичної, так і прикладної точок зору, надзвичайно важливою є тригонометрична система функцій:

$$\{1, \cos k\theta, \sin k\theta; k \in \mathbb{N}\}, \quad (3)$$

яка зводить розкладання 2π -періодичних функцій з деякої області лінійного простору в окремий випадок ряду Фур'є – тригонометричний ряд Фур'є

$$f = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\theta + b_k \sin k\theta. \quad (4)$$

Оскільки не кожен тригонометричний ряд може бути рядом Фур'є, достатніми умовами ідентифікації 2π -періодичної функції f та розкладання її в ряд Фур'є, є умови Діріхле, виконання яких гарантує збіжність тригонометричного ряду на проміжку $[-\pi, \pi]$ до значень функції f .

Коефіцієнтами Фур'є в розкладанні (4) тригонометричного ряду Фур'є є числа:

$$a_k(f) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\theta) \cos k\theta d\theta, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

$$b_k(f) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\theta) \sin k\theta d\theta, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (6)$$

які неважко отримати на підставі (4), задавши в лінійному нормованому просторі функцій S операцію скалярного добутку.

Для дійсних функцій f та g скалярний добуток визначено як інтеграл

$$(f, g) = \int_{-\pi}^{+\pi} f(\theta)g(\theta)d\theta. \quad (7)$$

Постановка задачі

Введемо поняття руху в гільбертовому просторі функцій S .

Цьому сприяє геометрична інтерпретація функції f як радіус-вектора, яку на прикладі

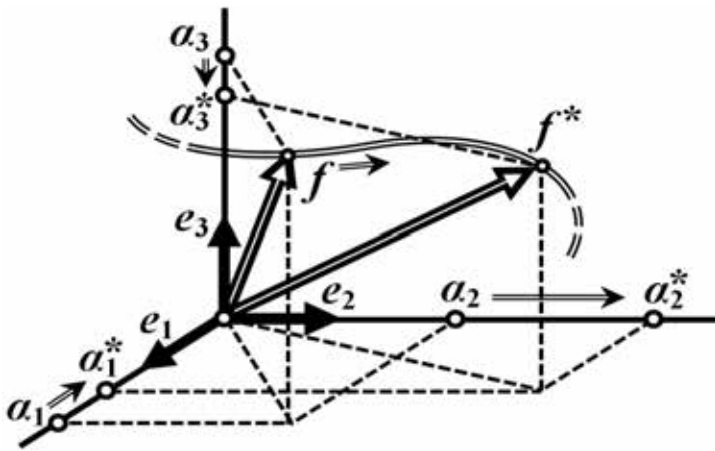


Рис. 2 Геометрична інтерпретація руху в гільбертовому просторі функцій (на прикладі евклідового простору) та перетворення коефіцієнтів Фур'є (координат в ортонормованому базисі), що супроводжує цей рух

евклідового простору показано на рис. 1.

В свою чергу, рис. 2 на прикладі того ж тривимірного евклідового простору демонструє вже геометричну інтерпретацію процесу руху в гільбертовому просторі функцій і водночас виявляє перетворення коефіцієнтів Фур'є як координат в ортонормованому базисі, що супроводжує цей рух.

Остання обставина є важливою і дозволяє визначити поняття руху в лінійному просторі функцій, скориставшись теоретико-множинним підходом.

Отже, рухом в лінійному просторі функцій S (евклідовому, ермітовому чи ж бо гільбертовому) із заданою в ньому

системою ортонормованих або ортогональних базисних функцій називатимемо послідовне (неперервне або розривне) у часі t відображення за заданим законом L множини F коефіцієнтів Фур'є функції f в множину F^* коефіцієнтів Фур'є функції f^*

$$L: F(f) \rightarrow F^*(f^*) \quad (8)$$

під час послідовного (неперервного або розривного) відображення першої із зазначених функцій в другу $L: f \rightarrow f^*$.

Оскільки рух – це зміна у часі стану (положення та швидкості або імпульсу) деякого об'єкта (або системи) за заданим законом в заданому координатному базисі, то за введеною інтерпретацією руху в лінійному просторі функцій кожна розкладена в ряд Фур'є функція f і є тією якістю, яка визначає поточний стан (надалі – тільки положення) цього об'єкта. Тоді закон руху L , який описує рух в лінійному просторі S , природно, є функціоналом, позаяк визначений на множині функцій f .

Водночас ідентифікація самого об'єкта руху в лінійному просторі функцій S наразі викликає труднощі, оскільки вимагає введення нового поняття. Назвемо зазначений об'єкт руху *функціональною точкою*, поточний стан (положення) якої в лінійному просторі S бієктивно визначається функцією f , де в цей момент часу функціональна точка перебуває, або системою коефіцієнтів Фур'є цієї функції на заданому ортонормованому або ортогональному базисі.

Введення поняття руху в лінійному просторі функцій S природно породжує необхідність виявлення та дослідження *статичних*, *кінематичних* та *динамічних* властивостей цього руху та

встановлення кореляційного зв'язку з тими системами, які ці функціональні простори створюють, наприклад, з динамічними системами фізичного або технічного походження, а також структурно узагальненими на основі явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії абстрактними динамічними системами, представленими в роботах [2-6].

Автор переконаний, що зазначене в широкому розумінні має бути серед головних задач під час

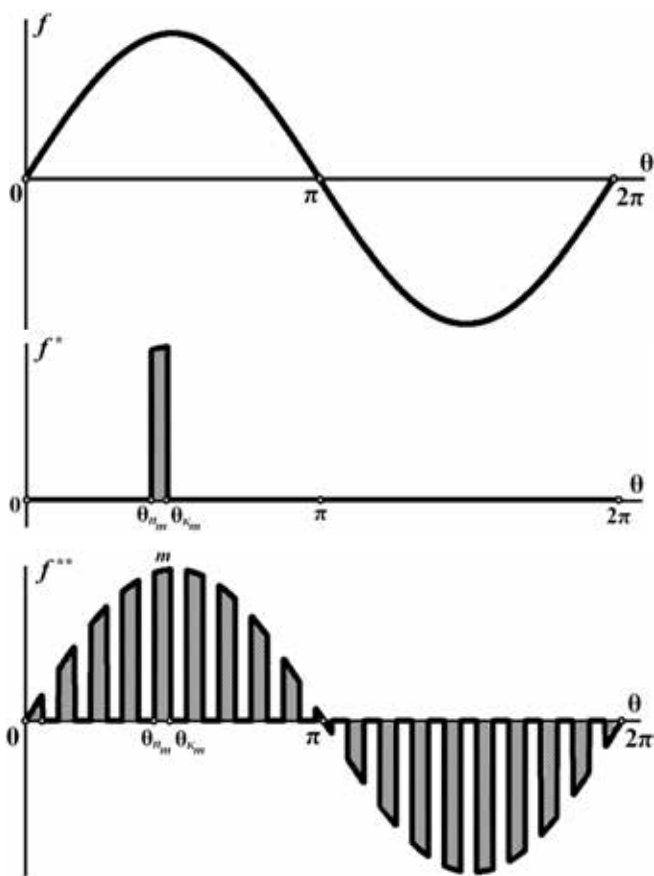


Рис. 3 Приклад відображення неперервної на періоді функції f в розривну першого роду f^* та узагальнений характер останньої як основи в побудові класу кусково-неперервних 2π -періодичних функцій f^{**}

дослідження істотних властивостей як динамічних систем, наприклад, електричних кіл [7-9], так і тих просторів, в яких ці системи існують.

Оскільки задача в широкому розумінні є комплексною, то наразі сформулюємо і розв'яжемо її у вузькому розумінні, зосередивши увагу лише на одній з можливих декомпозицій цієї задачі.

Наразі відшукаємо закон відображення (8) коефіцієнтів ряду Фур'є для класу 2π -періодичних дійсних функцій f , які задовольняють умови Діріхле, за умови послідовного переміщення функціональної точки з початкового положення, якому відповідає деяка неперервна на періоді функція f з коефіцієнтами Фур'є $F(f)$, в кінцеве положення, де інша функція f^* з коефіцієнтами $F^*(f^*)$ одну (!) пару розривів першого роду, яка на періоді утворює проміжок $[\theta_1, \theta_2]$, де функція f^* є тотожною до вихідної функції f , а поза межами цього проміжку – дорівнює нулю (рис. 3),

$$f^*(\theta) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \theta < \theta_1; \\ f(\theta), & \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2; \\ 0, & \theta_2 < \theta \leq 2\pi. \end{cases} \quad (9)$$

Вибір такої функції f^* не є випадковим,

оскільки досить широкий клас 2π -періодичних функцій f^{**} , які мають кінцеву кількість p пар розривів першого роду і утворюють на періоді послідовність довільних проміжків $[\theta_{1m}, \theta_{2m}]$, де кожна з функцій f^{**} є тотожною до вихідної функції f , а поза їх межами – дорівнює нулю, може бути представлений, як це показано на рис. 3, як сума функцій типу f^* з наступними алгебраїчними перетвореннями в розкладаннях Фур'є обидвох функцій f^{**} та f^*

$$f^{**} = \sum_{m=1}^p f_m^* = \sum_{m=1}^p \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_{m,k}^* s_k = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{m=1}^p \alpha_{m,k}^* s_k = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k^{**} s_k, \quad (10)$$

звідки для їхніх коефіцієнтів Фур'є маємо

$$\alpha_k^{**} = \sum_{m=1}^p \alpha_{m,k}^*, \quad k=1,2,\dots \quad (11)$$

Мета роботи

Метою роботи є розв'язання сформульованої задачі у вузькому її розумінні з визначенням в аналітичній формі закону відображення (8) функції f в функцію f^* за зазначених вище умов.

Успішна реалізація результатів роботи доповнить спектральний (частотний) метод аналізу наразі відсутніми математичними моделями, здатними безпосередньо виявляти та оцінювати розподіл спектральних складових з тригонометричного ряду Фур'є в просторі (функціональному, фізичному, енергетичному, інформаційному, алгоритмічному тощо) заданої технічної системи у разі динамічного режиму її роботи.

Зазначене, наприклад, стосується електротехнічних пристроїв та систем сучасної силової напівпровідникової електроніки, де, подібно інформаційним системам, генерування, транспортування та перетворення електричної (електромагнітної) енергії, як і інформації, здійснюється (і це на сьогодні є парадигмою в сучасній концепції розвитку електроніки), у спосіб дискретизації континуальних фізичних процесів, які виявляють себе в таких системах [10, 11].

Розв'язування задачі (основна частина)

Надалі розглядатимемо лише 2π -періодичні функції з локальної області $\mathcal{H}([0, 2\pi], \mathbb{R}) \subset S$ лінійного простору S , заданого над полем дійсних чисел \mathbb{R} , з скалярним добутком (7).

1. Отже, вихідною 2π -періодичною функцією, яка визначає початковий стан функціональної точки в просторі S , є довільна функція f , яка задовольняє умови Діріхле, і з-поміж інших функцій заданого простору вирізняється повнотою неперервності по усій області свого визначення.

Розкладаємо зазначену функцію f по системі ортогональних базисних функцій (3) і подаємо тригонометричний ряд Фур'є (4) у вигляді

$$f(\theta) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos k\theta + B_k \sin k\theta) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k) = \sum_{k=0}^{\infty} f_k(\theta), \quad (12)$$

де за незалежну змінну слугує кут $\theta = \omega t$. В свою чергу, t – час перебігу можливого фізичного процесу в технічній системі, а ω – кутова частота коливань $\omega = 2\pi f$ цього процесу.

Коефіцієнти Фур'є в однойменному тригонометричному ряді (12) функції f визначаємо на підставі співвідношень (5) і (6). Тоді

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta; \quad A_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \cos k\theta d\theta; \quad B_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta) \sin k\theta d\theta. \quad (13)$$

Спектральні гармоніки $f_k(\theta)$ в формулі (12)

$$f_0(\theta) = A_0; \quad f_k(\theta) = F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k), \quad (14)$$

де амплітуда кожної k -ої гармоніки f_k функції f

$$F_{m_k} = \sqrt{(A_k)^2 + (B_k)^2}, \quad (15)$$

а її початкова фаза –

$$\psi_k = \begin{cases} \arctg \frac{A_k}{B_k}, & B_k \geq 0; \\ \pm\pi + \arctg \frac{A_k}{B_k}, & B_k < 0. \end{cases} \quad (16)$$

2. Функція f^* (9) в нашому дослідженні визначає кінцевий стан функціональної точки, яким завершується її рух в локальній області $\mathcal{H}([0, 2\pi], \mathbb{R})$ лінійного простору S .

Наявність в функції f^* двох розривів першого роду не порушує умов Діріхле, тому тригонометричний ряд Фур'є (4) цієї функції є збіжним. Коефіцієнти Фур'є знаходимо відповідно до формул (4)-(6)

$$A^0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f^*(\theta) d\theta; \quad A^n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f^*(\theta) \cos n\theta d\theta; \quad B^n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f^*(\theta) \sin n\theta d\theta. \quad (17)$$

Сам ряд Фур'є (4) подаємо у вигляді

$$f^*(\theta) = A^0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A^n \cos n\theta + B^n \sin n\theta) = A^0 + \sum_{n=1}^{\infty} F_m^n \sin(n\theta + \psi^n) = \sum_{n=0}^{\infty} f^n(\theta), \quad (18)$$

де спектральні гармонічні складові

$$f^0(\theta) = A^0; \quad f^n(\theta) = F_m^n \sin(n\theta + \psi^n),$$

в яких амплітуда k -ої гармоніки f^k функції f^*

$$F_m^n = \sqrt{(A^n)^2 + (B^n)^2}, \quad (19)$$

а початкова фаза –

$$\psi^n = \begin{cases} \arctg \frac{A^n}{B^n}, & B^n \geq 0; \\ \pm\pi + \arctg \frac{A^n}{B^n}, & B^n < 0. \end{cases} \quad (20)$$

3. Додатково зауважимо, що оскільки система функцій (3) ортогональна, отримані коефіцієнти Фур'є (13) та (17) не є проєкціями функцій f та f^* , але їм пропорційні, відповідно до (2).

Також додамо, що коефіцієнти Фур'є як, з одного боку, A_k та B_k неперервної функції f , так і з іншого – A^k та B^k розривної f^* за однакових значень k утворюють впорядковані пари, які позначимо так: $(A_k, B_k) = (A, B)_k$ та $(A^k, B^k) = (A, B)^k$ відповідно.

4. Розкладемо функцію f^* в альтернативний спосіб, скориставшись для цього дещо іншою від ортогонального базису (3) системою допоміжних функцій $\{f_k^*; k = 0, 1, \dots\}$:

$$f_0^*(\theta) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \theta < \theta_1; \\ A_0, & \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2; \\ 0, & \theta_2 < \theta \leq 2\pi, \end{cases} \quad f_k^*(\theta) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \theta < \theta_1; \\ f_k(\theta), & \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2; \\ 0, & \theta_2 < \theta \leq 2\pi \end{cases} = \begin{cases} 0, & 0 \leq \theta < \theta_1; \\ F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k), & \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2; \\ 0, & \theta_2 < \theta \leq 2\pi. \end{cases} \quad (21)$$

де F_{m_k} та ψ_k – це амплітуди та початкові фази спектральних гармонік функції f , які визначаються за формулами (19) та (20) безпосередньо через коефіцієнти Фур'є.

Графіки системи допоміжних функцій (21) показано на рис. 4.

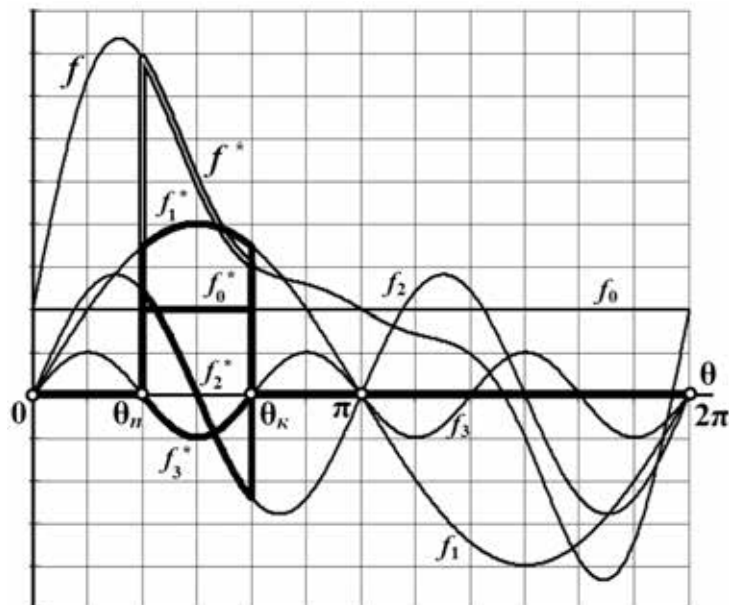


Рис. 4 Альтернативний спосіб розкладання функції f^*

Як бачимо, функції $\{f_k^*; k=0, 1, \dots\}$ є розривними першого роду. На проміжку $[\theta_1, \theta_2]$ вони тотожні спектральному складовим $f_k(\theta)$ з тригонометричного ряду Фур'є (12), але водночас на періоді поза межами проміжку значення цих функцій дорівнюють нулю.

Можливість вищезазначеного розкладання обумовлена співвідношеннями (9) та (12), у відповідності з якими для функції f^* маємо:

$$f^*(\theta) = \sum_{k=0}^{\infty} f_k^*(\theta). \quad (22)$$

Додамо, що система допоміжних функцій (21) також утворює ортогональний базис функцій, що нескладно довести через ортогональність функцій системи функцій (3).

5. Розриви першого роду в системі функцій $\{f_k^*; k=0, 1, \dots\}$ не призводять до порушення умов Діріхле. Тому кожна з цих функцій може бути розкладена в тригонометричний ряд Фур'є

$$f_k^*(\theta) = A_k^0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_k^n \cos n\theta + B_k^n \sin n\theta) \quad (23)$$

з власними коефіцієнтами Фур'є $\{A_k^0, A_k^n, B_k^n\}$, де

$$A_k^0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f_k^*(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} f_k(\theta) d\theta, \quad k=0, 1, \dots; \quad (24)$$

$$A_k^n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f_k^*(\theta) \cos n\theta d\theta = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} f_k(\theta) \cos n\theta d\theta; \quad k=0, 1, \dots; \quad n=1, 2, \dots; \quad (25)$$

$$B_k^n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f_k^*(\theta) \sin n\theta d\theta = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} f_k(\theta) \sin n\theta d\theta; \quad k=0, 1, \dots; \quad n=1, 2, \dots. \quad (26)$$

6. Формули (24)-(26) безпосередньо виявляють і визначають множину законів відображення $M = \{M_k^n; k=0, 1, \dots; n=0, 1, \dots\}$ відповідних індексу k коефіцієнтів Фур'є $\{A_0, A_k, B_k; k=1, 2, \dots\}$ неперервної функції f в множину коефіцієнтів Фур'є $\{A_k^n, B_k^n; k=0, 1, \dots; n=0, 1, \dots\}$ відповідних цьому індексу k допоміжних функцій $\{f_k^*; k=0, 1, \dots\}$.

З урахуванням співвідношень (21) для зазначеного закону відображення M маємо

$$M = \left\{ M_0^n : A_0 \rightarrow \{A_0^n\}, M_k^n : (A, B)_k \rightarrow \{(A, B)_k^n\}; k=1, 2, \dots; n=0, 1, \dots \right\}. \quad (27)$$

7. Визначимося з законами відображення $M = \{M_k^n; k=0, 1, \dots; n=0, 1, \dots\}$.

Для цього підставимо в співвідношення (24)-(26), записані для коефіцієнтів Фур'є $\{A_k^0, A_k^n, B_k^n\}$ допоміжних функцій $\{f_k^*; k=0, 1, \dots\}$, спектральні гармоніки (14)-(16) неперервної функції f .

В результаті отримаємо такі співвідношення:

1) для закону відображення M_0^0 :

$$A_0^0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} A_0 d\theta = \frac{1}{2\pi} (\theta_2 - \theta_1) A_0; \quad (28)$$

2) для законів відображення M_0^n , де $n=1, 2, \dots$:

$$A_0^n = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} A_0 \cos n\theta d\theta = \frac{-1}{n\pi} (\sin n\theta_1 - \sin n\theta_2) A_0; \quad (29)$$

$$B_0^n = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} A_0 \sin n\theta d\theta = \frac{1}{n\pi} (\cos n\theta_1 - \cos n\theta_2) A_0; \quad (30)$$

3) для законів відображення M_k^n , де $k=1, 2, \dots$, а $n=0, 1, \dots$:

а) для випадку, коли $n=0$:

$$A_k^0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k) d\theta = \frac{F_{m_k}}{2\pi k} [\cos(k\theta_1 + \psi_k) - \cos(k\theta_2 + \psi_k)]; \quad (31)$$

б) для випадку, коли $k=n$:

$$A_k^n = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k) \cos n\theta d\theta = \frac{F_{m_k}}{4\pi k} [2k(\theta_2 - \theta_1) \sin \psi_k + \cos(2k\theta_1 + \psi_k) - \cos(2k\theta_2 + \psi_k)]; \quad (32)$$

$$B_k^n = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k) \sin n\theta d\theta = \frac{F_{m_k}}{4\pi k} [2k(\theta_2 - \theta_1) \cos \psi_k + \sin(2k\theta_1 + \psi_k) - \sin(2k\theta_2 + \psi_k)]; \quad (33)$$

в) для випадку, коли $k \neq n$:

$$A_k^n = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k) \cos n\theta d\theta = \frac{F_{m_k}}{2\pi(k^2 - n^2)} \left\{ (k-n) [\cos((k+n)\theta_1 + \psi_k) - \cos((k+n)\theta_2 + \psi_k)] + (k+n) [\cos((k-n)\theta_1 + \psi_k) - \cos((k-n)\theta_2 + \psi_k)] \right\}; \quad (34)$$

$$B_k^n = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} F_{m_k} \sin(k\theta + \psi_k) \sin n\theta d\theta = \frac{F_{m_k}}{2\pi(k^2 - n^2)} \left\{ (k-n) [\sin((k+n)\theta_1 + \psi_k) - \sin((k+n)\theta_2 + \psi_k)] - (k+n) [\sin((k-n)\theta_1 + \psi_k) - \sin((k-n)\theta_2 + \psi_k)] \right\}, \quad (35)$$

де в усіх випадках, відповідно до співвідношень (15) та (16),

$$F_{m_k} = \sqrt{(A_k)^2 + (B_k)^2}; \quad \psi_k = \begin{cases} \arctg \frac{A_k}{B_k}, & B_k \geq 0; \\ \pm\pi + \arctg \frac{A_k}{B_k}, & B_k < 0. \end{cases}$$

8. Множину законів відображення N коефіцієнтів Фур'є $\{A_k^n, B_k^n; k=0, 1, \dots; n=0, 1, \dots\}$ допоміжних функцій $\{f_k^*; k=0, 1, \dots\}$ в коефіцієнти Фур'є $\{A^0, A^k, B^k; k=1, 2, \dots\}$ функції f^* знайдемо, скориставшись формулами (22) та (23).

В цьому випадку для функції f^* маємо

$$\begin{aligned} f^*(\theta) &= \sum_{k=0}^{\infty} f_k^*(\theta) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^0 + \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (A_k^n \cos n\theta + B_k^n \sin n\theta) = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} A_k^0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\sum_{k=0}^{\infty} A_k^n \right) \cos n\theta + \left(\sum_{k=0}^{\infty} B_k^n \right) \sin n\theta. \end{aligned} \quad (36)$$

У спосіб співвіднесення тригонометричного ряду Фур'є (18) функції f^* з формулою (36)

$$A^0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A^n \cos n\theta + B^n \sin n\theta) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\sum_{k=0}^{\infty} A_k^n \right) \cos n\theta + \left(\sum_{k=0}^{\infty} B_k^n \right) \sin n\theta$$

отримуємо шукану множину законів для другого перетворення:

$$N = \left\{ N^0 : \{A_k^0\} \rightarrow A^0, N^n : \{(A, B)_k^n\} \rightarrow (A, B)^n; k=0, 1, \dots; n=0, 1, \dots \right\}, \quad (37)$$

а саме

$$A^0 = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^0; \quad A^n = \sum_{k=0}^{\infty} A_k^n; \quad B^n = \sum_{k=0}^{\infty} B_k^n. \quad (38)$$

9. Отже, шуканий закон відображення L (8) коефіцієнтів Фур'є, яке спостерігається внаслідок руху функціональної точки в локальній області $\mathcal{H}([0, 2\pi], \mathbb{R})$ лінійного гільбертового простору S від неперервної функції f до розривної першого роду f^*

$$L: \{A_0, (A, B)_k\} \rightarrow \{A^0, (A, B)^k\}, k = 1, 2, \dots,$$

є композицією (!) двох законів відображення

$$L = N \circ M. \tag{39}$$

Рис. 5 в образотворчій формі розкриває суть цієї композиції і її характерні та істотні ознаки, зокрема присутній в ній нескінченновимірний поліморфізм.

Перший із зазначених законів

$$M: \{A_0, (A, B)_k\} \rightarrow \left\{ \{A_0^n\}, \{(A, B)_k^n\} \right\}, k = 1, 2, \dots, n = 0, 1, \dots,$$

відповідно до (27), визначено як множинний закон, який утворює множину відображень, узагальнено і повно розкритих в аналітичній формі в формулах (28)-(35), а також – в (15) та (16), а другий

$$N: \left\{ \{A_k^0\}, \{(A, B)_k^n\} \right\} \rightarrow \{A^0, (A, B)^n\}, k = 0, 1, \dots, n = 0, 1, \dots$$

є множинним законом множини відображень (37), аналітична сутність кожного з елементів якого розкрита формулами (38).

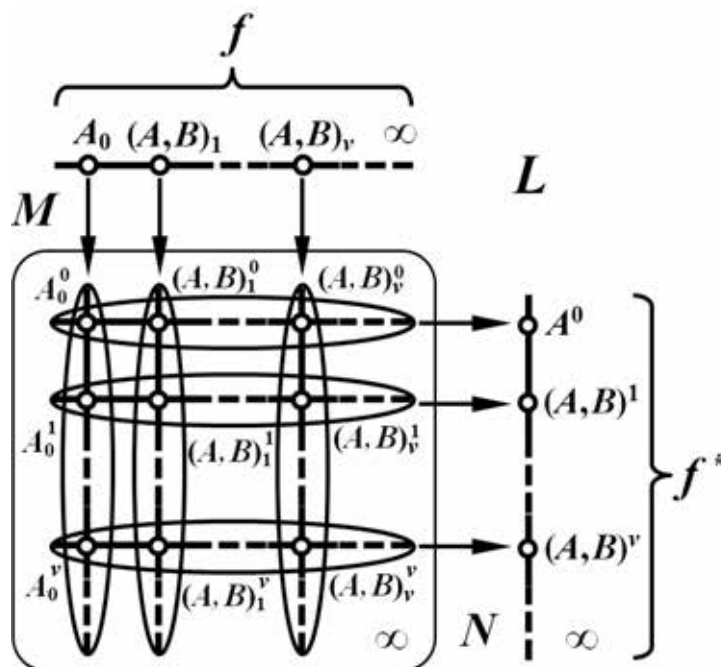


Рис. 5 Композиція закону відображення $L=N \circ M$ коефіцієнтів Фур'є

10. Додатково зазначимо, що клас 2π -періодичних функцій f^{**} , які на періоді мають кінцеву кількість p пар розривів першого роду (див. рис. 3), відповідно до формули (10) є послідовністю p композицій відображення (39), внаслідок чого закон відображення їх коефіцієнтів Фур'є визначатиметься співвідношенням (11).

Висновки

Отже, в роботі досліджено нескінченновимірний лінійний гільбертів простір 2π -періодичних функцій, побудований над множиною дійсних чисел, із заданим в ньому скалярним добутком. Як результат математично отримано і описано узагальнений закон перетворення коефіцієнтів тригонометричного ряду Фур'є під час трансформації неперервної на періоді функції в розривну

першого роду, що створило можливість для проведення прямого спектрального аналізу стосовно широкого класу розривних функцій, здатних аналітично описувати динаміку фізичних і технічних (наприклад, електротехнічних) систем у разі штучної дискретизації їх континуального руху в просторі та часі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пуанкаре А. Избранные труды в трех томах. Том I / А. Пуанкаре. — М. : Изд-во «Наука», 1971. — 771 с.
2. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький. — №2(58). — 2017. — С. 29-36.
3. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло і фізичне явище гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2016. — Випуск 4. — С. 207-213.
4. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналоги неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2010. — Випуск 2. — С. 63-69.
5. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 196 с.
6. Ведміцький Ю. Г. Тектологія динамічних систем і явище гіпервалентної взаємодії в структурних рівняннях узагальненого кола / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2017) : IV Міжнародна наукова конференція пам'яті професора В. Поджаренка, 31 жовтня - 02 листопада 2017 р., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна : тези доп. — С. 38-39. — Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К»», 2017.
7. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола : підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців. — 2-ге видання, Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. — 456 с. — (Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, лист №1/11-10710 від 23.11.2010 р.).
8. Теоретичні основи електротехніки. Методи розрахунку нелінійних електричних і магнітних кіл в прикладах та задачах : навчальний посібник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. — 262 с. — (Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, лист №1/11-16647 від 30.12.2016 р.).
9. Ведміцький Ю. Г. Біноміальні перетворення в формуванні узагальненої задачі Коші / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — №3(120). — Вінниця. — 2015. — С. 91-95.
10. Ведміцький Ю. Г. Аналітичне квантування неперервних, кусково-неперервних та дискретних сигналів / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Інженерної академії України. — 2012. — Випуск 1. — С. 106-112.
11. Рифкин Дж. Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом / Джереми Рифкин; пер. с англ. — М. : Альпина нон-фикшн, 2014.

Юрій Григорович Ведміцький — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, wjg@ukr.net

Yurii G. Vedmitskyi — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, wjg@ukr.net

ВИХРОСТРУМОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ АБСОЛЮТНОГО ОСЬОВОГО ЗМІЩЕННЯ РОТОРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано удосконалений вихрострумівий метод та засіб вимірювання миттєвого осьового віброзміщення ротора гідроагрегатів капсульного типу, що дає змогу вилучити з результату вимірювання похибку, обумовлену власними вібраційними коливаннями сенсора.

Ключові слова: осьове віброзміщення, гідроагрегат, вихрострумівий перетворювач, віброприскорення, віброшвидкість.

Abstract

The improved eddy-current method and means of measuring the instantaneous axial displacement of the rotor of the capsule-type hydro units are proposed, which makes it possible to eliminate the error from the measurement result due to its own vibrational oscillations of the sensor.

Key words: axial vibrations, hydroelectric unit, eddy current converter, vibration acceleration, vibration velocity.

На сьогоднішній день потреба динамічного контролю технічного стану гідроагрегатів обумовлюється як зростанням їх одиначної потужності та кількості, так і збільшенням кількості обладнання, термін експлуатації якого перевищує номінальний термін служби. В більшості промислово розвинених країн на початок 21-го століття частка такого обладнання перевищувала 50 % [1]. При цьому, враховуючи зростання експлуатаційних витрат, економічний ефект від застосування ефективних систем контролю технічного стану гідроагрегатів є настільки вагомим, що обумовлює доцільність застосування навіть доволі складних та дороговартісних систем динамічного контролю.

Динамічний аналіз механічних параметрів гідроагрегатів, у тому числі і гідроагрегатів капсульного типу, в режимі технологічного процесу є неодмінною складовою сучасних перспективних систем контролю, що дозволяють підвищити надійність та зменшити експлуатаційні витрати. При цьому одним з найбільш інформативних та поширених видів такого контролю є віброконтроль [2], реалізація якого, у свою чергу, потребує наявності вимірювальних перетворювачів ряду вібраційних параметрів, здатних з високою точністю відтворювати вимірювальну інформацію у режимі реального часу роботи гідроагрегата. Одним із таких параметрів, що широко використовується у якості вхідного сигналу є вібраційна характеристика осьового зміщення ротора електричної машини, метрологічні характеристики засобу вимірювання якого безпосередньо впливають на ефективність роботи системи в цілому.

Основним недоліком вихрострумівих та ємнісних первинних вимірювальних перетворювачів осьового віброзміщення ротора є наявність у результатах вимірювання методичної похибки, що обумовлюється власною вібрацією первинного вимірювального перетворювача. При цьому вихроструміві вимірювальні перетворювачі є нечутливими до зовнішніх статичних електричних та магнітних полів, що можуть виникати під час роботи синхронного генератора достатньо великої потужності [8]. Враховуючи це, можна дійти висновку, що поставлена задача може бути розв'язаною шляхом розробки системи компенсації похибки власного віброзміщення вихрострумівого перетворювача, що дасть змогу компенсувати методичну похибку вимірювання при збереженні переваг зазначеного методу вимірювання.

Як показано у роботі [9] напруженість магнітного поля, що наводиться котушкою збудження вихрострумівого перетворювача, для точки простору, яка знаходиться на її осі, може бути визначеною наступним чином:

$$H = \frac{H_0}{R^2} e^{j\omega t}, \quad (1)$$

де H_0 – амплітудне значення напруженості магнітного поля на відстані 1 м від магнітного центра збуджуючої котушки; R – відстань від магнітного центра збуджуючої котушки до точки простору, у якій визначається напруженість магнітного поля; ω – циклічна частота магнітного поля.

Враховуючи те, що відносна магнітна проникність повітря, яке заповнює проміжок між сенсором та лобовим виступом ротора, є постійним та дорівнює одиниці, магнітна індукція на поверхні лобового виступу ротора уздовж осі збуджуючої котушки може бути визначеною наступним чином:

(2)

де μ_0 – магнітна проникність матеріалу ротора.

При цьому, відповідно до закону електромагнітної індукції, значення електрорушійної сили на поверхні лобового виступу ротора може бути знайдено наступним чином:

$$E = -W \frac{d}{dt} \left(\frac{\mu_a H_0}{SR^2} e^{j\omega t} \right) = -j \frac{\omega W \mu_a H_0}{SR^2} e^{j\omega t}, \quad (3)$$

де W – кількість витків котушки збудження; S – ефективна площа лобового виступу ротора, що перетинається магнітним потоком котушки збудження.

Алгоритм реалізації удосконаленого вихрострумowego методу вимірювання осьового зміщення ротора гідроагрегату можна представити у вигляді наступної блок-схеми, наведеної на рис. 1 .

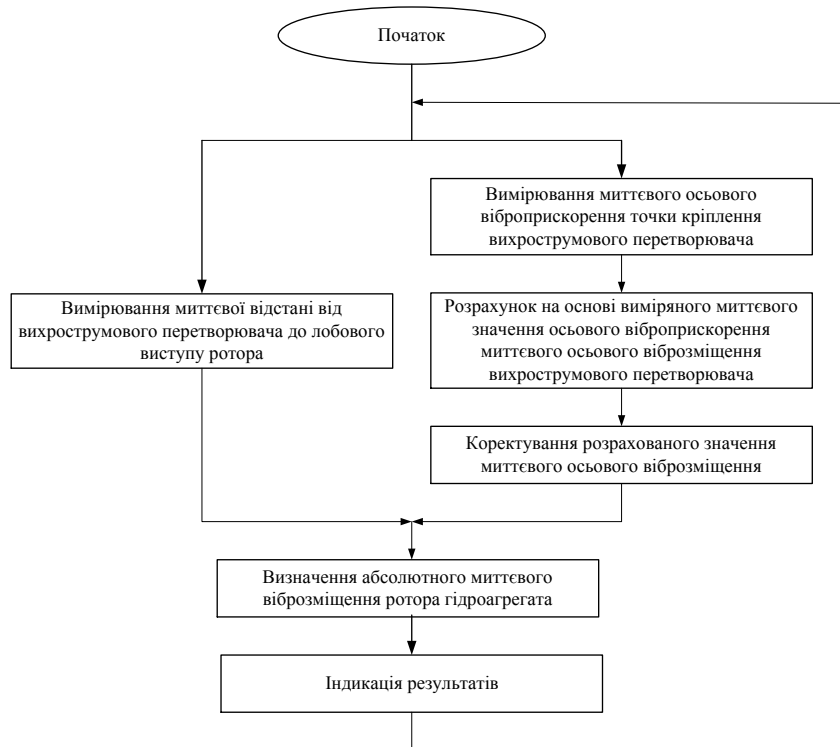


Рис. 1 – Блок-схема реалізації удосконаленого вихрострумowego методу вимірювання осьового зміщення ротора гідроагрегату капсульного типу

Конструктивна реалізація засобу вимірювання осьового зміщення ротора гідроагрегату, що реалізує запропонований метод, може мати вигляд, наведений на рис. 2

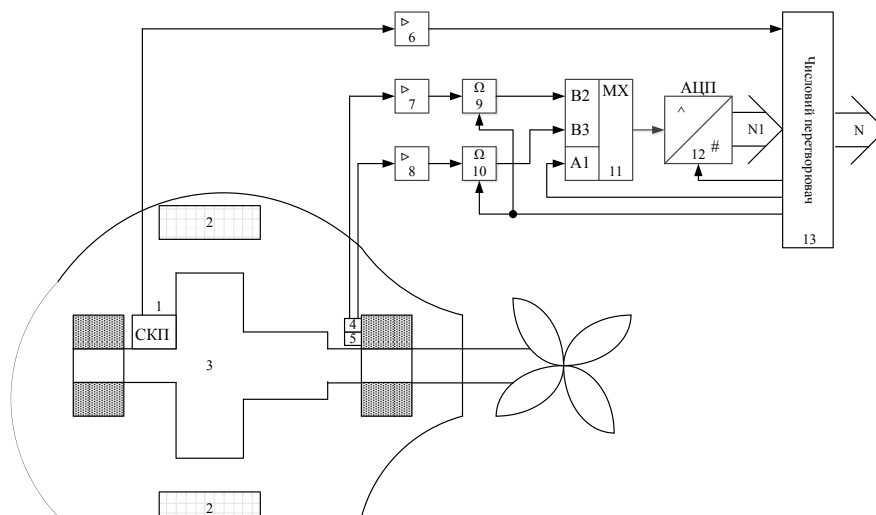


Рис. 2 – Структурна схема засобу, що реалізує удосконалений вихрострумівий метод вимірювання осьового зміщення ротора гідроагрегату капсульного типу

У наведеному на рис. 2 засобі вимірювання реалізуються операція одночасного вимірювання відносної відстані між вихрострумівим перетворювачем 5 та ротором гідроагрегату 3, а також операція вимірювання миттєвого віброприскорення за допомогою акселерометра 4. Отримані з виходів вимірювальних перетворювачів сигнали підсилюються у масштабуючих перетворювачах 7 та 8 до рівня, придатного для роботи вимірювальних каналів та запам'ятовуються у блоках аналогової пам'яті 9 та 10. Запам'ятовані сигнали послідовно перетворюються у числові значення, що зчитуються числовим перетворювачем 13. Одночасно з цим відбувається формування сигналу повороту ротора гідроагрегату на певний визначений кут, що формується сенсором кутового положення 1. Після формування даний сигнал підсилюється у масштабуючому перетворювачі 6 та надходить у якості управляючого сигналу безпосередньо у числовий перетворювача 13, що забезпечує можливість визначення числового значення «n» для здійснення коректування нульового значення віброзміщення та віброшвидкості.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано удосконалений вихрострумівий методу вимірювання осьового зміщення ротора гідроагрегату капсульного типу, який за рахунок введення каналу компенсації методичної похибки, обумовленої власними віброколиваннями вихрострумівого сенсора, дозволяє підвищити точність вимірювання осьового віброзміщення обертової електричної машини та є придатним для використання сумісно з гідроагрегатами капсульного типу.
2. Розроблено структурну схему нового засобу вимірювання осьового зміщення ротора обертової електричної машини, яка, реалізуючи запропонований метод вимірювання, характеризується підвищеною точністю за рахунок вилучення похибки власного віброзміщення вихрострумівого сенсора та може використовуватися сумісно з гідроагрегатами капсульного типу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Левицький А. С. Створення ємнісного вимірювального перетворювача зазора між ротором та статором у потужних гідроагрегатах / А. С. Левицький, А. І. Новіков, Є. Ю. Неволюбов // Електронний ресурс – Режим доступу: <http://dspace.nbuu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/63878/07-Levitsky.pdf?sequence=1>
2. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
3. Кухарчук В. В. Метод аналітичного розрахунку віброшвидкості у режимі розгону гідроагрегату / В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк, Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – № 2. – С. 66 – 70.

4. New non-system physical quantities for vibration monitoring of transient processes at hydropower facilities, integral vibratory accelerations / [Y. G. Vedmitskiy, V. V. Kukharchuk, V. F. Hraniak and other] // Przegląd elektrotechniczny – 2017. – № 3. – P. 69 – 72.
5. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: монографія / В. П. Бабак, В. С. Березун, З. А. Бузова та ін; За редакцією чл. – кор. НАН України В. П. Бабак – Київ: Ін-тут технічної теплофізики НАН України, 2016 – 298 с.
6. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1996. – 276 с.
7. Оптические измерения: учебное пособие / А. Н. Андреев, Е. В. Гаврилов, Г. Г. Ишанин и др. – Москва: Университетская книга; Логос, 2012. – 416 с.
8. Троицкий В. А. Вихретоковый контроль. Учебное пособие / В. А. Троицкий – Киев: «Феникс». – 2011. – 148 с.
9. Полулех А. В. Математическая модель вихретокового преобразователя для контроля изделий прирывистой структуры / А. В. Полулех, Г. М. Гайнуллина // Весник саммарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – №1. – С. 230-233

АВТОРИ

Граняк Валерій Федорович – к.т.н., Україна, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, доцент кафедри.

Ведміцький Юрій Григорович – к.т.н., доцент, Україна, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, доцент кафедри.

ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ГІДРОАГРЕГАТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В цій роботі запропоновано новий підхід до визначення вагових коефіцієнтів штучної нейроподібної мережі для вібродіагностування гідроагрегатів. Вони розглядаються як коефіцієнти взаємкореляції кожної смуги частот амплітудно-частотно-часових спектрів вібросигналів, отриманих від різних сенсорів за ті ж самі проміжки часу.

Ключові слова: штучна нейроподібна мережа, амплітудно-частотно-часовий спектр, смуга частот, чинник вібрації, показник вірогідності, коефіцієнт взаємкореляції, некомпенсована збурююча сила, ваговий коефіцієнт.

Abstract

In this paper a new approach is proposed for determining the weight coefficients of an artificial neural network for vibration diagnostics of hydro aggregates. They are considered as coefficients of mutual correlation of each frequency band of the amplitude-frequency-time spectra of vibration signals obtained from different sensors at the same time intervals.

Key words: artificial neural-like network, amplitude-frequency-time spectrum, time-the-band, vibration factor, probability index, correlation coefficient, non-compensated perturbing force, weight coefficient.

Вступ

Система автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів (САДП-РДГ) [1] базується на модифікованій частотній технології вібродіагностування і є апаратно-програмним комплексом, який складається з вимірювальних каналів вібрації, підсистеми поточного моніторингу вібрації та підсистеми діагностування і прогнозування. Вимірювальні канали вібрації та підсистема поточного моніторингу впроваджені у промислову експлуатацію на Дністровській ГЕС-2, а підсистема діагностування і прогнозування поступово впроваджується в дослідну експлуатацію.

Гідроагрегат можна представити як відносно стаціонарну розподілену квазілінеаризовану нерозривну пружну систему з змінними у просторі коефіцієнтами жорсткості [3]. Ще однією особливістю об'єкта контролю (ОК) буде дія на нього k просторово рознесених некомпенсованих механічних сил різної природи, амплітуди та векторного напрямку, що змінюватимуться у функції часу довільним чином. Узагальнену структуру такого ОК можна подати у наступному вигляді (рис. 1).

Враховуючи нерозривність такої системи, будь-яка із k зовнішніх некомпенсованих збурюючих сил викликати у довільно обраній точці (вузлі) системи появу деякого вібросигналу (реакції), амплітуда якого буде відмінною від нуля [4]. При цьому, враховуючи стаціонарність системи, векторно тотожна сила, рівнодійна якої прикладена до однієї і тієї ж точки електричної машини викликати появу тотожної реакції системи у будь-якому довільно обраному вузлі агрегату. Враховуючи сказане, для довільно обраного контрольованого вузла відносно кожної з k можливих збурюючих сил може бути отримана перехідна характеристика, що буде мати відносно постійне у часі значення за рахунок високої інерційності процесу зміни механічної жорсткості вузлів електричної машини в допустимих умовах експлуатації. Тобто, для довільно обраного вузла A , що є частиною ОК, буде справедливою така система:

$$\begin{cases} \psi_{A1}(t) = F_1(t) \cdot H_{A1}(t), \\ \psi_{A2}(t) = F_2(t) \cdot H_{A2}(t), \\ \dots\dots\dots \\ \psi_{Ak}(t) = F_k(t) \cdot H_{Ak}(t), \end{cases} \quad (1)$$

де $F_1(t) - F_k(t)$ – некомпенсовані сили, що діють на електричну машину; $H_{A1}(t) - H_{Ak}(t)$ – перехідні характеристики відносно збурюючих сил $F_1(t) - F_k(t)$, відповідно; $\psi_{A1}(t) - \psi_{Ak}(t)$ – реакція системи у точці А на дію збурення у вигляді сили $F_1(t) - F_k(t)$, відповідно.

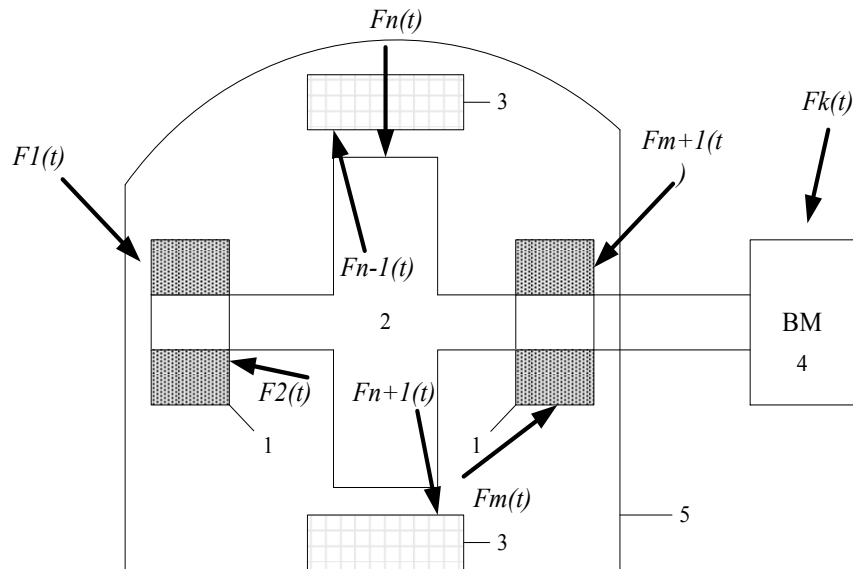


Рис. 1 – Узагальнена структурна схема обертової електричної машини (1 – підшипники; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – виконавчий механізм; 5 – зовнішній кожух)

Оскільки вимірювання вихідних вібросигналів у реальних системах контролю часто здійснюється дискретно, то для дискретних часових реалізацій, з урахуванням відомого рівняння Пірсона, (13) можна записати у наступному вигляді:

$$K_{\psi}^*(t_1) = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^* \psi_{Bi}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \psi_{Ai}^{*2} \cdot \sum_{i=1}^n \psi_{Bi}^{*2}}}, \quad (2)$$

де ψ_{Ai}^* та ψ_{Bi}^* – і-ті значення часових реалізацій функцій $\psi_A(t)$ та $\psi_B(t)$.

Вищенаведену математичну модель реалізуємо на прикладі реальних архівних значень вібросигналів, отриманих від сенсорів, які встановлені на опорно-упорному та турбінному підшипниках третього гідроагрегата Дністровської ГЕС №2 у режимі його промислової експлуатації.

Коефіцієнти взаємкореляції визначалися для частотних смуг з третьої по чотирнадцяту. При чому для формування часових реалізацій третьої частотної смуги було використано 4 послідовних значення, для четвертої – вісім, для решти – десять. Визначені на основі експериментальних даних коефіцієнти зведені до табл. 1.

Таблиця 1 – Результати комп’ютерного моделювання

Місце отримання та вісь вхідних сигналів	Номер смуги частот											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Опорний підшипник, вертикальна вісь – турбінний підшипник, вертикальна вісь	0,832	0,748	0,752	0,671	0,725	0,712	0,698	0,569	0,546	0,319	0,871	0,132
Опорний підшипник, вертикальна вісь – Опорний підшипник, горизонтальна вісь	0,843	0,698	0,777	0,747	0,666	0,787	0,456	0,671	0,571	0,325	0,417	0,063

Висновки

1. Експериментально доведено наявність сильних кореляційних зв’язків між часовими реалізаціями вібросигналу (віброприскорення) у просторово рознесених точках та у різних координатних осях гідроагрегата в нормальному (штатному) режимі роботи.
2. Показано доцільність визначення вагових коефіцієнтів ШНМ для вібродіагностування дефектів гідроагрегатів за допомогою кореляційного методу, тобто розглядаючи їх як коефіцієнти взаємкореляції. Вхідними даними цієї процедури є числові значення вейвлет-коефіцієнтів окремих смуг частот АЧЧС.
3. Процедуру визначення вагових коефіцієнтів слід повторювати регулярно під час дослідної експлуатації САДП-РДГ. Є сенс також пов’язувати окремі комплекти вагових коефіцієнтів з різними видами некомпенсованих збуджуючи впливних величин.

Список літератури

1. Кухарчук В.В. Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія. / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. В. Усов та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 169 с.
2. Каців С. Ш. Штучна нейроподібна мережа для діагностування дефектів гідроагрегатів / С. Ш. Каців // Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія. – 2013 – № 1. – С. 74–83.
3. Мокін Б. І. Оптимізація електроприводів : навчальний посібник / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін – Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 2004. – 250 с.
4. Broersen P. M. T. Automatic autocorrelation and spectral analysis / P. M. T. Broersen – Springer-Verlag London Limited, 2006 – 298 p.
5. Bilosova A. Vibration diagnostic / A. Bilosova, J. Bilos – Ostrava, 2012. – 114 p.
6. Rao S. S. Vibration of continuous systems / S. S. Rao – USA : JON WILEY & SONS, INC, 2007 – 720 p.
7. Ronney P. D. Basics of mechanical engineering / P. D. Ronney – Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Southern California, 2005 – 128 p.

АВТОРИ

Граняк Валерій Федорович – к.т.н., Україна, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, доцент кафедри.

Каців Самоїл Шулімович – к.т.н., доцент, Україна, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, кафедра теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, доцент кафедри.

ТЕКТОЛОГІЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ І ЯВИЩЕ ГІПЕРСИЛОВОЇ (ГІПЕРВАЛЕНТНОЇ) ВЗАЄМОДІЇ В СТРУКТУРНИХ РІВНЯННЯХ УЗАГАЛЬНЕНОГО КОЛА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розкрито сутність виявленого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії поміж елементарними структурними ланками динамічної системи довільної фізичної природи, що дозволило на прикладі суто електротехнічних систем розв'язати ряд істотних декомпозиційних задач однієї з фундаментальних проблем теоретичної електротехніки (ТОЕ) – побудови узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола. Отримані результати, серед яких топологічна структурна схема узагальненого електричного кола та структурно визначена система диференціальних рівнянь його руху, на сьогодні мають найвищий ступінь узагальнення і дедуктивно охоплюють широкі класи електричних кіл та систем – як відомих, так і можливих, що закладає практичну основу для формування і розвитку в теоретичній електротехніці окремого напрямку – структурно-аналітичної узагальненої теорії електротехніки.

Ключові слова: фізичне явище гіпервалентної взаємодії, багатовимірна сила (гіперсила), узагальнене електричне коло, динамічна система, топологічна структура, типова елементарна ланка, рівняння Лагранжа-Максвела, структурні рівняння електричного кола, перша та друга системи узагальнених координат

Abstract

The paper describes the physical phenomenon of hypervalence interaction between the elementary structural links of a dynamic system of an arbitrary physical nature. Using the example of electrotechnical systems, this made it possible to construct a generalized electric circuit with the highest degree of generalization. Among the most important results are the structural topological scheme and the generalized electric circuit equations obtained as a result of the analysis of the Lagrange-Maxwell equations.

Keywords: phenomenon of hypervalence interaction, multidimensional force (hyperforce), generalized electric circuit, dynamical system, topological structure, typical elementary unit, the Lagrange's-Maxwell equations, structural equations of an electric circuit, first and second generalized coordinate system

Передмова

Однією з фундаментальних задач теоретичної електротехніки (ТОЕ) є побудова узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола із зосередженими параметрами.

Успішне розв'язання поставленої задачі розкриває в класичній (Кірхгофовій) електротехніці нові якості і закладає основу для формування і розвитку в ній окремого напрямку – структурно-аналітичної узагальненої теорії електротехніки, істотною ознакою якої є здатність на дедуктивній основі формалізувати процес математичної і фізичної ідентифікації континуальних у часі однорідних або змішаних за своєю природою фізичних і технічних динамічних систем як суто електричного (електромагнітного), так і суміщеного фізичного походження.

На рівні постановки задачі концепцію і сутність узагальненого електричного кола зазначено в багатьох роботах, наприклад, в [1] Дж. Кл. Максвела, в [2] Г. Крона, в [3] Х. Хеппа.

Однак попри неодноразові намагання заявлена задача в минулому розв'язаною не була навіть в своїй основі.

Концептуально повно її не розв'язано і дотепер.

Водночас на сучасному етапі в роботах [4-8] отримано важливі результати, які закладають теоретичний базис і створюють необхідну основу для її успішного вирішення.

Відтак метою роботи є розробка на основі виявленого загально-природничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії поняття узагальненого електричного кола, а також побудова його структурної схеми та формування на строгій математичній основі структурно визначених диференціальних рівнянь руху такого кола (структурних рівнянь).

1. Загальні зауваження

Побудова *узагальнених абстрагованих систем (надбудов)* з найвищою логічною силою (ступенем узагальнення) в науці є чи не найважливішим чинником її розвитку.

Водночас далеко не завжди потреба в таких теоретичних надбудовах на різних історичних етапах і з різним ступенем вияву носила зовнішньо-обумовлений характер. Адже доволі часто запити суспільства, залежно від його поточного стану та потреб, виявляли в тому чи іншому вигляді свою інерційність порівняно з підпорядкованими внутрішній логіці можливостями розвитку окремих теорій та наукових систем, що призводило до щонайменше нерозуміння практичної доцільності отриманих наукових результатів, а в крайніх випадках – і до їх категоричного неприйняття, аж доки системні і докорінні зміни не відбувалися вже в самій суспільно-економічній формації.

Історія науки виразно свідчить про це численними фактами. Достатньо згадати доволі непросту, навіть трагічну, історію становлення *геліоцентричної* системи замість геоцентричної в процесі розбудови загальної картини Всесвіту [9].

Відродження ж суспільно-економічної формації завжди починалося з глибокої відрази до застарілих реакційних форм та змістів. Тому в контексті, звичайно ж, необхідності власного розвитку суспільство водночас стимулювало і розвиток науки важливими задачами, які хоча і носили зазвичай прикладний характер, але їх розв'язування було неможливим без наявного теоретичного забезпечення, побудованого на основі узагальнених абстрагованих системних надбудов, що приводило до численних практик його застосування, а відтак – і до *визнання*.

Теоретичний базис *класичної електротехніки* (зокрема ТОЕ), як міждисциплінарної (з-поміж фундаментальних) науки, формувався в *схожим умовах*: від накопичення окремих експериментальних фактів, явищ та законів до їх узагальнення з наступним застосуванням отриманих теоретичних надбудов на практиці. Відтак його потужні аналітичні можливості сьогодні дозволяють розв'язувати широкий клас прикладних та теоретичних задач, які постають в процесі суспільно-матеріального виробництва, наприклад, в електроенергетичному сегменті національних та наднаціональних економік.

Однак *закон доцільності історичного розвитку суспільно-економічних формацій* ставить перед суспільствами як окремих розвинених країн, так і їх об'єднань якісно нові задачі і в нових умовах.

У *вузькому* розумінні сутність зазначеного чітко викладена в положеннях концепції *третьої промислової революції* [10], парадигмою якої є злиття сучасних інформаційних інтернет-технологій з оновленими електроенергетичними системами, побудованими на якісно інших принципах, де домінує *ідея відмови від традиційної видобувної вуглецевої енергетики* з її занадто заієрархієзованою інфраструктурою на користь енергетики з максимально децентралізованою загальною мережею, яка складається з великої кількості малопотужних відновлювальних джерел енергії та максимально наближених до них споживачів, організованих в своїй структурі таким чином, щоб в найпростіший спосіб віддавати надлишки електричної енергії в мережу, або у разі потреби – з тієї ж мережі отримувати необхідне [10]. До сказаного варто додати, що в травні 2007 року Європарламент випустив офіційну декларацію, де концепція третьої промислової революції була представлена як довготермінове економічне бачення та дорожня карта для Європейського Союзу, а такі всесвітньо відомі компанії як Philips, Schneider Electric, IBM, Cisco Systems, Acciona, CH2M Hill, Arup, Adrian Smith + Gordon Gill Architecture, Q-Cells активно долучилися до цього і створюють необхідну інфраструктуру.

В *широкому* ж розумінні (історичному аспекті) вищенаведене не залишає, принаймні у автора, жодних сумнівів щодо появи нового соціуму. Його історична місія – *зміна суспільно-економічної формації*, коли створення нової не залишає для старої жодних шансів на подальшу гегемонію.

Адже тривалий час світова спільнота була не тільки свідком тих прогресивних змін і споживачем тих унікальних якостей, які несла з собою суспільно-економічна формація, побудована на основі *вуглецевої енергетики*, але і жертвою глибоких та жахливих протиріч, конфліктів, криз та війн, які та продукувала і зі зменшенням ресурсної бази тільки поглиблювала.

Занадто вже дорогу ціну доводилося платити людству за своє природне право користуватися енергетичними ресурсами планети, щоб і далі продовжувати ігнорувати *альтернативну енергетику*, зокрема – *геліоцентричну*!

Ясна річ, що без *докорінної реструктуризації* суспільно-матеріального виробництва кожної із зазначених країн, їх виробничих сил та відносин жодні якісно-прогресивні зміни будуть неможливими в принципі. Додам, що сказане однаково стосується також і країн, які з тих чи інших причин або доки перебувають на стартових позиціях (назвемо це так), або мають вийти на такі позиції, оскільки іншого в своїй перспективі жодне з суспільств цих країн тривалий час терпіти не буде.

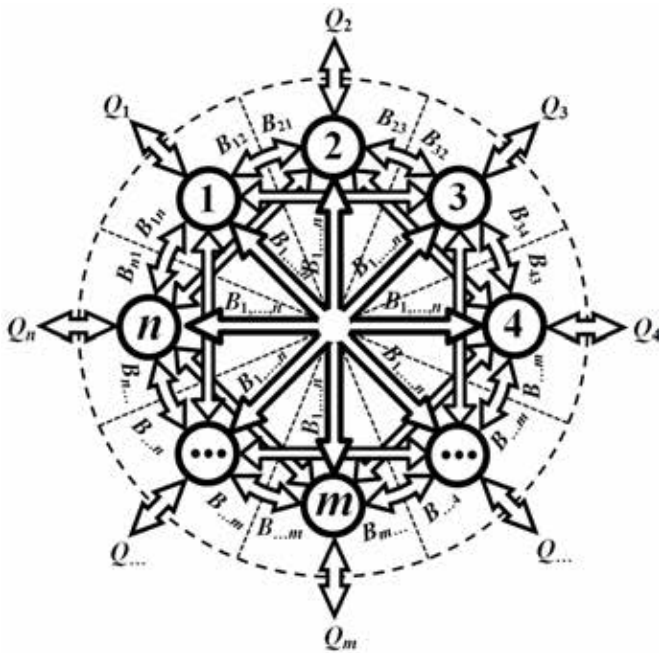


Рис. 1 Структурна схема узагальненої динамічної системи довільної природи з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

Одним з найважливіших базисних елементів в теорії узагальненого електричного кола є його структурна схема, яка водночас відображає склад (тобто множину та властивості структурних елементів), топологію (себто відношення поміж зазначеними структурними елементами як множину їх підмножин, в першу чергу, в фізичному та математичному розуміннях) і тектологію [11] – загальну організаційну основу побудови даної узагальненої абстрагованої системи.

Узагальнене електричне коло з такою структурою розроблене і представлене в роботах [6-8] (рис. 1). Істотною властивістю показаного на рис. 1 узагальненого електричного кола є притаманний йому *найвищий* ступінь узагальнення (логічної сили) з-поміж на сьогодні відомих (рис. 2), а істотною ознакою – наявність *повної топології* в фізичних та математичних відношеннях між його структурними елементами – типовими елементарними ланками, що є феноменологічним виявом загальноприродничого явища (наразі фізичного) гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії.

Таким чином, запропонована узагальнена абстрагована система охоплює всю сукупність на сьогодні відомих та можливих (і навіть уявних) окремо взятих електричних кіл, а також підпорядковує собі їх узагальнені абстраговані класи з різним і, звичайно ж, нижчим ступенем узагальнення.

Варто нагадати, що електричні кола – це динамічні системи переважно штучного походження. Водночас процеси та явища, що в них спостерігаються, є загальноприродничими і підпорядковуються загальним законам природи, насамперед законам фізики та математики. Тому під час розробки поняття узагальненого електричного кола, варто не забувати важливої і неодноразово доведеної істини (правила): якщо тільки в процесах та явищах надзвичайно урізноманітненої природою фізичної реальності узагальнені абстраговані надбудови з тих чи інших причин ігноруватимуть безпосередній або опосередкований вплив відомих чи доки невідомих, але істотних (!), чинників та відношень, *такі надбудови врешті виявляться недостатньо спроможними та дієздатними, через що потребуватимуть заміни на більш адекватні реаліям гіпотетико-дедуктивні теоретичні системи.* В свою чергу, останні стануть визнаними як системи з вищим ступенем узагаль-

Переконаний, що і Україна зрештою знайде свій шлях.

Перемог без боротьби не буває.

2. Альтернативна структурна схема узагальненого електричного кола

Таким чином, щоб в майбутньому забезпечувати потреби доки що альтернативної електроенергетики, теоретичний базис електротехніки вже сьогодні має бути якісно реформований і приведений у відповідність до вирішення прийдешніх задач.

В першу чергу це стосується *теорії електричних і магнітних кіл*, оскільки та є найважливішою його складовою і саме тією теорією, яка здатна адекватно відображати енергетичні процеси в електроенергетичних системах за різних режимів їх функціонування.

У зв'язку із вищезазначеним, створення концепції абстрагованого узагальненого електричного кола постає на сучасному етапі розвитку електротехнічної науки як актуальна і першочергова задача.

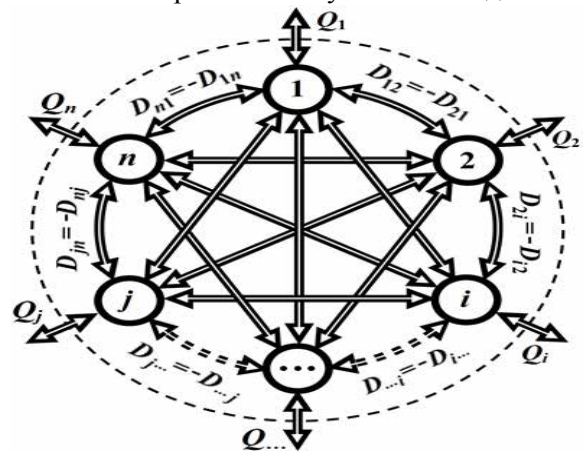


Рис. 2 Структурна схема попарної узагальненої динамічної системи, яка не враховує загальноприродничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

нення (логічної сили) лише у разі, якщо не заперечуватимуть і не спростовуватимуть локальної істинності донедавна панівних узагальнених концепцій, але внаслідок своєї більшої дедуктивної дієздатності у природній спосіб підпорядковуватимуть їх собі.

Попри, на перший погляд, побіжне протиріччя історія науки невблаганно підтверджує істинність цього правила численними фактами. Тому і визначає його як *достовірний спосіб формування наукової істини – революційний за формою, але еволюційний за змістом*. Зазначу, що, хоча обидві окреслені якості є необхідними, жодна з них поодиночки не може бути достатньою. Ні еволюція – без форми, ні революція – без змісту!

Таким чином, в контексті вищенаведеного *абстрагована система узагальненого електричного кола*, яку показано на рис. 1, не заперечує загального правила, але його засвідчує.

Так, донедавна найбільш успішна спроба розв'язання означеної задачі була представлена в роботі [4], де автор аналітично побудував і вперше навів *структурні рівняння* узагальненого електричного кола, що, знову ж таки, вперше дозволило сформувати узагальнену структурну (див. рис. 2) та електричні схеми з *надзвичайно високим рівнем узагальнення* і дедуктивним охопленням широких класів електричних кіл [5] – як відомих, так і можливих, що на той час доводило неабияку логічну силу запропонованої системної надбудови.

Однак представлений в [4, 5] розв'язок задачі побудови узагальненого електричного кола зрештою виявився лише частковим з притаманною частковості *недостатньою дедуктивною дієздатністю*, що було розкрито роботами [6, 7].

Основною хибкою запропонованої структури узагальненого електричного кола (див. рис. 2) була помилкова думка, яка, на превеликий жаль, і сьогодні панує в переважній більшості теорій та наукових систем. Сутність її полягає в *виключно бінарному (!) поданні характеру математичних відношень в структурі поміж елементами узагальненої абстрагованої системи*. Виразним прикладом такого підходу є *теорія графів* з її, як відомо, універсальною областю застосування, в якій базисне поняття *графа* виводиться з умови *парності* збіжних (інцидентних) будь-якому ребру вершин. Оскільки ребро є абстрагованим відображенням взаємодії (взаємозв'язку) поміж вершинами, то, відповідно до сучасних уявлень теорії, така взаємодія має відбуватися *тільки між двома (!) вершинами*.

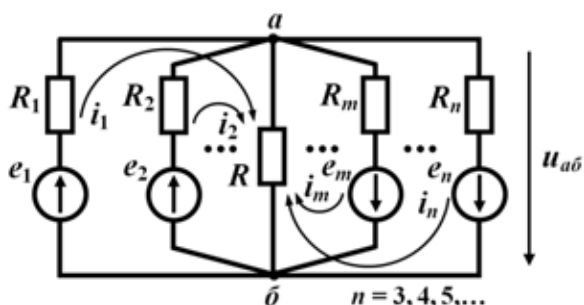


Рис. 3 Прояв явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії на прикладі окремих класів електричних кіл

Відтак бінарний характер фізичних та математичних відношень в структурі узагальненого електричного кола, показано на рис. 2, суттєвим чином послабив його логічну силу, позаяк залишив поза увагою *значно більшу частину електричних кіл та електротехнічних систем*, навіть з числа добре відомих і затребуваних на практиці (рис. 3).

Водночас в роботах [6, 7] було доведено, що вищевказаний недолік є *критичним* і відповідно до сутності вияву загально-природничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії без докорінного перегляду принципу встановлення фізичних та математичних відношень між структурними елементами узагальненої системи зазначену недостатність усунути принципово неможливо!

Варто додати, що наведене представлено також і в роботі [8], втім з і дотепер невідомих авторові причин наданий для друку цілісний оригінал-макет цього матеріалу був оприлюднений в чомусь в пошкодженому вигляді.

3. Явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії та принцип гіперзв'язності системи

Поняття *сили* як міри взаємодії глибоко пронизує фундамент усієї науки і має надзвичайно важливе методологічне значення. З цим поняттям невід'ємно пов'язана більшість явищ і процесів, які виокремлені і описані природничими, технічними та суспільно-економічними науками.

Як відомо, *внутрішніми силами взаємодії* в динамічній системі називають сили взаємодії між її структурними складовими. В нашому випадку такими складовими системи є найменші і структурно неподільні типові елементарні ланки, кожна з яких здатна взаємодіяти з іншими та утворювати не тільки попарні, але і *гіперсилової (гіпервалентні) зв'язки* (див. рис. 1). На рисунку показані всі внутрішні сили, які з'являються або можуть з'являтися в системі під час її руху внаслідок гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії поміж її ланками. Цим силам притаманний *різний порядок вимірності!*

Відтак багатовимірними внутрішніми силами взаємодії (або гіперсилами) в динамічній системі будемо називати всі k -вимірні внутрішні сили або їх рівнодійні за умови, що $2 \leq k \leq n$.

Таким чином, явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії – це загально-природничє явище, яке спостерігається в фізичних та технічних динамічних системах різної природи і вияв якого відображає здатність типових елементарних ланок взаємодіяти (або встановлювати взаємозв'язки поміж собою) багатовимірними внутрішніми узагальненими силами взаємодії, незалежними поміж собою, але залежними від узагальнених координат або (та) швидкостей ланок системи в різних комбінаторних сполученнях з n по числу k за умов, що число k належить області $2 \leq k \leq n$, а n – число ступенів вільності системи.

Для узагальненого електричного кола побудованого з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, як це показано на рис. 1, загальна кількість рівнодійних внутрішніх сил взаємодії, які можуть діяти водночас між всіма типовими елементарними ланками системи буде дорівнювати

$$N(n) = \sum_{k=2}^n C_n^k = \sum_{k=2}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} = 2^n - n - 1, \quad (1)$$

в той час, як для узагальненого електричного кола, представленого в роботах [4, 5], де враховані тільки двовимірні (або попарні) внутрішні сили взаємодії $k = 2$ (див. рис. 2), така кількість є суттєво меншою і дорівнює лише одній із груп складових формули (1), а саме

$$C_n^2 = \frac{n!}{2!(n-2)!}. \quad (2)$$

Для складних систем електричних кіл з багатьма ступенями вільності значення біноміального коефіцієнта (2) в порівнянні з сумою (1) з таких коефіцієнтів становить незрівнянно мізерну частину

$$\frac{C_n^2}{\sum_{k=2}^n C_n^k} \cdot 100\% = \frac{100\%}{1 + \sum_{k=3}^n \frac{C_n^k}{C_n^2}} = \frac{100\%}{1 + \sum_{k=3}^n \frac{2!(n-2)!}{k!(n-k)!}}, \quad (3)$$

оскільки ряд в формулі (3) доволі швидко розходиться. Так, наприклад, якщо $n = 15$, зазначений відсоток становить лише 0,321%, якщо ж $n = 10$, він дорівнює 4,44%, а коли $n = 5$, то 38,46%, що свідчить про актуальність узагальненого електричного кола, побудованого за схемою рис. 2, лише за малих значень n , тобто в простих динамічних системах з малим значенням числа ступенів їх вільності.

Узагальненість електричного кола вимагає найвищу ступінь зв'язності кожної з його n типових елементарних ланок в системі. Відтак гіперсилова взаємодія будь-якої окремо взятої типової елементарної ланки з іншими ланками системи має охоплювати всі можливі комбінаторні сполучення

$$S_n^k = C_{n-1}^{k-1} = \frac{(n-1)!}{(k-n)!(n-k)!}, \quad (4)$$

а саме множину $\{S_n^2 = C_{n-1}^1; \dots; S_n^m = C_{n-1}^{m-1}; \dots; S_n^n = C_{n-1}^{n-1}\}$, де кожне з чисел S_n^k в (4) – це кількість комбінаторних сполучень з n по числу k зазначеної типової елементарної ланки з іншими ланками системи.

Вищенаведену умову, яка є істотною ознакою узагальненості електричного кола як динамічної системи, називатимемо принципом гіперзв'язності типових елементарних ланок.

Зауважимо, що для динамічних систем, запропонованих в роботах [4, 5] (див. рис. 2), тобто для систем попарної взаємодії, всі можливі комбінаторні сполучення будь-якої окремої ланки обмежені тільки числом $k = 2$ і їх можлива кількість не перевищує значення $S_n^2 = C_{n-1}^1 = n - 1$.

4. Типові елементарні ланки та принцип типових елементарних ланок

Типова елементарна ланка динамічної системи із зосередженими параметрами – це найменша і структурно неподільна її частина, енергетичний стан якої за умови відсутності силової взаємодії (обмінну енергією) з іншими такими ж ланками залежить тільки від однієї (власної) узагальненої координати і узагальненої швидкості (узагальненого імпульсу), а у разі взаємодії – ще і від узагальнених координат та швидкостей відповідних суміжних взаємодіючих ланок.

Зміна енергетичного стану типової елементарної ланки відбувається внаслідок її руху під дією зовнішніх та внутрішніх багатовимірних сил. Рух типової елементарної ланки – це зміна з плином часу її стану відносно стану інших типових елементарних ланок або заданої системи узагальнених координат.

Відтак стан типової елементарної ланки визначається поточними значеннями її узагальненої координати та узагальненої швидкості (або узагальненого імпульсу) відносно обраної актуальною координатної системи.

Для електричних кіл в *першій системі* узагальнених координат типовими елементарними ланками є *незалежні замкнені контури*, за узагальнені координати слугують *контурні заряди*, узагальненими швидкостями є *контурні струми*, узагальненими імпульсами – *магнітні потокозчеплення*, а узагальненими силами – *електричні напруги* та *е.р.с. джерел* енергії у разі зовнішньої дії.

В *другій системі* узагальнених координат типовими елементарними ланками є *незалежні вузлові пари*, узагальненими швидкостями – *напруги* поміж вузлами зазначених пар, їх *інтеграли* (або *магнітні потокозчеплення*) визначають узагальнені координати, а *електричні заряди* суть узагальнені імпульси, узагальненими силами слугують *електричні струми* та *струми джерел зі струмами*.

Сутність принципу типових елементарних ланок полягає в тому, що кожна з означених динамічних систем, незалежно від їх фізичної природи, може бути представлена уніфіковано – поділеною на взаємодіючі поміж собою типові елементарні ланки.

Оскільки кожна з таких ланок біективно (взаємно-однозначно) співвідноситься з власними узагальненою координатою та узагальненою швидкістю (або узагальненим імпульсом), то їх кількість строго регламентована і відповідає числу узагальнених координат та числу ступенів вільності системи n .

5. Структурні рівняння узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених координат з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

Для побудови рівнянь скористаємося *рівняннями Лагранжа-Максвела*, які підпорядковують рух узагальненого електричного кола з довільним числом ступенів вільності n .

1) В *першій системі* узагальнених координат рівняння Лагранжа-Максвела мають вигляд

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial W_m}{\partial i_m} + \frac{\partial W_e}{\partial q_m} + \frac{\partial \Phi_e}{\partial i_m} = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

де W_m, W_e, Φ_e – енергетичні функції узагальненого електричного кола.

2) Загальна енергія магнітного поля W_m електричного кола визначається як сукупна енергія всіх магнітних полів індуктивних елементів, які входять до складу цього кола [12]. Отже, для енергетичної функції W_m з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії маємо [6-8]:

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n L_{s_1} i_{s_1}^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n L_{s_1, s_2} (i_{s_1} \pm i_{s_2})^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-2} \sum_{s_2=s_1+1}^{n-1} \sum_{s_3=s_2+1}^n L_{s_1, s_2, s_3} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3})^2 + \dots + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^2 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n L_{s_1, s_2, \dots, s_n} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_n})^2, \quad (6)$$

де кожна L_{s_1, \dots, s_v} ($2 \leq v \leq n$) – це v -контурна взаємна індуктивність, а L_{s_1} – власна індуктивність.

На підставі (6) після відповідних математичних перетворень для довільного m -го незалежного контуру, де $1 \leq m \leq n$, остаточно можемо записати

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial W_m}{\partial i_m} = & L_m \frac{di_m}{dt} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n L_{m, s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n L_{m, s_1, s_2} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-2} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_3=s_2+1 \\ s_3 \neq m}}^n L_{m, s_1, s_2, s_3} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3}) + \dots + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n L_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}). \end{aligned} \quad (7)$$

3) Структуру енергетичної функції W_e дослідимо схожим чином.

Загальна енергія електричного поля W_e узагальненого кола дорівнює сумі енергій всіх електричних полів створених в емнісних елементах, які входять до складу узагальненого кола [6-8, 12],

$$W_e = \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n \frac{q_{s_1}^2}{C_{s_1}} + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2})^2}{C_{s_1, s_2}} + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-2} \sum_{s_2=s_1+1}^{n-1} \sum_{s_3=s_2+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm q_{s_3})^2}{C_{s_1, s_2, s_3}} + \dots + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_n})^2}{C_{s_1, s_2, \dots, s_n}}, \quad (8)$$

де кожна C_{s_1, \dots, s_ν} ($2 \leq \nu \leq n$) – це ν -контурна взаємна ємність, а C_{s_1} – власна ємність.

Тоді на підставі (8) для довільного m -го незалежного контуру маємо

$$\frac{\partial W_e}{\partial q_m} = \frac{q_m}{C_m} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m, s_1}} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2}}{C_{m, s_1, s_2}} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-2} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_3=s_2+1 \\ s_3 \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm q_{s_3}}{C_{m, s_1, s_2, s_3}} + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}}{C_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}}}. \quad (9)$$

4) Електрична дисипативна функція Релея Φ_e визначається як половина миттєвих потужностей всіх втрат електричної енергії, що спостерігаються в колі.

Отож, врахувавши явище гіпервалентної взаємодії, для узагальненого кола запишемо [6-8]

$$\Phi_e = \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n R_{s_1} i_{s_1}^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n R_{s_1, s_2} (i_{s_1} \pm i_{s_2})^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-2} \sum_{s_2=s_1+1}^{n-1} \sum_{s_3=s_2+1}^n R_{s_1, s_2, s_3} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3})^2 + \dots + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n R_{s_1, s_2, \dots, s_n} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_n})^2, \quad (10)$$

де R_{s_1, \dots, s_ν} – це взаємні активні опори, а R_{s_1} – власний опір відповідного незалежного контуру.

Відтак на підставі (10) для довільного m -го незалежного контуру отримуємо

$$\frac{\partial \Phi_e}{\partial i_m} = R_m i_m + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n R_{m, s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n R_{m, s_1, s_2} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-2} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_3=s_2+1 \\ s_3 \neq m}}^n R_{m, s_1, s_2, s_3} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3}) + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n R_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}). \quad (11)$$

5) Отримані співвідношення (7), (9) та (11) підставляємо в систему рівнянь (5). Після перегрупування складових багаторазових сум рівняння руху узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених електричних координат остаточно набувають такого вигляду:

$$\left(L_m \frac{di_m}{dt} + R_m i_m + \frac{q_m}{C_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[L_{m, s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + R_{m, s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m, s_1}} \right] + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[L_{m, s_1, s_2} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + R_{m, s_1, s_2} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2}}{C_{m, s_1, s_2}} \right] + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[L_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + R_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}}{C_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}}} \right] = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

В рівняннях (12) в алгебраїчних сумах, позначених дужками, знак --- має бути перед тими контурними ступами (зарядами), напрямок яких через взаємні елементи збігається з додатним напрямком контурного струму i_m (q_m), а перед іншими складовими потрібно ставити знак --- .

Отримані рівняння (12) безпосередньо відображають склад, топологію та тектологію узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола із зосередженими параметрами. Надалі називатимемо їх *структурними рівняннями* узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених електричних координат.

Додамо, що стосовно заданої системи координат система структурних рівнянь (12) узагальненого електричного кола, як і його узагальнена структурна схема (див. рис. 1), є на сьогодні логічно найсильнішою і дедуктивно охоплює найширший клас електричних кіл, оскільки отримана з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії. Зазначений базисний елемент дедуктивно підпорядковує собі запропоновану в роботах [4, 5] систему відповідних рис. 2 структурних рівнянь

$$\left(L_m \frac{di_m}{dt} + R_m i_m + \frac{q_m}{C_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[L_{m,s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + R_{m,s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m,s_1}} \right] = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

Наведені рівняння (13) є лише окремим випадком (виявом) системи рівнянь (12).

6. Структурні рівняння узагальненого електричного кола в другій системі узагальнених координат з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

Для зазначених структурних рівнянь, необхідно скористатися *рівняннями Лагранжа-Максвелла*, але записаними в *другій системі* узагальнених електричних координат

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial W_m}{\partial \phi_m} + \frac{\partial W_e}{\partial \psi_m} + \frac{\partial \Phi_e}{\partial \phi_m} = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

де W_m , W_e , Φ_e – енергетичні функції узагальненого електричного кола.

Відповідно до вищенаведеної методики на підставі (14) неважко отримати рівняння узагальненого електричного кола в другій системі координат. В цьому випадку структурні рівняння узагальненого електричного кола мають вигляд

$$\begin{aligned} & \left(C_m \frac{du_m}{dt} + G_m u_m + \frac{\psi_m}{L_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1}) + G_{m,s_1} (u_m \pm u_{s_1}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1}}{L_{m,s_1}} \right] + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1,s_2} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2}) + G_{m,s_1,s_2} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \psi_{s_2}}{L_{m,s_1,s_2}} \right] + \\ & + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[C_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2} \pm \dots \pm u_{s_{n-1}}) + \right. \\ & \left. + G_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2} \pm \dots \pm u_{s_{n-1}}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \psi_{s_2} \pm \dots \pm \psi_{s_{n-1}}}{L_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}}} \right] = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (15)$$

Структурні рівняння (15) отримано з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії. Ці рівняння біективно відповідають елементам узагальненої структурної схеми рис. 1 і мають найвищий на сьогодні ступінь узагальнення серед електричних кіл, побудованих в другій системі узагальнених координат.

З іншого ж боку, рівняння, запропоновані в роботах [4, 5],

$$\left(C_m \frac{du_m}{dt} + G_m u_m + \frac{\psi_m}{L_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1}) + G_{m,s_1} (u_m \pm u_{s_1}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1}}{L_{m,s_1}} \right] = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n,$$

які описують еволюцію динамічної системи, показаної на рис. 2, є лише окремим виявом отриманих структурних рівнянь (15).

Висновки

В роботі описано виявлене загально-природниче явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, врахування якого дозволило на основі математичного дослідження та аналізу рівнянь Лагранжа-Максвелла побудувати узагальнене за числом ступенів вільності електричне коло з найвищим з-поміж відомих ступенем узагальнення, а також сформувати його узагальнену структурну схему та отримати структурно визначену систему його диференціальних рівнянь руху в першій і другій системах узагальнених електричних координат.

Отримані результати мають як спеціально-технічне, так і загально-природниче значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме : в 2 т. / Дж. К. Максвелл. — М. : Наука, 1989 — . — Т. 1. — 417 с.; Т. 2. — 437 с.
2. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон. — М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1972. — 544 с.
3. Хэпп Х. Диакоптика и электрические цепи / Х. Хэпп. — М. : изд-во «Мир», 1974. — 343 с.
4. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналоги неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2010. — Випуск 2. — С. 63-69.
5. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 196 с.
6. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький. — №2(58). — 2017. — С. 29-36.
7. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло і фізичне явище гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2016. — Випуск 4. — С. 207-213.
8. Ведміцький Ю. Г. Тектологія динамічних систем і явище гіпервалентної взаємодії в структурних рівняннях узагальненого кола / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2017) : IV Міжнародна наукова конференція пам'яті професора В. Поджаренка, 31 жовтня - 02 листопада 2017 р., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна : тези доп. — С. 38-39. — Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К»», 2017.
9. Лейзер Д. Создавая картину Вселенной / Д. Лейзер. — М. : «Мир», 1988. — 324 с.
10. Рифкин Дж. Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом / Джереми Рифкин; пер. с англ. — М. : Альпина нон-шн, 2014.
11. Богданов А. А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн. : Кн. 1 / А. А. Богданов. — М. : Экономика, 1989. — 304 с.
12. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. — 392 с.

Юрій Григорович Ведміцький — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, wjg@ukr.net

Yurii G. Vedmitskyi — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, wjg@ukr.net

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ПОХИЛОГО ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА

^{1,2} Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано метод схемотехнічної реалізації системи автоматизованого керування приводом похилого дифузійного апарата на основі функціональних схем та алгоритмів функціонування.

Ключові слова: похилий дифузійний апарат, електричний привод, мікропроцесорна система автоматизованого керування.

Abstract

The method of schematic realization of the automated control system of the drive of the inclined diffusion apparatus on the base of functional diagrams and functioning algorithms was represented in this article.

Keywords: inclined diffusion unit, electric drive, dynamic properties, microprocessor automated control system.

Вступ

Тривалі дослідження динамічних властивостей двохдвигунового приводу похилого дифузійного апарата (ПДА), що використовується в цукровому виробництві, проведені у [1, 2], виявили гостру необхідність синтезу систем автоматизованого керування, виконану на основі мікропроцесорної техніки. Це пов'язано з тим, що існуючі системи керування не можуть задовольнити вимог щодо бажаних динамічних властивостей у певних режимах роботи, оскільки у них відсутні засоби контролю важливих параметрів приводу. Зокрема, мова йде про механічні параметри приводу, серед яких одним із найінформативнішим є відносний кут повороту валів двигунів.

У роботі [3] були розроблені структурні схеми такої системи автоматизованого керування, яка може здійснювати контроль за вказаними величинами, а також має засоби впливу на систему з метою покращення її властивостей в динамічних режимах роботи.

Метою пропонованої роботи є схемотехнічна реалізація розробленої на попередніх етапах досліджень системи автоматизованого керування приводом ПДА та розробка її алгоритмічного та програмного забезпечення

Результати дослідження

Виконання поставленої мети полягає перш за все у синтезі функціональних та принципових електричних схем системи приводу ПДА, як електромеханічного комплексу, що включає в себе привода як основного, так і допоміжного механізмів, виконаного на основі досліджень викладених зокрема у [4]. Схема реалізації мікропроцесорної системи керування подана на рис. 1.

В процесі дослідження [3] було виявлено, що для забезпечення виконання всіх поставлених задач, система має бути оснащена сенсорами обертання валів нижнього та верхнього двигунів СО НД та СО ВД відповідно, виходи яких зведено на клемну колодку Х3. Дані з цих сенсорів у вигляді послідовності імпульсів обробляються мікроконтролером DD1, до якого поступають через узгоджуючі транзисторні ключі VT5, VT7. Тут використовується цифровий сигнальний контролер серії C200 Piccolo фірми TexasInstruments на ядріMIPS. На нього покладено завдання вимірювання, обробки та аналізу лише механічних параметрів приводу в режимі реального часу. Він зв'язаний з основним мікроконтролером DD2, на який покладено усі інші функції, за допомогою універсального асинхронного прийомо-передавача.

До функцій основного мікроконтролера DD2 належить вимірювання електричних параметрів приводу, до яких належать напруги роторних обмоток двигунів та струм, що протікає через них.

Даний контролер – МК загального призначення серії F3, фірми STMicroelectronics, на ядрі ARM Cortex-M4. Вихід сенсора струму на ефекті Холла, а також потенціальні провідники від двигунів зведено на клемну колодку X2. Вимірювання струму здійснює мікросхема-датчик струму DA1, а для вимірювання напруг використано ізольовані операційні підсилювачі DA2 та DA3.

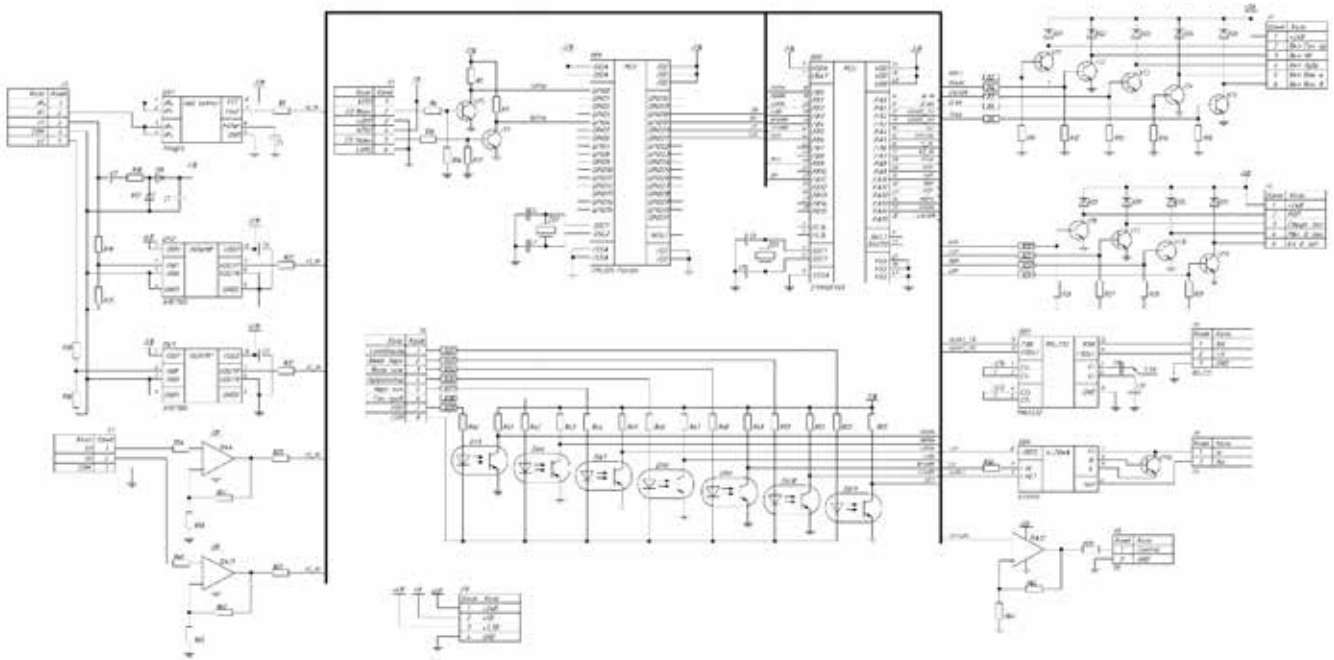


Рисунок 1. – Електрична принципова схема пристрою.

Система має декретні входи, через які до неї поступає інформація за станами електромагнітних контакторів та реле (клемна колодка X6). Гальванічна розв'язка та узгодження рівнів напруг відбувається за допомогою оптопар DA5 – DA11.

Для включення електромагнітних контакторів використовуються дискретні виходи DD2, що подають напругу на проміжні реле KL0 – KL4, які включають відповідні електромагнітні контактори (K, KM1 – KM4). Також дискретні виходи відключають привод у разі виникнення небажаного режиму роботи, диференціюючи причини їх виникнення: реле обриву поля, максимальний струмовий захист, диференційний захист за електричними та механічними параметрами, включаючи відповідні реле KL5 – KL8. Виконавчими елементами дискретних виходів є транзисторні ключі VT1 – VT11, колектори яких виведені на клемні колодки X1 та X4.

Від оператора до мікропроцесорної системи автоматизованого керування через аналогові входи (колодка X7) подаються уставки обертів основного приводу та приводу черпального колеса. Система, ґрунтуючись на значеннях цих уставок, а також контрольованих параметрів, за певними законами визначає рівень сигналів на аналогових виходах, які подаються на вхід ТП основного приводу та ПЧ приводу черпального колеса.

На вхід ТП подається сигнал 0 – 10 В, а на вхід ПЧ 4 – 20 мА. Вихідними формувачами аналогових виходів є операційний підсилювач DA12 у першому випадку та мікросхема DD4 – у другому.

Зв'язок з центральним диспетчерським пунктом заводу здійснюється за допомогою інтерфейсу RS 232/485, по протоколу ModBus RTU, що дозволяє візуалізувати роботу ПДА та допомогти в організації найбільш оптимального керування технологічним процесом.

Висновки

1. В роботі синтезовано функціональні та електричні принципові схеми системи приводу ПДА, як електромеханічного комплексу, що базується на структурних схемах, розроблених на попередніх етапах досліджень.

2. Розроблено методи та мікропроцесорні засоби контролю основних параметрів приводу (як електричних, так і механічних), а також їх алгоритмічне та програмне забезпечення.
3. Проведено комп'ютерне моделювання та владження вбудованого програмного забезпечення мікропроцесорних елементів системи автоматизованого керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарчук В. Дослідження динамічних режимів роботи системи приводу похилого дифузійного апарата методом імітаційного моделювання / В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2013. - №4. – С. 7 – 12.
2. Кухарчук В. Динамічні властивості системи привода похилого дифузійного апарата / В. В. Кухарчук, В. І. Родінков, А. М. Коваль // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. 2013. – №2. – С. 86 – 93.
3. Коваль А. Система автоматизованого керування приводом похилого дифузійного апарата / А. М. Коваль, В. С. Голодюк // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2017». – Київ: 2017. – С.3.62 – 3.65
4. Paul Horowitz, Winfield Hill. The art of electronics. Monograph, Cambridge university press - 1998. – 704 p.

Андрій Миколайович Коваль — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Володимир Сергійович Голодюк — студент групи 2Е-146 факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Koval Andrii M. — assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering and electrical measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Volodymyr Holodiuk S. — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ДВОДВИГУНОВИХ ПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА БАЗІ ВІКОННОГО КОМПАРАТОРА

^{1,2} Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано метод реалізації диференційного захисту двохдвигунового приводу постійного струму, на основі віконного компаратора на операційних підсилювачах.

Ключові слова: похилий дифузійний апарат, електричний привод, диференційний захист.

Abstract

The method of realization of differential protection of two-engine DC drive, on the base of an operational amplifiers window comparator was represented in this article.

Keywords: inclined diffusion unit, electric drive, differential protection.

Вступ

У приводі деяких механізмів доцільно використання двохдвигунових приводів, у яких між валами двигунів існує пружний кінематичний зв'язок, що значно впливає на динамічні характеристики такої системи. Прикладами таких систем є приводи деяких прокатних станів протяжних екскалаторів, шнекових систем значної довжини, тощо. Зокрема до останніх належить привод похилого дифузійного апарата.

У таких приводах гостро постає задача синхронного обертання валів двигунів, що можливе за умови однакових динамічних моментів, що розвивають обидва двигуни. В системах двохдвигунового приводу постійного струму ця умова забезпечується послідовним ввімкненням роторних обмоток двигунів з ідентичними механічними й електричними характеристиками, напруга на яких в нормальних режимах буде майже однаковою.

Однак, за певних обставин можуть виникати такі режими, коли двигуни починають обертатися з різними швидкостями, тоді напруги на двигунах стають не однакові через неоднаковість їх протиЕРС. Причинами цього можуть бути, як електричними, так і механічними, але не залежно від характеру причин такі режими, з одного боку, можуть бути спричинені пошкодженнями певних елементів приводу, а з другого, призвести до незворотних наслідків, і по своїй суті є аварійними.

Тому виникає гостра необхідність використання спеціальних пристроїв захисту від таких режимів роботи. Такі пристрої відрізняються за способом реалізації (аналогові, мікропроцесорні), за параметрами, на які реагують (механічні параметри, різницю напруг двигунів). Такі пристрої розроблялись, зокрема, у [1, 2].

Серед безперечних переваг кожен з них має і певні свої, з наступного переліку, недоліки: складність конструкцій, нечутливість до певних видів пошкодження, застарілість, значну вартість тощо. Це зумовлює їх сферу застосування.

Метою даного дослідження є розробка простого та ефективного захисту приводу ПДА який би забезпечив його надійну роботу.

Результати дослідження

Пристрій захисту, що пропонується виконаний на основі аналогової схемотехніки [3], а величиною, на яку він реагує, є напруга в точці з'єднання двигунів приводу.

Поставлена задача доволі цікаво і просто вирішується при використанні так званого «віконного компаратора» – схеми, що містить два компаратора, кожен з яких відслідковує зміну напруги на вході – точці з'єднання двигунів, відносно опорної напруги, що задається окремо для компаратора верхньої межі та для компаратора нижньої межі. Вихідний сигнал отримують на виходах компараторів, про перетин, відповідно, верхньої чи нижньої межі напруги.

В схемі, поданій на рисунку 1, виходи компараторів DA1 та DA2 об'єднано, оскільки не важливо, яку межу перетнув сигнал вхідної напруги, необхідно лише в той же час увімкнути виконавчий орган захисту, при цьому перетині.

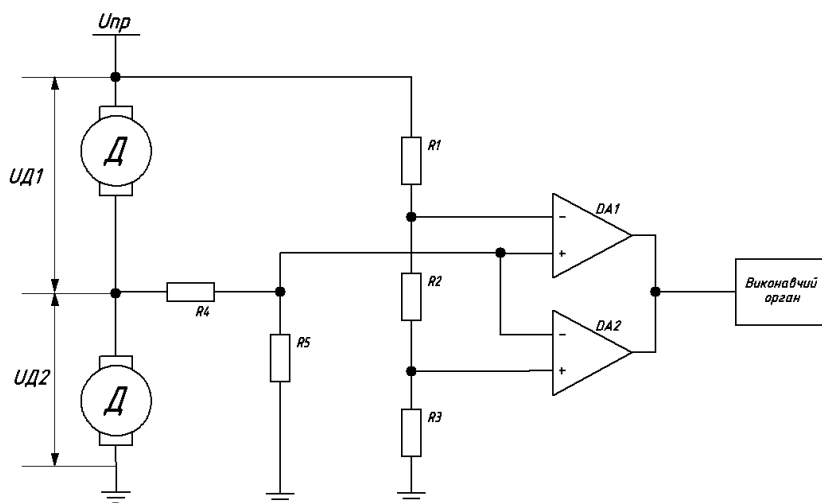


Рисунок 1. – Структурна схема пристрою.

Верхня та нижня межі спрацювання в даному випадку задається подільниками напруги, на опорах R1, R2 та R3. Величини опорів даного подільника напруги можуть бути розраховані для певних конкретних випадків, та для різних значень напруг. Також даний подільник напруги може бути побудований з використанням підстроєчних чи змінних резисторів, це дасть можливість регулювати верхню та нижню межу спрацювання захисту.

Вимірювальний сигнал подається відразу на обидва компаратори, через подільник напруги R4 та R5, що знижує вхідну напругу до рівня, сприйнятного для компаратора.

Висновки

В ході роботи було розроблено схему захисту на основі віконного компаратора. Робота схеми була промодельована в різних пакетах прикладного ПЗ, призначених для моделювання електротехнічних та електронних систем.

Завдяки простоті й невисокій вартості компонентів такий пристрій захисту доволі просто використовувати та масштабувати під різні компонування приводів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України на корисну модель UA 122663, H02K 7/08 Пристрій диференційного захисту послідовно увімкнених електродвигунів постійного струму / В. В. Кухарчук, А. М. Коваль, В. С. Голодюк. – № u201706551; заявл. 26.06.2017; опубл. 25.01.2018. – Бюл. № 2/2018
2. Патент України 34252 H02 H7/08 Пристрій для захисту від коротких замикань і перевантажень послідовно увімкнутих електродвигунів постійного струму / В. І. Родінков, Г. В. Корячев.; заявл. 18.06.1999, опубл. 15.02.2001, Бюл. №1, 2001р.
3. Paul Horowitz, Winfield Hill. The art of electronics. Monograph, Cambridge university press - 1998. – 704 p.

Андрій Миколайович Коваль — асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Тетяна Вікторівна Савенчук — студент групи 1Е-146 факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Koval Andrii M. — assistant, Department of Theoretical Electrical Engineering and electrical measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Tetiana Savenchuk V. — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

МОДИФІКАЦІЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ЦИФРОВОГО СЕНСОРА ВІБРАЦІЙ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано варіант модернізації сенсора вібрацій з цифровою обробкою сигналу, на базі прецизійного акселерометра, мікроконтролера та пристроїв організації зв'язку, шляхом включення в конструкцію три-осьового сенсора, і налаштування автокалібрування каналів, незалежно від кута його встановлення.

Ключові слова: вібросенсор, вдосконалення, акселерометр, цифрова обробка вібросигналу.

Abstract

The variant of modernization of the digital vibration sensor on the base of precision accelerometer, MCU and connection units was represented in this article. The modernization is on the base of including the 3-axis sensor and development of auto-calibration channels, not depends of the install angle.

Keywords: vibration sensor, modernization, accelerometer, digital processing of vibration signal.

Вступ

Один з основних методів контролю вібраційного стану і діагностики пошкоджень обладнання заснований на аналізі сигналів сенсорів вібрації, що встановлюються на електричних машинах. Цей метод має високий рівень чутливості до зміни технічного стану машин і є ефективним для забезпечення його нормальної роботи. Достовірність вимірювань багато в чому визначаються типом і параметрами сенсорів, в якості яких широко використовуються п'єзоелектричні акселерометри [1].

Недоліком сенсорів на базі акселерометрів є сильна залежність вихідних сигналів від правильної орієнтації сенсора та його осей в просторі.

Метою роботи є вдосконалення високоточного сенсора вібрацій з цифровою обробкою і аналізом сигналу[2], шляхом повної корекції положення по осі Y при його відхиленні від вертикального положення в просторі.

Результати дослідження

Упродовж дослідження, було виявлено, що для забезпечення задовільних результатів вимірювання цифровий сенсор має бути відкалібрований безпосередньо в місці його встановлення, що не завжди зручно з огляду на різноманітні конструкції агрегатів, на яких необхідно проводити вимірювання.

Тому було розроблено покращену конструкцію цифрового сенсора, що дозволяє проводити вимірювання відносно кожної з просторових осей. Нижче, на рисунку 1 подано структурну схему такої конструкції сенсора вібрації.

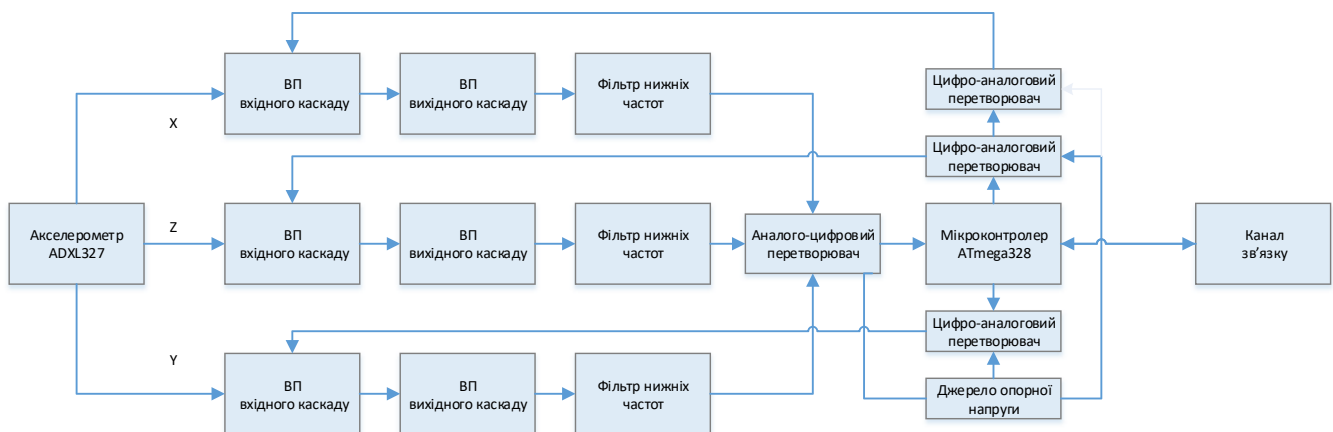


Рисунок 1. – Структурна схема пристрою.

Також упродовж дослідження було розроблено алгоритм визначення осі, найближчої до вертикального положення сенсора в просторі та її вибір в якості робочої осі Y. Дана можливість дозволить встановлення сенсора в будь-якому, зручному для вимірювальних цілей місці, незалежно від просторової орієнтації сенсора.

Запропоновані підходи дозволять спростити встановлення та калібрування сенсора, зведе до мінімуму час, необхідний для його відлагоджування на місці встановлення та забезпечить можливість проведення багатьох різнотипних дослідницьких вимірювань.

Висновки

За результатами дослідження виявлено, що зазначений підхід до конфігурування та побудови сенсора вібрації на базі тривісного інтегрального акселерометра дозволяє отримати ряд властивостей, які значною мірою покращать технічні та експлуатаційні характеристики сенсора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барков А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации/Ф. В. Барков, Р. А. Баркова, А. Ю. Азовцев,-Л.:ВАСТ,1997.-170с.
2. Кухарчук В. В., Кацев С. Ш., Мадьяров В. Г., Усов В. В., Ведміцький Ю. Г., Ніколаєв В. Я., Биковський С. О. Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів. Монографія. ВНТУ, 2014
3. Acceleration Sensor AS – 073. Datasheet. Brüel & Kjær Vibro GmbH,2009.
4. Accelerometr ADXL327. Datasheet. Analog Devices,2007.

Володимир Сергійович Голодюк — студент групи 2Е-146 факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vgolodyk@gmail.com;

Наукові керівники: **В'ячеслав Губейович Мадьяров** — к-т техн. наук, професор кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Володимир Якович Ніколаєв — провідний інженер, начальник відділу розробок електронного обладнання, ТОВ «Подільський енергоконсалтинг», м. Вінниця.

Holodiuk Volodymyr S. — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vgolodyk@gmail.com

Supervisors: **Madiarov Viacheslav G.** — philosophy doctor, professor, Department of Theoretical Electrical Engineering and electromeasurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Nikolaev Volodymyr Y. — senior engineer, department of electronic engineering, Podilskyi Enerhokonsaltnh, Vinnytsia.

БІНОМІАЛЬНИЙ ЗАКОН ВІДОБРАЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ЗАДАЧІ КОШІ, ВИЗНАЧЕНИХ НАД ПОЛЯМИ ДІЙСНИХ ТА КОМПЛЕКСНИХ ЧИСЕЛ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розкрито математичний закон відображення визначених над полями дійсних та комплексних чисел коефіцієнтів узагальненої фундаментальної задачі Коші, сформульованої для фізичних і технічних динамічних систем з континуальною формою руху. Отриманий результат роботи виявив себе як базисний елемент в розробці нових методів розрахунку перехідних процесів в лінійних динамічних системах довільної фізичної природи, зокрема електротехнічного походження, які задано в ермітовому просторі над полем комплексних чисел.

Ключові слова: динамічна система, задача Коші, диференціальне рівняння, початкові умови, число ступенів вільності, перехідний процес, електричне коло, теоретичні основи електротехніки

Abstract

In this paper, the mathematical law of the mapping of the generalized fundamental Cauchy problem given over fields of real and complex numbers, which is formulated with respect to physical and technical dynamical systems with a continuous form of motion, is disclosed. The result of the work was the development of the theoretical basis as the basis for creating new methods for analyzing transient processes in linear dynamical systems, in particular electrotechnical origin, defined in the Hermitian space over the field of complex numbers.

Keywords: dynamic system, Cauchy problem, differential equation, initial conditions, number of degrees of freedom, transient process, electric circuit, theory of electrical engineering

Задача аналізу перехідних процесів в фізичних та технічних (себто штучних) динамічних системах з континуальною формою руху надзвичайно важлива і потребує особливої уваги [1-6].

Як відомо, математичною інтерпретацією цієї задачі є *задача Коші*. Її формування передбачає побудову диференціального рівняння руху динамічної системи та визначення сукупності початкових умов з наступним пошуком окремого розв'язку.

Для вихідного базису загальної теорії перехідних процесів затребуваними є узагальнені, або точніше – дедуктивні, форми задачі Коші [3], які здатні формалізувати процес складання диференціального рівняння руху динамічної системи в кожному конкретному випадку і за конкретних умов.

Пошук та побудова таких узагальнених форм задачі Коші, дослідження їх властивостей, виявлення кореляційних зв'язків між ними, в свою чергу, є окремими науковими задачами. Багато з них в своїй основі на сьогодні розв'язано. Водночас наявний теоретичний матеріал може бути доповнений навіть, наприклад, і для добре досліджених на сьогодні лінійних динамічних систем [3, 7, 8].

Отже, розглянемо лінійне електричне коло [4, 5] з довільним числом ступенів вільності [9-12] та одним зовнішнім джерелом енергії, напруга на якому є періодичною.

Відповідно до принципу накладання, притаманного лінійним системам, узагальнена за ознаками зовнішньої силової дії і числа ступенів вільності електричного кола задача Коші може бути сформульована для кожної k -ої реакції на кожну k -ту зовнішню дію відповідної гармоніки напруги ряду Фур'є у вигляді лінійного звичайного диференціального рівняння n -го порядку з n початковими умовами: $i_k(0_+)$, $i_k'(0_+)$, $i_k''(0_+)$, ... :

$$\sum_{r=0}^n a_{kr} \frac{d^r i_k}{dt^r} = \sum_{s=0}^w b_{ks} \frac{d^s u_k}{dt^s}. \quad (1)$$

Відповідно до положень символічно-класичного методу [2, 10, 11], для цього ж кола узагальнену за вказаними ознаками задачу Коші можна сформулювати і відносно комплексних зображень k -их реакцій у вигляді рівняння

$$\sum_{r=0}^n \underline{A}_{k_r} \frac{d^r \underline{I}_{m_k}}{d t^r} = \underline{B}_k \underline{U}_{m_k} \quad (2)$$

та n початкових умов $\underline{I}_{m_k}(0_+)$, $\underline{I}'_{m_k}(0_+)$, $\underline{I}''_{m_k}(0_+)$, ..., де

$$\underline{I}_{m_k} = I_{m_k} e^{j\omega t}.$$

Дослідивши послідовність перетворень виду:

$$i_k \rightarrow \underline{I}_{m_k}, \quad \frac{d i_k}{d t} \rightarrow \left(\frac{d \underline{I}_{m_k}}{d t} + jk\omega \underline{I}_{m_k} \right), \dots,$$

неважко помітити [2], що в їх основі лежить *біном Ньютона*

$$\begin{aligned} \frac{d^r i_k}{d t^r} &\rightarrow \left(j\omega + \frac{d}{d t} \right)^r \cdot \underline{I}_{m_k} = \\ &= \sum_{p=0}^r \left(C_r^p \cdot (j\omega)^p \cdot \frac{d^{r-p} \underline{I}_{m_k}}{d t^{r-p}} \right) = \sum_{p=0}^r \left(\frac{r!}{p!(r-p)!} \cdot (j\omega)^p \cdot \frac{d^{r-p} \underline{I}_{m_k}}{d t^{r-p}} \right) \end{aligned}$$

з біноміальними коефіцієнтами $C_r^p = \frac{r!}{p!(r-p)!}$, на підставі якого можна записати:

$$\begin{aligned} \sum_{r=0}^n a_{k_r} \frac{d^r i_k}{d t^r} &= \mathbf{Im} \left\{ \sum_{r=0}^n \left[a_{k_r} \cdot \sum_{p=0}^r \left(\frac{r!}{p!(r-p)!} \cdot (jk\omega)^p \cdot \frac{d^{r-p} \underline{I}_{m_k}}{d t^{r-p}} \right) \right] \cdot e^{jk\omega t} \right\} = \\ &= \mathbf{Im} \left\{ \sum_{r=0}^n \left[\sum_{p=0}^{n-r} \left(\frac{(r+p)!}{r! p!} \cdot (jk\omega)^p \cdot a_{k_{r+p}} \right) \cdot \frac{d^r \underline{I}_{m_k}}{d t^r} \right] \cdot e^{jk\omega t} \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Відтак відповідно до співвідношень (1) - (3) для коефіцієнтів рівнянь (1) і (2) отримуємо закон

$$W: \{a_{k_0}, a_{k_1}, \dots, a_{k_n}; b_{k_0}, b_{k_1}, \dots, b_{k_w}\} \rightarrow \{\underline{A}_{k_0}, \underline{A}_{k_1}, \dots, \underline{A}_{k_n}; \underline{B}_k\}$$

їх відображення з множини, визначеної над полем дійсних чисел \mathbb{R} , в множини комплекснозначних чисел \mathbb{C} [2]:

$$\underline{A}_{k_r} = \sum_{p=0}^{n-r} \left[\frac{(r+p)!}{r! p!} \cdot (jk\omega)^p \cdot a_{k_{r+p}} \right]; \quad (4)$$

$$\underline{B}_k = \sum_{s=0}^w \left[(jk\omega)^s \cdot b_{k_s} \right]. \quad (5)$$

Закон зворотного відображення

$$W^{-1}: \{\underline{A}_{k_0}, \underline{A}_{k_1}, \dots, \underline{A}_{k_n}; \underline{B}_k\} \rightarrow \{a_{k_0}, a_{k_1}, \dots, a_{k_n}; b_{k_0}, b_{k_1}, \dots, b_{k_w}\}$$

для коефіцієнтів $\{a_{k_r}\}$ та $\{\underline{A}_{k_r}\}$ можна отримати за допомогою прямого закону на підставі формули (4), яка дозволяє скласти *систему лінійних алгебраїчних рівнянь* в комплексній формі відносно невідомих коефіцієнтів $\{a_{k_r}\}$ рівняння (1), де вільними членами слугуватимуть комплексні коефіцієнти $\{\underline{A}_{k_r}\}$ рівняння (2).

Стосовно коефіцієнтів $\{b_{k_s}\}$ та \underline{B}_k , то зворотний закон відображення внаслідок наявної невизначеності їх зворотного відображення є виродженим.

Наприкінці варто додати, що за схожих умов отриманий у вигляді співвідношень (4) і (5) закон W відображення коефіцієнтів узагальненої задачі Коші над полями дійсних та комплексних чисел залишатиметься чинним і для динамічних систем будь-якої іншої фізичної природи.

Висновки

В роботі розкрито математичний закон відображення визначених над полями дійсних та комплексних чисел коефіцієнтів узагальноної фундаментальної задачі Коші, сформульованої для фізичних і технічних динамічних систем з континуальною формою руху. Отриманий результат роботи виявив себе як базисний елемент в розробці нових методів розрахунку перехідних процесів в лінійних динамічних системах довільної фізичної природи, зокрема електротехнічного походження, які задано в ермітовому просторі над полем комплексних чисел.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рютенберг Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах / Р. Рютенберг. — М. : Изд. иностр. литер., 1955. — 716 с.
2. Gardner M. F. Transients in linear systems / M. F. Gardner, J. L. Barnes. — New York: John Wiley & Sons, Inc., 1942. — 552 p.
3. Ведміцький Ю. Г. Біноміальні перетворення в формуванні узагальноної задачі Коші / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — №3(120). — Вінниця. — 2015. — С. 91-95.
4. Теоретичні основи електротехніки. Методи розрахунку нелінійних електричних і магнітних кіл в прикладах та задачах : навчальний посібник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. — 262 с. — (Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, лист №1/11-16647 від 30.12.2016 р.).
5. Теоретичні основи електротехніки. Задачі та приклади розрахунку лінійних електричних кіл : навчальний посібник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук та ін. — 2-ге видання, Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. — 346 с. — (Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, лист №1/11-20788 від 31.12.2013 р.).
6. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола : підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив. — Вінниця: ВНТУ, 2011. — 530 с. — (Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, лист №1/11-10710 від 23.11.2010 р.).
7. Ведміцький Ю. Г. Символьно-класичний метод аналізу перехідних процесів в електричних колах / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2014. — Випуск 2. — С. 42 – 48.
8. Ведміцький Ю. Г. Перехідні комплексні схеми, закони Кірхгофа та компонентні співвідношення в комплексно-часовій формі відображення / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — 2015. — №1. — Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua/artice/view/3974>.
9. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький. — №2(58). — 2017. — С. 29-36.
10. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло і фізичне явище гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2016. — Випуск 4. — С. 207-213.
11. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналоги неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2010. — Випуск 2. — С. 63-69.
12. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 196 с.

Юрій Григорович Ведміцький — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, wjg@ukr.net

Yurii G. Vedmitskyi — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, wjg@ukr.net

АВТОМАТИЗАЦІЯ МОБІЛЬНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано принцип функціонування системи керування дросельною заслінкою двигуна внутрішнього згорання енергетичної установки з врахуванням особливостей експлуатації та різкозмінних навантажень. Здійснено практичну реалізацію проекту та сформульовано шляхи його удосконалення.

Ключові слова: генератор, система керування, ПІД-регулятор, мікроконтролер, Arduino, зворотній зв'язок, швидкість обертання.

Abstract

The principle of functioning of the throttle control system of the internal combustion engine by the power plant with the consideration of peculiarities of operation and abrupt changes is proposed. The practical implementation of the project was carried out and the ways of improving the project were formulated.

Keywords: generator, control system, PID controller, microcontroller, Arduino, feedback, speed of rotation.

Вступ

Часто виникає необхідність в мобільних енергоустановках, які на деякий період здатні забезпечувати тепло- та електропостачання об'єктів автономно, без під'єднання до централізованих енергетичних мереж [1]. Зокрема такі пересувні установки необхідні для створення зручностей в об'єктах інфраструктури де немає можливостей підведення енергоносіїв, або для використання в якості резерву при виникненні аварій з припиненням енергопостачанням. Важливо щоб енергоустановка працювала надійно та економічно з максимальною ефективністю, а це неможливо без автоматизації процесів керування установкою в залежності від дії збурюючих факторів. [2].

Метою роботи є поліпшення процесу керування мобільною енергетичною установкою, що забезпечує кращі експлуатаційні показники та розширює можливості керування.

Результати дослідження

Об'єкт автоматизації представляє собою двигун внутрішнього згорання, який через ремінну передачу приводить в рух синхронний генератор потужністю 4 кВт. Постійна напруга генератора заряджає акумуляторні батареї, підключені до інвертора який перетворює постійну напругу в змінну однофазну 220 В. Також наявний додатковий генератор 400 Вт для кіл освітлення та система відбору надлишкового тепла двигуна через теплообмінник. До системи автоматизації пред'являється ряд вимог: забезпечення сталої напруги генератора при зміні швидкості обертання, узгодження потужності споживачів та приводного двигуна, забезпечення роботи в пусковому режимі, тепловий захист при порушенні відбору тепла, обмеження максимальної потужності, підтримання стійкої роботи при різких змінах навантаження, інформування оператора про стан основних параметрів та можливість налаштування уставок. Структурна схема системи автоматизації зображена на рис. 1

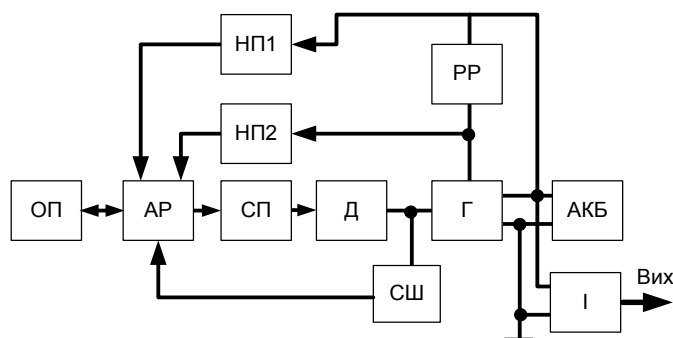


Рис. 1. Структурна схема системи автоматизації енергоустановки

На схемі ОП – операторська панель; АР – автоматичний регулятор; НП1 та НП2 – перший та другий нормований перетворювач; СП – сервопривод; Д – двигун; Г – генератор; СШ – сенсор швидкості; РР – реле-регулятор; АКБ – акумуляторна батарея; І – інвертор.

Підтримання вихідної напруги на рівні, що забезпечує заряджання акумуляторної батареї покладено на штатний імпульсний реле-регулятор, керуюча дія якого змінює струм збудження генератора. В якості критерію узгодження потужності споживачів та приводного двигуна обрано коефіцієнт заповнення імпульсної напруги збудження, який є пропорційний струму збудження, і в певному наближенні коефіцієнту використання потужності генератора. Керуюча дія регулятора потужності, в якості якого використано апаратну платформу Arduino, діє на сервопривод, що повертає заслінку карбюратора двигуна, змінюючи кількість газу, який подається до впускного колектора, а як наслідок змінюється потужність та швидкість обертання. Стійкість роботи системи керування забезпечується налаштуванням коефіцієнтів ПІД-регулятора із значною інтегральною складовою та обмеженням потужності енергоустановки коли швидкість обертання двигуна перевищує порогове значення. Також програма контролера передбачає робота в пусковому режимі, тепловий захист при порушенні відбору тепла, інформування оператора про стан основних параметрів та можливість налаштування уставок.

Висновки

Отже розроблено систему автоматизації мобільної енергетичної установки та запропоновано метод визначення коефіцієнта використання потужності генератора який виступає в якості регульованого параметра для керування дросельною заслінкою приводного двигуна внутрішнього згорання. Такий підхід дозволяє значно знизити витрати пального в порівнянні з використанням відцентрового регулятора. Здійснено практичну реалізацію проекту та сформульовано шляхи його удосконалення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Устройства управления генераторными установками [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://retrofit.com.ua/products/genset-control.html>
2. Как выбрать автоматику для генератора [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://220v.com.ua/articles/10.html>

Дмитро Петрович Проценко — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Dmytro P. Protsenko — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electromechanical systems automation in in industry and transport department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано визначити фактичне напрацювання приводного двигуна з врахуванням експлуатаційного коефіцієнту, що дозволяє враховувати погіршення умов експлуатації привода.

Ключові слова: діагностування, електропривод, електродвигун.

Abstract

It is suggested to determine the actual drive engine resource, taking into account the operating coefficient, which allows to consider the deterioration of the drive operating conditions.

Keywords: diagnostics, electric drive, electric motor.

Вступ

До переліку основних напрямків розвитку сучасного електропривода (ЕП) відносяться: все більш широке використання ЕП з асинхронними двигунами; перехід від нерегульованого ЕП до регульованого, побудованого на основі сучасних напівпровідникових перетворювачів з мікропроцесорним керуванням [1].

ЕП з асинхронними двигунами, у порівнянні з ЕП з двигунами постійного струму, є більш надійними, однак значна частина їх відмов все ще пов'язана саме з відмовами приводних двигунів. Так, згідно [2] щорічно пошкоджується 20-25% від загальної кількості установлених асинхронних двигунів. В окремих галузях промисловості цей показник може досягати 50% [3].

Незважаючи на використання сучасної перетворювальної техніки в ЕП, для них, як і раніше, актуальним залишається питання забезпечення надійної та безвідмовної роботи. Таким чином, метою роботи є підвищення надійності функціонування ЕП шляхом діагностування їх приводних двигунів.

Результати дослідження

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором зазвичай розраховані на 15...20 років експлуатації без капітального ремонту за умови їх правильної експлуатації. Під правильною експлуатацією розуміється робота відповідно до номінальних параметрів, зазначеними в паспортних даних електродвигуна. Однак у реальних умовах має місце значне відхилення від номінальних режимів експлуатації. Це, в першу чергу, низька якість напруги живлення й порушення правил технічної експлуатації: технологічні перевантаження, несприятливі умови навколишнього середовища (підвищені вологість, температура), порушення охолодження тощо [3].

Таким чином фактичне напрацювання на відмову T_f приводного двигуна відрізнятиметься від паспортного T_n і наближено може бути розраховано так:

$$T_f = T_n \cdot k, \quad (1)$$

де k – експлуатаційний коефіцієнт [4], який враховує вплив декількох вагових коефіцієнтів (k_1, k_2, \dots, k_n), що відображають реальні умови експлуатації:

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n. \quad (2)$$

Особливу увагу слід звернути на якість напруги живлення приводних двигунів, які працюють в складі частотно-регульованого електропривода.

Як відомо, найбільш поширеною є структура ПЧ з подвійним перетворенням енергії та автоном-

ним інвертором напруги (АІН) з формуванням вихідної напруги перетворювача шляхом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) (рис. 1, а). Через особливості конструкції такого ПЧ його вихідна напруга і струм мають спотворену, несинусоїдальну форму з великою кількістю гармонічних складових і пульсацій (рис. 1, б), що неодмінно призводить до появи таких негативних наслідків як тепловий і електричний пробій ізоляції обмоток двигуна, збільшення швидкості старіння ізоляції тощо.

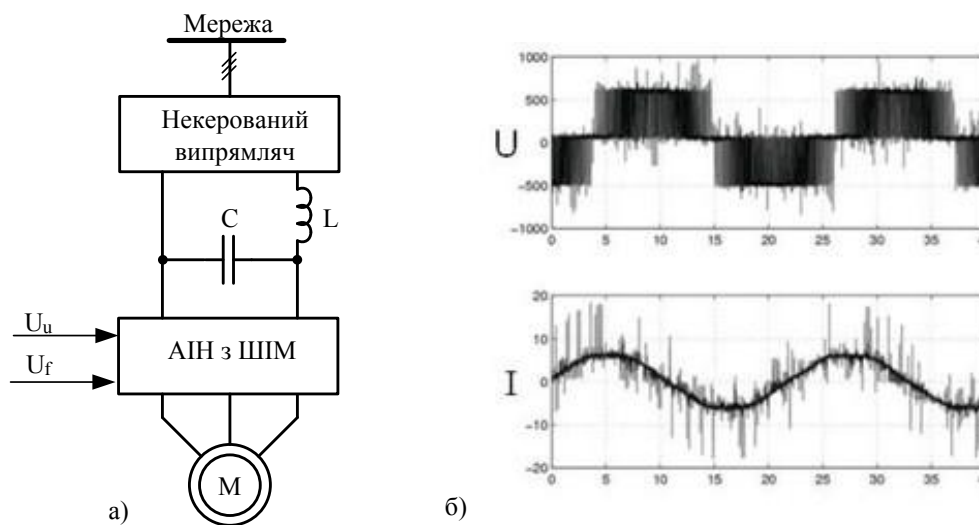


Рис. 1. Типова структура ПЧ з АІН з ШІМ (а), осцилограми напруг та струмів на клеммах приводного двигуна (б)

Висновки

Встановлено, що значна частина відмов ЕП обумовлена саме відмовами приводних двигунів. Запропоновано визначати фактичне напруження приводного двигуна з врахуванням експлуатаційного коефіцієнту, що дозволяє враховувати погіршення умов експлуатації привода.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Москаленко В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
2. Полковниченко Д. В. Послеремонтная оценка технического состояния короткозамкнутых асинхронных электродвигателей / Д. В. Полковниченко // Электротехника і електромеханіка. – 2005. – № 1. – С. 59–62.
3. Закладний О. М. Методика прискореного діагностування електродвигунів / О. М. Закладний, О. О. Закладний // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2007. – №2. – С. 47–53.
4. Левицький С. М. Система діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти / С. М. Левицький, Д. П. Проценко, А. А. Бартецький // Вісник Харківського НТУ "ХПІ". – 2015. – №12(1121). – С. 320–323.

Бабій Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Бартецький Андрій Анатолійович – канд. техн. наук, асистент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Babiy Sergey N. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Bartheckiy Andriy A. – Cand. Sc. (Eng), Assistant of the Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ БАГАТОРІВНЕВИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено реалізацію мікропроцесорного пристрою системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, що дозволяє враховувати параметри сонячного модуля та мережі та підтримує функцію вибору режиму роботи системи керування.

Ключові слова: сонячний модуль, система керування, мікроконтролер, мережевий багаторівневий інвертор напруги.

Abstract

The microprocessor device of the control system of the grid-tied multilevel voltage inverter was implement. That allows take into account the parameters of the solar module and the grid and supports the function of selecting the operating mode of the control system.

Keywords: solar module, control system, microcontroller, grid-tied multilevel voltage inverter.

Вступ

В теперішній час для досягнення необхідних параметрів якості електроенергії все частіше застосовуються мережеві багаторівневі інвертори напруги [1]. Для ефективного керування таким інвертором виникає необхідність узгодження його режимів роботи з мережею для відслідковування точки відбору максимальної потужності сонячним модулем, де поздовжня та поперечна складові струму багаторівневого інвертора будуть забезпечувати напругу та потужність, яка зі сторони входу інвертора зніматиметься із сонячного модуля, а зі сторони виходу буде віддаватись в мережу [2].

Результати дослідження

Запропоновано структурну схему мікропроцесорного пристрою системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги [3] (рис. 1). На рис. 1: 1.1-1.3 – датчики для вимірювання струмів в трифазній мережі; 2.1-2.3 – датчики для вимірювання напруг в трифазній мережі; 3 – датчик рівня освітленості; 4 – датчик струму сонячного модуля; 5 – датчик напруги сонячного модуля; 6 – датчик температури; 7 – датчик магнітного потоку трансформатора; 8 – зовнішній аналого-цифровий перетворювач; 9 – цифровий сигнальний процесор; 10 – блок вибору режиму роботи мікропроцесорного пристрою; 11 – перетворювач сигналу.

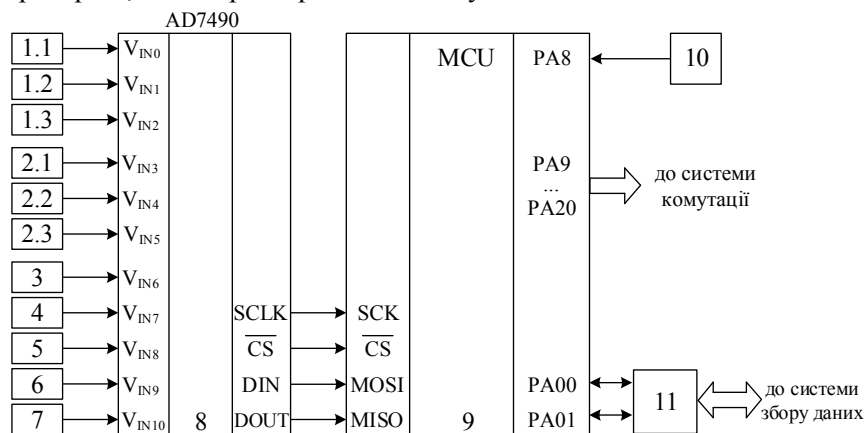


Рис. 1. Структурна схема мікропроцесорного пристрою системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги

Для реалізації запропонованої системи керування мережевим багаторівневим інвертором сонячного модуля використаємо, наприклад, 32-розрядний цифровий сигнальний процесор AT32UC3L032, який для вирішення поставленої задачі має в своєму складі 48 програмованих каналів портів вводу/виводу та іншу периферію. Процесор має оптимізовану структуру команд. Для перетворення вихідних сигналів з усіх датчиків застосуємо високошвидкісний аналого-цифровий перетворювач AD7490.

Блок вибору режиму роботи 10 дозволяє вибрати один з п'ятих можливих режимів роботи мікропроцесорного пристрою, а саме:

- 1) без зворотніх зв'язків від сонячного модуля та мережі;
- 2) з врахуванням параметрів сонячного модуля (напруги, струму, рівня освітленості);
- 3) з врахуванням параметрів мережі;
- 4) з врахуванням параметрів сонячного модуля та мережі;
- 5) з врахуванням обмеження струму намагнічування трансформатора.

Перетворювач сигналу 11 призначений для перетворення сигналу для передачі даних з мікропроцесорного пристрою до персонального комп'ютера диспетчерського пункту керування.

Висновки

Отже розроблено структурну схему мікропроцесорного пристрою системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги. Даний пристрій дозволяє розширити функціональні можливості існуючих систем керування за рахунок можливості вибору режимів роботи та врахування параметрів сонячного модуля та мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Corzine K. A. Operation and design of multilevel inverters. – University of Missouri: Rolla, 2005. – 79.
2. В.С. Бомбик, “Аналітична модель МРРТ-функції системи керування інвертором напруги сонячної електростанції”, Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки), №2, с. 119-127, 2016.
3. В. С. Бомбик, «Мікропроцесорний пристрій системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги з урахуванням обмеження струму намагнічування трансформатора», Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 5, с. 108-114, 2017.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено методику виконання лабораторних робіт на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання. Стенд передбачає можливість роботи системи водопостачання в різних режимах, а саме роботу насосної станції на водонапірну вежу, роботу насосної станції на споживача з протитиском, роботу насосної станції разом з підвищувальною станцією, роботу насосної станції в циркуляційному режимі.

Ключові слова: лабораторний стенд, система водопостачання, режим роботи, протитиск, електропривод, регулювання продуктивності, підвищувальна станція, водонапірна вежа, циркуляційний режим роботи.

Abstract

The method of laboratory works on a laboratory stand for the research of water supply systems is developed. The stand allows for the operation of the water supply system in different modes, namely the work of the pumping station on the water tower, the work of the pumping station on the consumer with the counterweight, the operation of the pumping station together with the lifting station, the operation of the pumping station in the circulating mode.

Keywords: laboratory stand, water supply system, operating mode, counter pressure, electric drive, productivity control, elevating station, water tower, circulating mode of operation.

Вступ

В лабораторіях кафедри Електромеханічні системи автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету розроблено лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання. Проте, невирішеним залишається питання послідовності дій під час виконання лабораторних робіт на даному стенді. Тому метою роботи є розробка методики виконання лабораторних робіт з дослідженням систем водопостачання.

Результати дослідження

Розроблено лабораторний стенд для дослідження систем водопостачання, що складається з трьох відцентрових насосів, електропривода яких керуються чотирма способами [1]: тиристорним регулятором напруги, трифазним перетворювачем частоти, однофазним перетворювачем частоти і лабораторним автотрансформатором. Також кожен насос додатково можна регулювати шляхом перемикання обмоток приводного двигуна. Передбачається індикація роботи кожного електропривода та режимів роботи системи водопостачання.

Розглянемо чотири режими системи водопостачання [2]. Перший режим полягає у роботі насосної станції (НС) на водонапірну вежу. Реалізується даний режим відкриттям механізмів 1,3,4,5,6,7,8,9,11(рис. 1). Після цього вмикаються двигуни насосів. Змінюючи продуктивність насосної станції можна отримати різну тривалість наповнення водонапірної вежі. Останнє дозволяє оцінити об'єм перекачаної води, продуктивність станції, її потужність, спожиту електроенергію.

При другому режимі роботи системи водопостачання, який полягає у роботі НС на споживача з протитиском, відкриваються механізми 1,3,4,5,6,7,8,9,10,14 (рис. 1). Виконується робота так само як і в попередньому випадку. В подальшому планується облаштувати лабораторний стенд розширювальним баком, який дозволить отримати більше значення протитиску, ніж існуюча водонапірна вежа.

У третьому режимі роботи системи водопостачання передбачається робота НС з підвищувальною станцією. Розпочинається робота відкриттям механізмів 14,2,3,4,5,6,7,8,9,12 (рис. 1). Алгоритм виконання аналогічний до двох попередніх, тільки все відбуватиметься швидше при більшому значенні тиску. Останній режим передбачає роботу НС в циркуляційному режимі. Для цього відкриваються механізми 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 (рис.1.).

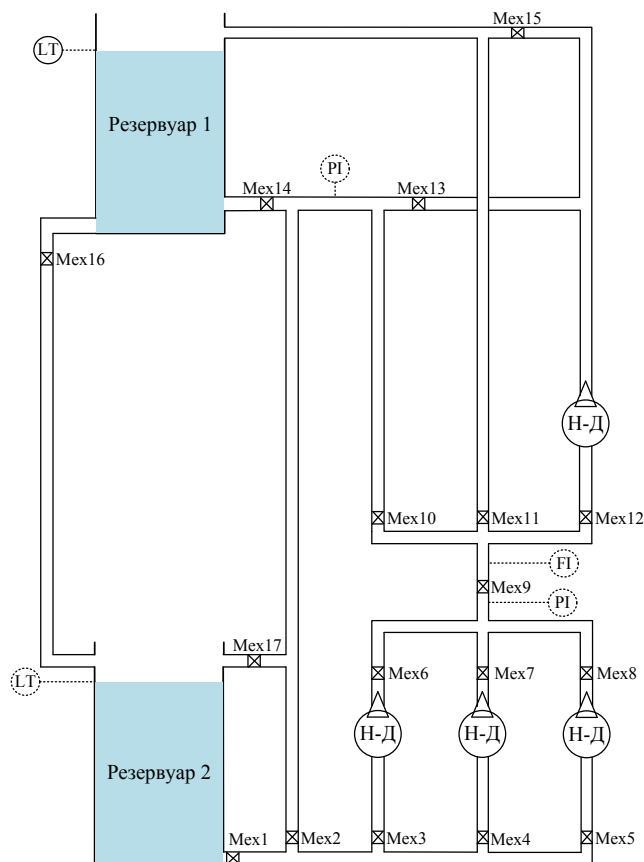


Рис. 1. Структурно-функціональна схема роботи насосної станції

Висновки

Отже, запропонована методика виконання лабораторних робіт дозволить вивчити основні різновиди систем водопостачання, з'ясувати особливості кожної з них, зробити висновки про ефективність роботи станції, залежність кількості спожитої електроенергії від тиску та продуктивності станції, спробувати різні методи регулювання продуктивності станції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ProElectro.info. Статті. Кілька способів керування однофазними асинхронним двигуном двигунами Режим доступу: <http://www.proelectro.info/ru/content/detail/4473>.
2. Інженерні мережі та комунікації. Частина I. Водопостачання. Лекція 3. Класифікація систем водопостачання Режим доступу: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/396/KLV.pdf

Горбань Андрій Сергійович – студент групи ІЕМ-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andriy96gorban@gmail.com;

Мошнорізі Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

Науковий керівник: **Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

Gorban Andrey Sergeevich – student group ІЕМ-14b, Faculty of Electromechanics and Electricity, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andriy96gorban@gmail.com;

Nikolay Moshnoriz – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

Supervisor: **Nikolay Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД-ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЇВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО»

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розроблено універсальний лабораторний стенд для дослідження пристроїв керування та захисту електроприводів ТОВ «Новатек-Електро» УБЗ-301, REV-303, ПЭФ-3. Стенд передбачає можливість виконання лабораторних робіт з дисциплін «Електричні апарати», «Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв», «Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів».

Ключові слова: універсальний автоматичний електронний перемикач фаз, таймер, універсальний блок захисту електродвигунів, контактор, вимикач автоматичний, Новатек-Електро.

Abstract

A universal laboratory stand was developed for the research of devices for control and protection of electric drives of Novatek-Elektro Ltd., UBZ-301, REV-303, PEF-3. The stand provides for the possibility of performing laboratory work on the disciplines "Electrical apparatuses", "Installation and adjustment of electromechanical devices", "Automated electric drive of typical production mechanisms"

Keywords: universal automatic electronic switch of phases, timer, universal block of protection of electric motors, contactor, automatic switch, Novatek-Elektro.

Вступ

На заміну старим системам керування електроприводами приходять нові, які дозволяють виконувати їхні функції при менших масогабаритних показниках. Крім того, нове обладнання володіє, як правило, більшою надійністю та розширеними функціональними можливостями [1]. Таким обладнанням є пристрої керування та захисту двигунів УБЗ-301, REV-303, ПЭФ-3 ТОВ «Новатек-Електро» [2]. На кафедрі Електромеханічні системи автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету розроблено лабораторний стенд-тренажер для дослідження названого обладнання.

Результати дослідження

Розроблено лабораторний стенд-тренажер, який дозволяє проводити монтажні роботи, налагодження та експлуатацію мікропроцесорних пристроїв релейного захисту для управління та імітації різних режимів роботи електричних двигунів (рис. 1, 2).

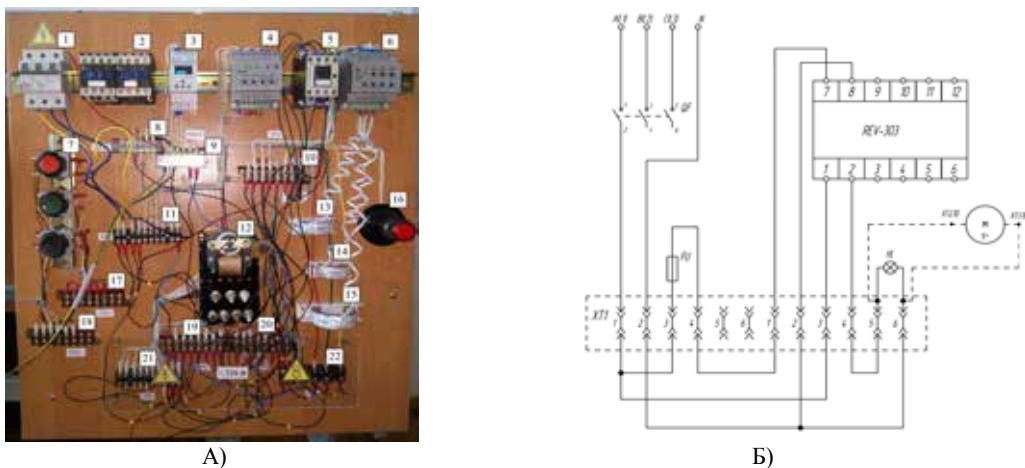
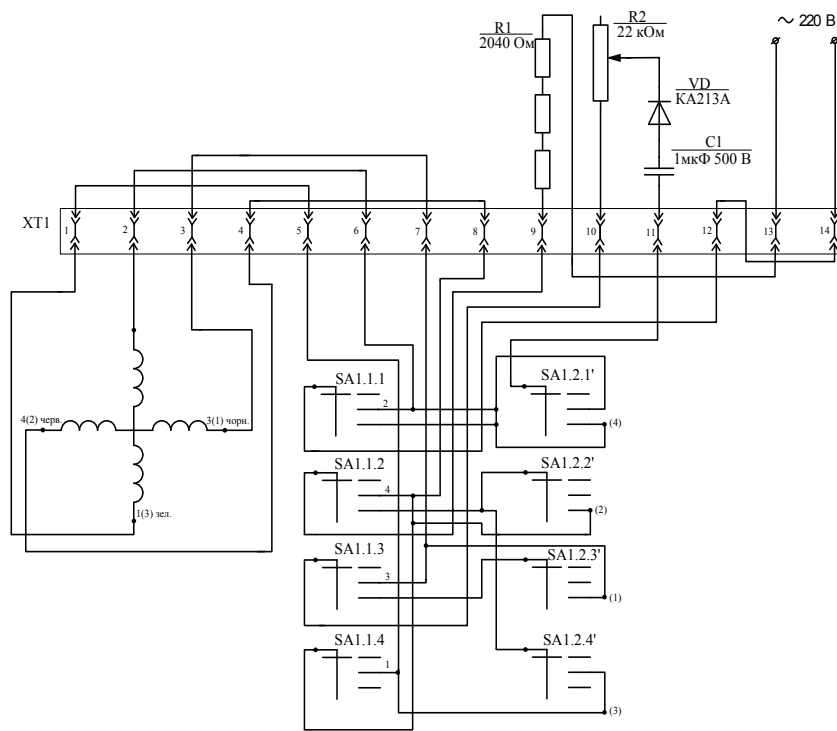


Рис. 1. А) Загальний вигляд універсального стенду; Б) Схема електрична принципова підключення таймера REV-303



А)



Б)

Рис. 2. А) Загальний вигляд стенда управління двигуном РД-09 Б) Схема електрична принципова управління реверсивним двигуном РД-09

Для виконання лабораторних робіт на стенді розроблено методичні вказівки. Інші схеми та методи їх дослідження представлені в методичних вказівках.

Висновки

Розроблений лабораторний стенд дозволяє вивчити сучасну елементну базу для управління та захисту електричних двигунів, дослідити різні системи керування електричними двигунами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мілих В. І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка / Мілих В. І., Шавьолкін О. О. – К. Каравела, 2008 – 688 с.
2. Керівництво з експлуатації, паспорт REV-303, ПЭФ-301, УБЗ-301 (10-100А) / ТОВ “НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО” – Україна, м. Одеса.

Мошнорізі Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

Казак Микола Омелянович — інженер кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Дідушок Олег Васильович — аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Науковий керівник: **Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

Nikolay Moshnoriz – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

Nikolay Kazak — Engineer of the Department of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Oleh Didushok — post-graduate student of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisor: **Nikolay Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ З ДВОМА НАСОСНИМИ АГРЕГАТАМИ ТА ПРОТИТИСКОМ В ТРУБОПРОВІДНІЙ МЕРЕЖІ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В науковій роботі шляхом комп'ютерного моделювання досліджено роботу насосного агрегату з мережею водоспоживання та двох насосних агрегатів на водопровідну мережу. Для цього розроблено модель відцентрового насоса, модель мережі, електропривода, одного насосного агрегату з водопровідною мережею та двох насосних агрегатів з мережею. В результаті дослідження дано рекомендації до побудови систем водопостачання з кількома насосами. Також у роботі досліджено питання енергоспоживання насосною станцією в різних режимах роботи. Розроблено алгоритм роботи системи керування двома насосними агрегатами та перевірено його працездатність шляхом комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: система водопостачання, ефективність роботи, спільна робота насосів, алгоритм керування, насосний агрегат.

Abstract

In the scientific work by computer modeling the work of the pump unit with the network of water consumption and two pump units on the water supply network was investigated. To do this, we developed a model of a centrifugal pump, a network model, an electric drive, one pump unit with a water supply network and two pump units with a network. As a result of the study, recommendations were given for building water supply systems with several pumps. Also, the issue of power consumption of the pump station in different operating modes is investigated. The algorithm of operation of the control system of two pump units was developed and its efficiency was checked by computer modeling.

Key words: water supply system, efficiency of work, joint work of pumps, control algorithm, pump unit.

Вступ

При роботі насоса на мережу водоспоживання виникають труднощі, які пов'язані з узгодженням роботи електропривода насоса і споживача. Ці труднощі пов'язані з наявністю протитиску в трубопроводній мережі. В будь який момент насос повинен створювати тиск, який буде більший за тиск в мережі. В протилежному випадку він буде вимикатися з роботи зворотним клапаном. При цьому двигун буде працювати без корисної роботи. Такий режим називається пуском на закриту засувку. Зрозуміло, що в такому разі ефективність роботи насоса нулева.

Ще складнішим стає завдання узгодження роботи насоса з мережею, коли паралельно з цим насосом працює інший. Задача ускладнюється тим, що тепер узгоджувати треба не лише тиск насоса та мережі, а і тиски паралельно працюючих насосів.

При роботі двох насосів на мережу можна керувати ними однаково. Для цього зручно використовувати частотний перетворювач, який живитиме одночасно обидва насоси. В такому разі перетворювач частоти повинен бути розрахований на подвійну потужність, що суттєво здорожчує електропривод. Існують рішення, коли регулюється швидкість одного насоса, а інший вмикається чи вимикається. Саме такі рішення є найбільш економічно доцільними. Обмежує використання даних рішень лише складність керування регульованим агрегатом і вибір моменту увімкнення чи вимкнення нерегульованого. При цьому, обидва насосні агрегати повинні працювати ефективно при забезпеченні потреб споживача у воді.

Робота виконувалася відповідно до одного з напрямів роботи кафедри Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету. Цей напрям стосується діагностування електротехнічного обладнання, а саме систем водопостачання та насосних станцій.

Результати дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності системи водопостачання за рахунок автоматизації роботи системи керування насосною станцією, що складається з двох насосних агрегатів.

Об'єкт дослідження – процес керування насосними агрегатами станції водопостачання.

Предмет дослідження – система керування насосними агрегатами станції водопостачання.

Основні наукові та практичні результати, їх значення.

Розроблено модель роботи двох насосних агрегатів на водопровідну мережу, яка на відміну від відомих враховує наявність протитиску в мережі та вплив одного насоса на інший, що дозволить покращити надійність роботи системи за рахунок підвищення достовірності опису реальних фізичних процесів в ній.

Запропоновано підхід до керування електроприводами насосних агрегатів станції водопостачання, який, на відміну від відомих, дозволяє забезпечити узгоджену роботу станції з водопровідною мережею, що дозволить підвищити надійність роботи системи водопостачання за рахунок відсутності в мережі надлишкового тиску та його пульсацій.

Розроблено алгоритм роботи системи керування електроприводами двох насосних агрегатів станції водопостачання, який дозволяє автоматично запускати резервний насос при невідповідності задаючої дії значенню тиску в мережі.

Розроблено рекомендації до побудови системи керування двома насосними агрегатами на мережу водопостачання.

Висновки

Узгоджена робота двох насосів можлива при однаковій швидкості обертання. Якщо один з насосів працює з постійними обертами, а швидкість іншого регулюється, що діапазон такого регулювання дуже вузький. Для випадку, який розглядається в науковій роботі діапазон регулювання продуктивності при роботі одного насоса становив 1/0,66, а при роботі двох – 1/0,92. Діапазон регулювання тиску при роботі одного насоса становив 1/0,4, а при роботі двох – 1/0,85

Отримано, що при зменшенні швидкості двигуна на 8% від номінальної продуктивність також зменшується на 8-10% від номінальної, а тиск – на 15 % від номінального.

Експериментальним шляхом встановлено, що робота електропривода насоса на водопровідну мережу, яка розглядається, можлива на частотах напруги живлення 35-50 Гц.

Розроблений алгоритм перевірено шляхом комп'ютерного моделювання на розглянутих моделях системи водопостачання і перерегулювання продуктивності при пуску другого насоса становить 2,4%, а перерегулювання тиску – 3,2%. Отже, система працює якісно і стійко.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуховодных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 359 с.

2. Мошноріз М. М. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання. Монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 138 с.

Мазур Андрій Сергійович – студент групи ЕПА-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mazur-andrii@ukr.net;

Мошноріз Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

Науковий керівник: *Мошноріз Микола Миколайович* – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

Mazur Andrey Sergeevich – student of group EPA-17m, faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mazur-andrii@ukr.net;

Nikolay Moshnoriz – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

Supervisor: *Nikolay Moshnoriz* – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ У РОБОТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розроблено підхід до попереднього енергоаудиту будь-якої системи водопостачання. Запропоновано загальні рішення для підвищення ефективності роботи системи водопостачання засобами електричного приводу.

Ключові слова: система водопостачання, енергоаудит, ефективність роботи.

Abstract

The approach to the previous energy audit of any water supply system is developed. The general solutions for increasing the efficiency of the water supply system by means of electric drive are proposed.

Key words: water supply system, energy audit, efficiency of work.

Вступ

Питання енергоефективності поставлено в числі найважливіших у держаній програмі роботи промисловості та народного господарства України [1]. Крім того, питання стає більш актуальним у ситуації постійного зростання вартості енергоресурсів.

Для запровадження енергоефективних технологій необхідно володіти цими технологіями (енергетичний менеджмент) та знати реальний стан існуючих систем, ефективність роботи яких планується покращити (енергетичний аудит) [2]. У даній роботі пропонується розробити підхід до попереднього енергоаудиту будь-якої системи водопостачання.

Результати дослідження

Основним споживачем електричної енергії у системі водопостачання є насосна станція, тому питання підвищення ефективності енергоспоживання системи водопостачання зводиться до ефективності роботи насосної станції.

Будь яка насосна станція складається з системи насосних агрегатів, системи запірної арматури та системи трубопроводів. Режим роботи станції визначає або система насосних агрегатів, або система запірної арматури [3]. На даний час існує тенденція до відмови від впливу на режим роботи станції запірної арматури. Це пов'язано з невиправданими затратами електроенергії при дроселюванні трубопроводу, з невиправданими гідравлічними ударами в трубопровідній мережі під час спрацювання запірної арматури, з більшим зносом ущільнюючих пристроїв насоса, електродвигуна та арматури при роботі на закриту засувку тощо. Все це, в кінцевому рахунку, призводить до невиправданих затрат електричної енергії. Таким чином, режим роботи станції намагаються задавати шляхом управління її насосними агрегатами.

Існує багато підходів до регулювання продуктивності станції. Підходи до регулювання продуктивності станції, що складається лише з одного насосного агрегату, достатньо добре вивчені та випробувані. А підходи до управління кількома насосами, що працюють одночасно, вивчені не повністю. Тут виникають наступні труднощі:

- 1) в кожному конкретному випадку потрібно вирішити, якою повинна бути кількість насосів;
- 2) не зрозуміло, який спосіб регулювання буде доцільно використати для регулювання продуктивності насосного агрегату;
- 3) не зрозуміло, який спосіб регулювання буде доцільно використати для регулювання продуктивності станції;
- 4) узгодження роботи насосів та споживача.

Вирішення першого питання зводиться до відмови від групового характеру роботи насосів та перехід до роботи одного – двох насосів великої потужності. В такому випадку вдається позбутися про-

блем узгодження роботи насосів, а також зникає необхідність установки певної кількості резервних насосних агрегатів. Проте, недоліком даного підходу є велика потужність регулюючого пристрою, а також його низька ефективність при глибокому діапазоні регулювання швидкості. Таким чином, можна сформулювати рекомендації до вибору кількості насосів на насосній станції:

1) для станції невеликої потужності (до 100 кВт) доцільно встановлювати один робочий агрегат і один резервний, які можна чергувати для рівномірного вичерпання моторесурсу;

2) для станції великої потужності доцільно встановлювати до 6 робочих насосних агрегатів і 2 резервних;

3) на станціях, продуктивність яких не регулюється доцільно встановлювати один робочий і один резервний насосні агрегати.

За результатом аналізу праць, що вивчають друге питання, можна зробити висновок, що найпростішим способом регулювання продуктивності насосного агрегату є прикриття засувки на його нагнітаючому патрубку, а найефективнішим – зміна частоти обертання робочого колеса. В деяких джерелах наводиться інформація про економію до 50% електроенергії за рахунок частотного регулювання продуктивності насосного агрегату [3, 4].

За результатом аналізу наукових праць, де розглядається третє питання, можна зробити висновки, що найкращі регульовальні якості має насосна станція, яка складається з одного насосного агрегату, який живиться від перетворювача частоти. Якщо ж насосних агрегатів кілька і вони всі однакові за технічними характеристиками, то найкращі результати регулювання отримуються при роботі всіх агрегатів від одного перетворювача частоти. Труднощі виникають, коли насосні агрегати відрізняються за технічними характеристиками і встановлення одного перетворювача частоти на всі насоси виявляється недоцільним. В такому разі переходять до вирішення четвертого питання [4].

Четверте питання вирішується на користь енергоефективності шляхом встановлення регулюючого пристрою (перетворювач частоти) лише на один насосний агрегат, а всі інші працюватимуть в режимі «ввімкнено – вимкнено». Швидкістю обертання регульованого агрегату можна забезпечити достатню плавність регулювання продуктивності станції, а вмикаючи та вимикаючи нерегульовані агрегати – достатній діапазон регулювання. Для того, щоб регульований агрегат працював ефективно, ним потрібно регулювати за певним законом, який буде враховувати параметри паралельно працюючих насосів та параметри мережі водопостачання [4].

Висновки

Отже, для підвищення ефективності роботи будь-якої системи водопостачання необхідно забезпечити цілісність її трубопровідної мережі, зменшити кількість перегинів в мережі, збільшити її діаметр, зменшити довжину та підвищити ефективність роботи насосної станції. Ефективність роботи станції можна покращити шляхом запровадження електричного регулювання її продуктивності, переходу до індивідуального електропривода насосних агрегатів та запровадження ефективних алгоритмів роботи системи керування станції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Положення про Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України. Постанова Кабінету міністрів України від 26 листопада 2014 р. № 676. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/676-2014-%D0%BF#n9>.

2. Вища рада енергоаудиторів та енергоменеджерів України. Енергетичний аудит. Енергоменеджмент. Режим доступу: <http://ukrenergiaudit.org/ua/diyalnist/energoaudit.html>.

3. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздушных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 359 с.

4. Мошноріз М. М. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання. Монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 138 с.

Мошноріз Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет

Moshnoriz Nikolai Nikolaevich - candidate. Sc. Associate Professor, Department of electromechanical systems auto-tion in industry and transport, Vinnytsia National Technical University

ІМПУЛЬСНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ НА БАЗІ МІКРОСХЕМИ TL494 ІЗ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ СТРУМУ ТА НАПРУГИ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано схемні рішення по модернізації комп'ютерного блока живлення ATX-350 для використання його в якості лабораторного з можливістю безступінчастого регулювання струму та напруги.

Ключові слова: блок живлення, стабілізація, напруга, струм, регулювання.

***Abstract** The circuit decisions on modernization of the computer power supply unit ATX-350 for the use as a laboratory with the possibility of continuous control current and voltage are proposed.*

Keywords: power supply, stabilization, voltage, current, regulation.

Вступ

Аналізуючи схемотехнічні рішення щодо побудови імпульсних блоків живлення [1] можна зробити висновок, що розробка лабораторного імпульсного блока живлення потребує значних зусиль та затрат часу по проектуванню та розрахункам його складових елементів. Для спрощення робіт з побудови імпульсних блоків живлення можна використати підхід [2] при якому за основу беруть комп'ютерний ATX блок живлення, а необхідні характеристики досягаються за допомогою незначних змін в схемі керування інвертором [3].

Метою роботи є розроблення універсальних підходів для побудови лабораторних імпульсних джерел струму та напруги на базі комп'ютерних блоків живлення ATX стандарту.

Результати дослідження

Будь-який блок живлення персонального комп'ютера представляє собою джерело напруги постійного струму в якому напруга на виході стабілізується незалежно від навантаження. Конструктивно це імпульсний блок живлення основними елементами якого є: мережевий фільтр та випрямляч, інвертор, імпульсний трансформатор, джерело додаткового живлення, низьковольтний випрямляч, ШІМ контролер. До комп'ютерних блоків живлення пред'являються ряд вимог: надійність, довговічність, захист від короткого замикання та перевантаження, безпека у використанні, мінімальні електромагнітні завади. Наведені вимоги вже враховані в схемах комп'ютерних блоків живлення, а для надання додаткового функціоналу (регулювання та стабілізація струму і напруги, додаткові захисти, збільшення вихідної напруги і т. д.) необхідно ввести зміни тільки в схему керування, що набагато спрощує реалізацію. В якості базового використано блок живлення ATX-350 з поширеним ШІМ контролером TL494. Для можливості регулювання напруги на виході в коло зворотного зв'язку по напрузі введено подільник напруги із змінним резистором. Використання другого обмежувача помилки дозволяє стабілізувати струм. Зворотний зв'язок стабілізатора струму формується на виході шунта. Задане значення для стабілізаторів струму та напруги формується на виходах подільників, що живляться від стабілізованого внутрішнього джерела живлення ШІМ контролера TL494.

Блок живлення також обладнаний пристроями вимірювання струму та напруги, індикаторами режиму роботи, вихідними клемми та провідниками.

Всі додаткові зміни відображені в вигляді електричних та монтажних схем, що дозволяє

застосувати вироблені універсальні підходи для різноманітних блоків живлення.

Висновки

Отже в роботі запропоновано схемні рішення по модернізації комп'ютерного блока живлення АТХ-350 для використання його в якості лабораторного з можливістю регулювання струму та напруги. Розроблені універсальні підходи з модернізації схеми керування були використані для практичної реалізації лабораторного блока живлення характеристики якого відповідають заданим вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Переделка компьютерного АТХ блока питания в регулируемую. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <http://dr-spear.com/page.php?id=176>.
2. Митюрєв С. Импульсный блок питания на базе БП ПК / С. Митюрєв. — Радио, 2004, № 10, с. 32— 34.
3. Лабораторный блок питания своими руками [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <http://diodnik.com/laboratornyj-blok-pitaniya-svoimi-rukami-13-30v-0-5a>

Майданський Олександр Дмитрович — студент групи 5Е-16б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: maydanskiyod@gmail.com

Проценко Дмитро Петрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри Електромеханічних систем та автоматизації в промисловості Вінницького національного технічного університету.

Maydanskiy Olexander D.— Department of Electric Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : maydanskiyod@gmail.com

Protsenko Dmitry P.— Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Electromechanical Automation Systems in Industry, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано новий спосіб оцінки економічної ефективності впровадження регульованого електропривода. Враховується споживання електроенергії електроприводом в стаціонарному режимі і режимі розгону та сповільнення.

Ключові слова: електропривод, енергоефективність, амортизаційні витрати, приведені витрати, капітальні вкладення.

Abstract

A new method for assessing the economic efficiency of the introduction of regulated electric drives is proposed. Electricity consumption by electric drive is taken into account in the stationary mode and in the mode of acceleration and deceleration.

Keywords: electric drive, energy efficiency, depreciation costs, costs, capital investments.

Вступ

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) виконується з метою вибору оптимального варіанту системи електропривода із ряду можливих, які придатні для привода даної робочої машини. Обґрунтування згідно з технічним критерієм передбачає виконання порівняльного аналізу технічних характеристик кожної із систем електропривода, які можуть бути використані для привода робочої машини [1]. Остаточне рішення про вибір того чи іншого варіанту електропривода виконується на основі економічного обґрунтування.

Метою роботи є вибір найкращого варіанту розрахунку ТЕО та розробка програмного середовища для його розрахунку, що дозволить підвищити достовірність проведених розрахунків на стадії вибору варіанту електропривода в курсовому та дипломному проектуваннях.

Результати дослідження

ТЕО вибору системи електропривода виконується за методом приведених затрат. Суть методу полягає щоб обрати найкращу систему електропривода для якої приведені затрати будуть найменші. Приведені витрати відображають собівартість і капіталовкладення впровадженої системи. Важливими показниками для розрахунку ТЕО є: амортизаційні витрати, затрати на ремонт, затрати на обслуговування, затрати на електроенергію або експлуатаційні затрати.

Для дослідження ТЕО було обрано три методи розрахунку. Перший метод розглядається в дисципліні «Системи автоматизованого проектування (САПР) електромеханічних систем автоматизації та електроприводів». Другий метод вивчався в дисципліні «Теорія електропривода». Третій метод використовувався під час економічного обґрунтування проектних рішень дисципліни «Економіка». Всі ці дисципліни читаються студентам напряму 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка Вінницького національного технічного університету. Для розрахунку і порівняння обрано три системи електропривода: перетворювач частоти з асинхронним двигуном (ПЧ АД), тиристорний перетворювач з двигуном постійного струму (ТП ДПС) та релейно-контактна система з двигуном постійного струму (РКС ДПС).

На відміну від другого і третього методів, які використовуються в дипломному проектуванні, у першому методі враховується повне споживання електричної енергії електроприводом, а не лише втрати енергії. Причому, зазвичай, ці втрати приймаються постійними, а, насправді, вони залежать від режиму роботи електропривода. Тому прийнято рішення про розробку нового методу, який буде

враховувати повне споживання електричної енергії електроприводом.

Порівняльна характеристика проведених розрахунків для запропонованих систем електропривода зображена на діаграмі на рис. 1.

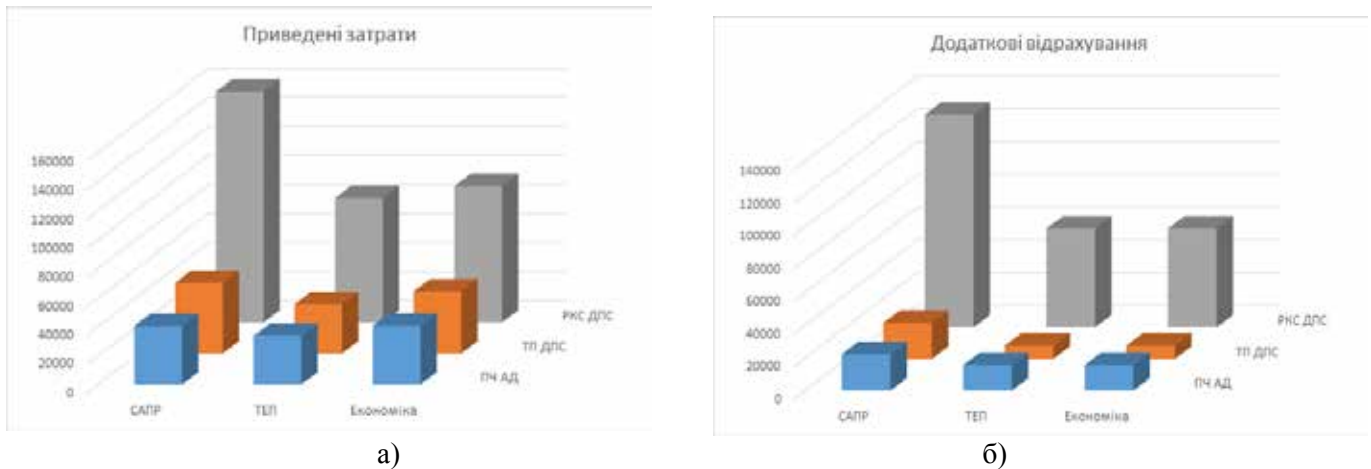


Рис. 1. Діаграми експлуатаційних (а) та приведених затрат (б)

З порівняльної характеристики експлуатаційних та приведених затрат можна зробити висновок про те, що саме експлуатаційні затрати визначають характер зміни приведених затрат. Тому при виконанні економічного обґрунтування експлуатаційні затрати повинні визначатися з високою достовірністю. Для цього необхідно враховувати зміну ККД системи в різних режимах роботи, простої обладнання, збільшене споживання енергії в перехідних режимах роботи тощо. Запропонований метод дозволяє врахувати ці особливості.

Висновки

Оскільки техніко-економічне обґрунтування є важливою складовою при проектуванні нової системи електропривода, то його потрібно виконувати з мінімальною долею припущень і високим рівнем достовірності. Для цього запропоновано метод виконання ТЕО, за яким враховується режим роботи електропривода, тривалість його розгонів чи сповільнень, робота на пониженій швидкості обертання тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Драчев Г.И. Теория электропривода : учебное пособие к курсовому проектированию для студентов заочного обучения спец. 180400 / Драчев Г.И. - [2-е изд., стер], – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
2. Кузнецов В.Б. Выбор электродвигателей к производственным механизмам / Кузнецов В.Б. – Мн.: Беларусь, 1984. – 80 с.

Марченко Володимир Леонідович — студент групи ЕПА-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: v.marchenko95@gmail.com

Мошнорізі Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет;

Науковий керівник: **Мошнорізі Микола Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, м. Вінниця.

Marchenko Volodymyr L. — Department of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : v.marchenko95@gmail.com

Nikolay Moshnoriz – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University;

Supervisor: **Nikolay Moshnoriz** – PhD, Sc. Sciences, Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University.

ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА ПАРАМЕТРАМИ ЙОГО ЗОВНІШНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показано, що одним зі способів визначення технічного стану електричного двигуна є аналіз спектру його зовнішнього магнітного поля. В якості діагностичного критерію для ідентифікації несправностей використовується спектр гармонік напруженості магнітних полів.

Ключові слова: діагностування, електричний двигун, зовнішнє магнітне поле, спектр гармонік магнітного поля, напруженість магнітного поля, перетворення Фур'є.

Abstract

It is shown that one of the methods for determining the technical state of an electric motor is to analyze the spectrum of its in-situ magnetic field. As a diagnostic criterion for the identification of faults, a spectrum of harmonics of magnetic field strengths is used.

Keywords: diagnostics, electric motor, external magnetic field, spectrum of harmonics of a magnetic field, magnetic field strength, Fourier transform.

Точність визначення технічного стану електричного двигуна має важливе значення для планування заходів щодо подальшої заміни чи ремонту його елементів, усунення можливих причин подальших відмов, що збільшує ймовірність безвідмовної роботи двигуна [1, 2].

Найбільшого використання набули методи, що передбачають проведення діагностування без відключення електродвигуна, тобто в процесі його функціонування. До таких методів відноситься метод на основі аналізу параметрів зовнішнього магнітного поля електродвигуна, перевагами якого є [3]:

- можливість проведення діагностування без виведення з експлуатації;
- діагностування проводиться під навантаженням, тобто в робочому режимі;
- можливість постійного моніторингу технічного стану двигуна;
- одночасне діагностування всіх вузлів двигуна;
- порівняна простота в експлуатації;
- відносна невисока вартість.

Принцип функціонування такого методу діагностування полягає в тому, що поряд з електродвигуном розміщується електромагнітний сенсор, який дозволяє фіксувати зовнішнє магнітне поле, що утворюється навколо двигуна в процесі його роботи. Дане магнітне поле являє собою відголоски мультіплікативного поля двигуна. Вимірний сигнал з сенсора надходить до комп'ютера, на якому аналізується його спектр. Розклад сигналу на гармоніки можна здійснити за методом швидкого перетворення Фур'є [4]. Далі за отриманими даними визначається несправність, якщо така є.

Радіальну складову індукції зовнішнього магнітного поля електродвигуна, нормальну до його поверхні, можна представити у вигляді [5]:

$$H = H_c \cdot \frac{\sqrt{\psi_n \psi_3} e^{4\pi(\xi_n - \xi_3)}}{R_c(\psi_n + \psi_3) \operatorname{ch} \vartheta + (1 + \psi_n \psi_3) \operatorname{ch} \vartheta} \cdot \left(\frac{2R_3 + R_c}{2} + \sqrt{\frac{2}{\omega \gamma_c \mu_r}} \right), \quad (1)$$

де H_c – напруженість в статора з урахуванням насичення сталі;

R_c – радіус статора;

R_3 – зовнішній радіус магнітопроводу статора;

ω – частота обертання ротора;

$$\psi_n = \frac{\chi_n}{\xi_n \mu_r}, \quad (2)$$

$$\psi_3 = \frac{\chi_3}{\xi_3 \mu_r}, \quad (3)$$

де $\mu_r = f(H_c)$ – відносна магнітна проникність статора;

$$\vartheta = \chi_H - \chi_3, \quad (4)$$

$$\chi_H = j\sqrt{j\omega\gamma_c\mu_r p_{vi} R_3^2 + \xi_H^2}, \quad (5)$$

$$\chi_3 = j\sqrt{j\omega\gamma_c\mu_r p_{vi} R_3^2 + \xi_3^2}, \quad (6)$$

де γ_c – питома електрична провідність матеріалу статора.

p_{vi} – число пар полюсів довільної гармоніки магніторушійої сили статора (для основної гармоніки $p_{vi} = 1$);

$$\xi_H = \sqrt{(\lambda_r R_3)^2 + p_{vi}^2}, \quad (7)$$

$$\xi_3 = \sqrt{(\lambda_r R_3)^2 - p_{vi}^2}, \quad (8)$$

$$\lambda_r = \frac{\pi(2n-1)}{l_1}. \quad (9)$$

де $n = 1, 2, 3, \dots$

В роботі [6] встановлено, що:

– при механічних пошкодженнях двигуна спостерігається виникнення чітких гармонік в спектрі зовнішнього магнітного поля;

– при електричних пошкодженнях двигуна спостерігається зростання нечітких гармонік відносно першої;

– при відхиленні напруги від показників якості електроенергії зростають лише основні гармоніки без зміни коефіцієнтів.

Такий підхід діагностування електродвигуна передбачає визначення його технічного стану без будь-яких втручань в його конструкцію та роботу. Причому дозволяє оцінювати дефекти електродвигуна на початковій стадії їх виникнення, знижуючи цим шкоду від пошкоджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І. Математичні моделі та системи технічної діагностики основних електротехнічних систем міських трамваїв : монографія / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 126 с.
2. Пат. 105570 UA, МПК G07C 3/10, G07C 3/14. Пристрій для контролю електричного двигуна / Грабко В.В., Розводюк М.П., Тимошенко О.Л. (Україна). – № у 2015 09327; заявл. 28.09.2015; опубл. 25.03.2016, Бюл. № 6. – 16 с. : кресл.
3. Хомутов С.О. Новые методы и технические средства диагностики электродвигателей в агропромышленном комплексе / С.О. Хомутов, Ю.А. Тонких, В.С. Дронов // Ползуновский вестник. – №4. – 2009. – С. 109-115.
4. Алексеев А.Ю. Диагностика и прогнозирование состояния асинхронных двигателей на основе использования параметров их внешнего электромагнитного поля / А.Ю. Алексеев, О.В. Бродский, В.Н. Веденев, В.Г. Тонких, С.О. Хомутов // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – 2006. – №2. – С.9-13.
5. Зигангирова Ю.В. Математическое моделирование внешнего магнитного поля низкоскоростных управляемых электромеханических преобразователей ветроэнергетических установок / Д.Ю. Пашали, В.В. Айгузина, О.А. Юшкова, В.М. Пашали А.В. Денисенко // Nauka-rastudent.ru. – 2016. – N0 (027) / [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://nauka-rastudent.ru/27/3329/>
6. Бобров В.В. Дифференцирование дефектов при использовании метода диагностики асинхронных двигателей на основе анализа параметров их внешнего магнитного поля / В.В. Бобров, И.Ю. Братухи, В.Н. Веденев, С.О. Хомутов. [Электронный ресурс] – Режим доступа. <http://edu.secna.ru/media/f/epp.pdf>

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, rozvodiukmp@gmail.com

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано підхід до використання нейронних мереж в системах автоматизації.

Ключові слова: машинне навчання, нейронна мережа, навчання, нейрон, перцептрон, автоматизація.

Abstract

The approach to the use of neural networks in automation systems is proposed.

Keywords: machine learning, neuron network, learning, neuron, perceptron, automation.

Вступ

Сьогодні важко прожити навіть день, не почувши із джерел масової інформації про досягнення в області машинного навчання та нейронних мереж. Весь світ переходить на новий рівень автоматизації. Рівень на якому рішення будуть приймати не люди, а машини. Спеціально навчені для застосування у певній вузькій області, або. Можливо не за горами той день, коли буде створено повноцінний штучний інтелект [1]. Нейронні мережі здатні виконувати паралельно масу функцій: моделювання ситуацій, діагностики системи, керування динамічними об'єктами. Що значно пришвидшує швидкодню системи. Нейронні мережі здатні самонавчатися, на основі закономірностей між вхідними сигналами, що дає значну перевагу у керуванні та моделюванні нелінійних систем [2].

Результати дослідження

Штучні нейронні мережі, в системах електроприводів та промислових агрегатах, приходять на допомогу тоді, коли на об'єкт керування діє маса зовнішніх чинників, які потребують паралельної реакції системи на них. В управлінні електроприводними комплексами з використанням нейронних мереж, є ефективним при зміні в широкому діапазоні параметрів механічної частини і режимів роботи електропривода, коли швидкодня і точність традиційних систем керування з лінійними регуляторами не достатня. Нейронні мережі, уже набули широкого вжитку у промисловості і замінюють масу рутинної роботи. При цьому для різних типів задач використовуються різні типи нейронних мереж. Вони дозволяють створювати модель об'єкта точно передаючи його динаміку, при цьому не потребують додаткової інформації про структуру об'єкта. Представляючи його у виді чорного ящика. Для прикладу розглянемо схему, що представляє принцип роботи нейронної мережі (рис. 1).

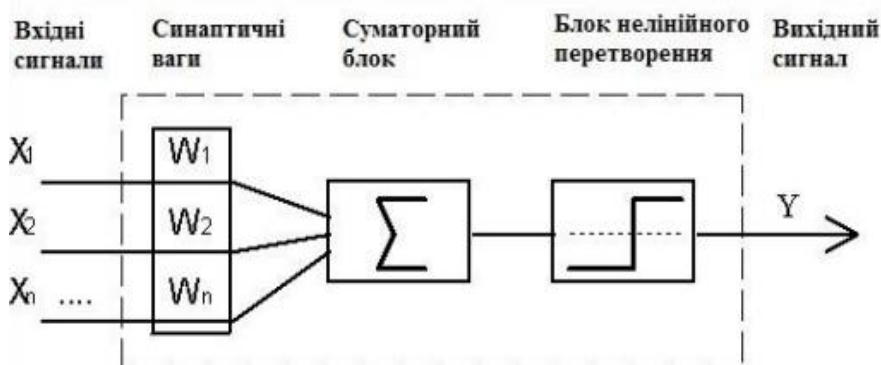


Рис. 1. Структурна схема системи нейронної мережі

Вхідні сигнали, що поступають зовні системи потрапляють на синаптичні ваги. Де кожному сигналу присвоюється своя вага (значущість). Іншими словами визначається наскільки сигнал буде впливати на вибір того чи іншого рішення (або створення вихідного сигналу). У суматорному блоці вхідні сигнали перемножуються на відповідні ваги та сумуються утворюючи певний сигнал який потім перетворюється у блоці нелінійного перетворення та подається на вихід.

Для прикладу розглянуто нейромережу, що заміняє тисячі працівників на конвеєрі. Для того щоб забезпечувати якість продукції біля конвеєрних стрічок ставлять людей які перевіряють продукцію, що по них транспортується та вилучають неякісну. Ця робота досить довго виконувалася лише людьми, через відсутність альтернативи. Тепер же за допомогою нейромережі, оснащеною можливістю сприймати відео сигнал у якості вхідних сигналів(X_1, X_2, X_n) можемо автоматизувати цю частину промисловості. Головною проблемою сучасних нейромереж є організація навчання та створення бази даних. На даний момент не у всіх сферах використання вдалося досягти достатньої точності прийняття рішень нейромережею. В цьому і полягає головний недолік машинного навчання. На перших ітераціях керуючий сигнал може бути не допустимий, тому варто використовувати у процесі навчання модель об'єкта.

Висновки

Штучні нейронні мережі на сьогоднішній день являються прогресивним інструментом в галузі автоматизації та розробки сучасних систем керування. Зараз, як ніколи, потрібно залучати ВУЗи до впровадження у навчальні програми нових технологій зв'язаних з машинним навчанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Как устроены искусственные нейронные сети? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=0sP5kFXbHrM>
2. Нейронные сети для начинающих [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/post/312450>

Олександр Миколайович Стаднік — студент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, stadnik210199@gmail.com.

Науковий керівник: **Дмитро Петрович Проценко** — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Olexandr N. Stadnik — student of the department of electromechanical systems automation in in industry and transport departament, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Dmytro P. Protsenko** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of electromechanical systems automation in in industry and transport departament, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ КРАНА В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комп'ютерну модель підйомної лебідки крана та проведено її імітаційне моделювання. Запропонована модель дозволяє отримати коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни коефіцієнта корисної дії механічної передачі.

Ключові слова: підйомна лебідка, електропривод, комп'ютерна модель.

Abstract

A computer model of lifting winch of a crane was developed and its simulation modeling was carried out. The proposed model allows obtaining the correct results throughout the range of loads, taking into account the change in the coefficient of mechanical transmission efficiency.

Keywords: lifting winch, electric drive, computer model.

Вступ

Згідно [1], одним із важливих напрямків розвитку сучасного електропривода (ЕП) є розвиток науково-дослідних робіт по створенню математичних моделей і алгоритмів технологічних процесів, комп'ютерних засобів проектування ЕП.

До переліку найбільш поширених загальнопромислових механізмів відносять вантажопідйомні машини. В роботі [2] запропоновано комп'ютерну модель підйомної лебідки вантажного крана в середовищі Matlab. Дана модель має обмеження, оскільки забезпечує отримання коректних результатів за умови, що коефіцієнт корисної дії (ККД) механічної передачі більший 0,5.

Метою роботи є розроблення комп'ютерної моделі підйомної лебідки крана, яка б забезпечувала коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни ККД механічної передачі.

Результати дослідження

Кінематична схема підйомної лебідки крана та графіки статичних навантажень зображені на рис. 1: 1 – електродвигун; 2 – гальмівний шків; 3 – редуктор; 4 – барабан; 5 – поліспасти; 6 – вантажозахватний пристрій.

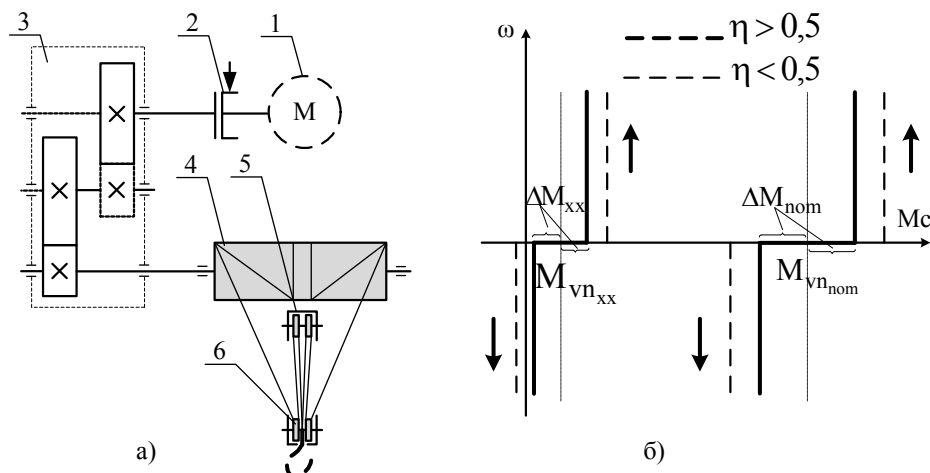


Рис. 1. Кінематична схема підйомної лебідки крана (а) та графіки статичних навантажнь (б)

Статичні навантаження підйомних лебідок визначаються, головним чином, силою тяжіння. Якщо не враховувати втрати на тертя, то приведений до вала двигуна момент опору дорівнює [3]:

$$M_{vn} = \frac{(m_v + m_0) \cdot g \cdot D_b}{2 \cdot i_{mp} \cdot u}, \quad (1)$$

де m_v – маса вантажу, кг; m_0 – маса вантажозахватного пристрою, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; D_b – діаметр барабана лебідки, м; i_{mp} – передаточне число механічної передачі; u – кратність поліспасти.

В реальному механізмі присутні втрати тертя ΔM , які обумовлюють наявність реактивного моменту, який завжди перешкоджає руху, змінюючи свій знак при зміні напрямку руху. При цьому результуючий момент статичного опору M_c є алгебраїчною сумою моменту опору M_{vn} і моменту втрат ΔM («+» при підйомі; «-» при опусканні) [3]:

$$M_c = M_{vn} \pm \Delta M. \quad (2)$$

Момент втрат в механічній передачі, приведений до вала двигуна:

$$\Delta M = \frac{(m_v + m_0) \cdot g \cdot D_b}{2 \cdot i_{mp} \cdot u} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{mp}} - 1 \right), \quad (3)$$

де η_{mp} – ККД механічної передачі при підйомі вантажу масою m_v .

Відповідно до виразів (1), (2) та (3) структурні схеми підйомної лебідки крана при підйомі та опусканні вантажу зображені на рис. 2.

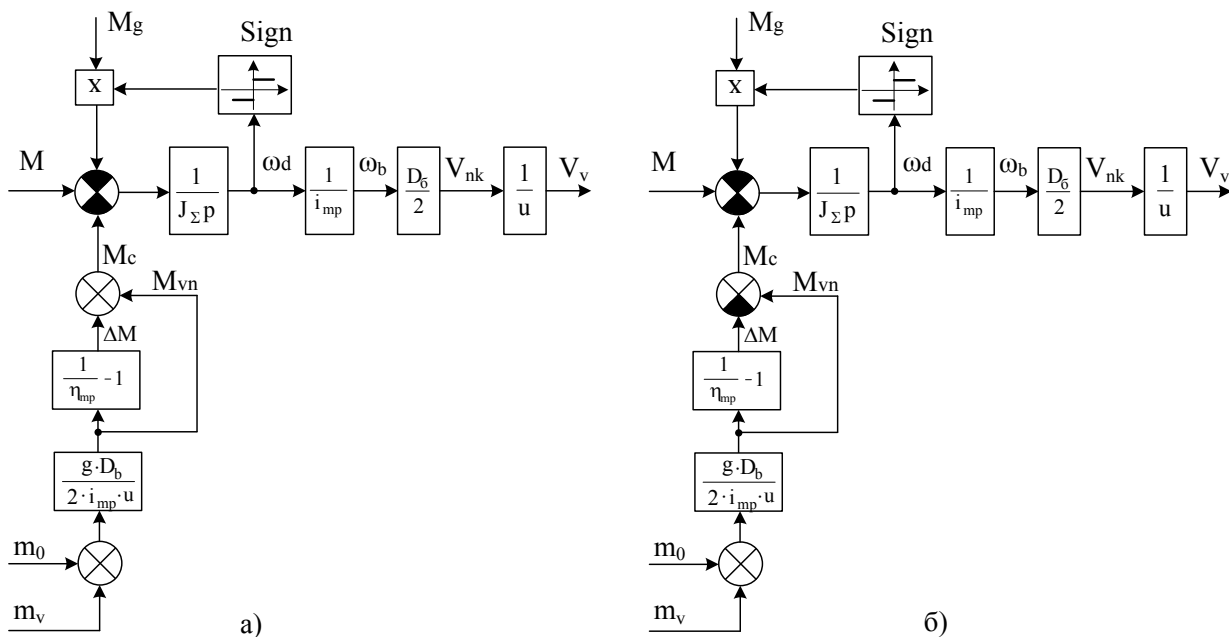


Рис. 2. Структурна схема підйомної лебідки крана при підйомі (а) та опусканні (б) вантажу

На рис. 2 позначено: M – момент двигуна; M_g – гальмівний момент; J_Σ – приведений до вала двигуна момент інерції привода; ω_d – кутова швидкість обертання вала двигуна; ω_b – кутова швидкість обертання приводного барабана; V_{nk} – швидкість намотування троса на барабан; V_v – швидкість транспортування вантажу; $Sign$ – знак сигналу (використовується, щоб гальмівний момент завжди протидіяв напрямку обертання).

Узагальнена модель підйомної лебідки крана в Matlab Simulink зображена на рис. 3. В даній моделі враховано, що ККД механічної передачі при зміні навантаження також змінюється.

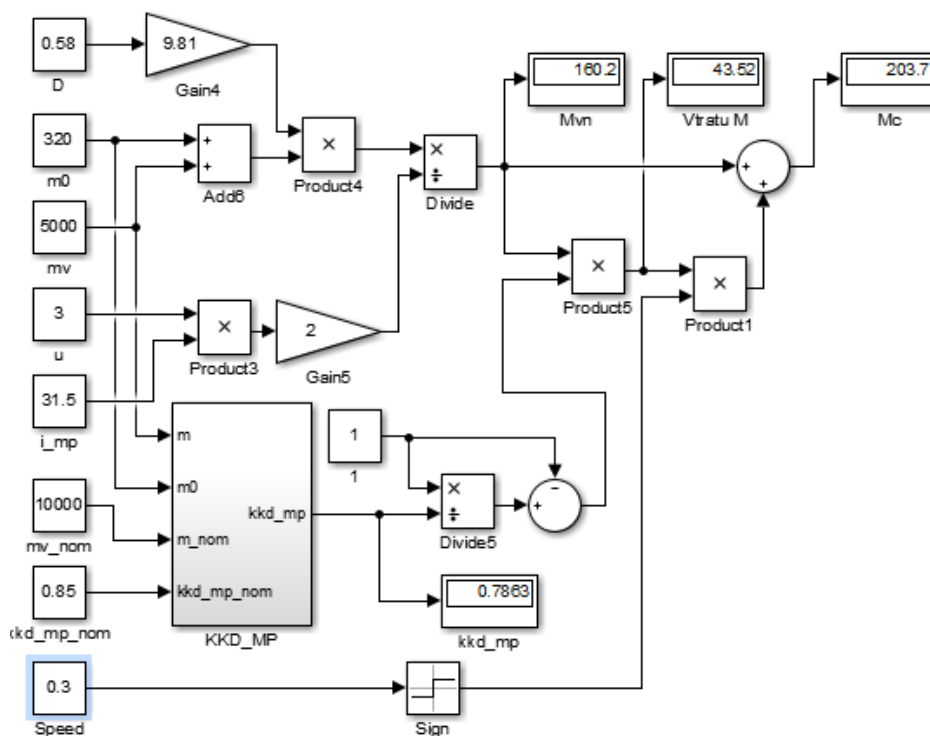


Рис. 3. Модель підйомної лебідки крана в Simulink

Висновки

На основі виразів для статичних навантажень розроблено комп'ютерну модель підйомної лебідки крана та проведено її імітаційне моделювання. Запропонована модель дозволяє отримати коректні результати в усьому діапазоні навантажень з врахуванням зміни коефіцієнта корисної дії механічної передачі. Використання даної моделі дозволить суттєво спростити процес проектування електроприводів підйомних кранів та дозволить проводити дослідження їх роботи без шкоди та зношення реального обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Москаленко В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
2. Бабій С. М. Комп'ютерна модель підйомної лебідки вантажного крана в середовищі Matlab / С. М. Бабій, А. М. Ратушна // Zbiór artykułów naukowych. «Inżynieria i technologia. East European Conference» (29.06.2017 – 30.06.2017) – Warszawa : Wydawca : Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2017. – 40 str. – S. 11–13. – Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Inżynieria i technologia. East European Conference» 29.06.2017 – 30.06.2017 roku. Łódź.
3. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.

Ратушна Аліна Миколаївна – студент групи ЕПА-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 04051995alina@gmail.com.

Бабій Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Ratushna Alina M. – Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Babiy Sergiy M. – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Department of Electromechanical Automation Systems of Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ЕНЕРГІЇ, ВИРОБЛЕНОЇ ВІТРОВИМ КОЛЕСОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропонований підхід до реалізації пристрою для опосередкованого оцінювання кількості енергії, виробленої вітровим колесом, з використанням різних типів датчиків кута повороту вала вітрового колеса. Розроблено макет пристрою на базі ПЛІС компанії Altera.

Ключові слова: вітрове колесо, кількість енергії, датчик кута повороту, пристрій.

Abstract

The paper presents the approach to the realization of the device for mediated evaluation of the quantity of energy, produced by the wind wheel, with the use of different types of angle transducer for the wind wheel axle drive shaft. There had been developed an experimental model on the base of FPGA by Altera.

Keywords: wind wheel, quantity of energy, angle transducer, device.

В теперішній час особлива увага приділяється технології отримання енергії з використанням вітрового колеса. Одним із найпоширеніших є перетворення енергії вітру в електричну у вітровій електростанції [1]. В цьому випадку кількість виробленої енергії легко підраховувати за допомогою лічильника електроенергії.

Але, коли вітрове колесо з'єднано з, наприклад, насосом подачі води, тобто коли енергія вітру перетворюється в механічну роботу, оцінку виробленої енергії потрібно здійснювати іншим шляхом.

Відомий пристрій [2], який дозволяє оцінювати кількість виробленої енергії, однак точність його невисока.

Для реалізації пристрою, яким вимірюється кількість виробленої вітровим колесом енергії, в даній роботі пропонується опосередковано потік виробленої енергії отримувати з вала вітрового колеса. Для цього на валу встановлюється сенсор повороту вала, який в кожному оберті генерує імпульс короткої тривалості. Якщо цей імпульс поступатиме на цифровий блок обробки сигналу, яким в кожному оберті вітрового колеса підраховуватиметься певна кількість імпульсів однакової тривалості, то ця послідовність імпульсів буде відображати кількість виробленої вітровим колесом енергії.

У разі використання вітрового колеса в режимі роботи з різкими поривами вітру запропонований вище підхід не є оптимальним для об'єктивної оцінки кількості виробленої енергії. Очевидно, що в такому випадку доцільніше буде використовувати сенсор, з'єднаний з валом вітрового колеса, який в своїй конструкції передбачає формування за один оберт вітрового колеса декількох імпульсів. Причому між різними імпульсами з сенсора повороту вала вітрового колеса в пристрої буде підраховуватись різна кількість імпульсів, обумовлена різними швидкостями повороту вала вітрового колеса. При цьому точність вимірювання виробленої енергії підвищується.

Ще більшу точність оцінки виробленої енергії можна отримувати у разі використання енкодера в якості сенсора повороту вала вітрового колеса. Однак при розробці структури пристрою необхідно враховувати перехід від найбільшого коду до найменшого після повного обертання вітрового колеса.

Реалізації представлених пропозицій присвячена дана робота. Розроблений макет пристрою з використанням ПЛІС компанії Altera, в якому в комплексі реалізовано моделі пристрою для роботи з різними сенсорами кута повороту вала вітрового колеса.

Висновки

1. Запропонований підхід до реалізації пристрою для опосередкованого оцінювання кількості енергії, що виробляється вітровим колесом.

2. Здійснено реалізацію макета пристрою, що дозволяє використовувати датчики кутаповороту вала вітрового колеса різних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підручник / С.О. Кудря – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
2. Пат. 115790 Україна, МПК G 01 R 11 / 56. Пристрій для вимірювання кількості енергії, виробленої вітровим колесом / Грабко В.В., Грабко В.В., Николаєнко В.В., Мельник С.В.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201611750; Заявл. 21.11.2016; Опубл. 25.04.2017; Бюл. №8. – 7 с.

Грабко Валентин Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Столовник Андрій Олексійович – студент групи 6Е-17б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Grabko Valentyn V. – PhD., assistant professor with the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

Stolovnyk Andriy O. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ДО ПИТАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовані фактори експлуатації високовольтних вимикачів, від яких залежить реалізація засобів для їх діагностування, зокрема визначення залишкового комутаційного ресурсу, що є передумовою формування класифікації відповідних засобів діагностування. Показано, що в різних умовах роботи вимикачів для визначення залишкового комутаційного ресурсу відповідний засіб може мати різну структуру. Окреслені окремі компоненти структур засобів для визначення залишкового комутаційного ресурсу.

Ключові слова: високовольтний вимикач, засіб діагностування, класифікація, залишковий комутаційний ресурс.

Abstract

The paper substantiates the operating factors of high voltage switchers, which influence the realization of means for their diagnosing, in particular, determination of the residual switching resource, which is the prerequisite for the formation of classification of the corresponding diagnosing equipment. There had been shown that the device for the determination of the residual switching resource may have different structure depending on different condition of switch operation. There had also been described some structure components of the devices for evaluation of the residual switching resource.

Keywords: high voltage switch, diagnostic tool, classification, residual switching resource.

Відомо [1], що якість управління потоками електроенергії в електричних системах залежить від надійності роботи високовольтних вимикачів, роботоздатність яких визначається залишковим комутаційним ресурсом, надійністю привода та металевих конструкцій.

Відомо [2], що для визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів застосовуються засоби, якими вимірюються струми комутації та за їхніми значеннями визначається спрацьовування робочого ресурсу в перерахунку на спрацьовування ресурсу при комутації номінального робочого струму.

Існує багато реалізацій засобів для контролю комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів, наприклад [3, 4, 5], які застосовуються в залежності від типів вимикачів, умов роботи, необхідної точності визначення залишкового ресурсу, безпечності експлуатації тощо. Отже, для коректного застосування існуючих засобів або розробки нових засобів, що враховують інші особливості експлуатації вимикачів, необхідно здійснити їх групування за певними ознаками та сформувати особливості класифікації.

В даній роботі здійснена спроба окреслити ті основні моменти, на які потрібно звернути увагу при застосуванні засобів діагностування вимикачів.

Очевидно, що засоби можуть використовуватись в однофазному та трифазному виконаннях. Це обумовлено конструкцією вимикачів, які випускаються у трифазних та однофазних варіантах реалізації. При цьому для контролю за комутаційним ресурсом у трифазному вимикачі передбачається можливість одночасного вимірювання струмів у різних фазах для пофазного обліку залишкового комутаційного ресурсу.

У випадку, коли в розподільному пристрої електростанції або підстанції експлуатується декілька вимикачів, доцільно використовувати комплексний засіб діагностування, а не встановлювати окремо на кожному вимикач. В таких випадках засобом діагностування має передбачатись можливість одночасного запису декількох значень струмів різних вимикачів для запобігання втрати інформації щодо вичерпання робочого ресурсу останніх.

Крім того, відрізняється технологія налаштування засобів діагностування вимикачів, які експлуатуються в мережах з ізольованою або глухо заземленою нейтралією, особливо коли необхідно діагностувати декілька вимикачів в розподільному пристрої підстанції.

Немаловажною є особливість врахування в засобах діагностування можливості роботи вимикачів в комплексі з автоматикою повторного ввімкнення (АПВ). При цьому враховується коефіцієнт перерахунку залишкового ресурсу, обумовлений неповним відновленням середовища дугогасіння та послабленням ефективності дугогасіння.

В багатьох випадках для підвищення точності у визначенні залишкового комутаційного ресурсу та використання для вимірювання струмів трансформаторів струму в засобах діагностування вимикачів використовується підхід, що дозволяє реалізувати засіб з вимірювання значення струму по початковому фрагменту синусоїди. В інших випадках застосовується апроксиматор, яким моделюється передаточна характеристика трансформатора струму, що має властивість спотворюватись у випадку струмів, що суттєво перевищують номінальні робочі значення.

Не менш важливим в задачі діагностування вимикачів є моніторинг механічної міцності вимикача, одночасність ввімкнення фаз вимикачів, виконаних в одно- або трифазному виконаннях, умови регулювання привода вимикача, швидкісні характеристики тощо.

Тому для забезпечення коректного діагностування вимикачів потрібно уважно та обережно відноситись до застосування того чи іншого засобу діагностування.

Висновки

1. Здійснено огляд основних особливостей експлуатації вимикачів, що є передумовою формування класифікації засобів діагностування вимикачів.
2. Акцентовано увагу на вибір засобів діагностування вимикачів в різних умовах їх експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Александров Г.Н. Электрические аппараты высокого напряжения / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев, В.В. Борисов. Под ред. Г.Н. Александрова. 2-е изд., доп. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2000. - 503 с.
2. Грабко В.В. Моделі та системи технічної діагностики високовольних вимикачів: монографія / В.В. Грабко, Б.І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.
3. Пат. 13859 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u200510480; Заявл. 07.11.2005; Опубл. 17.04.2006; Бюл. №4. – 5 с.
4. Пат. 66259 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Писклярова А.В.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201107794; Заявл. 21.06.2011; Опубл. 26.12.2011; Бюл. №24. – 7 с.
5. Пат. 116418 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Мельник В.Ю.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201610344; Заявл. 11.10.2016; Опубл. 25.05.2017; Бюл. №10. – 11 с.

Грабко Володимир Віталійович – д.т.н., професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Грабко Валентин Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, gvv@vntu.edu.ua

Grabko Volodymyr V. – Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

Grabko Valentyn V. – PhD., assistant professor with the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, gvv@vntu.edu.ua

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ НА ПЛІС КОМПАНІЇ ALTERA

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропонована реалізація пристрою для визначення залишкового робочого ресурсу високовольтного вимикача в залежності від комутованого ним струму з використанням ПЛІС компанії Altera. Показана можливість використання одного чіпа для створення декількох пристроїв в залежності від особливості експлуатації вимикачів.

Ключові слова: високовольтний вимикач, діагностування, залишковий ресурс, пристрій.

Abstract

The paper suggests the realization of the device for the determination of the residual operating resource of high voltage switch depending on the commutated current with the use of FPGA of Altera. There had been shown the possibility of using one the chip for the creation of some devices depending on the peculiarity of the operation of the switch.

Keywords: high voltage switches, diagnosing, residual resource, device.

Відомо [1], що для надійної роботи високовольтних вимикачів необхідно весь час здійснювати їх діагностування, а саме – контролювати залишковий комутаційний ресурс, який витрачається нерівномірно в залежності від значень комутованих струмів, визначати механічну міцність вимикача та контролювати роботу привода.

Зокрема, в ряді робіт [2, 3, 4] запропоновано схемотехнічні реалізації пристроїв для контролю залишкового робочого ресурсу вимикача.

Зазначимо, що для різних умов експлуатації високовольтних вимикачів, їх типів, конфігурації електричних мереж, особливостей налаштування систем релейного захисту використовуються пристрої для контролю залишкового робочого ресурсу вимикача, кожен з яких має свою особливість реалізації.

Очевидно, що доцільніше розробити пристрій, яким враховуватиметься більшість особливостей визначення залишкового робочого ресурсу вимикачів.

Відомі підходи, коли подібні пристрої реалізуються з використанням мікропроцесорної елементної бази. В цьому випадку алгоритм визначення залишкового робочого ресурсу вимикача реалізується програмним шляхом з послідовним виконанням відповідних операцій.

Іншим ефективним способом реалізації універсального пристрою для діагностування високовольтних вимикачів є застосування ПЛІС, наприклад, компанії Altera. Зазначений підхід дозволяє гнучко реалізувати структуру пристрою, зокрема, для визначення залишкового робочого ресурсу високовольтного вимикача. Враховуючи те, що такі чіпи дозволяють обробляти тільки цифрову інформацію, для завершеності реалізації пристрою застосовуються аналогові додаткові елементи, які поєднуються в єдиний пристрій.

В роботі пропонується реалізація зазначеного пристрою з використанням ПЛІС серії Cyclon IV на дослідному макеті DEO-Nano Kit компанії Altera. Розробка пристрою здійснювалась в середовищі Quartus II, версія 9.2.

Отримані діаграми симуляції роботи пристрою показали коректність його реалізації та можуть слугувати зразком для виконання лабораторних робіт або подальшого вдосконалення дослідного зразка пристрою.

Висновки

1. З використанням ПЛІС компанії Altera запропонована реалізація пристрою для визначення залишкового робочого ресурсу високовольтного вимикача.

2. Здійснено дві різні реалізації пристрою, які можуть бути поєднані в єдину для промислового використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В.В. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів: монографія / В.В. Грабко, Б.І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 74 с.

2. Пат. 13859 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u200510480; Заявл. 07.11.2005; Опубл. 17.04.2006; Бюл. №4. – 5 с.

3. Пат. 66259 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Пислярова А.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201107794; Заявл. 21.06.2011; Опубл. 26.12.2011; Бюл. №24. – 7 с.

4. Пат. 90366 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу групи комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201314339; Заявл. 09.12.2013; Опубл. 26.05.2014; Бюл. №10. – 14 с.

Утретас Альбуха Альфредо – студент групи ЕПА-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Бакеро Лопес Фабрісіо – студент групи ЕПА-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Грабко Володимир Віталійович** – д.т.н., професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Utreras Albuja Alfredo - Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Baquero Lopez Fabricio - Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Grabko Volodymyr V.** – Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБУ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РОТОРА ПРАЦЮЮЧОГО ГІДРОГЕНЕРАТОРА НА ПЛІС КОМПАНІЇ ALTERA

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропонована реалізація засобу для тепловізійного діагностування ротора, що обертається, гідрогенератора з використанням ПЛІС компанії Altera. Здійснено реалізацію засобу діагностування з врахуванням конструктивних особливостей гідрогенератора та особливостей його експлуатації.

Ключові слова: ротор гідрогенератора, діагностування, тепловізійне вимірювання температури, пристрій.

Abstract

There had been suggested the realization of the device for thermal imaging rotor diagnosing, which rotate, hydrogenerator with the use of FPGA of Altera. There had been made the realization of the diagnosing device with the accounting for constructional peculiarities of hydrogenerator and the peculiarities of its operation.

Keywords: hydrogenerator rotor, diagnosing, thermal image temperature measuring, device.

Відомо, що гідрогенератори для їх надійної роботи споряджають багатьма системами захисту і контролю. Для контролю за температурним станом ізоляції обмоток використовують термометри, які хоч і висвітлюють загальну теплову картину, але не дозволяють отримувати детальну інформацію про тепловий стан обмоток та інтенсивність старіння ізоляції. Особливу складність викликає контроль за старінням ізоляції обмотки ротора гідрогенератора, який обертається в процесі роботи.

В монографії [1] запропоновані тепловізійні методи і засоби діагностування об'єктів, що обертаються, які можуть бути застосованими і до тепловізійного діагностування обмотки ротора гідрогенератора. Розв'язання задачі ускладнюється тим, що гідрогенератор є машиною закритого виконання і запропоновані засоби неможливо безпосередньо застосувати до гідрогенератора.

Для тепловізійного діагностування ротора гідрогенератора в роботах [2, 3] розроблені засоби, які дозволяють контролювати весь тепловий портрет ротора гідрогенератора з виведенням інформаційного потоку про температуру поверхні обмоток в комп'ютер, однак в деяких випадках застосування кожної конкретної реалізації засобу діагностування ускладнено. Це обумовлено як різними конструкціями гідрогенераторів, так і експлуатаційними особливостями.

В даній роботі пропонується для реалізації засобу для тепловізійного діагностування обмотки ротора гідрогенератора використати ПЛІС, наприклад компанії Altera, в якій здійснено поєднання різних напрацювань структурних схем засобів тепловізійного діагностування обмотки ротора з можливістю вибору тих функціональних компонент, що обумовлені конкретними умовами експлуатації гідрогенераторів.

Розроблений в даній роботі відповідно до попередніх міркувань засіб дозволяє окрім виведення в комп'ютер послідовності температурних кодів про стан кожного пікселя обмотки ротора визначати найвищу температуру обмотки ротора та у разі виявлення області підвищеної температури – розмір цієї області. Крім того, засіб передбачає врахування наявності або відсутності енкодера для синхронізації теплового портрета ротора.

Засіб реалізовано з використанням ПЛІС серії Cyclon IV на дослідному макеті DEO-Nano Kit компанії Altera. Програмування ПЛІС здійснювалось в середовищі Quartus II, версія 9.2.

В результаті роботи розроблено з використанням зовнішніх аналогових елементів засіб для тепловізійного діагностування ротора гідрогенератора, проведено перевірку його роботоздатності.

Висновки

1. Обґрунтовано підхід до реалізації засобу тепловізійного діагностування ротора працюючого гідрогенератора з використанням ПЛІС компанії Altera.

2. Здійснено реалізацію засобу для тепловізійного діагностування ротора гідрогенератора, яким окрім сканування теплового портрета ротора визначається найвища температура обмотки та розмір локальної області підвищеної температури (у разі існування останньої). Передбачена можливість експлуатації засобу в умовах наявності або відсутності енкодера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В.В. Методи і засоби для дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями: монографія / В.В. Грабко, В.В. Грабко – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 155 с.

2. Пат. 90253 Україна, МПК G 01 K 13 / 08. Пристрій для безконтактного вимірювання температури ротора гідрогенератора / Грабко В.В., Грабко В.В., Бомбик В.С., Варавва М.О.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний університет. – № u201306209; Заявл. 20.05.2013; Опубл. 26.05.2014; Бюл. №10. – 7 с.

3. Пат. 66866 Україна, МПК G 01 K 13 / 08. Пристрій для безконтактного вимірювання температури ротора гідрогенератора / Грабко В.В., Кухарчук В.В., Грабко В.В.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201107102; Заявл. 06.06.2011; Опубл. 25.01.2012; Бюл. №2. – 5 с.

Паланюк Олександр Вячеславович – аспірант, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Охов Владислав Володимирович – студент групи ІЕМ-15б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Грабко Володимир Віталійович** – д.т.н., професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Palanyuk Oleksandr V. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Ohov Vladyslav V. – Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Grabko Volodymyr V.** – Dr Sc. (Eng.), Professor, Professor with the Department of Electromechanical Systems of Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

БАГАТОРІВНЕВА АВТОМАТИЗОВАНА АВТОМОБІЛЬНА ПАРКОВКА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано принцип функціонування багаторівневої автоматизованої парковки на шістнадцять автомобілей роторного типу, на підставі якого розроблено функціональну схему та алгоритм роботи програми автоматизованої парковки.

Ключові слова: багаторівнева автомобільна парковка, система автоматизації, функціональна схема, алгоритм роботи програми.

Abstract

The principle of operation of multi-level automated parking for sixteen rotary-type cars is proposed, on the basis of which a functional scheme and algorithm of the program of automated parking are developed.

Keywords: multilevel automotive parking, automation system, functional scheme, algorithm of program operation.

Використання класичних автомобільних парковок в умовах сучасного міста потребує багато території, і знайти достатньої земельної ділянки для її розміщення досить складно. Зі зростаючим будівництвом вона є досить дефіцитним та дорогим ресурсом. Рішенням такої проблеми є встановлення на околицях міста автоматизованих паркувальних станцій, які за площею будуть займати меншу територію для обслуговування тієї ж кількості машин. Також їх перевагою є те, що вони повністю автоматизовані, тобто процедура паркування автомобіля виключає людський фактор.

Однією з найпростіших автоматизованих автомобільних парковок є багаторівнева парковка роторного типу (рис. 1).



Рис. 1. Багаторівнева парковка роторного типу

Даний тип автоматизованої парковки встановлюються на ділянці землі, розміром не більше ніж

При натисканні кнопки «забрати» контролер буде очікувати номер слота. Після натискання користувачем кнопки з відповідним номером слота, парковка почне рух і буде продовжувати його до тих пір, поки номер, який вказав користувач, не співпаде з сигналом, який надходить зі слота. Останній знаходиться в нижній позиції – місці, найближчому до землі, в якому залишають та забирають авто. Після співпадання номерів рух, буде припинено. Користувач може забрати своє авто. Після звільнення площадки автомобілем, програма повернеться на початок до основного циклу (опитування кнопок).

При натисканні кнопки «паркувати» (користувач вже заїхав на відповідну площадку, залишив там своє авто, після чого натиснув дану кнопку) – програма переконається, що авто присутнє, і почне рух механізму до тих пір, поки в самій нижній позиції не з'явиться вільний слот, якщо такий буде. Якщо більше вільних слотів не виявиться, механізм залишається нерухомим. Після цього програма повертається до основного циклу.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, rozvodiukmp@gmail.com

Кметюк Олександр Сергійович – студент групи ІЕМ-146, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, sasha_kmetiuk@ukr.net

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Kmetiuk Alexander S. – student of the faculty of electroenergetics and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, sasha_kmetiuk@ukr.net

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано конструкцію системи освітлення будівель з автоматизованим керуванням та обліком освітленості.

Ключові слова: автоматичне управління, освітлення, аудит, фотоелементи, фотореле, таймер, датчик присутності.

Abstract

The construction of a building lighting system with automated control and illumination accounting is proposed.

Keywords: automatic control, lighting, audit, photocells, photorelay, timer, presence sensor.

Вступ

Витрата електроенергії на цілі освітлення може бути помітно знижена досягненням оптимальної роботи освітлювальної установки в кожен момент часу [1]. Домогтися найбільш повного і точного обліку наявності денного світла, так само як і обліку присутності людей в приміщенні, можна, застосовуючи засоби автоматичного управління освітленням [2].

Управління освітлювальною навантаженням здійснюється при цьому двома основними способами: відключенням всіх або частини освітлювальних приладів (дискретне управління) і плавною зміною потужності освітлювальних приладів (однаковою для всіх або індивідуально).

Результати дослідження

Автоматизованою системою управління освітленням громадських будівель, можна підтримувати однакову освітленість приміщення в будь-який момент часу, також це дозволяє значно заощадити електроенергію.

Точна підтримка штучної освітленості в приміщенні на заданому рівні, досягається введенням в систему управління освітленням фотоелемента, що знаходиться всередині приміщення, який контролює величину освітленості, що створюється джерелом світла. Вже тільки одна ця функція дозволяє економити енергію за рахунок відсічення так званого надлишку освітленості. Незважаючи на наявність в переважній більшості приміщень природного освітлення в світлий час доби, потужність освітлювальної установки розраховується без його обліку. Якщо підтримувати освітленість, створювану спільно освітлювальною установкою і природним освітленням, на заданому рівні, то можна ще сильніше знизити потужність освітлювальної установки в кожен момент часу. При цьому економія енергії може становити 20 - 40%.

Додаткова економія енергії в освітленні може бути досягнута відключенням освітлювальної установки в певні години доби, а також у вихідні та святкові дні. Таке рішення дозволяє ефективно економити електроенергію в моменти відсутності працівників на робочому місці.

Для її реалізації автоматизованої системи управління освітленням, вона повинна бути обладнана власними годинами реального часу. Облік присутності людей в приміщенні. Ця функція дозволяє витрачати енергію найбільш оптимально, однак її застосування виправдане далеко не у всіх приміщеннях. Отримана за рахунок відключення світильників за сигналами таймера і датчиків присутності економія електроенергії становить 10 - 25%.

Ще один спосіб реалізації автоматичної системи управління освітленням, дистанційне бездротове управління освітлювальною установкою. Хоча така функція не є автоматизованою, вона часто присутня завдяки тому, що її реалізація на базі електроніки системи управління освітленням дуже проста, а сама функція додає значну зручність в управлінні освітлювальною установкою.

Системи автоматичного управління освітленням, умовно можна розділити на два основні класи - так звані локальні і централізовані. Для локальних систем характерне управління тільки однією групою освітлювальних приладів, в той час як централізовані системи допускають підключення практично нескінченного числа роздільно керованих груп освітлювальних приладів. У свою чергу автоматизовані системи управління в будівлях можуть використовуватись для управління всіма інженерними системами будівлі - опаленням, кондиціонуванням, пожежною і охоронною сигналізацією.

Висновки

В результаті використання запропонованої системи управління освітленістю забезпечується стабільне освітлення в приміщенні, яке позитивно впливає на роботу осіб які там перебувають. Зазначимо, що в такий спосіб можна продовжити строк експлуатації освітлювальних приладів. Також можна досягти зменшення витрат електроенергії на освітлювальні прилади, приблизно на 30 - 40%. В результаті ми отримуємо значні матеріальні заощадження, що підтверджує ефективність використання даної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Токхейм Р. Основи цифрової електроніки [Електронний курс]. Режим доступу: <http://electrik.info/ebooks/302-osnovy-cifrovoy-elektroniki-r-tokheym.html>
2. Електроніка, 302 професійних схеми [Електронний курс]. Режим доступу: <http://madelectronics.ru/book/shemotehnika/2010-02-13-19-11-43-142.htm>

Ілля Володимирович Мельник — студент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, mojauka1999@ukr.net

Науковий керівник: *Проценко Дмитро Петрович* — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Ilya Vladimirovich Melnyk is a student of the department of electromechanical automation systems in industry and transport. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: *Protsenko Dmitry P.* - Cand. tech Sciences, associate professor of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, VinnytsiaNationalTechnicalUniversity, Vinnytsia.

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ТЯГИ ТА СИЛИ ОПОРУ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПРИВОДІ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИМИКАЧА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано метод визначення сили тяги та сили опору механічної системи електромагнітного приводу, який дозволяє оцінити технічний стан високовольтного вимикача.

Ключові слова: сила тяги, сила опору, електромагнітний привод, високовольтний вимикач.

Abstract

The method of determining the traction force and the strength of the mechanical system of the electromagnetic actuator was proposed, which allowed to assess the technical condition of the high-voltage switch.

Keywords: tractive force, resistance, electromagnetic drive, high-voltage switch.

Вступ

Значна частина аварій, які виникають у сучасних електроенергетичних системах, припадає на аварії в електричних мережах, де функції захисту виконують високовольтні вимикачі. В цих умовах важливим є діагностування технічного стану високовольтних вимикачів. Основними причинами відмови високовольтних вимикачів є несправність або некоректна робота приводу та механічної системи в цілому. Від технічного стану приводу залежить надійність роботи усього комутаційного апарату, його технічна можливість здійснити замикання-розмикання головних і допоміжних контактів із заданими швидкісними та динамічними параметрами [1]. Найбільш поширеними методами комплексної оцінки стану приводу є:

- контроль швидкісних і часових параметрів роботи приводу вимикача;
- контроль вібраційних процесів, які супроводжують роботу приводу;
- контроль кривої струму управління комутаційним апаратом.

Найбільш інформативною є комплексна функціональна оцінка технічного стану механічної системи вимикача з використанням усіх наведених методів, але вартість такої діагностичної системи є занадто велика і часто перевищує вартість досліджуваного об'єкта.

Стан механічної системи та механізмів вимикача можна визначити по зусиллям, необхідних для їх переміщення.

Метою роботи є розроблення методу визначення зусиль, необхідних для переміщення механізмів вимикача, та контроль сил опору, які виникають при роботі механічної системи вимикача.

Результати дослідження

В якості приводного механізму для масляного бакового вимикача У-110-2000-40У1 використовують електромагнітний привод ШПЭ-44У1, де переміщення штока приводу забезпечує електромагніт броньового типу. Для розрахунку електромагнітної сили (тягового зусилля), яка виникає у електромагніті ввімкнення, пропонується використовувати програмний пакет FEMM (Finite Element Method Magnetics).

Програма FEMM (Магнітні розрахунки методом скінченних елементів) дозволяє створювати моделі для розрахунку плоскопаралельного або плоскомеридіанного стаціонарного і квазістаціонарного магнітного і стаціонарного електростатичного та теплового полів, побудувати їх

картини і визначити польові і колові параметри [2]. Перевагою даного способу є висока точність розрахунку порівняно з іншими відомими методами розрахунку електромагнітної сили.

Для розрахунку електромагнітної сили необхідно задати струм, який протікає в котушці електромагніта броньового типу та величину пройденної відстані рухомим штоком привода. На рис.1 зображено алгоритм розрахунку тягового зусилля електромагнітного привода вимикача.

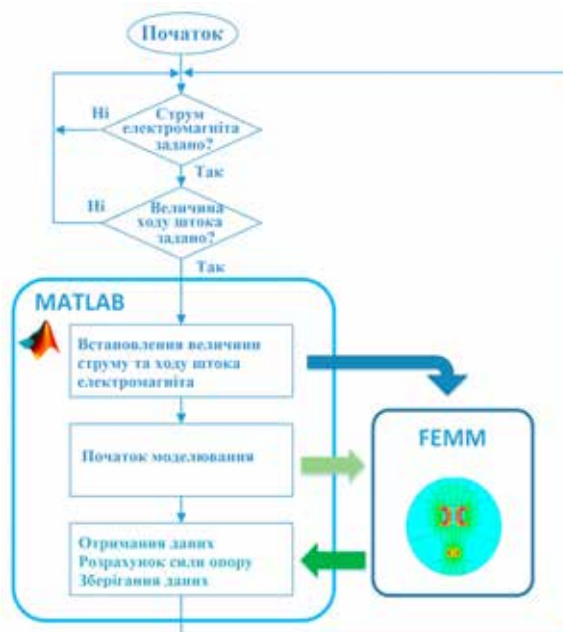


Рис. 1. Алгоритм розрахунку тягового зусилля електромагнітного привода вимикача

Розрахунок електромагнітної сили здійснюється у програмі FEMM по заданим значенням струму та відстані, пройденій штоком електромагніта. Між програмним забезпеченням ПППІ MATLAB та FEMM проводиться обмін даними. За результатом розрахунку сили тяги в FEMM у MATLAB визначається сила опору руху відповідно до рівняння руху електромагніта.

Висновки

Встановлено, що запропонований підхід дозволяє розрахувати силу тягового зусилля та визначити силу опору, прикладену до електромагнітного привода у момент ввімкнення високовольтного вимикача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михеев Г. М. Цифровая диагностика высоковольтного оборудования / Г.М. Михеев – М.: Изд. дом “ДОДЭКА”, 2009. – 318 с.
2. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM. М.: Академия, 2005. – 336 с.

Дідушок Олег Васильович — аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Грабо Володимир Віталійович** — д-р техн. наук, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Oleh Didushok — post-graduate student of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisor: **Grabko Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the department of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація: Запропоновано одноканальний засіб вимірювального контролю, який реалізує метод безперервної оцінки вологості сипучих матеріалів.

Ключові слова: Контроль, вологість, метод, засіб, рівняння, характеристика, залежність.

Abstract: The one-channel measuring control device, which implements the method of safe evaluation of the moisture content of bulk materials, is proposed.

Keywords: control, humidity, method, means, equation, characteristic, dependence.

Результати дослідження

Якщо опромінювати об'єкт контролю від джерела світла в ІЧ-області, то відбитий від нього промінь сприймається фотоприймачем, який перетворює випромінювання, що на нього поступило, в електричний сигнал (рис.1). При цьому коефіцієнт відбиття від вологого порошкоподібного матеріалу однозначно пов'язаний з контрольованим параметром лінійною залежністю [1]. Наведено структурну схему та алгоритм контролю модифікованого методу безпосередньої оцінки [2].

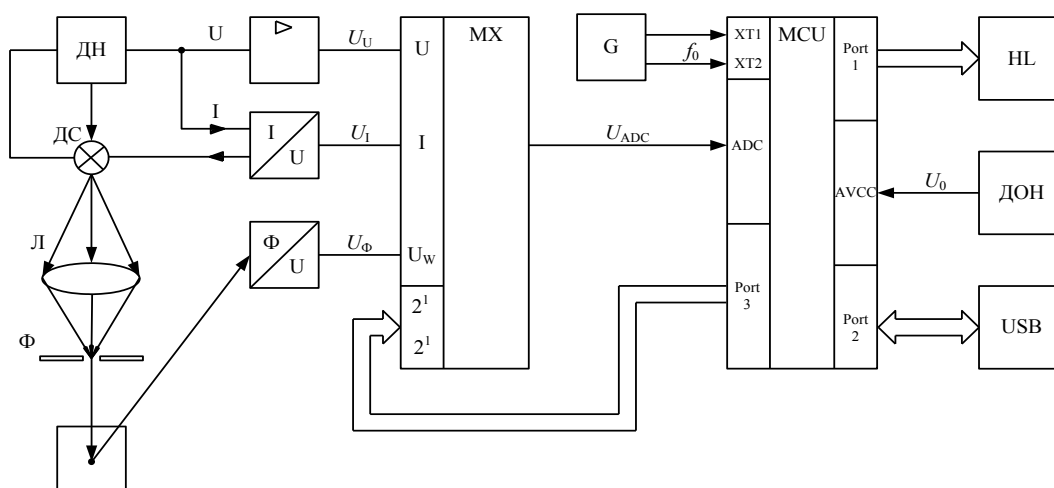


Рис.1. Структурна схема одноканального засобу контролю вологості

Рівняння перетворення для мікропроцесорного засобу контролю вологості

$$N = k \cdot 2^n \pi 10^{-4} \cdot \frac{S_\phi \tau_0 \tau_n \cos \alpha \cos \beta R r^2 \cdot \tau_{\lambda l} \Phi}{U_0 l^2 L^2} \cdot W_x$$

де показано, що даний засіб має лінійну статичну характеристику. Аналіз рівняння похибки квантування підтверджує, що значення цієї складової похибки в межах зміни контрольованої величини не перевищує 0.25% [3].

Висновки

Встановлено, що коефіцієнт відбиття від вологого порошкоподібного матеріалу однозначно пов'язаний з контрольованим параметром лінійною залежністю. Розроблено структурну схему та алгоритм контролю безпосередньої оцінки за запропонованим методом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарчук В.В., Богачук В.В., Математична модель вимірювального перетворення вологості сипучих матеріалів в ІЧ-області, Вісник КДПУ. Випуск №4/2007 (45). – Частина 2. – с.130-133
2. Богачук В.В., Кухарчук В.В., Дмитрієв Ю.О., Засіб вимірювального контролю вологості сипучих матеріалів, Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2007. - №2, том 1. – с. 241-245
3. Мокін Б.І. Богачук В.В., Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів, Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008

Богачук Володимир Васильович — канд. техн. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет.

Vladimir V Bohachuk — Cand. Sc. (Eng), Department of renewable energy and transportation systems and electrical systems (VETESK), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

ЕЛЕКТРОПРИВОД КВАДРОКОПТЕРА

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація: Запропоновано використання в якості приводного двигуна квадрокоптера вентильний двигун постійного струму, який за своїми електромеханічними характеристиками має ряд переваг перед звичайними колекторними двигунами постійного струму..

Ключові слова: двигун; квадрокоптер; система; сенсор; спосіб.

Abstract: It is proposed to use as a drive motor of the quadcopter a DC motor valve, which, in its electro-mechanical characteristics, has several advantages over conventional collector motors of constant current.

Keywords: engine; quadcopter; system; sensor; method.

Вступ

На сьогодні все більшої популярності набувають так звані безпілотні літальні апарати. Використання їх для проведення фото та відео фіксації в місцях недоступних або небезпечних для людини та для переміщення невеликих вантажів виявилось дуже ефективним. Найбільш популярною конструкцією стала конструкція квадро, тобто з чотирма несучими гвинтами. Ця конструкція є найбільш простою і зручною в керуванні.[1]

Результати дослідження

З ціллю уникнення негативних складових, які обумовленні наявністю щітково-колекторного механізму ДПС[1], пропонується, в якості приводного двигуна квадрокоптера, використання вентильного двигуна. Простота конструкції самого двигуна (конструктивно, це є синхронна машина) та його енергетичні показники, а саме висока перевантажувальна здатність по моменту, висока динаміка та швидкодія, широкий діапазон зміни частоти обертання, дозволяють застосувати даний двигун, як більш ефективну заміну колекторних ДПС[1].

Дана машина є безконтактною, оскільки для комутації обмоток використовуються силові напівпровідникові ключі, для забезпечення комутації в правильний момент часу застосовується сенсор положення ротора. Цей сенсор можна реалізувати за допомогою оптичних, індуктивних елементів, або елементів принцип дії яких базуються на ефекті Холла[2].

Для моделей відносно невеликих розмірів, найбільш популярним рішенням є сенсор зворотного потоку, який базується на ефекті утворення ЕРС в обмотці яка не підключена до живлення в той чи інший момент часу. Даний спосіб реалізації сенсора положення ротора дозволяє сконструювати всю машину дуже компактною, малою за вагою, без погіршення льотних характеристик моделі.

Частота обертання ротора ВД регулюється величиною напруги, що підводиться до обмоток статора. На обмотки статора необхідно послідовно подавати напругу. Регулювання напруги, що підводиться до двигуна здійснюється за допомогою силових ключів. Окрім цього, силові ключі регулюють напругу, що підводиться до двигуна за рахунок чого і здійснюється зміна частоти обертання валу двигуна. На відміну від колекторного електродвигуна постійного струму, комутація у ВД здійснюється і контролюється за допомогою електронної системи керування[1]. Система керування, що реалізує алгоритми широтно-імпульсного регулювання є найефективнішою при застосуванні для керування ВД. Ця система, забезпечує найширший діапазон регулювання частоти обертання у двигунів з векторним керуванням. За допомогою перетворювача частоти, здійснюється регулювання частоти обертання валу двигуна і підтримка поточозчеплення в машині на заданому рівні. Комутація проводиться так, що потік збудження ротора підтримується постійним щодо потоку якоря. В результаті взаємодії потоку якоря і збудження, створюється обертовий момент, який прагне розвернути ротор так, щоб потоки якоря і збудження збігалися, але при повороті ротора під дією сенсора положення ротора відбувається перемикання обмоток і потік якоря повертається на черговий крок. В цьому випадку, результуючий вектор струму буде зсунений і нерухомий щодо потоку ротора, що створює момент на валу двигуна[2].

.....

Висновки

За своїми характеристиками вентильні двигуни значно переважають колекторні ДПС, особливо, в застосуванні в літальних апаратах, таких як квадрокоптери. Вартість та складність системи керування компенсується високою надійністю та нижчими (в порівнянні з колекторними) енерговитратами, що є особливо актуальним для даного типу апаратів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентильний двигун постійного струму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://powergroup.com.ua/uk/2_3_2_ventilniy_dvigun

2. Теорія та синтез вентильних двигунів постійного струму : монографія / В. І. Ткачук, І. Є. Біляковський, О. В. Макачук та ін. ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2011. – 288 с. : іл. – Бібліогр.: с. 263-265;

Богачук Володимир Васильович — канд. техн. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет.

Дев'ятко Владислав Сергійович – студент факультету електроенергетики та електромеханіки, група 2ЕМ-14б.

Vladimir V Bohachuk — Cand. Sc. (Eng), Department of renewable energy and transportation systems and electrical systems (VETESK), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Vladislav S Deviatko - a student of the Faculty of Electric Power Engineering and Electromechanics, group 2EM-14b.

ОБГРУНТУВАННЯ НАЯВНОСТІ НА ГРАФІКУ ВИХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ СПАДНОЇ ДІЛЯНКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено обґрунтування появи екстремуму на графіку вихідної характеристики вимірювального трансформатора струму і показано, що після досягнення екстремуму ця характеристика має спадний характер, що є причиною того, що одним і тим же значенням струму у його вихідній обмотці відповідають різні значення струму, який вимірюється.

Ключові слова: вимірювальний трансформатор струму, вихідна характеристика, екстремум, обґрунтування, спадна ділянка, неоднозначність вимірів

Abstract

The reason for the appearance of an extremum on the graph of the initial characteristic of the measuring current transformer is shown and that after reaching the extremum, this characteristic has a declining character, which is the reason that the same values of current in its output coil correspond to different values of the current being measured.

Keywords: measuring current transformer, output characteristic, extremum, justification, downstream area, ambiguity of measurements

Вступ

В роботі [1] нами було евристично з посиланням на фізику процесів заявлено про наявність екстремуму та спадної ділянки після нього у вихідній характеристиці вимірювального трансформатора струму, тобто, що ця характеристика має вигляд, зображений на рис. 1

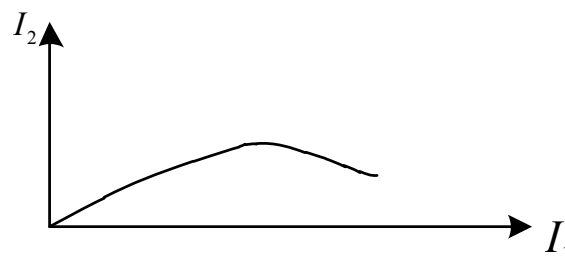


Рис. 1. Орієнтовний графік реальної вихідної статичної характеристики $I_2 = f(I_1)$ вимірювального трансформатора струму

У даній доповіді ми даємо строге математичне обґрунтування цього твердження.

Обґрунтування отриманого результату

Для обґрунтування нами використано дві вихідні передумови – по-перше, той факт, що дійсне значення I_2 струму $i_2(t)$ у вторинній обмотці вимірювального трансформатора струму за період T визначатимемо за допомогою відомого із [2] співвідношення

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_2(t))^2 dt}, \quad (1)$$

а по-друге, що графік струму $i_2(t)$ у вторинній обмотці вимірювального трансформатора струму за період T має той же вигляд, що і в роботі [1], але з прив'язкою до періоду, тобто, має вигляд, зображений на рис.2, на якому зображено також графік квадрату $(i_2(t))^2$ цього струму.

Розв'язуючи поставлену задачу, ми довели, що параметр T^* , суть якого є зрозумілою з рис.2, залежить від рівня амплітуди I_{1m} синусоїдального струму, що вимірюється, тобто, що T^* - це функція, яка має вигляд $T^* = f^*(I_{1m})$, і що вихідну характеристику вимірювального трансформатора струму можна представити у вигляді

$$I_2 = \sqrt{\frac{2I_{1m}^2}{k^2 T} \left(\frac{T}{4} - T^* - \frac{\sin 2\omega T^*}{2\omega} \right) - \frac{I_{20}^2}{\alpha T} (e^{-2\alpha T^*} - 1)} = f(I_{1m}, \alpha), \quad (2)$$

де k – коефіцієнт трансформації цього трансформатора при його роботі в діапазоні до границі між ненасиченим та насиченим станами осердя, а

$$\alpha = \frac{r}{L}, \quad (3)$$

де r, L – відповідно активний опір та індуктивність замкнутого кола вихідної обмотки вимірювального трансформатора струму.

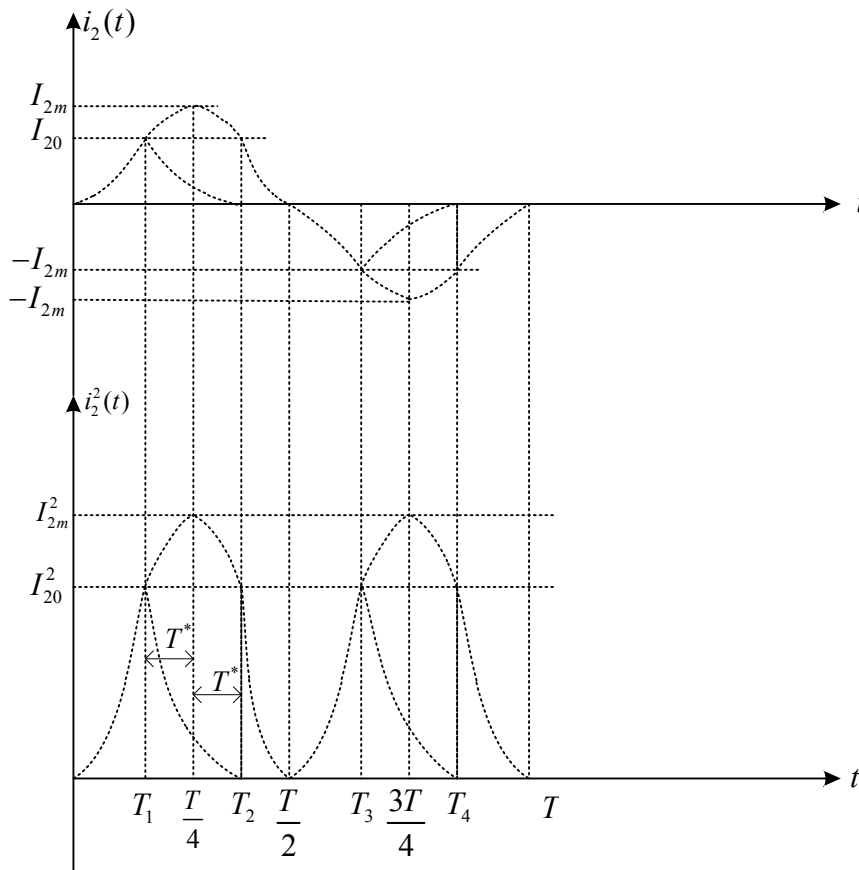


Рис.2. Графік струму $i_2(t)$ та його квадрату $(i_2(t))^2$ за період T

Саме досліджуючи вираз (2) на екстремум, ми і довели, що вихідна характеристика вимірювального трансформатора струму має екстремум і спадну ділянку після нього, тобто, що вона має вигляд, приведений на рис.1.

Висновок

Із-за того, що вихідна характеристика вимірювального трансформатора струму має екстремум у вигляді максимуму, а після досягнення максимуму має спадну ділянку, одним і тим же значенням струму у його вихідній обмотці можуть відповідати різні значення струму у його первинній обмотці, тобто струму, який вимірюється цим трансформатором, що вносить неоднозначність вимірів, яка проявлятиметься при вимірюваннях струмів короткого замикання електричної мережі вимірювальними трансформаторами струму, розрахованими на вимірювання струмів нормального режиму цієї мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін О.Б. Уточнення характеристик процесів у вимірювальних трансформаторах струму та їх математичних моделей./О.Б.Мокін, Б.І.Мокін, Я.В. Хом'юк, О.М.Кривоніс.//Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. - №4.- С.48-57.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи./ Л.А. Бессонов// М.: Высшая школа.- 1978. – 528 с.

Мокін Борис Іванович, доктор технічних наук, професор, академік НАПН України, професор кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки та кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету,

Мокін Олександр Борисович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету,

Хом'юк Яна Вікторівна, аспірантка факультету комп'ютерних систем і автоматики, кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки Вінницького національного технічного університету, e-mail: khomiukyana@gmail.com

Mokin Borys, Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics and Professor of the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes,

Mokin Oleksandr, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes,

Khomiuk Yana, Post-Graduate Student of the Faculty of Computer Systems and Automation, Department of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: khomiukyana@gmail.com

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовані добові та річні графіки виробництва електроенергії фотоелектричними станціями, коефіцієнт завантаження яких є відносно низьким, що вимагає збільшення номінальних потужностей в 3-4 рази. Показано, що збільшення потужностей ФЕС робить все більш актуальною проблему вирівнювання графіків навантажень.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, фотоелектричні станції, графіки виробництва електроенергії.

Abstract

The daily and annual graphs of electricity production by photovoltaic stations, the load factor of which is relatively low, which requires an increase in nominal capacities 3-4 times, is analyzed. It is shown that an increase in the power of the FES makes it increasingly relevant to the problem of equalizing load schedules.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaic stations, graphs of electric power generation.

Запроваджений механізм стимулювання розвитку виробництва електричної енергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) дав суттєвий поштовх розвитку даного виду генерації в Україні. Починаючи з 2011 року, щороку спостерігається суттєве збільшення кількості суб'єктів господарювання, що подають заяви на встановлення «зеленого» тарифу, кількості об'єктів, що виробляють електричну енергію з ВДЕ, та, відповідно, – встановленої потужності даних виробників.

За III квартал 2017 року об'єктами ВДЕ вироблено 1587 млн кВт·год електроенергії, з них: вітроелектростанціями – 667 млн кВт·год, сонячними електростанціями – 624 млн кВт·год, малими гідроелектростанціями – 155 млн кВт·год, електростанціями на біомасі – 74 млн кВт·год, електростанціями на біогазі – 66 млн кВт·год [1].

Сонячні фотоелектричні станції (ФЕС) – один з видів електростанцій, що найбільш активно розвиваються. ФЕС можуть використовуватися як для генерації екологічно безпечної електроенергії з метою подальшої реалізації в загальнодержавну електромережу за зеленим тарифом, так і для вироблення електроенергії для власного споживання.

Основні переваги мережевих сонячних електростанцій:

- використання безкоштовної, відновлюваної енергії, доступної практично в необмежених обсягах – сонячного випромінювання, виробляється та споживається прямо на місці;
- висока надійність – сучасні сонячні батареї можуть ефективно експлуатуватися протягом 25 років. Крім того, станція не має рухомих/обертюваних частин, які особливо швидко зношуються і вимагають заміни;
- низькі експлуатаційні витрати – сучасна сонячна електростанція відрізняється високим ступенем автоматизації всіх процесів, тому вимагає мінімальної кількості обслуговуючого персоналу;
- технічне обслуговування сонячних станцій для підтримки працездатності станції дуже маловитратне і не вимагає проведення трудомістких дорогих операцій;
- можливість задіяти під будівництво сонячної електростанції не тільки вільні площі, а й ті, які використовуються малоефективно або взагалі не використовуються, наприклад, фасади і дахи будинків – це не тільки дозволяє заощадити територію, але і значно знижує капіталовкладення в будівництво ФЕС;
- обсяги генерації електроенергії в кілька разів перевершують ті, які були витрачені для її виробництва;
- малий термін окупності інвестицій.

Однак, є певні труднощі використання і експлуатації ФЕС. Виробіток електроенергії сонячними станціями залежить, по-перше, від пори року (рис. 1), по-друге від зони доби (день, ніч) (рис. 2).

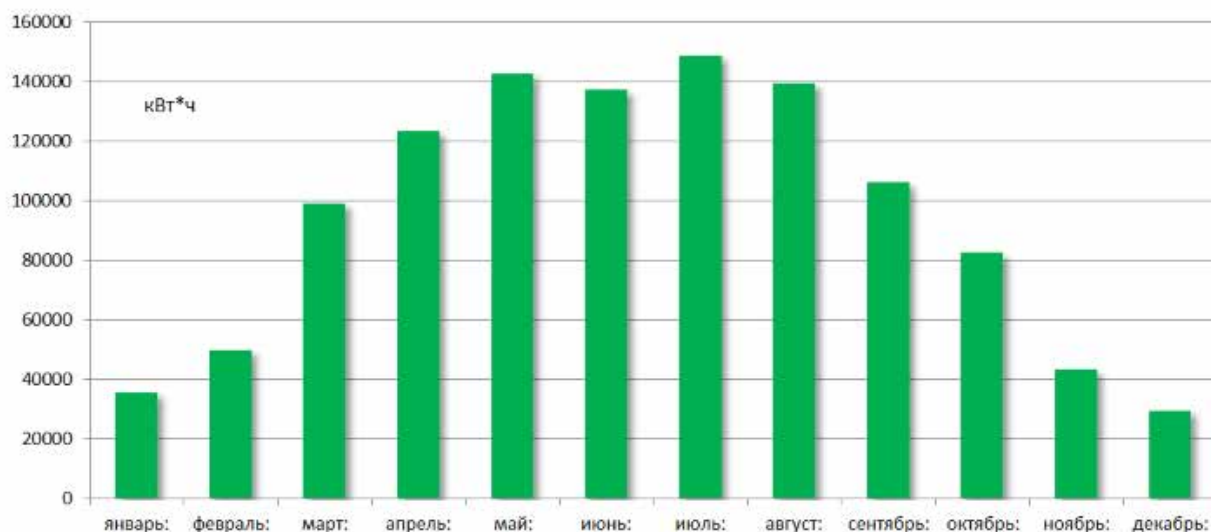


Рисунок 1 – Розрахункова генерація станції 1МВт протягом 2017 року

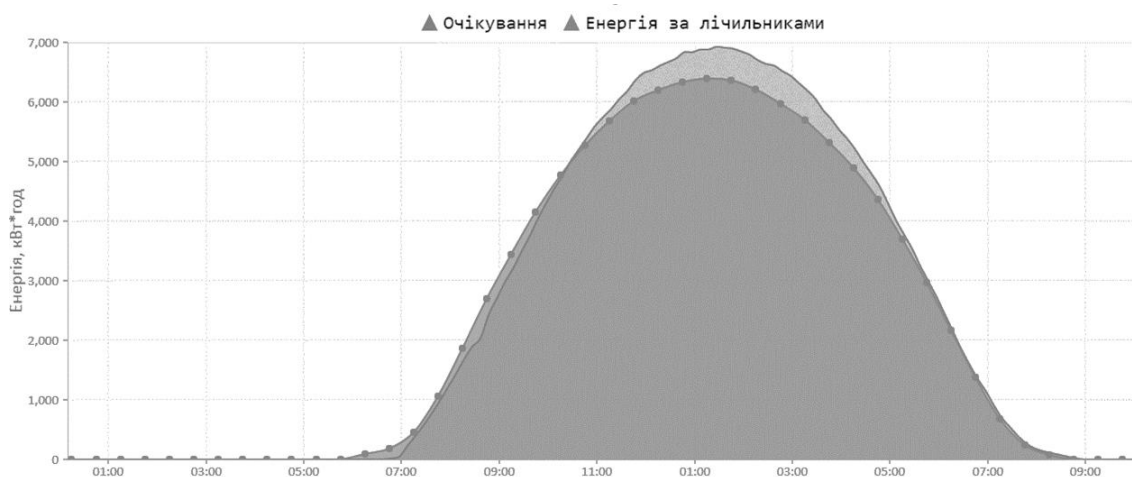


Рисунок 2 – Виробництво електроенергії ФЕС за 02.08.2017 р.

2 серпня 2017 року коефіцієнт заповнення графіка складає 32,9% (рис. 2), 1 лютого 2018 р. – 22,6%. Отже, щоб виробити енергію, рівну постійному максимальному значенню цих графіків, потрібно встановити потужність, відповідно, в 3 і 4,4 рази більшу (без врахування втрат на зберігання і регенерацію).

Оскільки 1 лютого 2018 р. максимальна потужність споживання складала 21,492 млн. кВт, мінімальна 16,429 млн. кВт (рис.3), то для того, щоб заживити усю енергосистему України від сонячних станцій потрібно встановити не менше 95 млн. кВт потужностей сонячних панелей (і це лише за умови щоденної ясної сонячної погоди і без врахування втрат на збереження і регенерацію електроенергії).

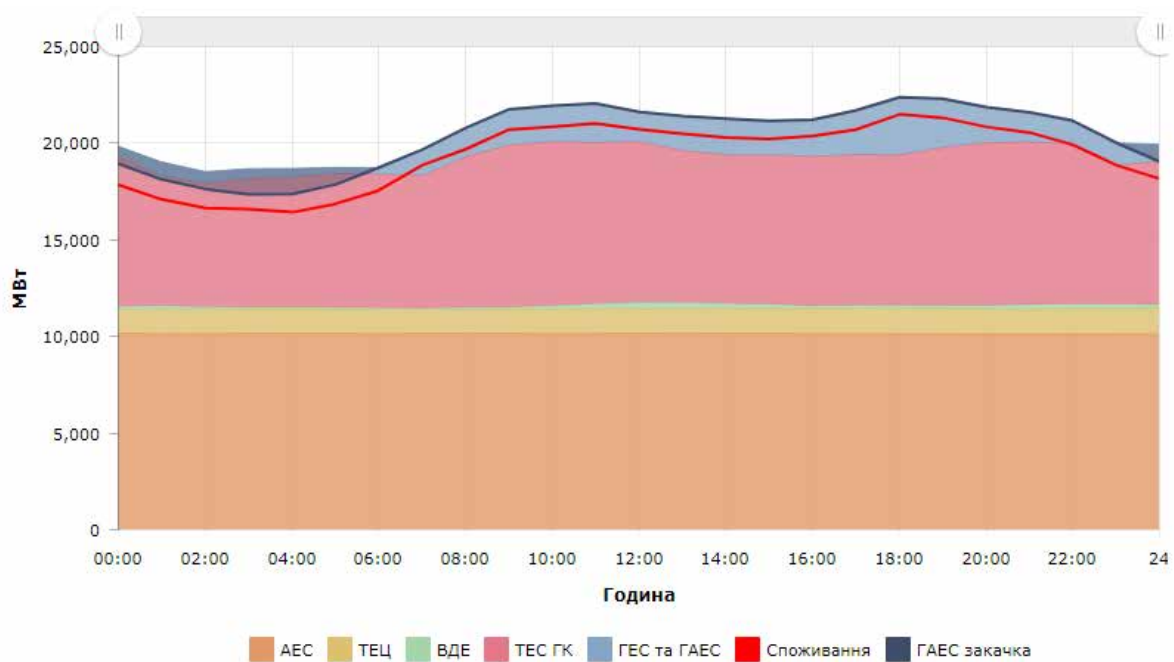


Рисунок 3 – Добовий графік виробництва / споживання електроенергії за 01.02.2018 р [2].

Виходячи з того, що для установленної потужності фотогальванічної станції 1МВт потрібно задіяти земельну ділянку площею 2 Га для установки сонячних батарей потужністю 95000 МВт потрібно зайняти 190000 Га тобто 1900 км² землі, що складає 0,314% території всієї України.

Однак у разі збільшення потужностей ФЕС проблемою залишиться регулювання графіків виробництва електроенергії. Для цього потрібні потужні акумуляційні установки типу ГАЕС, повітряних компресорних станцій, електрохімічних акумуляторів тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 01.10.2017) [Електронний ресурс] / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. – Електрон. дан. (1 файл). – 2017. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/sites/default/files/Information%20RE%20Q3.2017%2011.44.pdf>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
2. Добовий графік виробництва / споживання електроенергії [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго» . – Електрон. дан. (1 файл). – 2018. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherska-informatsiya/dobovyj-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.

Мельничук Людмила Михайлівна – канд. екон. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: l.m.melnychuk@ukr.net.

Melnychuk Liudmyla - Cand. Sc. (Eng), Department of renewable energy and transportation systems and electrical systems (VETESK), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: l.m.melnychuk@ukr.net.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЗАДАЧ ТА ЇХ РІШЕНЬ В ПРОЦЕСІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ КРАНОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведений аналіз основних проблем які виникають в процесі переміщення вантажу підйомними кранами та скіповими лебідками шахт. Наведено приклади систем керування крановим механізмом та методи їх вдосконалення, в процесі вирішення поставлених задач. Досліджено ефективність застосування наведених технічних рішень. Встановлено "маскування", нестабільних лінійних швидкостей підйому/спуску вантажів в приведених системах стабілізації кутової швидкості.

Ключові слова: крановий механізм, тяговий електродвигун, привод підйому, математична модель, ривок, вантаж, коливання.

Abstract

An analysis of the main problems that arise in the process of moving the cargo by cranes and skip winches of mines. Examples of crane mechanism control systems and methods of their improvement in the process of solving the set tasks are given. Efficiency of application of the given technical decisions is investigated. Installed "masking", unstable linear speeds of lifting / lowering loads in reduced systems of stabilization of angular velocity.

Key words: crane mechanism, traction electric motor, lifting gear, mathematical model, jerk, load, fluctuations.

Практично будь-яка галузь промисловості потребує застосування кранових механізмів (КМ) в певних періодах свого технологічного процесу. Широкий спектр використання, від підйому сировини з надр землі з використання кранових лебідок чи завантаження її на транспорт за допомогою підйомних кранів для доставлення на підприємство, завершуючи завантаженням уже виробленого продукту для реалізації. В ході транспортувань за часту відбувається зміна виду транспорту, що потребує також використання КМ для перевантаження. З врахуванням викладеного та сучасною інтенсифікацією виробництва в цілому, зменшення періоду завантаження чи перевантаження та кількості цих операцій в процесі, може вносити суттєвий вплив, як в плані швидкості так і в плані вартості виготовлення продукції. А підвищення ефективності роботи крану в плані точності та плавності переміщень вантажу зменшить кількість пошкоджень як вантажу так і самого крану.

В процесі аналізу систем керування тяговими електродвигунами (ТЕД) кранових механізмів, було встановлено, що при реконструкції існуючих чи виробництві нових КМ, найпоширенішого застосування набули асинхронні електродвигуни (АД), з релейно-контактною системою керування чи перетворювачем частоти [1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13].

Кожен процес роботи КМ можна розділити на три періоди [1, 2]: пуску - підвішений вантаж чи скіп, намотується на барабан чи змотується з нього, усталеного руху – ТЕД працює зі сталою кутовою швидкістю обертання валу та гальмування - ТЕД зменшує свою кутову швидкість від сталої до нуля для зупинки процесу підйому/спуску вантажу. Весь же цикл роботи КМ в більшості випадків характеризується як повторно-короткочасний [2] з великою кількістю чергувань періодів роботи механізмів і технічних пауз.

Період пуску КМ характеризується процесом відриву вантажу від поверхні, якому передую вибір зазору в механічній передачі при наявності слабину в канаті чи тросі, що є основною причиною виникнення динамічних навантажень які діють на електропривод підйому КМ та являється найпоширенішою причиною виникнення несправностей, до 80%. Також момент відриву супроводжується, виникненням перехідного некерованого процесу коливального характеру, та можливим виникненням ривків [6] при перевищенні допустимої швидкості обертання ротора тягового електродвигуна КМ, в даний момент для даної маси вантажу. Часте виникнення ривків в

системі сприяє інтенсивному накопиченню втомних пошкоджень в деталях [3], і, в результаті, виходу із ладу механізму.

В період уставленого руху основним завданням є стабілізація вибраної швидкості, та при можливості реалізація технічних рішень в плані її підвищення. Основна задача при цьому, це зменшення амплітуди маятникових коливань виниклих в період пуску з врахуванням впливу зовнішніх динамічних вітрових навантажень [5]. Вплив некерованих маятникових коливань на систему, збільшує, тривалість робочого циклу до 20% та ризик виникнення аварійних ситуацій [4, 10], тому вирішення поставленої задачі матиме суттєвий результат у покращенні показників швидкості.

Основним завданням періоду гальмування є забезпечення посадкової швидкості для вантажу, а для процесу опускання ще і точність у його розміщенні. Тому задача вирішення якої суттєво вплине на якість роботи КМ, це зменшення швидкості ТЕД по заданому математичному закону. Та погашення маятникових коливань, які виникають в процесі гальмування.

В процесі аналізу було розглянуто методи вирішення наведених задач. Так у роботі [3] авторами обрано відображення моделі електроприводу підйому КМ, у вигляді двохмасової механічної системи. А також запропоновано, застосувати в даному електроприводі безінерційне джерело моменту (БІМ) рис. 1, в якості якого виступає АД з перетворювачем частоти, та уведений у систему регулятора пружного моменту (РПМ) і регулятора швидкості (РШ). А в якості алгоритму керування РПМ застосувати залежність, отриману на базі синергетичної теорії керування [3]:

$$M = M_{12} + \frac{J_1}{J_2}(M_{12} - M_C) - J_1\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)(\omega_1 - \omega_2) - \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{12}}(M_{12} - M_{12}^*), \quad (1)$$

де $\omega_1, \omega_2, J_1, J_2$ - кутова швидкість і момент інерції першої і другої мас; M_{12} - моменту сили пружності; M_{12}^* - завдання для регулятора моменту сили пружності; M - потрібне значення електромагнітного моменту двигуна; T_1, T_2 - постійні часу регулятора; M_C, M_{C2} - момент сили опору діючий на першу і другу маси.

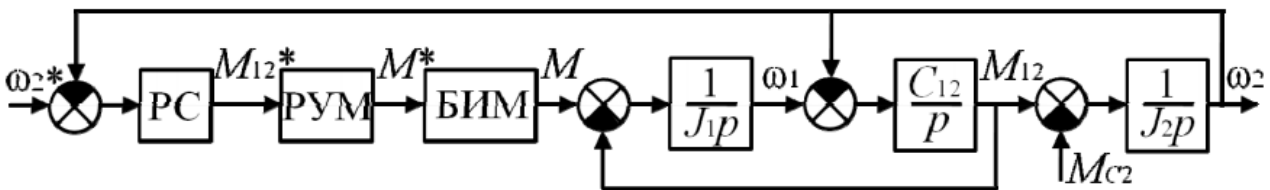


Рис.1 – Структурна схема електропривода підйому кранового механізму

Задання значення швидкості обертання ротора ТЕД, в період вибору зазору визначається виразом (2), при цьому фіксується прямо пропорційна залежність між ω_1 та M_{12}^* :

$$\omega_1 = M_{12}^* \frac{1}{(T_1 + T_2)C_{12}}. \quad (2)$$

Також у роботі запропонований метод автоматичного обмеження динамічних навантажень в приводах підйому КМ, в результаті розрахунок кутової швидкості $\omega_{1\max}$, при якій забезпечується обмеження пружного моменту на рівні $M_{12\max}$ максимально допустимій силі натягу тросу, приведений до валу ТЕД

$$\omega_{1\max} = \sqrt{\frac{C_{12}}{J_1} \Delta\varphi_{1\max}^2 + \frac{2}{J_1} M_{T\max} \frac{M_{12\max}}{C_{12}}}. \quad (3)$$

Наведена модель не дозволяє забезпечити лінійність в процесі відриву вантажу від поверхні, хоча, при цьому забезпечує автоматичне обмеження динамічних навантажень при виборі зазору.

Обмеження величини ривка розглянуто також у роботі [6], де запропоновано на початковому етапі роботи електропривод підйому включити як позиційний з нульовим завданням та з допомогою датчика положення, реверсного лічильника та контролера, розраховувати допустимий рівень ривка і

перерахунку аналітичної часової залежності (9) кута відхилення вантажного тросу від вертикалі в аналітичній залежності прискорення, швидкості і переміщення точки підвісу вантажу. В ході перетворень авторами отримано аналітичний вираз прискорення точки підвісу вантажу (10), з якого в свою чергу було отримати також вирази для швидкості та переміщення:

$$\ddot{q} + \frac{\ddot{x}}{L} + \left(2 \cdot \frac{b}{m}\right) \dot{q} + g \cdot \frac{q}{L} = 0, \quad (8)$$

$$q(t) = A + A \cdot \sin\left(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2}\right), \quad (9)$$

$$\ddot{x}(t) = -g \left(A - A \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega \cdot t\right) \right) - A \cdot L \cdot \omega^2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega \cdot t\right) - \frac{2 \cdot A \cdot L \cdot b \cdot \omega \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \omega \cdot t\right)}{m}, \quad (10)$$

де \ddot{q} – друга похідна кута відхилення вантажного тросу КМ від гравітаційної вертикалі; m – маса вантажу; L – довжина вантажного тросу КМ від рухомої точки підвісу на вантажній люльці; b – приведений до кутової координати коефіцієнт в'язкого тертя; g – прискорення вільного падіння; A – амплітуда кута нахилу вантажного тросу КМ в час переміщення вантажу; $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ – циклічна частота синусоїди; T – час розгону вантажу.

Для перевірки реакцій динамічної системи КМ з вантажем та розрахованого за наведеною математичною моделлю, керуючого впливу, запропонована імітаційна математична модель коливань вантажу, переміщуваного КМ в окремій площині рис. 3. Також наведений приклад часових залежностей переміщення, швидкості і прискорення точки підвісу та кута нахилу тросу відповідно.

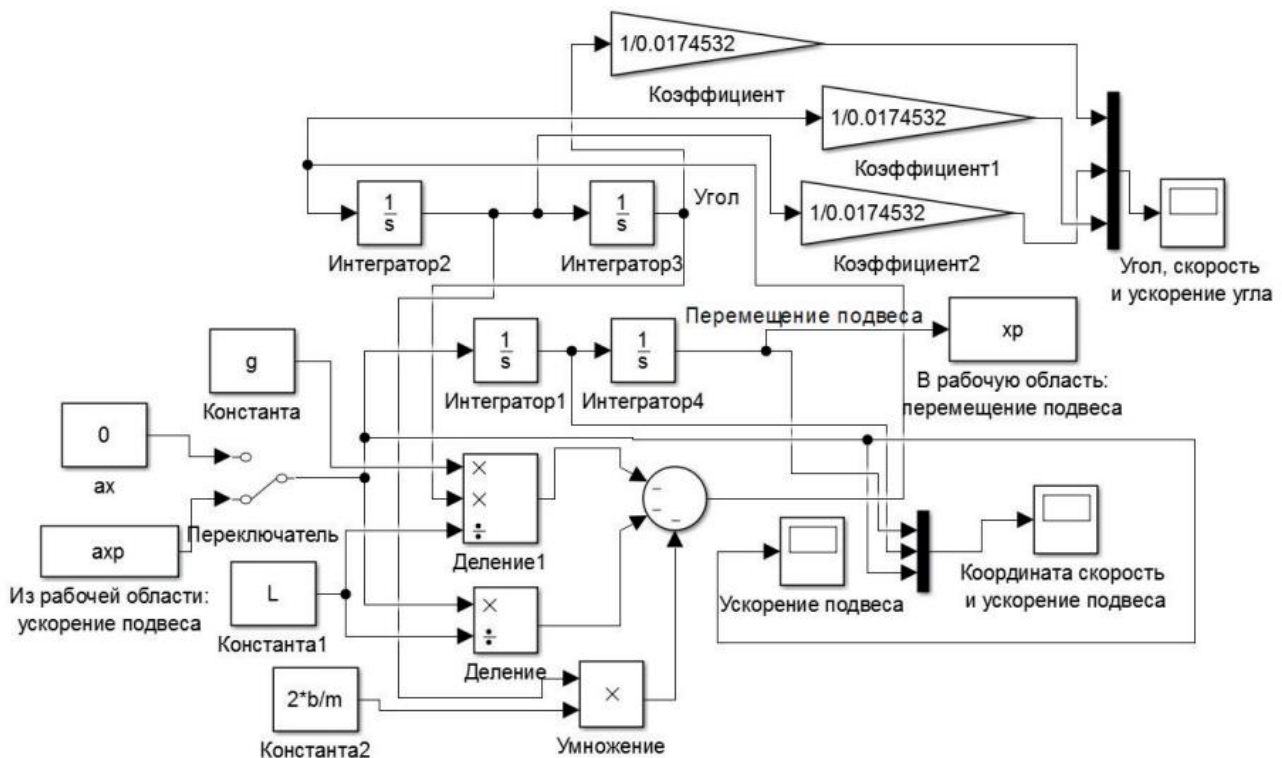


Рис.3 – Імітаційна математична модель коливань вантажу, переміщуваного КМ в окремій площині, описана диференціальним рівнянням (10)

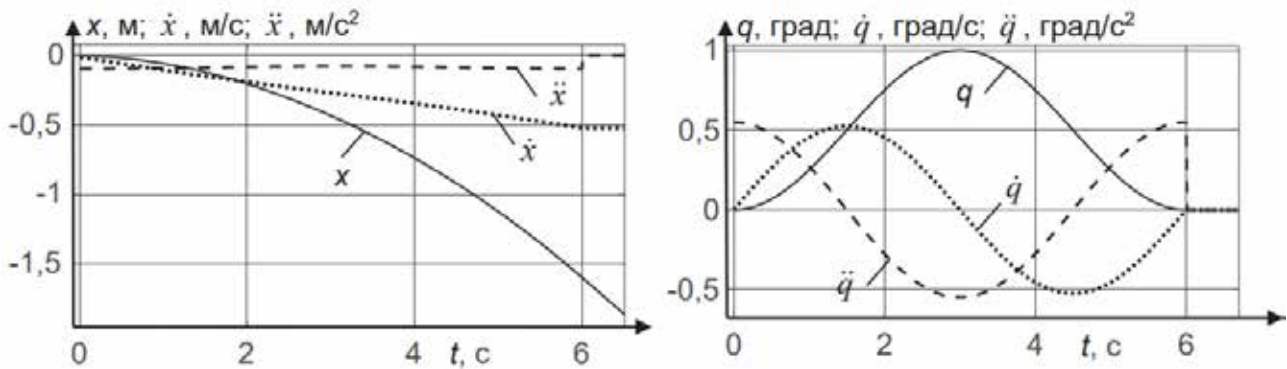


Рис.4 – Приклад часових залежностей переміщення, швидкості та прискорення точки підвісу(а), відповідні їм переміщення, швидкість і прискорення кута нахилу тросу(б)

По наведених на рис. 4 результатів моделювання, відмічено повне затухання поздовжніх коливань вантажного тросу в кінці моменту розгону/гальмування.

Вирішення даного питання представлено також у роботі [10], авторами приведена розрахункова модель КМ, яка описується системою диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + m_2 \cdot \ddot{x}_2 = F - W \cdot g \cdot \sin \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 + \frac{g}{l}(x_2 - x_1) = 0 \end{cases}, \quad (11)$$

де m_1, m_2, x_1, x_2 - приведені маси та координати центрів мас відповідно КМ та вантажу; W, F - приведені сили опору та тяги чи гальмування, які діють на КМ; l - довжина тросу.

В ході математичних перетворень та присвоєння відповідних значень швидкості та тривалості періоду розгону, була знайдена формула, яка описує енергію коливань вантажу на пружному підвісі в момент закінчення розгону КМ

$$E(2 \cdot T_3 + \Delta T) = \frac{m_2 \cdot v_1^2}{2 \cdot T_3^2 \cdot \Omega_0^2} (2 - 2 \cdot \cos(T_3 \cdot \Omega_0) - 2 \cdot \cos(\Delta T \cdot \Omega_0) + 2 \cdot \cos((T_3 + \Delta T)\Omega_0) - \cos((2 \cdot T_3 + \Delta T)\Omega_0)\Omega_0), \quad (12)$$

де v_1 - проміжна швидкість руху КМ; T_3 - час розгону КМ до проміжної швидкості; ΔT - час руху КМ на проміжній швидкості; Ω_0 - частота власних коливань математичного маятника.

Усунення маятникових коливань вантажу в момент виходу КМ на сталу швидкість стає можливим при розв'язанні рівняння

$$E(2 \cdot T_3 + \Delta T) = 0, \quad (13)$$

відносно параметру ΔT . Вирішення трансцендентного алгебраїчного рівняння (14) представлено в такому вигляді:

$$\Delta T = \frac{\pi}{\Omega_0} - T_3. \quad (14)$$

При якому рівняння (15) яке характеризує енергію залишкових коливань вантажу на пружному підвісі в момент закінчення перехідного режиму руху КМ, стає рівним нулю:

$$E(2 \cdot T_1 + \Delta T) = \frac{288 \cdot m_2 \cdot v_1^2 \cdot \cos\left(\frac{1}{2}(T_1 + \Delta T)\Omega_0\right)^2 \cdot \left(T_1 \cdot \Omega_0 \cdot \cos\left(\frac{T_1 \cdot \Omega_0}{2}\right) - 2 \sin\left(\frac{T_1 \cdot \Omega_0}{2}\right)\right)^2}{T_1^6 \cdot \Omega_0^6}. \quad (15)$$

При аналізі фазового портрету коливань вантажу на пружному підвісі рис. 5, наведеного авторами після моделювання переміщення вантажу по заданому закону, відмічається, що не великі відхилення швидкості руху КМ від заданої швидкості викликають незначні залишкові коливання вантажу на пружному підвісі. Максимальна амплітуда яких не перевищує 0,7 грудуса.

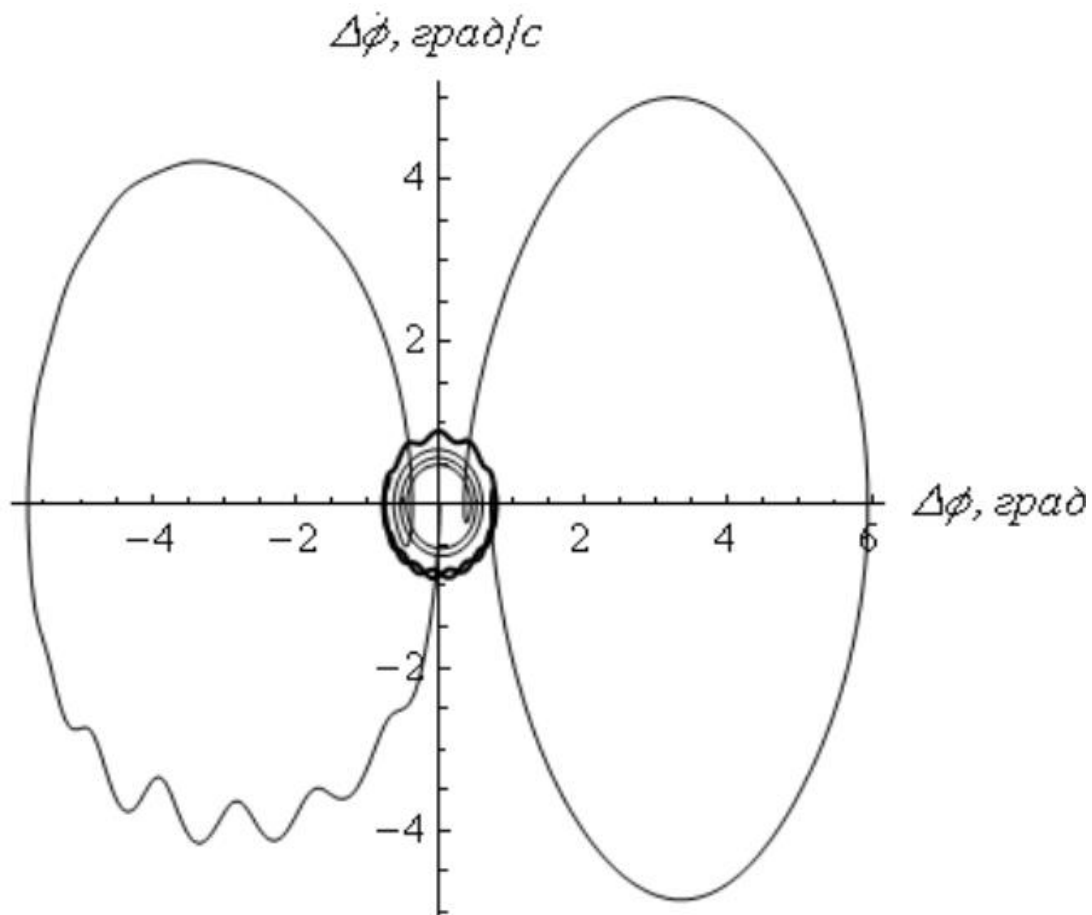


Рис.5 – Фазовий портрет коливань вантажу на пружному підвісі

Важливо також відмітити, ще одну роботу авторів «Динамічна оптимізація механізму підйому вантажу мостових кранів» [13]. В даній монографії розгорнуто розглянутий аналіз робіт з динаміки та оптимального керування мостовими кранами. Описані режими підйому/опускання вантажу „з підхватом” та „з вісу”. Для першого, приведена дев’ятиетапна математична модель руху динамічної системи «механізм підйому вантажу – вантаж - основа» яка враховує динаміку взаємодії вантажу та основи. Для другого, синтезована багатоетапна математична модель руху „механізм підйому вантажу – вантаж”. Отримані значення динамічних навантажень тросу, кранового моста та основи на яку опускається вантаж. Також виконаний аналіз експериментальних даних, при частотному керуванні тяговим електродвигуном КМ, та встановлена доцільність застосування в порівнянні з реостатним керуванням, як в технічному так і в економічному плані.

За результатами проведеного дослідження всіх розглянутих робіт спрямованих на нейтралізацію пружних коливань в системі КМ при підніманні/опусканні вантажу, встановлено, що не враховується змінний момент інерції барабана, на який намотується і з якого розмотується трос, до якого підвішено вантаж. А припущення, що при сталій швидкості обертання ротора ТЕД кранового механізму лінійна швидкість підйому/спуску вантажу також буде сталою, не є вірним. Вона буде або наростати, або спадати, тому приведені системи стабілізації кутової швидкості "маскують" нестабільні лінійні швидкості підйому/спуску вантажів.

Наголос на врахування даного питання поставлений в роботі [1], в якій за основу взяте загальне рівняння динаміки (15) у якому враховується і змінність в часі моменту інерції і змінність в часі моменту навантаження [14]:

$$J(t) \frac{d\omega}{dt} + \frac{dJ}{dt} \omega = M(t). \quad (16)$$

Тому в наступних роботах планується, шляхом синтезу математичних моделей керування тяговими електроприводами КМ з врахуванням змінного моменту інерції барабану в законах

керування, досягти збільшення точності при моделюванні руху вантажу з врахуванням нейтралізації пружних коливань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mokin B. I. Synthesis of mathematical models for one class of electromechanical systems with variable parameters. Electrical and Computer Engineering (UKRCON) [Text] / B. I. Mokin, O. B. Mokin, O. M. Kryvonis // 2017 IEEE First Ukraine Conference on (YSF-2017). -2017. -DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100504.
2. Режими роботи механізмів кранів. [Електронний ресурс]. -Будівельна техніка. Довідник. -2016. -Режим доступу: <http://budtehnika.pp.ua/6798-rezhimi-roboti-mehanzmv-kranv.html>
3. Завьялов В. М. Автоматическое ограничение динамических нагрузок электропривода подъема мостового крана [Текст] / В. М. Завьялов, А. В. Гусев // Известия Томского политехнического университета. -2011. -№4. -С. 151-154.
4. Корытов М. С. Обоснование значений коэффициентов регуляторов гашения колебаний груза мостового крана [Текст] / М. С. Корытов, В. С. Щербаков, Е. О. Шершнева // Вестник СибАДИ. -2017. -№1. -С. 12-19.
5. Машин А. В. Реализация алгоритма управления приводами башенных кранов при ветровых воздействиях [Текст] / А. В. Машин, П. А. Сорокин // Известия ТулГУ. Технические науки. -2014. -№1. -С. 186-193.
6. Виноградов С. С. Синтез крановых электроприводов с ограничением рывка [Текст] / С. С. Виноградов, А. В. Гордеев, И. Ю. Муллин // Вестник УлГТУ. -2012. -№2. -С. 42-48.
7. Ручка О. О. Векторне управління частотно-регульованого асинхронного електроприводу [Текст] / О. О. Ручка, О. О. Ніколаєв // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. -2013. -№4. -С. 159-162.
8. Григоров О. В. Аналіз пуско-гальмівних процесів кранових механізмів з частотно-регульованим приводом [Текст] / О. В. Григоров, В. В. Стрижак // Вісник ХНАДУ. -2012. -№57. -С. 249-256.
9. Щербаков В. С. Математическое моделирование рабочего процесса мостового крана с релейными приводами моста и грузовой тележки [Текст] / В. С. Щербаков, М. С. Корытов, Е. О. Шершнева // Вестник СибАДИ. -2016. -№1. -С. 28-36.
10. Ромасевич Ю. А. Оптимизация режимов движения мостовых кранов [Текст] / Ю. А. Ромасевич, В. С. Ловейкин // Синергия. -2016. -№2. -С. 73-80.
11. Корытов М. С. Использование синусоидальной функции для моделирования разгона и торможения груза мостового крана в режиме гашения колебаний [Текст] / М. С. Корытов, В. С. Щербаков // Вестник СибАДИ. -2017. -№2. -С. 22-28.
12. Швед Ю. С. Экспериментальные исследования и математическое моделирование асинхронного электропривода передвижения мостового крана [Текст] / Ю. С. Швед, И. А. Орловский // Электротехника та електроенергетика. -2013. -№1. -С. 18-27.
13. Ловейкін В.С. Динамічна оптимізація механізму підйому вантажу мостових кранів. Монографія / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПІНТ”, 2015. – 197 с.
14. Dimensioning of a drive system. [Electronic resource]. -Technical guide No. 7. -2011. -Режим доступу: https://library.e.abb.com/public/a3ef20fdc69ccc9ac12578800040ca95/ABB_Technical_guide_No_7_REVC.pdf.

Кривоніс Олександр Михайлович, аспірант, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, kryvonis.ol@gmail.com

Мокін Борис Іванович, академік НАПНУ, д.т.н., професор, професор кафедри ВЕТЕСК, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Kryvonis Oleksander, Postgraduate Student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, kryvonis.ol@gmail.com

Mokin Boris, Academician of NAPNU, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of VETESK, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СМАРТ-СИСТЕМИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розроблено смарт-систему моніторингу параметрів вітроенергетичної установки, яка дозволяє відслідковувати швидкість обертання вітроколеса, швидкість повітряного потоку та генеровані напругу і струм. Також проведено перевірку працездатності даної системи в лабораторних умовах.

Ключові слова: вітроенергетична установка, смарт-система, моніторинг.

Abstract

There had been developed of a smart system of wind turbine which allows to provide the monitoring of the mechanical parameters such as the speed of air flow, rotation speed of the wind wheel, and the generated voltage and current. Also verified performance of the system in the laboratory.

Keywords: wind turbine, smart system, monitoring.

Вступ

Останнім часом вітроенергетика набуває все більшого поширення та розвитку. Це пов'язано з тим, що вона є невід'ємною складовою світового енергетичного тренду – збільшення кількості альтернативних джерел енергії. Причому увага науковців прикута вже не лише до природних вітрів, а і до таких, що створюються, наприклад, залізничними потягами [1].

Для експлуатації вітроенергетичної установки потрібно контролювати ряд параметрів, які забезпечують стійку та безпечну роботу всієї системи. Дану задачу виконує смарт-система ВЕУ, яка вимірює дані параметри та передає на панель оператора. Потрібно вимірювати наступні важливі параметри:

- Швидкість вітру.
- Швидкість обертання вітроколеса.
- Напругу на затискачах генератора.
- Струм, що споживається.
- Потужність, що виробляється.

Вибір апаратного забезпечення

Проаналізувавши існуюче апаратне забезпечення за основу було взято Arduino Nano.

Для вимірювання швидкості обертання вітроколеса та швидкості вітру використовуються датчики Холла А3144.

Для вимірювання напруги на затискачах генератора використаний подільник напруги.

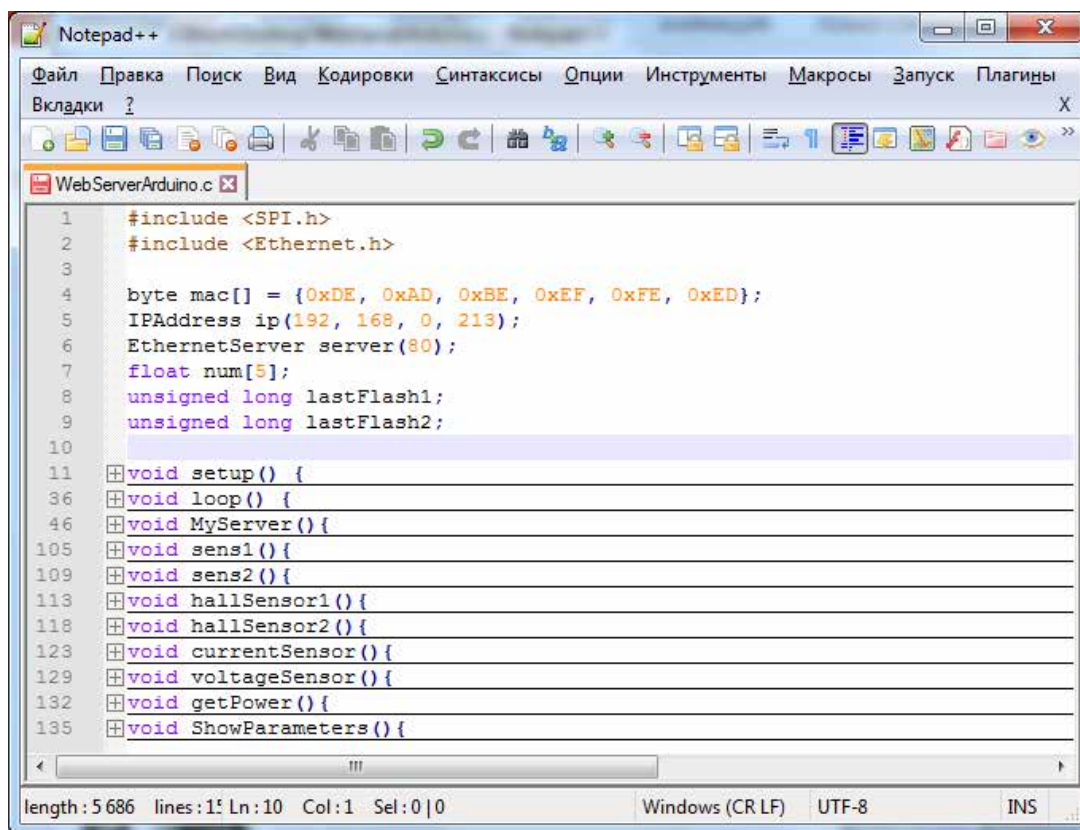
Для вимірювання струму споживання використовується датчик струму ACS712 30A GY-712.

Для передачі даних використовується модуль W5100 Ethernet Shield.

Розробка програмного коду для реалізації смарт-системи

Arduino (Ардуіно) — апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування, що є підмножиною C/C++. Мова програмування аналогічна мові Wiring. Тобто, це C++, доповнений деякими бібліотеками. Програми обробляються за допомогою препроцесора, а потім компілюється за допомогою AVR-GCC. Програми Arduino пишуться на мові програмування C або C++.

Загальна структура програми, розробленої для реалізації смарт системи на базі Arduino, представлена на рисунку 1.



```
1 #include <SPI.h>
2 #include <Ethernet.h>
3
4 byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
5 IPAddress ip(192, 168, 0, 213);
6 EthernetServer server(80);
7 float num[5];
8 unsigned long lastFlash1;
9 unsigned long lastFlash2;
10
11 void setup() {
12
13 }
14
15 void loop() {
16
17 }
18
19 void MyServer() {
20
21 }
22
23 void sens1() {
24
25 }
26
27 void sens2() {
28
29 }
30
31 void hallSensor1() {
32
33 }
34
35 void hallSensor2() {
36
37 }
38
39 void currentSensor() {
40
41 }
42
43 void voltageSensor() {
44
45 }
46
47 void getPower() {
48
49 }
50
51 void ShowParameters() {
52
53 }
```

Рисунок 1 – Загальний вигляд реалізованої смарт-системи

Практична реалізація смарт-системи ВЕУ

Смарт-система була реалізована практично, а саме скомпонована в пластиковому корпусі (рисунок 2). Для спрощення підключення сенсорів до пристрою в верхній частині корпусу змонтована клемна колодка (розпіновка наведена таблиці 1).

Також дана система була протестована в лабораторії кафедри ВЕТЕСК. Випробування проводилися на лабораторній установці, яка зображена на рисунку 3. На ВЕУ був змонтований сенсор швидкості обертання вітроколеса (рисунок 4). Сенсор швидкості руху вітру був змонтований безпосередньо перед вітроколесом на станині (рисунок 5). Сенсор струму включений в коло після трифазного випрямляча(рисунок 6).

На рисунку 7 зображене вікно браузера, в якому відображаються виміряні параметри. Результати вимірювань представлені на рисунку 8. Достовірність виміряних даних перевірена контрольними вимірювальними приладами, а саме вольтметром В7-46/1(клас точності $\pm 0,01-0,03\%$) [2], амперметром Е525 (клас точності $\pm 0,5\%$) [3].

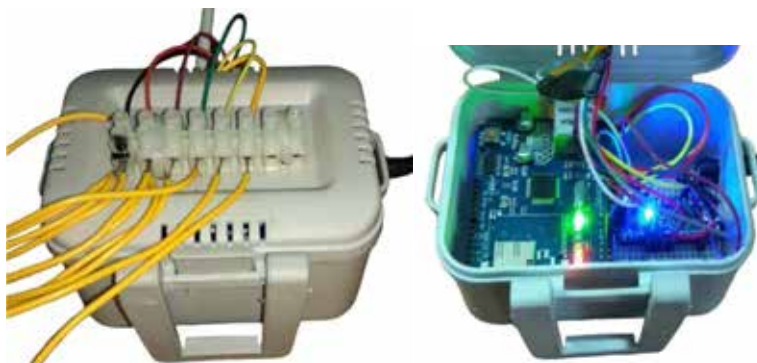


Рисунок 2 – Загальний вигляд реалізованої смарт-системи

Таблиця 1 – Розпіновка клемної колодки

1	2	3	4	5	6
- 5 В	+ 5 В	Сенсор швидкості руху вітру	Сенсор швидкості обертання вітроколеса	Сенсор струму	Сенсор напруги



Рисунок 3 – Лабораторна вітроенергетична установка



Рисунок 4 – Сенсор швидкості обертання вітроколеса



Рисунок 5 – Сенсор швидкості руху вітру



Рисунок 6 – Сенсор струму

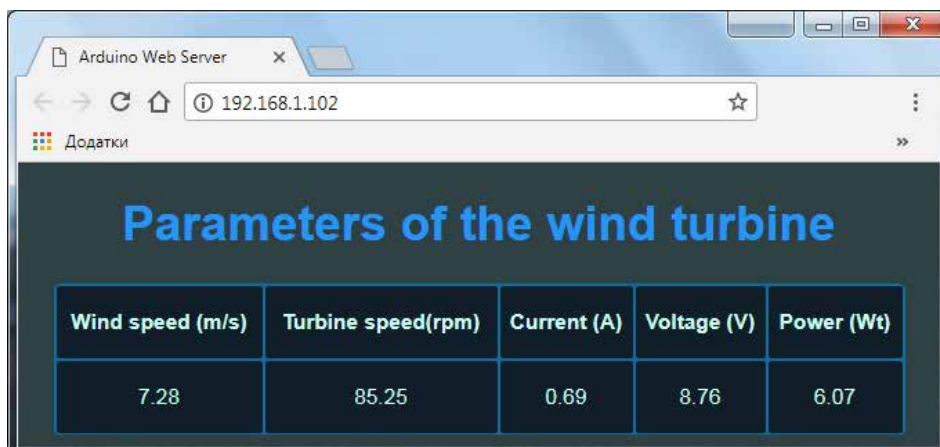


Рисунок 7 – Вікно браузера, в якому відображаються виміряні параметри

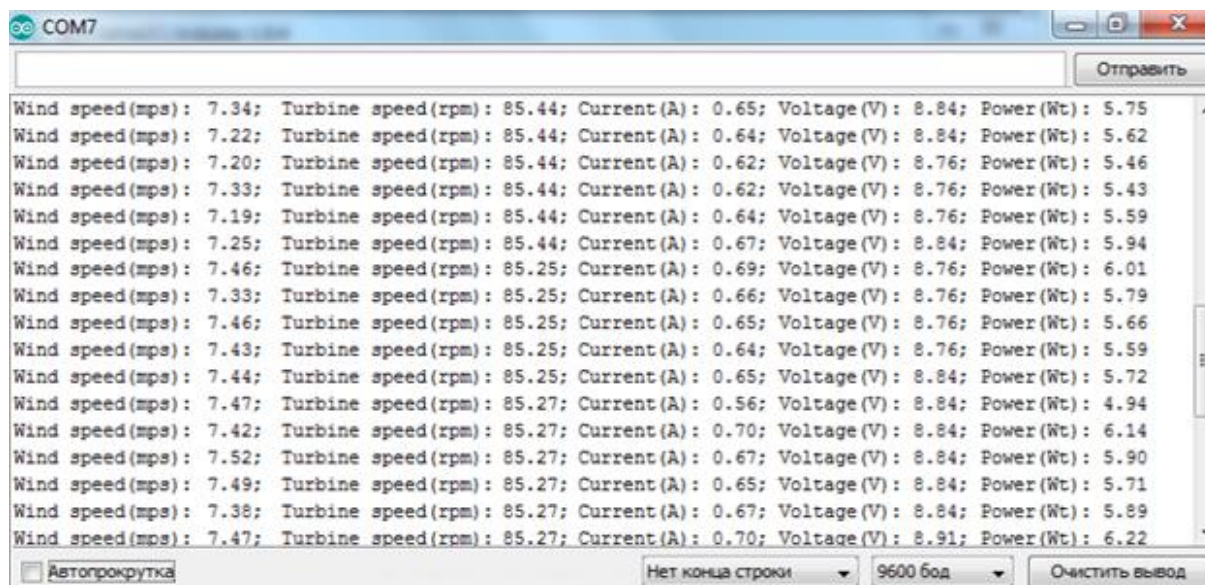


Рисунок 8 – Результати вимірювань

Висновок

Розроблена смарт-система може використовуватися для модернізації вже існуючих та діючих ВЕУ. Застосування даної системи зменшує час простою ВЕУ тому, що ремонтна бригада дізнається про поломку майже миттєво і має змогу провести ремонтні роботи в найкоротший період часу. Термін окупності самої смарт-системи є невеликим за рахунок того, що зменшується термін простою установки. Це, в свою чергу, збільшує прибуток від роботи ВЕУ.

Вагомим фактором на користь використання Arduino, в якості смарт-системи, є те, що інформація знаходиться у відкритому доступі та існує велика кількість цієї інформації з описом побудови найрізноманітніших систем на її базі, що суттєво спрощує їх розробку і дає великі можливості для їх покращення (розширення функціоналу тощо).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mokin O.B, Mokin B.I., Bazalytskyy V.P. The Measuring System for Estimation of Power of Wind Flow Generated by Train Movement and Its Experimental Testing, *Energy and Power Engineering*, 2014, Vol. 6, 333-339 pp., Режим доступу: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID=50351>
2. Вольтметр В7-46/1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://printsip.ru/radioizmeritelnye-pribory/voltmetry/voltmetry-universalnye-v7/item/v7-46-1>
3. Амперметр E525 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.pribori.net.ua/E525_E537.html

О. М. Головченко
О. М. Нанака
К. Р. Нагорна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ТЕЦ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуті дослідження теплової схеми теплоелектроцентралі (ТЕЦ) в напрямку підвищення її ефективності. Наведені результати розрахунків варіантів теплової схеми ТЕЦ та обґрунтований вибір найкращого варіанта.

Ключові слова: теплоелектроцентраль (ТЕЦ), тепла схема, парогенератор, турбіна, енергетичні показники, викиди, термін окупності.

Abstract

The research of thermal scheme of combined heat and power plant (CHP) in the direction of increasing its efficiency is considered. The results of calculation of variants of thermal scheme of CHP are presented and the choice of the best variant is justified.

Keywords: combined heat and power plant (CHP); thermal circuit; steam generator; turbine; energy displays; emissions; payback period.

Вступ

В умовах наближення цін на газ до світових рівнів, задача підвищення ефективності ТЕЦ є актуальною. Метою дослідження є вибір варіанта реконструкції теплової схеми ТЕЦ для підвищення її ефективності. Часто порівняння варіантів схем ТЕЦ виконуються за енергетичними показниками, які розраховуються за типовими методиками. Похибка типових методик невелика, менша 10%. Однак з теорії систем відомо, що складні технічні системи, якими є ТЕЦ, характеризуються не лише енергетичними, а й економічними, біологічними, медичними, екологічними, соціологічними та іншими показниками. Розрахунки цих показників потребують початкових даних, частина яких, через невизначеність, прогнозується. Типова методика прогнозування невизначених даних з похибкою прогнозу на рівні похибки розрахунків енергетичних показників ТЕЦ відсутня. Також поки що відсутня і типова методика багатокритеріальної оцінки ТЕЦ. Проте, є роботи, як з прогнозування невизначених початкових даних так і з багатокритеріальної оцінки енергетичних об'єктів. Використавши ці роботи, можна порівняти результати розрахунків ТЕЦ за однокритеріальними та багатокритеріальними показниками. В цій частині досліджень показники варіантів теплової схеми ТЕЦ визначалися за однокритеріальними оцінками ефективності.

Основна частина

Об'єктом досліджень є міська ТЕЦ з максимальною тепловою потужністю 64 МВт. Теплова схема ТЕЦ наведена на рис 1.

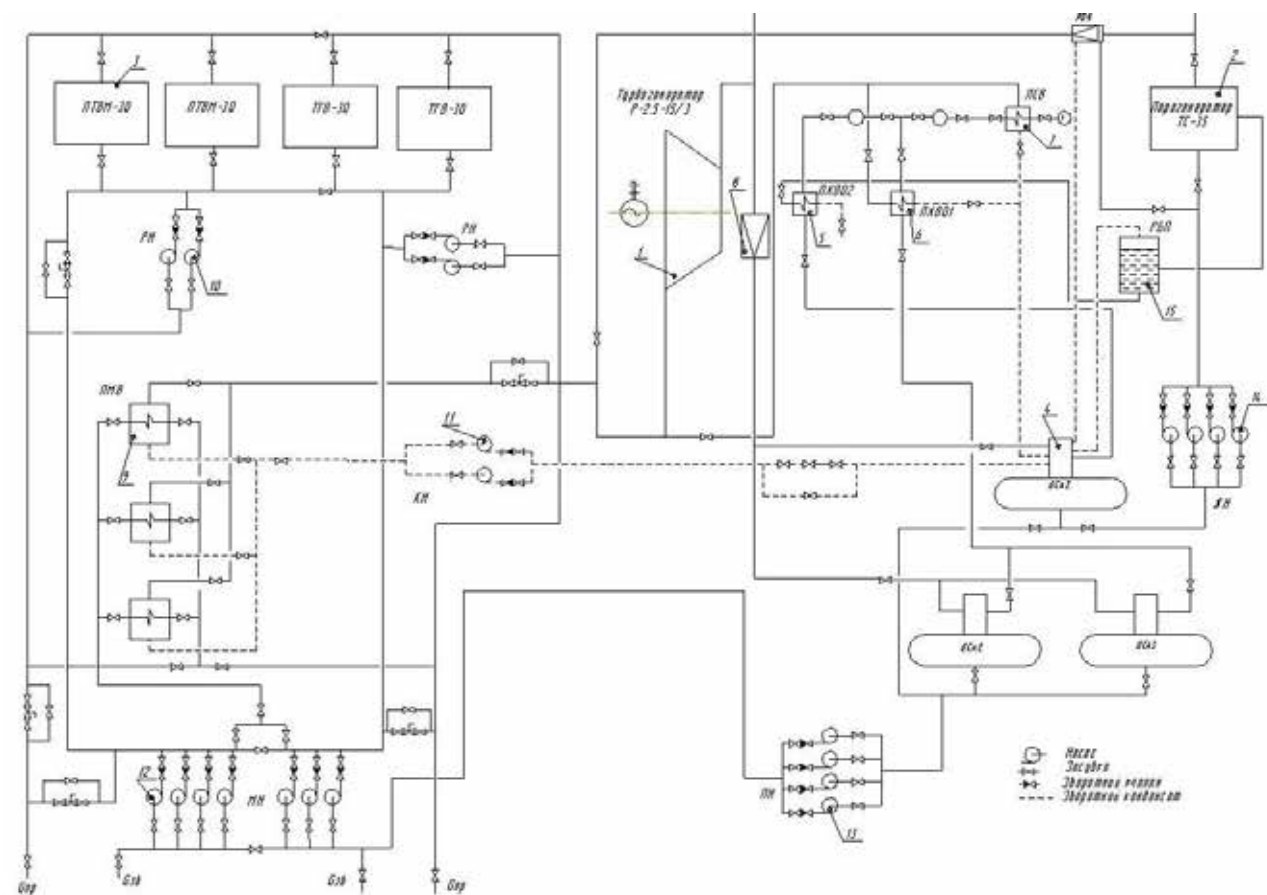


Рис. 1. Теплова схема міської ТЕЦ

1 – Протитискова парова турбіна – Р-2,5-15/3; 2 – паровий котел ТС-35; 3 – водогрійний котел – ПТВМ-30; 4 – деаератор ДСА-75/25; 5, 6 – підігрівники хімоочищеної води І-ого та ІІ-ого ступеню; 7 – підігрівник сирі води (ПСВ); 8 – редуційно-охолоджувальна установка РОУ 17/7; 9 – підігрівник мережної води (ПМВ); 10 – рециркуляційний насос (РН); 11 – конденсатний насос (КН); 12 – мережний насос (МН); 13 – насос підживлення (ПН) теплових мереж; 14 – живильний насос (ЖН); 15 – розширник безперервної продувки (РБП)

На ТЕЦ встановлено один паровий котел ТС-35 з параметрами пари $t_0=375$ °С та $P_0=1,5$ МПа, парова протитискова турбіна Р-2,5-1,5/3, чотири водогрійних котли ПТВМ-30, один з яких знаходиться в резерві.

В середньоопалювальний період працює парогенератор та один водогрійний котел. При низьких температурах навколишнього середовища в максимально опалювальний період працює два водогрійних котла. В міжопалювальний період працює паровий котел і турбогенератор, який протитиском 0,3 МПа забезпечує гаряче водопостачання (ГВП). Теплофікаційна потужність забезпечується двома водогрійними котлами ПТВМ-30 з максимальним навантаженням 70% кожний. В середньозимовий період працює один водогрійний котел з аналогічним навантаженням, що призводить до зменшення ККД та перевитрати палива.

З метою вибору найкращого, розглянуті наступні варіанти теплової схеми ТЕЦ.

1 – Заміна водогрійного котла ПТВМ-30 на паровий котел ТС-35, який працює на параметрах пари $t_0=375$ °С, $P_0=1,5$ МПа та встановлення додаткової парової протитискової турбіни Р-2,5-15/3. Передбачається робота в середньоопалювальний період, а в максимально опалювальний планується робота пікового водогрійного котла.

2 – Заміна водогрійного котла ПТВМ-30 на паровий котел БМ-35М, який працює з параметрами пари $t_0=435$ °С, $P_0=3,5$ МПа та встановлення додаткової парової протитискової турбіни Р-4-35/3. Навантаження в середньоопалювальний період забезпечується протитиском турбін Р-2,5-15/3 та Р-4-35/3, а в максимально опалювальний планується робота пікового водогрійного котла.

3 – Встановлення парового котла БМ-35М, який працює на параметрах пари $t_0=435$ °С, $P_0=3,5$ МПа та парової протитискової турбіни Р-6-35/1. Передбачається робота турбіни Р-6-35/1 для забезпечення річного теплового навантаження ГВП, оскільки протитиск турбіни складає 1 бар, що дорівнює 97 °С, що достатньо для ГВП. Існуюча турбіна Р-2,5-15/3 буде працювати в середньопалювальний та максимально опалювальний період.

4 – Встановлення парового котла БМ-35М, який працює на параметрах пари $t_0=435$ °С, $P_0=3,5$ МПа та парової протитискової турбіни Р-2,5-35/2. Оскільки теплоперепад турбіни Р-2,5-35/2 більший, ніж існуючої Р-2,5-15/3, планується цілорічна робота нової турбіни для забезпечення потужності ГВП.

5 – Встановлення парового котла БМ-35М, який працює на параметрах пари $t_0=435$ °С, $P_0=3,5$ МПа та парової конденсаційної турбіни ПТ 6-35/1 з одним відбором пари. Витрата пари через конденсатор складає не менше 20% при максимальному навантаженні відбору турбіни. Планується робота турбіни для покриття теплофікаційного навантаження ГВП.

6 – Пропонується встановлення парового котла ДКВР-20-23, який працює на параметрах пари $t_0=370$ °С, $P_0=2,3$ МПа та парової протитискової турбіни Р-2,5-2,1/2. Водогрійний котел ПТВМ планується замінити на паровий котел ДКВР-20-23 з турбіною Р-2,5-2.1/2 з роботою в середньопалювальний період, а в максимально опалювальний планується робота пікового водогрійного котла.

Для розрахунків були вибрані три періоди роботи ТЕЦ, таблиця 1.

Таблиця 1 – Теплове та електричне навантаження ТЕЦ в розрахункові періоди

	Максимально-зимовий період	Середньозимовий період	Міжопалювальний період
Тривалість опалювального періоду, діб	20	168	177
Теплове навантаження, МВт·год	64	32,16	15,1
Електричне навантаження, МВт·год	1,46	1,26	1,2

Формули розрахунків енергетичних, екологічних та економічних показників варіантів ТЕЦ наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Енергетичні, екологічні та економічні показники варіантів ТЕЦ

Показники	Розрахункова формула
Енергетичні та екологічні показники:	
Коефіцієнт використання теплоти палива	$\varphi = (Q_e + N_e) / Q_n^p \cdot B_p$, де N_e, Q_e – електрична и тепла потужність, яка відпущена споживачам, відповідно; Q_n^p і B_p – теплота згоряння і витрата палива, відповідно.
Питома витрата палива на одиницю потужності м ³ /МВт·год	$\alpha = B_r / (Q_r + N_r)$, де N_r, Q_r – річне виробництво електричної і теплової енергії відповідно; B_r – річна витрата палива.
Собівартість теплової енергії тис. грн/МВт·год	$Se = (CE + CB) / Q_r$, де Q_r – річне виробництво теплової енергії; CE – річні експлуатаційні витрати; CB – річні витрати на паливо.
Кількість шкідливих викидів, млрд. м ³ /рік	$V_e = B_r \cdot V_o \cdot \alpha$, де V_o – теоретична витрата необхідного повітря для його спалювання; α – коефіцієнт зайвини повітря (об'ємна витрата відхідних газів); B_r – річна витрата палива.
Економічні показники:	
Прибуток млн. грн/рік	$B_Y = B_P^{MaxOP} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{MaxOP} + B_P^{OP} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{OP} + B_P^{MOP} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \tau_{MOP}$, де $B_P^{MaxOP}, B_P^{OP}, B_P^{MOP}$ – витрати робочого палива за максимально-опалювальний, середньозимовий та міжопалювальний період відповідно; $\tau_{MaxOP}, \tau_{OP}, \tau_{MOP}$ – тривалість максимально опалювального, середньозимового та міжопалювального періодів відповідно.

Затрати на паливо, млн. грн/рік	$ZP = B_r \cdot C$, де B_r – річна витрата палива; C – вартість палива
Капітальні вкладення млн. грн.	$K = K1 + K2 + K3$, де $K1$ – вартість основного обладнання; $K2$ – вартість додаткового обладнання; $K3$ – вартість доставки, встановлення та наладки.

Результати розрахунків існуючого (базового) та призначених варіантів ТЕЦ наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристики варіантів ТЕЦ

	Базовий варіант. Котел ТС-35 та турбіна Р-2,5-15/3	Встановлення додаткового котла ТС-35 та турбіни Р-2,5-15/3	Встановлення додаткового котла БМ-35М та турбіни Р-4-3,5/3	Встановлення додаткового котла БМ-35М та турбіни Р-6-35/1	Встановлення додаткового котла БМ-35М та турбіни Р-2,5-35/2	Встановлення додаткового котла БМ-35М та конденсаційної турбіни ПТ-6-35/1	Встановлення додаткового котла ДКВР-20-23 та турбіни Р-2,5-21/2
Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7
Температура пари - перед °С	375	375	435	435	435	435	370
- після °С	190	190	193	156/91,9	156	91,9/156	152
Електрична потужність турбін, МВт	2,5	2,5	4	6	2,5	6	2,5
Виробництво електроенергії, млн. кВт·год/рік	10,99	19,8	31,1	39,99	22,01	35,23	22,01
Відносні річні затрати на паливо, %	100	99,84	104	105,7	100,7	114,7	99,97
Відносні річні капітальні вкладення, %	-	100	119,5	114,3	100	169	93
Коефіцієнт використання палива	0,701	0,729	0,731	0,745	0,729	0,675	0,735
Питома витрата палива на одиницю потужності м ³ /МВт·год	3,239	1,811	1,207	0,955	1,646	1,175	1,632
Відносна собівартість теплової енергії, %	100	101,5	106,3	108,1	102,5	117,6	101,7
Відносна собівартість енергії (теплова та електрична), %	100	97,8	98	96,4	98	106,7	97,2
Кількість шкідливих викидів, млн. м ³ /рік	432,186	431,549	449,907	457,111	435,509	495,78	432,096
Відносний річний прибуток, %	100	120,1	131,5	150,7	122,3	82,7	127,1
Термін окупності, місяців	0,00	16,18	17,66	16,45	15,89	39,66	14,27

Як видно з таблиці варіанти з протитисковими турбінами мають невеликий термін окупності – від 1,3 до 1,5 року. Термін окупності варіанта з конденсаційною турбіною (варіант 6) більше трьох років через додаткове обладнання, зокрема, конденсатора. Найбільший прибуток та найменший термін окупності має варіант 4, що пояснюється цілорічним покриттям потужності гарячого водопостачання та підвищеним теплоперепадом турбіни. Питома витрата палива на одиницю потужності та собівартість теплоти є найменшим також у варіанті 4, а коефіцієнт використання палива цього варіанта – найвищий. Недоліком варіанта 4 є підвищена витрата палива, та, як наслідок, більша кількість викидів.

Четвертий варіант принципової схеми ТЕЦ з додатковою протитисловою турбіною зображений на рис. 2.

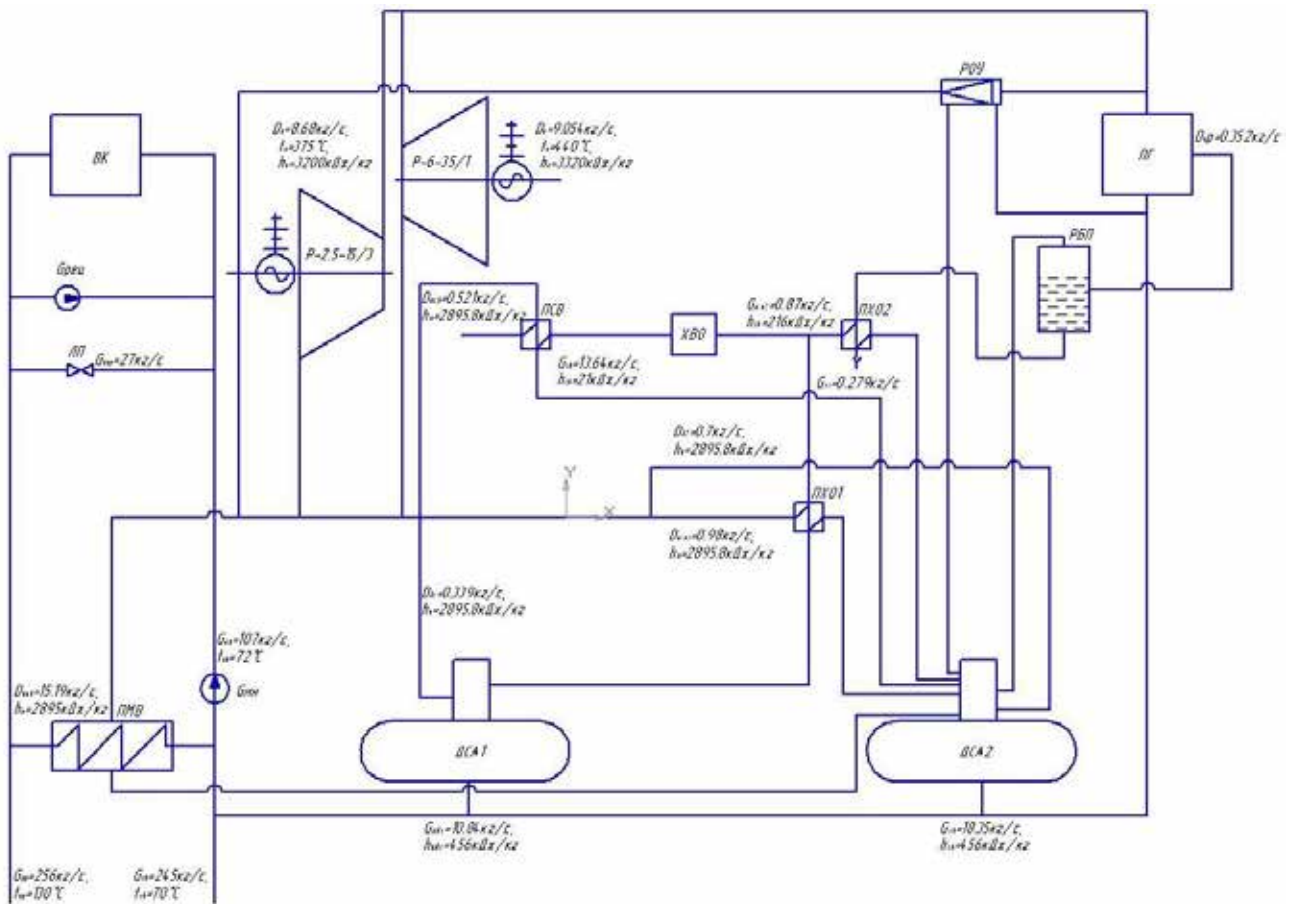


Рис. 2. Четвертий варіант принципової схеми ТЕЦ з додатковою турбіною P-6-35/1

Висновки

1. Поставлена задача підвищення ефективності міської ТЕЦ.
2. Призначені до розгляду 6 можливих варіантів теплової схеми ТЕЦ, які досліджені методом математичного моделювання.
3. Визначений найкращий серед розглянутих варіант теплової схеми. Його термін окупності менше двох років, а реалізація збільшить прибуток ТЕЦ в півтори рази.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Нанак Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Нагорна Карина Русланівна – студентка групи ЕМ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Golovchenko Oleksiy M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Nanaka Olena M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Nagorna Karina R. – student of the group EM-17m, Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

О. М. Головченко
 О. М. Нанака
 В. П. Біленький

СИСТЕМА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СКИДНОГО ТЕПЛА ТРАНСФОРМАТОРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Наведені результати розрахунків схеми та обладнання системи гарячого водопостачання електричних підстанцій з використанням теплових втрат трансформаторів. Показана доцільність використання теплових насосів для теплофікаційних потреб підстанцій.

Ключові слова: Трансформатор, гаряче водопостачання, теплонасосна установка, сумарні приведені затрати.

Abstract

The results of calculations of the scheme and equipment of the hot water supply system of electric substations with use of thermal losses of transformers are presented. The expediency of using heat pumps for heat supply needs of substations is shown.

Keywords: Transformer, hot water supply, heat pump installation, total costs shown.

Вступ

Електричні процеси в трансформаторах супроводжуються їх нагрівом. Охолоджуються трансформатори маслом, теплота від якого відводиться до повітря навколишнього середовища. Є доцільним використання цієї скидної теплоти в системі гарячого теплопостачання. Проте температура нагрітого масла близько 40 °С, а температура води гарячого водопостачання близько 60 °С. Тому необхідне додаткове джерело теплоти для догріву теплоносія. В умовах трансформаторних підстанцій такими джерелами можуть бути електронагрівачі, теплові насоси та їх комбінації. Метою роботи є визначення варіантів системи гарячого водопостачання з використанням тепла від трансформаторів з найменшими сумарними приведеними затратами.

Основна частина

Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для гарячого водопостачання наведена на рис. 1. [1].

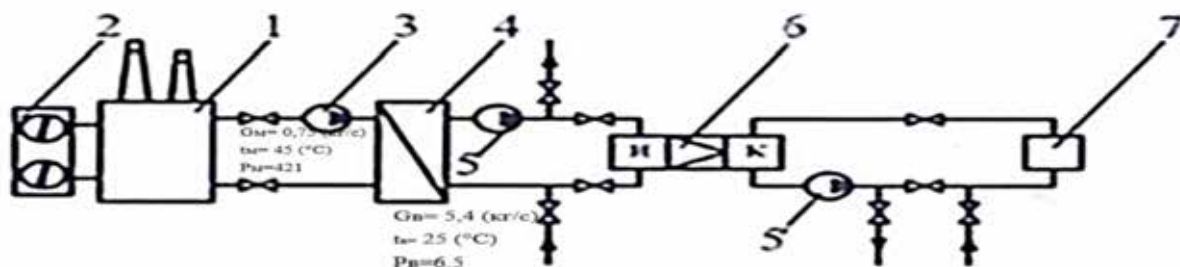


Рис. 1. Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для гарячого водопостачання

(1 – трансформатор; 2 – охолоджувач; 3 – масляний насос; 4 – теплообмінник масло-вода; 5 – водяний насос; 6 – теплонасосна установка (ТНУ); 7 – споживач тепла)

Схема системи гарячого водопостачання заданої теплової потужності Q містить три контури. В першому контурі теплота від трансформатора передається маслу. В другому контурі теплота від масла в масло-водяному теплообміннику передається воді, яка нагрівається до температури T_1 . В третьому контурі теплота від води у випарнику ТНУ передається фреону. Фреон також нагрівається в процесі стиску в компресорі ТНУ. Далі теплота фреона в конденсаторі ТНУ передається воді, яка нагрівається до температури T_x

Після конденсатора ТНУ вода догрівається в електричному нагрівнику до заданої температури T_h і надходить споживачу. Приведені затрати на систему гарячого водопостачання Z визначаються, як сума затрат на теплообмінник Z_{to} , маслонасос Z_{mn} та на спожиту електроенергію його приводу Z_{eemn} , затрат на водяний насос першого контура Z_{vn1} та на спожиту електроенергію його приводу Z_{eevn1} , затрат на ТНУ Z_{tnu} та на спожиту електроенергію його приводу Z_{eetnu} , затрат на водяний насос другого контура Z_{vn2} та на спожиту електроенергію його приводу Z_{eevn2} , затрат на догрівач Z_d та затрат на його спожиту електроенергію Z_{eed}

$$Z = Z_{to} + Z_{mn} + Z_{eemn} + Z_{vn1} + Z_{eevn1} + Z_{tnu} + Z_{eetnu} + Z_{vn2} + Z_{eevn2} + Z_d + Z_{eed}$$

Затрати Z є функцією температури T_x . Необхідно дослідити вплив температури T_x на затрати Z .

Розрахунки виконані в наступній послідовності. 1. Тепловий розрахунок трансформатора. 2. Розрахунки приведених затрат на теплообмінник та масляний насос. 3. Розрахунки приведених затрат на ТНУ та водяний насос другого контура. 4. Розрахунок приведених затрат на електронагрівач та водяний насос третього контура. 5. Розрахунок сумарних приведених затрат на систему гарячого водопостачання.

Теплова потужність гарячого водопостачання Q прийнята 36,6 кВт при температурі гарячої води $T_h = 60$ °С.

Результати розрахунків такі:

1. теплова потужність втрат трансформатора 23 кВт, що відповідає витраті масла 0,75 кг/с при температурі масла на виході з трансформатора 45 °С;

2. охолодження масла здійснюється в кожухотрубному теплообміннику з перегородками в міжтрубному просторі. Масло тече в міжтрубному просторі, вода – всередині труб. Зовнішній діаметр труб $d_1 = 0,012$ м; внутрішній $d_2 = 0,01$ м; поверхня теплообміну $F_2 = 1,5$ м. Потужність маслонасоса 1,2 кВт;

3. розрахунки ТНУ виконані за допомогою відомої програми FKW Cycle. Результати розрахунку наведені в таблиці 1;

Таблиця 1. Результати розрахунку ТНУ

Температура води на виході з ТНУ, °С	Теплова потужність ТНУ, кВт	Електрична потужність приводу ТНУ, кВт	Показник ефективності ТНУ
40	30,73	10,99	1,73
50	33,34	13,53	1,4
60	36,6	16,68	1,14

4. потужність водяного насоса другого контура 0,6 кВт, потужність електронагрівача при температурі конденсату 40 °С складає 5,87 кВт, потужність водяного насосу в третьому контурі – 0,215 кВт;

5. приведені сумарні затрати на систему гарячого водопостачання Z дорівнюють 478920 грн/рік, з яких 20780 грн/рік складають затрати на устаткування, а 458140 грн/рік є затрати на електроенергію двигунів.

За методикою “ручного” розрахунку складена програма розрахунку на ЕОМ. За допомогою програми виконані розрахунки сумарних приведених затрат та їх складових на систему гарячого водопостачання при температурах води на виході з ТНУ 40, 50 та 60 °С при питомих вартостях

електроенергії та ТНУ 3 грн/кВт·год та 6000 грн/кВт відповідно. Результати розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Сумарні приведені затрати, грн/рік, на систему гарячого водопостачання при температурах води на виході з ТНУ 40, 50 та 60 °С

№	Складова сумарних приведених затрат	Без ТНУ	40 °С	50 °С	60 °С
1	1 контур. Масловодяний теплообмінник	940	940	940	940
2	Маслонасос	250	250	250	250
3	Електроенергія приводу маслонасоса	29400	29400	29400	29400
4	2-й контур. Водяний насос.	165	165	165	165
5	Електроенергія приводу водяного насоса	14700	14700	14700	14700
6	3-й контур .ТНУ	0	18438	20004	21960
7	Електроенергія приводу компресора ТНУ	0	263760	324720	400320
8	Водяний насос	0	400	400	400
9	Електроенергія приводу водяного насоса	0	5160	5160	5160
10	Електронагрівач	366	587	326	0
11	Електроенергія нагрівача	878400	140880	78240	0
12	Сумарні затрати	927515	478920	498545	482895

Як видно з таблиці, найменші сумарні приведені затрати відповідають температурі нагріву води в ТНУ 40 °С.

Результати розрахунків сумарних затрат на систему гарячого водопостачання при питомих вартостях електроенергії 1-6 грн/кВт·год наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Приведені сумарні затрати, грн/рік, на систему гарячого водопостачання при різних питомих вартостях електроенергії, грн/кВт·год.

Питома вартість електроенергії, грн /кВт·год	Без ТНУ, електронагрівачем ³	Температура води на виході з ТНУ, °С		
	60 °С	40	50	60
1	341915	209160	229905	215955
2	634715	344040	364225	349395
3	927515	478920	498545	482895
4	1220315	613800	632865	616275
5	1513115	748680	767185	749715
6	1805915	883560	901505	883155

Результати розрахунків сумарних приведених затрат на систему гарячого водопостачання при питомих вартостях ТНУ 1000-10000 грн/кВт наведені в таблиці 4.

Таблиця 4. Приведені сумарні затрати на систему гарячого водопостачання при різних питомих вартостях ТНУ, грн/кВт

Питома вартість ТНУ, грн/кВт	Температура води на виході з ТНУ, °С		
	40	50	60
1000	463555	481875	464535
2000	466628	485209	468195
3000	469701	488543	471855
4000	472774	491877	475515
5000	475847	495211	479175
6000	478920	498545	482835
7000	481993	501879	486495
8000	485066	505213	490155
9000	488139	508547	493815
10000	491212	511881	497475

Висновки

Виконані розрахунки системи гарячого водопостачання з регенерацією скидного тепла трансформатора. Розглянута методика визначення сумарних приведених затрат на таку систему. Методика реалізована програмою для ЕОМ. Досліджені варіанти без ТНУ з нагріванням води в електронагрівнику, з нагріванням води в ТНУ та догрівом її в електронагрівнику.

Розрахунки показали наступне.

1. Сумарні приведені затрати на варіант з ТНУ менші сумарних приведених затрат на варіант без ТНУ через: а) високу вартість електроенергії, споживану електронагрівником; б) “безкоштовну” теплову енергію від трансформатора.

2. Характер зміни сумарних приведених затрат при змінах температури нагрітої в ТНУ води однаковий при питомих вартостях електроенергії в інтервалі 0,5-6 грн/кВт•год.

3. Характер зміни сумарних приведених затрат при змінах температури нагрітої в ТНУ води однаковий при питомих вартостях ТНУ в інтервалі 500-10 000 грн/кВт.

4. Найменші сумарні приведені затрати відповідають найменшому нагріву води в ТНУ та, відповідно, найбільшому догріву в електронагрівачу. Зі збільшенням нагріву в ТНУ її ефективність суттєво знижується і затрати на електроенергію приводу ТНУ зростають відносно затрат на привод ідеальної ТНУ з постійною ефективністю при різних нагрівах. Ефективність електронагрівача (ККД) висока та постійна при всіх його навантаженнях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Беседин В. Г. Использование тепла силовых масляных трансформаторов для теплоснабжения электрических подстанций. / В. Г. Беседин, В. З. Манусов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 1 (43). – С. 111–116.

Біленький Валентин Петрович – студент групи ЕМ-16м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Нанак Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net

Bilenkiy Valentine P. – student of the group EM-16m, Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Golovchenko Olesiy M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Nanaka Olena M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВІТРОВОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ

Вінницький національний технічний університет

Анотація: Запропоновано автоматичну систему керування вітровою електричною установкою, яка здійснює регулювання потужністю шляхом впливу на струм збудження електричного генератора.

Ключові слова: вітрова установка, регулювання, струм збудження, регулятор потужності.

Abstract: The automatic control system for a wind power installation is proposed, which regulates power by influencing the excitation current of an electric generator.

Keywords: wind setting, regulation, excitation current, power regulator.

Результати дослідження

Регулювати потужність, генеровану вітровою електричною установкою (ВЕУ) можна шляхом впливу на момент обертання вітрового колеса, що може бути реалізовано за рахунок зміни величини струму збудження електричного генератора [1]. Відповідно до математичної моделі [2] та структури пристрою керування струмом збудження вітрової електричної установки запропоновано мікропроцесорну структуру пристрою керування струмом збудження електричного генератора вітрової електричної установки (рис.1). Для цього необхідно передбачити зняття інформації з п сенсорів параметрів, обробку інформації, а також формування керуючого впливу, для керування струмом збудження вітрової електричної установки.

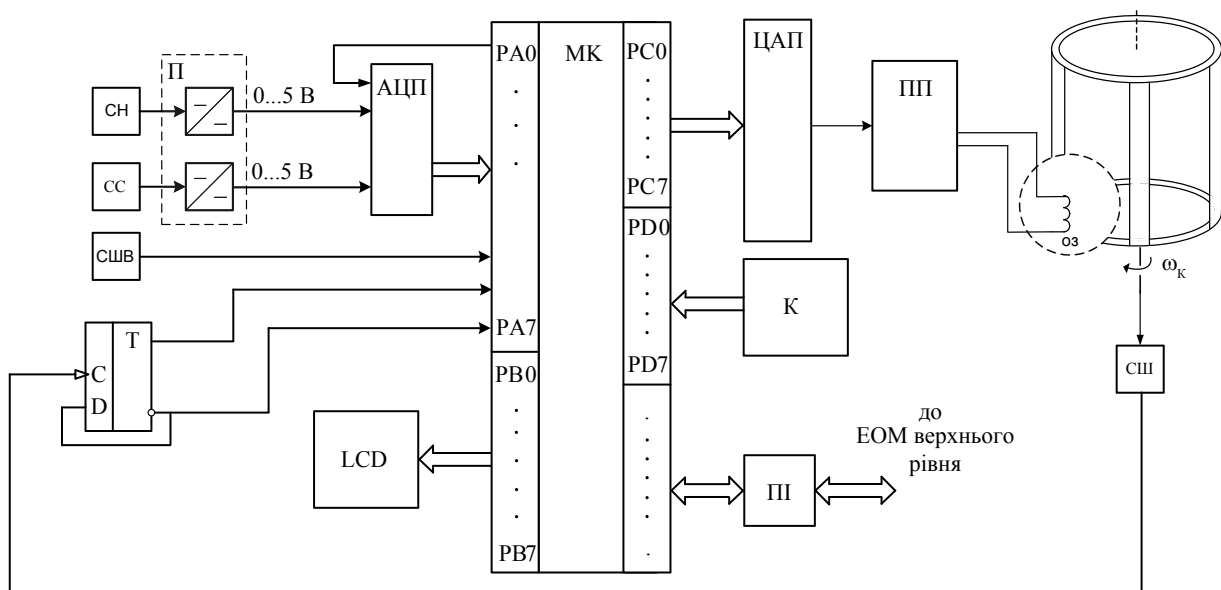


Рис. 1. Структурна схема пристрою керування струмом збудження генератора ВЕУ

Приведена структурна схема мікропроцесорного пристрою здійснює керування струмом збудження ВЕУ, для роботи її в точці відбору максимальної потужності із стабілізацією вихідної напруги.

Висновки

Запропоновано структуру системи керування вітровою електричною установкою, яка забезпечує її роботу у точці максимуму відбору потужності вітрового колеса.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Жуков О. А., Система автоматичного керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання. Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. Випуск №4/2010. – С.36–39.
2. Мокін Б. І., Мокін О. Б., Жуков О. А., Математична модель пристрою керування електричною вітроенергетичною установкою з вертикальною віссю обертання. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Випуск №3/2010. – С.48-54.

Жуков Олексій Анатолійович – канд. техн. наук, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет.

Zhukov Oleksiy Anatoliyovich – Cand. Sc. (Eng), Department of renewable energy and transportation systems and electrical systems (VETESK), Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОБІГ ЕЛЕКТРОБАЙКА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено проблеми, які виникають під час оптимізації конструкції електробайка для збільшення пробігу. Розглянуто найбільш важливі та актуальні питання, які виникають при розробці конструкції даного електричного транспортного засобу.

Ключові слова: електробайк, рекуперация, аеродинаміка, гальмування.

Abstract

The paper presents the problems appearing during optimization of the design of an electric bike to increase the mileage. There have been considered most important and actual issues arising during the development of the design of the electric vehicle.

Key words: electric bike, recuperation, aerodynamics, braking.

Вступ

На даному етапі науково-технічного прогресу електрифікація транспортних засобів стає все більш актуальною і велосипед не є виключенням. В країнах Європи, Азії та США, все більше стали використовувати електромотоцикли, електробайки тощо, для повсякденного пересування містом. В Україні даний вид транспорту тільки починає набувати популярності. Проте, при розробці та розрахунку даного двоколісного електрифікованого транспортного засобу постає ряд проблем, які потрібно вирішити для забезпечення безпечної та довготривалої подорожі. Одними з найбільш актуальних проблем є рекуперация енергії, вплив аеродинамічних параметрів, гальмування та вибір оптимальної швидкості.

Розкриття проблеми

Під процесом рекуперации розуміють повернення енергії назад в мережу, в даному випадку до акумулятору. Мотор-колеса прямого приводу, як і будь-який електромотор, здатні працювати як в режимі двигуна, якщо на них подавати напругу, так і в режимі генерації, перетворюючи механічну енергію в електрику. ККД мотор-коліс при роботі як генератора у середньому дорівнює 85%, і згідно з [1] ми можемо повернути близько 10 відсотків енергії, запасеної в акумуляторах.

Зауважимо, що круті спуски не сприяють суттєвому збільшенню кількості електроенергії, оскільки під час них, окрім рекуперативного гальмування за допомогою мотор-колеса, необхідно користуватися також штатними гальмами. Це відбувається з двох причин: питома потужність мотор-колеса електровелосипеда становить 3-7 Вт на один кілограм переміщеної ваги. У легкового автомобіля цей показник в 10-12 разів вищий. Але навіть традиційний автомобіль, при гальмуванні двигуном на прямій передачі на крутому спуску, все одно розганяється і доводиться пригальмовувати штатними гальмами або перемикатися на 3, а то і на 2 швидкість. В електровелосипедах важливу роль відіграє сам спосіб гальмування та елементи, за допомогою яких відбувається безпосередньо гальмування. В даному випадку були використані іоністори, оскільки вони забезпечують більш ефективний режим рекуперации енергії – на початку руху піковий струм з акумуляторної батареї зменшується, а при інтенсивному гальмуванні надлишки електроенергії, які не можуть бути використані для заряджання, накопичуються в іоністорах з наступним її використанням при розгоні, русі вгору або для початку руху [1].

В конструкції використано мотор-колесо потужністю 800 Вт, діаметром 450 мм, характеристики якого приведені у таблиці.

Таблиця. Залежність крутного моменту мотор коліс від сили струму

Мотор-колесо 48V 800W	напруга	струм	вхідна потужність	крут. момент	Швидкість обертання	вихідна потужність	ККД
Одиниці вимірювання	V	A	W	N.m	об/хв	W	%
холостий хід	48,26	0,883	42,63	0,17	361,9	6,041	14,2
макс. обертовий момент	48,18	24,12	1161,42	25,28	265,4	897,2	81,2
макс. вихідна потужність	48,18	24,12	1161,42	25,28	265,4	897,2	81,2
макс. ККД	48,22	16,58	799,1	16,26	322,5	703,52	87,9
номінальна потужність	48,2	19,58	943,1	21,74	305,6	778,74	86,7

Враховуючи, що максимальний ККД при обертах 322,5 об/хв, оптимальна швидкість руху байка буде 27,3 км/год. При цьому струм з акумуляторної батареї складатиме 16,58 А.

При експериментальних дослідженнях у різних дорожніх умовах та дотриманні швидкості руху були отримані наступні результати:

- швидкість по асфальтному покритті 36 км/год витрати електроенергії – 15,66 Wh/km;
- швидкість по асфальтному покритті 25 км/год витрати електроенергії – 14,17 Wh/km;
- дорога з перешкодами швидкість 12 км/год витрати електроенергії – 18,7 Wh/km

Характеристики мотор-колеса можна додатково подивитись на рисунку 1.

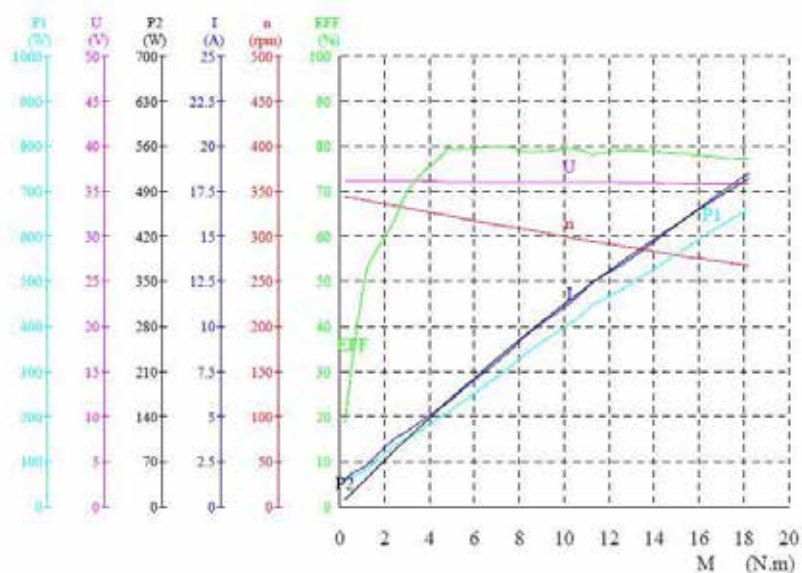


Рисунок 1. Характеристики мотор-колеса.

Під час руху, в даному випадку, на електробайк діє так званий аеродинамічний опір, який виникає в результаті переходу кінетичної енергії тіла в кінетичну енергію частинок газу (повітря) услід за тілом та у теплову енергію. Врахувати аеродинамічний ефект в повному обсязі практично

неможливо, але можна дати наближену кількісну оцінку збільшенню потужності для нарощування швидкості, з урахуванням необхідності подолання якого можна прийняти його пропорційним третьому ступеню швидкості (див. рис. 2) [2].

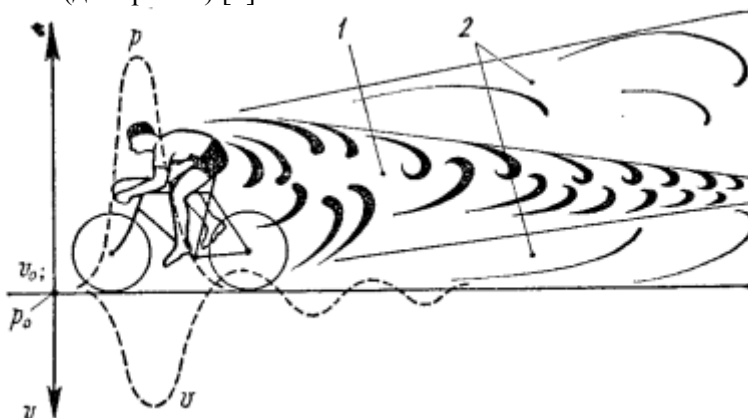


Рисунок 2. Схема вихроутворення системою гонщика – велосипед: 1 – ядро вихрового сліду; 2 – кінцевий шар вихрового сліду.

Отже, виникає необхідність зменшення цього опору задля забезпечення більшої швидкості та менших втрат енергії. Саме цим зумовлюється форма шолому, дизайн одягу і конструкція самого транспортного засобу. З метою зменшення опору руху і відповідно втрат електроенергії в конструкції використана низька посадка водія, що дає змогу використати аеродинамічні обтічники та дефлектори. Додатковий мускульний привід збільшує загальний пробіг та зменшує навантаження на мотор-колесо і акумуляторну батарею при русі на підйомах.

Висновки

Проаналізовано основні фактори, які впливають на пробіг електробайка між зарядками акумуляторної батареї. Отже, найбільшими факторами, які впливають на пробіг електробайка є:

- ємність акумуляторної батареї та її вага;
- якість дорожнього покриття;
- наявність допоміжного мускульного приводу;
- аеродинамічна форма обтікачів та дефлекторів;
- наявність ефективної рекуперації електроенергії при гальмуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електробайки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.e-bike.com.ua/viewarticle/id/680/>
2. Гоночные велосипеды. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отделение, 1989. – 319 с.: ил. ISDN 5-217-00580-7

Автор конструкції: **Горенюк Віктор Васильович** – інженер першої категорії кафедри ВЕТЕСЕК, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Шалагай Дмитро Олександрович – студент групи 2ЕМ-14б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 2em14b.shalagai@gmail.com.

Author designs: **Viktor V. Gorenjuk** – engineer of the first category, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Dmytro A. Shalagai – student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 2em14b.shalagai@gmail.com.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕЦ З ГАЗОТУРБІННИМИ УСТАНОВКАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджена доцільність реконструкції теплоелектроцентралі (ТЕЦ) встановленням газотурбінних установок (ГТУ). Наведені результати розрахунків варіантів ТЕЦ з ГТУ.

Ключові слова: ТЕЦ, ГТУ, питома витрата палива, прибуток.

Abstract

The expediency of the reconstruction of a combined heat and power plant (CHP) by installing gas turbine units (GTU) has been explored. The results of calculations of CHP options from GTU are presented.

Keywords: combined heat and power plant (CHP); gas turbine units (GTU); specific fuel consumption; profit.

Вступ

Створення ГТУ-ТЕЦ вважається доцільним через підвищення надійності електропостачання та можливості участі в покритті дефіциту регульованих потужностей в енергосистемі, який за оцінками Мінпаливоенерго, складає понад 1000 МВт. Застосування ГТУ-ТЕЦ дозволяє на базі наявної теплової потужності підприємства суттєво збільшити виробництво електроенергії. Метою роботи є визначення енергетичної та економічної доцільності перетворення існуючої ТЕЦ в ГТУ-ТЕЦ.

Основна частина

Розглядається міська ТЕЦ з максимальною тепловою потужністю 64 МВт. На ТЕЦ встановлено один парогенератор ТС-35, парова протитискова турбіна Р-2,5-1,5/3, чотири водогрійних котли ПТВМ-30. Для перетворення її в ГТУ-ТЕЦ використаємо ГТУ SGT-400 виробництва компанії Siemens (електрична потужність – 13,9 МВт, електричний ККД – 34,8%, температура відхідних газів – 555 °С) та ГТУ ГТЕ-15Ц «Машпроект» Україна (потужність – 16 МВт, електричний ККД в станційних умовах – 33,5%). Для дослідження прийняті наступні варіанти.

1. Заміна парогенератора та турбіни на ГТУ SGT-400 та встановлення котла утилізатора (КУ) для покриття потужності гарячого водопостачання (ГВП).

2. Заміна парогенератора та турбіни на ГТУ SGT-400 та встановлення КУ для покриття потужності середньозимового опалення.

3. Заміна водогрійних котлів, парогенератора та парової турбіни на дві ГТУ SGT-400 та встановлення котлів утилізаторів для покриття середньоопалювального та міжопалювального навантаження.

4. Встановлення ГТЕ-15Ц з котлом-утилізатором, як надбудова до турбіни Р-2,5-15/3.

5. Встановлення ГТУ SGT-400, як надбудова до турбіни Р-2,5-15/3.

6. Встановлення ГТУ SGT-400 з котлом-утилізатором, як надбудова до протитискової турбіни Р-6-15/3 з заміною котла ТС-35 на паровий котел БМ-35М.

Варіанти 4-6 виконуються за схемою парогазової установки паралельної роботи парового котла та КУ для більш повного використання теплоти відхідних газів ГТУ [1].

Результати розрахунків варіантів ТЕЦ з ГТУ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків варіантів ТЕЦ з ГТУ

Параметр/варіант	Базовий	1	2	3	4	5	6
Виробництво електроенергії, млн. кВт·год/рік	11	42,2	30,4	69,9	67,8	58,2	76,9
Затрати на паливо, млн. у.о./рік	10,5	13,5	12,5	15,8	16,3	14,1	15
Капітальні вкладення, млн.у.о.	0	9,8	9,8	19,6	5,4	9,8	11,7
Коефіцієнт використання палива	0,701	0,714	0,713	0,723	0,693	0,758	0,79
Питома витрата палива, м ³ /кВт·год	3,24	0,55	0,71	0,39	0,414	0,418	0,337
Собівартість енергії (теплова та електрична) у.о./кВт·год	0,045	0,047	0,048	0,05	0,047	0,045	0,044
Кількість шкідливих викидів, млрд. м ³ /рік	0,43	0,56	0,51	0,65	0,67	0,58	0,62
Прибуток, у.о. грн/рік	1,9	2,3	1,93	2,5	3,15	3,7	4,8
Термін окупності, років	0	4,3	5,1	7,9	1,7	2,7	2,4

Аналіз таблиці дозволяє зробити наступні висновки.

Висновки

1. Встановлення ГТУ на ТЕЦ суттєво збільшує виробництво електроенергії та зменшує питому витрату палива. Висока маневреність ГТУ дозволяє використовувати їх для покриття змінної частини графіка навантажень. Недоліком є значні капіталовкладення, збільшення затрат на паливо, збільшення викидів, знижений коефіцієнт використання встановленої потужності через пряму залежність електричної потужності ГТУ від теплової потужності, яка є максимальною лише декілька діб на рік.

2. Заміна парової частини ТЕЦ на газотурбінну установку збільшує прибуток ТЕЦ в 1,2 рази при терміні окупності до 4-5 років.

3. Заміна парової та водогрійної частин ТЕЦ на газотурбінні установки збільшує прибуток ТЕЦ в 1,3 рази при терміні окупності 8 років.

4. Більш ефективним є перетворення ТЕЦ в парогазову установку паралельної роботи парового котла та КУ з газовими та паровими турбінами. В цьому випадку при збільшенні прибутку в 1,7-2,5 рази термін окупності складає 1,7-2,4 роки. Такі варіанти реконструкції міської ТЕЦ є доцільними до більш детальних проробок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Модернизация энергоблоков с паровыми теплофикационными турбинами с помощью парогазового цикла на примере Т-100/120-130. *Баринберг Г.Д., доктор техн. наук, Валамин А.Е., инженер, Култышев А.Ю., канд. техн. наук, ЗАО «Уральский турбинный завод»/* – Режим доступу : [https://. Модернизация энергоблоков с паровыми теплофикационными ... www.combienergy.ru](https://www.combienergy.ru) > – Назва з екрана.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Нанака Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Студинський Владіслав Володимирович – інженер.

Golovchenko Oleksiy M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@mail.ru;

Nanaka Olena M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Studinsky Vladislav V. – engineer.

ВИКОРИСТАННЯ НАПІВТУНЕЛЮ ДЛЯ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Здійснено обґрунтування доцільності використання вертикальних вітрових електростанцій вздовж шляхів руху залізничного транспорту. Здійснено порівняльний аналіз експериментальних досліджень по визначенню потужності вітрового потоку, створюваного залізничним транспортом.

Ключові слова: вітрогенератор, залізничний транспорт, вітровий потік, напівтунель.

Abstract

An explanation of the use of vertical wind power stations along the railways. A comparative analysis of experimental research on determining the power of wind flow created by rail is carried out.

Key words: wind generator, railway transport, wind flow, semi-tunnel.

Вступ

В умовах ринкової економіки важливо раціонально використовувати сировину та ресурси, щоб забезпечити оптимальну собівартість продукції. Оскільки зараз будь-яка діяльність людини не здійснюється без використання електроенергії, доцільно звернути увагу на підвищення ефективності її використання, а також на можливість генерації нетрадиційними шляхами. Одним із потужних джерел є енергія вітру, але часто нею нехтують в регіонах, де середня швидкість вітру не досягає 5-7 м/с. Слід звернути увагу на джерело сильного вітрового потоку, яким є залізничний транспорт.

Рухаючись, потяг створює зону високого тиску, дія якого здатна забезпечити ефективне використання вітроенергетичної установки (ВЕУ) [1]

Результати дослідження

У роботі [1] та [2] проведено експериментальні дослідження по визначенню потужності вітрового потоку, створюваного залізничним транспортом. Отже, метою нашої роботи є використання вітрового потоку для генерації енергії.

Авторами роботи [2] було створено лабораторний стенд для оцінки енергетичного потенціалу вітрових потоків, в тому числі тих, що створюються потягами під час руху. Стенд представляє собою рамку, на якій розташовано 12 давачів. В експерименті, проведеному американською залізничною асоціацією та описаному в роботі [1], потяг проходив повз залізничну платформу з розміщеними на ній контейнерами.

Після пропорційного зведення результатів досліджень (оскільки експерименти проводились при різних швидкісних режимах) помічено, що результати значно відрізняються. В роботі [1] давачі розміщувались на поверхні, яка перешкоджала розсіюванню вітрового потоку і навпаки концентрувала його. Отримані результати свідчили про значно більшу енергоефективність вітрових електростанцій за умови розміщення додаткових напівтунелей.

Отже, враховуючи отримані висновки, можна значно розширити сфери застосування вітроенергетичних установок. Також відкривається питання доцільності встановлення вітрових електростанцій на швидкісних автошляхах, які проходять повз населені пункти та захищені шумопиловим екраном.

Маючи більший тиск повітря, можна подолати проблему нерівномірності вітрового потоку, який створюється залізничним транспортом. Для цього доцільно використати механічні акумулятори енергії таким чином зменшити ризик виходу ВЕУ з ладу та уникнути різких коливань напруги. Енергія в акумуляторі буде накопичуватись під час проходження потяга, а перетворюватись в електричну уже тривалий час після його проходження.

Висновок

Встановлено, що використання напівтунеля встановленого за комплексом вітроенергетичних установок, що розміщуються вздовж залізничних шляхів дозволяє значно збільшити вітровий потік, а відповідно енергоефективність системи загалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Aerodynamic effects of high-speed trains research result / U. S. department of transportation // Federal railroad administration — RR03-07 2003.

2 Базалицький В.П. Вітроелектротехнічні комплекси для відбору потужності вітрових потоків, створюваних електропотягами / В. П. Базалицький, Б. І. Мокін, О. Б. Мокін, В.В. Горенюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. —2013. — № 3 — С. 67—70.

Мокін Олександр Борисович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету,

Сухов Владислав Олександрович, аспірант, Вінницький національний технічний університет, e-mail: suhow24@gmail.com

Mokin Oleksandr, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes,

Suchov Vladyslav, Postgraduate Student, Vinnytsia National Technical University e-mail: suhow24@gmail.com

ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДО ПРОБЛЕМ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОСТІ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуті методики врахування невизначеності початкової інформації при дослідженні енергетичних установок (ЕУ) методами математичного моделювання. Наведені описи програмної реалізації методу системного аналізу та результати багатокритеріальної оцінки варіантів ЕУ.

Ключові слова: невизначеність, багатокритеріальність, математичні моделі, енергетичні установки.

Abstract

The methods of taking into account the uncertainty of the initial information in the study of power plants by methods of mathematical modeling are considered. The descriptions of program realization of the method of system analysis and the results of multicriteria estimation of variants of power plants are given.

Keywords: uncertainty, multicriteria, mathematical models, power plants.

Вступ

В дослідженнях енергетичних установок методами математичного моделювання є проблеми невизначеності та багатокритеріальності. Життєвий цикл енергетичних установок (ЕУ) складає 30 і більше років. Цей цикл включає етапи передпроектних досліджень з вибору типу ЕУ та оптимізації ЕУ вибраного типу, проектування та модернізації ЕУ в процесі експлуатації. Дослідження виконуються за допомогою математичних моделей схем та обладнання ЕУ. Як відомо, «...математика, ніби жорно, перемелює те, що під нього засипають, і як, засипавши лободу, ви не отримаєте пшеничного борошна, так, списавши цілі сторінки формулами, ви не отримаєте істини з помилкових передумов» (Томас Генрі Гакслі). Результати досліджень залежать від початкових даних, значення частини яких змінюються на протязі життєвого циклу ЕУ. Це, насамперед, вартості металів та виробів з них, питомі вартості теплової та електричної енергій, параметри навколишнього середовища. Наприклад, низькопотенційна частина ЕУ Ладижинської ТЕС проектувалась при значенні середньорічної температури води водоохолодника 12 °С. Підвищення її до 15 °С негативно позначилося на теперішніх експлуатаційних показниках ТЕС [1]. Метою роботи є розгляди методик врахування невизначеності і багатокритеріальності та питань їх практичного застосування.

Основна частина

Суть відомого способу врахування невизначеності при оптимізації параметрів роботи схем ЕУ полягає в наступному. Експертними оцінками визначається інтервал змін вихідних питомих вартісних та інших техніко-економічних показників, формуються альтернативні набори цих показників (оптимістичний, середній, песимістичний) та виконується оптимізація схеми для кожного набору показників. Остаточний варіант параметрів схеми вибирається з інженерних міркувань. Приклад застосування такого способу наведений в [2]. Схемні параметри є зовнішніми для елементів схеми. При оптимізації внутрішніх параметрів елемента схеми, невизначеність початкової інформації знижується запропонованою авторами методикою динамічної оптимізації, яка дозволяє врахувати ймовірнісну зміну характеристик елемента під час експлуатації. Для цього вводиться додатковий оціночний функціонал, яким є відхилення важливої характеристики елемента (ККД, коефіцієнта теплопередачі), які очікуються на ділянках часового інтервалу експлуатації, від проектного (середнього) значення. Тобто визначається варіант, найбільш сталий до зміни призначеної характеристики в процесі експлуатації. Сутність методу в наступному. Є ряд конкуруючих варіантів

$\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_m$, з яких необхідно вибрати остаточний. Такий вибір розглядається, як задача прийняття рішення в ситуації $\{\Psi, A_n, F\}$, де $\Psi = \{\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_m\}$ – множина рішень; $A_n = \{\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n\}$ – множина станів ймовірно-змінюючихся в часі параметрів λ ; $F = \{f_{jk}\}$ – матриця оціночного функціонала.

В розгорнутому вигляді дана ситуація може бути представлена матрицею

$$\begin{array}{cccc} & \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_m \\ \lambda_1 & f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ \lambda_2 & f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_n & f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nm} \end{array}$$

тут m – кількість варіантів; n – кількість розглядаємих станів A_n .

Множині A_n ставиться у відповідність множина $P = \{P_1, P_2 \dots P_n\}$ ймовірностей станів параметрів $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$. Чисельні значення $P_1, P_2 \dots P_n$ визначаються за статистичними даними або експертними оцінками.

Знаходження значень критеріїв вибору в залежності від інформаційної ситуації відбувається по формулам розрахунків критерія Байеса, модального критерію і критерія Бернуллі-Лапласа.

Згідно критерію Байеса, оптимальним вважається таке рішення $\varphi_k^{opt} \in \Psi$, для якого математичне очікування оціночного функціонала досягає найменшого значення

$$B(P, \Psi_k^{opt}) = \min [\sum P_j f_{jk}] = \sum P_j f_{jk}^{opt}, j = 1, 2, 3 \dots n \quad (1)$$

В тому випадку, якщо можна визначити лише найбільш вірогідні стани параметрів і не можна розрахувати кількісні значення вірогідностей P , застосовується модальний критерій. По цьому критерію перевага віддається варіанту, для якого справедлива рівність:

$$f_{jlk}^{opt} = \min f_{jlk} \quad (2)$$

при умові, що $P_{j1} = \max P_0$.

Якщо немає підстави вважати один стан більш ймовірним за інший, по критерію Бернуллі-Лапласа, оптимальним вважається таке рішення, яке задовільняє умові:

$$BL(P, \varphi_k^{opt}) = \min \left[\frac{1}{n} \sum f_{jk} \right] j = 1, 2, 3 \dots n \quad (3)$$

Приклад застосування такої методики наведений в [3].

Функціонування складних систем, до яких відносяться ЕУ електричних станцій, характеризуються багатьма критеріями. При відсутності типової методики багатокритеріальної оцінки ЕУ для цієї мети використаний метод системного аналізу енергетичних об'єктів, створений в одній з закордонних експертних фірм. Такі фірми виконують замовлення енергомашинобудівних підприємств на визначення місць розміщення електростанцій, їх типів, потужностей та для інших задач. Наприклад, для фірми General Electric експертна фірма виконала оптимізацію теплової схеми АЕС з водо-водяним реактором. Щоб не використовувати заводські методики, трудомісткі та з надлишковою деталізацією, фірми розробляють власні інтегральні методики, в яких деталізація математичних описів обладнання відповідає мірі достовірності початкових даних по цьому обладнанню.

За методом системного аналізу функція якості F об'єкта дослідження в нормованому вигляді визначається так:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i F_i(x_i), \quad (4)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – загальна кількість параметрів, $F_i(x_i)$ - нормовані одномірні функції корисності, k_i - вагові коефіцієнти, які характеризують ціннісні співвідношення між окремими критеріями.

Метод реалізована програмою, в діалогі з якою користувач-експерт працює в наступній послідовності: призначення та введення критеріїв; упорядкування критеріїв по важливості; перевірка незалежності критеріїв по перевазі; побудова одномірних функцій якості; визначення вагових коефіцієнтів; автоматична побудова математичної моделі системи, яка досліджується; розрахунки варіантів системи на математичній моделі.

Числові значення критеріїв для розрахунків варіантів системи можуть задаватися як абсолютними показниками, так і відносними показниками з інтервалу від 0 до 100.

За допомогою програми розраховані варіанти реконструкції ТЕЦ максимальною тепловою потужністю 64 МВт з парогенератором ТС-35, протитисковою паровою турбіною Р-2,5-1,5/3 та чотирма водогрійними котлами ПТВМ-30. В варіанті 1 (ГТУ) – передбачена заміна парогенератора та турбіни газотурбінною установкою (ГТУ) SGT-400 потужністю 13,9 МВт. В варіанті 2 (ПГУ) – встановлюється парогазова установка з (ГТУ) SGT-400 потужністю 13,9 МВт, котел-утилізатор та протитискова парова турбіна. В варіанті 3 (ПТУ) – встановлюються паротурбінна установка з додаткового парогенератора БМ-35 та парової турбіни Р-6-3,5/0,1. В варіанті 4 (ГПД) – передбачена заміна парогенератора та турбіни газопоршневими двигунами Waukesha APG3000 потужністю 9МВт з утилізаторами теплоти вихлопних газів для забезпечення гарячого водопостачання (ГВП).

Прийняті критерії та результати рзрахунків частинних та сумарних функцій якості варіантів наведені в таблиці. Критерій 10. «Відносний попит на генеровану електроенергію» відображує ту обставину, що у ТЕС, яка є головним постачальником електроенергії в регіон закінчився термін експлуатації і, врешті-решт, вона буде зупинена, після чого попит на електроенергію збільшиться. Критерій 12. «Відносний рівень негативного впливу ЕУ на персонал» враховує шум, вібрації, загазованість в приміщеннях роботи персоналу.

Таблиця - Результати багатокритеріальної оцінки варіантів схеми ТЕЦ

Критерії	Базовий варіант		1. ГТУ		2. ПГУ		3. ПГУ		4. ГПД	
	Числове значення критерію	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова функція якості $\times 10^2$	Числове значення критерія	Часткова функція якості $\times 10^2$
1. Затрати на паливо, млн. у.о./рік	10,5	8,970	13,5	8,846	14,99	8,787	11,1	8,946	15,5	8,767
2. Термін окупності, років	0	9,242	4,257	9,040	2,392	9,129	1,37	9,188	4,637	9,022
3. Капіталовкладення, млн. у.о.	0	8,888	9,83	5,315	11,7	4,644	3,27	7,700	9,22	5,700
4. Прибуток підприємства, млн. у.о./рік	1,9	4,358	2,34	4,517	4,9	5,516	2,9	4,745	2	4,455
5. Виробництво електроенергії, млн. кВт/рік	10,99	4,199	42,19	5,656	76,97	7,279	39,99	5,620	51,4	6,038
6. Експлуатаційні затрати за без трат на паливо, млн.	1,1	7,883	1,13	7,874	1,45	7,744	1,11	7,880	0,65	8,063
7. Споживання електроенергії, млн.	0	8,175	0	8,175	0	8,175	0	8,175	0	8,175
8. Імовірність відмов, річних	40	5,421	15	7,151	20	6,904	5	7,645	20	6,904
9. Кількість шкідливих викидів, мг/год	432,19	7,383	557,9	7,379	617,62	7,376	457,111	7,382	638,2	7,375
10. Відсоток виконання генеровану електроенергію, %	10	1,754	20	3,383	25	3,590	15	2,632	20	3,383
11. Інтервалу 0-100 Травматичність	5	5,8	6	5,75	7	5,705	5	5,8	6	5,75
12. Відсоток впливу ЕУ на персонал, 0-100	20	5,160	25	5,002	30	4,844	20	5,160	40	4,529
Сумарна функція якості	0,775		0,781		0,795		0,810		0,735	

Як видно з таблиці, за сумарною функцією якості, кращим є третій, найпростіший у виконанні варіант – збільшення потужності паротурбінної установки ТЕЦ. Четвертий варіант гірше третього через великі капіталовкладення, менший прибуток, більшу ймовірність відмов, більший негативний вплив на персонал.

Висновки

1. Розглянуті методики врахування впливу невизначеності початкової інформації при дослідженнях ЕУ методами математичного моделювання.

2. Метод системного аналізу енергетичних об'єктів реалізований за допомогою комп'ютерної програми.

3. За допомогою комп'ютерної програми виконана багатокритеріальна оцінка варіантів схем ТЕЦ з тепловими двигунами різних типів.

4. Переваги методу системного аналізу для багатокритеріальної оцінки варіантів ЕУ перед оцінками за економічними та енергетичними показниками наступні:

- протиріччя між енергетичними та економічними показниками ЕУ (так, в більшості випадків зменшення витрати палива супроводжується збільшенням капіталовкладень) ускладнює вибір остаточного варіанта. В методі системного аналізу показники “згортаються” в один, що спрощує прийняття рішення;

- є можливість врахування якихось особливостей (наприклад, регіону підприємства) введенням відповідних критеріїв;

- при необхідності, не складно перевірити стійкість прийнятого рішення розрахунками зі зміненими пріоритетами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головченко О. М. Адаптація енергоблока ТЕС до зміни гідрологічного режиму водосховища / О. М. Головченко, О. І. Юношев // Вісник ВПІ. – 2012. – № 5. – С.75-80.

2. Головченко О. М. Математичне моделювання та дослідження теплової схеми міні-ТЕЦ на лушпинні / О. М. Головченко, В. В. Студинський, І. В. Штуй // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – №1.

3. Головченко О. М. Оптимізація теплоенергетичних установок в процесі їх проектування та модернізації / О. М. Головченко, М. В. Пушкар // Вісник ВПІ. – 2003. – № 6. – С.227-235.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Нанак Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Студинський Владислав Володимирович – інженер.

Golovchenko Oleksiy M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@mail.ru;

Nanaka Olena M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net;

Studinsky Vladislav V. – engineer.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІДГРІВНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА МЕРЕЖНОЇ ВОДИ ТЕС В КОМП'ЮТЕРНОМУ ТРЕНАЖЕРІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянута методика математичного моделювання підігрівників живильної та мережної води енергоблоку ТЕС для комп'ютерного тренажера. Наведений опис елементів тренажера з експлуатації підігрівників.

Ключові слова: ТЕС; підігрівники; комп'ютерний тренажер; математичні моделі.

Abstract

The method of mathematical modeling of power and network water heaters for the power unit of the TPP for a computer simulator is considered. The description of elements of the simulator of operation of the heaters is given.

Keywords: thermal power plant (TPP); heaters; computer simulator; mathematical models.

Вступ

Причиною більшості аварій на ТЕС є помилки експлуатаційного персоналу. Зношеність обладнання ТЕС ускладнює його експлуатацію та підсилює необхідність підвищення рівня операторської підготовки, як на ТЕС, так і в навчальних закладах. Одним з засобів навчання операторів є комп'ютерні тренажери з устаткування енергоблоків. Важливим елементом ТЕС є підігрівники живильної та мережної води. Метою роботи є розробка тренажера з експлуатації підігрівників в складі енергоблоку.

Основна частина

В експлуатації енергоблоків найбільш складними є їх пуск та зупинка. Пускова схема блоку 300 МВт показана на рис. 1.

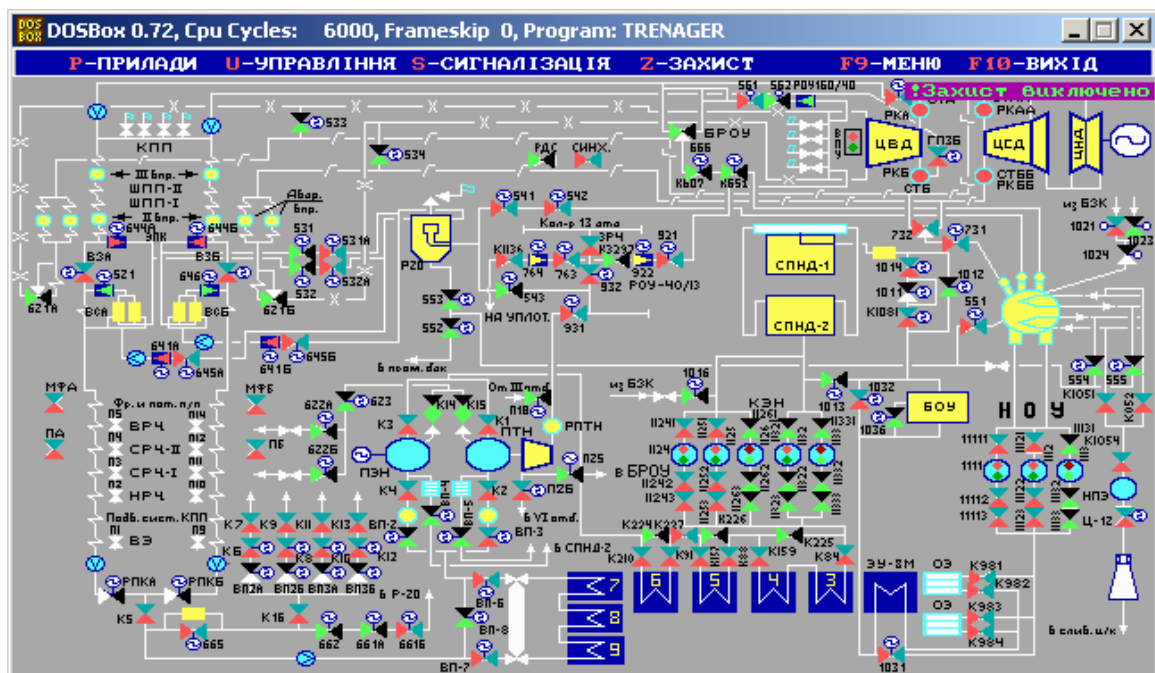


Рис. 1.

Пускова схема енергоблоку

Конденсат з конденсатору при температурі 25 °С надходить до групи конденсатних насосів НОУ, далі проходить через підігрівники низького тиску СПНД-1, СПНД-2 та підігрівники 3, 4, 5, 6. З шостого підігрівника конденсат (живильна вода) надходить до живильного насосу, яким прокачується через підігрівники високого тиску (ПВТ) 7, 8, 9. З ПВТ9 живильна вода з температурою 265 °С прямує до парогенератора. Підігрівники СПНД-1, СПНД-2 є змішувального (контактного) типу, підігрівники 3-9 – вертикальні, поверхневі, з них підігрівники 3-5 з трубними дошками та U-подібними трубками, а підігрівники 7-9 колекторні з привареними змійовиками.

Математичне моделювання схеми блоку виконано методом ПМАШ-ВНТУ [1]. Структура схеми передана графом з 3000 вузлів та 4000 дуг, закодованих відповідно апаратам та теплоносійм їх прообразів. Математичний опис схеми здійснений бібліотекою рівнянь із 150 підрозділів. Кожний підрозділ містить систему рівнянь розрахунку апарата визначеного типу та конструктивного виконання – насос, підігрівник, регулятор та інше. Імена підрозділів бібліотеки відповідають кодам вузлів графа. Робота програмної реалізації методу полягає у перебиранні вузлів графа, формуванні з підрозділів бібліотеки загальної системи рівнянь та її розрахунку методом ітерацій. Складовою методу ПМАШ-ВНТУ є методика ідентифікації моделі апарата по експериментальним (розрахунковим або фактичним) даним. Сутність методики полягає в наступному. 1. За основу моделі приймається інтегральний (спрощений) метод визначення даної характеристики. 2. Метод доповнюється системою ідентифікуючих рівнянь, вид яких встановлюється на основі математичної обробки матеріалу по фізичному експерименту. 3. Емпіричні коефіцієнти в цій системі вважаються величинами середньостатистичними і в конкретних випадках реалізації моделі можуть змінюватися. 4. Припускається, що для даної моделі можна отримати деяку обмежену за обсягом інформацію про характеристику моделюемого елемента. 5. Ставиться задача підібрати значення емпіричних коефіцієнтів моделі так, щоб відхилення значень характеристик, визначених за допомогою моделі, від відомих були мінімальними.

Процеси в підігрівниках поділяються на гідравлічні та теплові. Першим гідравлічним процесом є заповнення та спустошення водяного трубного простору. Моделювання цього процесу виконується за допомогою формули заповнення і спустошення бака з припливом (зливом) та ідентифікаційного (корегуючого) рівняння. Другим процесом є зміна рівня конденсату грійучої пари. При змінах навантаження енергоблоку рівень конденсату грійучої пари повинен залишатися однаковим. Це виконує автоматична система регулювання (АСР). Схема регулювання рівня конденсату в ПВТ зображена на рис. 2.

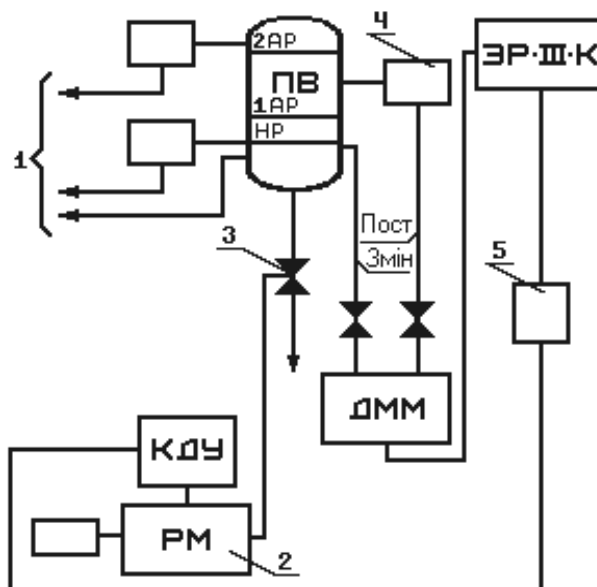


Рис. 2. Схема регулювання рівня конденсату в ПВТ

ПВ – підігрівник; 1АР, 2АР – перший і другий аварійні рівні; НР – нормальний рівень; Змін, Пост – лінії змінного і постійного рівня, ДММ – диференціальний манометр; ЭР-Ш-К – електронний

регулюючий прилад; КДУ — колонка дистанційного управління для керування сервоприводами; 1 — до системи автоматичного захисту, 2(РМ) — сервомотор, 3 — регулюючий клапан, 4 — конденсатний бачок, 5 — магнітний контактор

Регулюючий клапан встановлюється на трубопроводі виходу конденсату з підігрівника, рис. 3.

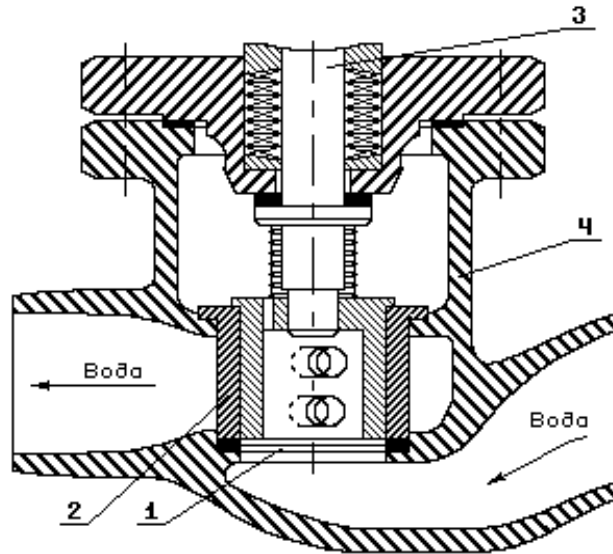


Рис. 3. Регулюючий клапан

1 — золотник; 2 — гільза; 3 — валик; 4 — корпус

Відвід конденсату регулюється зміною площі прохідного перетину за рахунок повороту важеля з валиком 3 і золотником 1. У залежності від кута повороту важеля отвору в золотнику перекривають отвір в гільзі 2, закріпленої в корпусі 4. Кут повороту важеля від відкритого до закритого положення клапана дорівнює 90 градусів.

ПВТ є апаратом підвищеної небезпеки і більшість аварій на ТЕС трапляються саме з ними. Вага ПВТ – 100 тон, висота – 10 м, діаметр – 4 м. В середині ПВТ знаходиться пара з температурою до 450 °С і в ньому є 2000 швів зварювання до колекторів трубок в яких протікає вода під високим тиском (до 400 атмосфер). При руйнуванні шва вода може заповнити ПВТ, через трубопровід гріючої пари потрапити в турбіну і зруйнувати її. Тому, системі захисту ПВТ від переповнення приділяється особлива увага. При досягненні 1-го аварійного рівня всі ПВТ відключаються. При досягненні 2-го аварійного рівня зупиняється енергоблок. Час зупинки енергоблоку повинен бути меншим часу аварійного заповнення ПВТ. Розрахункова схема для визначення часу заповнення групи ПВТ водою з пошкоджених труб наведена на рис. 4.

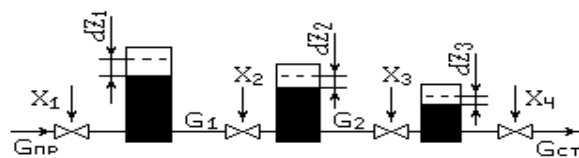


Рис. 4. Схема групи ПВТ

Схема складена з трьох ємностей, трьох клапанів регуляторів рівнів та засувки на вході пари до останнього ПВТ. В математичній моделі групи ПВТ, створеній за методикою [2], гідравлічні процеси описані системою з трьох лінійних диференційних рівнянь. Вхідними

величинами є площі перерізів клапанів X_1, X_2, X_3, X_4 , а вихідними величинами є рівні конденсату пари в підігрівниках $Z_1(t), Z_2(t), Z_3(t)$.

Рівняння матеріального балансу ємностей підігрівників з поперечними перерізами F_1, F_2, F_3 мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} Z_1(t) &= \frac{G_{np}(t) - G_1(t)}{F_1}; \\ Z_2(t) &= \frac{G_1(t) - G_2(t)}{F_2}; \\ Z_3(t) &= \frac{G_2(t) - G_3(t)}{F_3}. \end{aligned}$$

Витрати рідини по тракту:

$$\begin{aligned} G_{np} &= (P_{np}^0 - Z_1)^{1/2} X_1; \\ G_1 &= (Z_1 - Z_2)^{1/2} X_2; \\ G_2 &= (Z_2 - Z_3)^{1/2} X_3; \\ G_{ct} &= 2(Z_3)^{1/2} X_4, \end{aligned}$$

де G_{np}, G_{ct} – витрати рідини на вході і виході, P_{np}^0 – тиск рідини на вході. Тут розглядається режим із скиданням рідини в конденсатор з тиском, близьким до нуля.

Система нелінійних рівнянь

$$\begin{aligned} Z_1'(t) &= (P_{np}^0 - Z_1(t))^{1/2} X_1(t) - (Z_1(t) - Z_2(t))^{1/2} X_2(t); \\ Z_2'(t) &= (Z_1(t) - Z_2(t))^{1/2} X_2(t) - (Z_2(t) - Z_3(t))^{1/2} X_3(t); \\ Z_3'(t) &= (Z_2(t) - Z_3(t))^{1/2} X_3(t) - 2(Z_3(t))^{1/2} X_4(t). \end{aligned}$$

Система лінеаризованих рівнянь з коефіцієнтами:

$$\begin{aligned} Z_1'(t) &= 0,483 Z_1(t) + 0,283 Z_2(t) + 1 X_1(t) - 1,414 X_2(t); \\ Z_2'(t) &= 0,283 Z_1(t) + 0,566 Z_2(t) + 0,283 Z_3(t) + 1,414 X_2(t) - 1,414 X_3(t); \\ Z_3'(t) &= 0,283 Z_2(t) + 0,424 Z_3(t) + 1,414 X_3(t) - 2,828 X_4(t); \\ Y(t) &= Z_3(t). \end{aligned}$$

Для розв'язання цієї системи використаний метод Кутта - Мерсона з регульованим кроком.

За допомогою математичної моделі виконані розрахунки часу аварійного заповнення корпусів ПВТ конденсатом і живильною водою через декілька розірваних трубок останнього по ходу руху живильної води ПВТ (ПВТ9) при повністю відкритих всіх клапанах регуляторів рівня. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зростання рівнів в підігрівниках при розривах трубок з живильною водою в ПВТ9

Т _{хв}	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,5
Z ₁ , м	0,172	0,39	0,66	0,997	1,43	2,01	1,75	3,74	5,1	6,85	9,3	10
Z ₂ , м	0,001	0,047	0,125	0,263	0,49	0,86	1,4	2,23	3,47	5,27	7,93	8,76
Z ₃ , м	0,00004	0,0035	0,014	0,04	0,092	0,19	0,37	0,65	1,12	1,85	2,99	3,36

Як видно з таблиці, дев'ятий підігрівник повністю заповнюється через 4.5 хвилини.

Теплові процеси описуються рівняннями теплового балансу теплоносіїв та теплопередачі. Оцінки часу перехідних теплових процесів виконуються за допомогою математичної моделі теплообмінної труби з зосередженими параметрами [3].

$$\frac{dt_c}{d\tau} = (-c_2 t_c + c_3 t_n + c_4 \theta) \div c_1,$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = (-d_2^* \theta + d_3 t_c + d_5^*) \div d_1^*$$

У випадку кипіння і пароутворення

$$\frac{d\theta}{d\tau} = (-d_2 \theta + d_3 t_c + d_5 - d_4 W) \div d_1^*,$$

де t_c – температура стінки; t_n – температура гріючої пари або води; θ – температура нагріваємої води; τ – час; $c_1, c_2, c_3, c_4, d_1^*, d_2^*, d_3, d_4, d_5^*$ – коефіцієнти; W – витрата пари.

Модель реалізована програмою на мові Турбопаскаль. Початкові дані в позначеннях програми такі: 1. d_n , м – зовнішній діаметр; 2. d_{st} , м – товщина стінки; 3. l_{tr} , м – довжина труби; 4. λ_{bst} , Вт/(м·гр) – коефіцієнт теплопровідності стінки труби; 5. α_{f1} , Вт/(м²·гр) – коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки; 6. α_{f2} , Вт/(м²·гр) – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до рідини; 7. d_{nak} , м – товщина шару накипу; 8. λ_{nak} , Вт/(м·гр) – коефіцієнт теплопровідності накипу; 9. ρ_{st} , кг/м³ – питома вага матеріалу стінки труби; 10. c_{st} , кДж/(кг·гр) – теплоємність матеріалу стінки труби; 11. c_{vns} , кДж/(кг·гр) – теплоємність рідини; 12. ρ_{vns} , кг/м³ – густина рідини; 13. l_{ur} , м – рівень рідини; 14. ω_V , м/с – швидкість рідини; 15. $i_{11} \cdot Vt$, кДж/кг – ентальпія вторинної пари; 16. t_{θ} , °С – температура рідини; 17. t_p , °С – температура пари.

Розрахунок коефіцієнтів рівнянь в позначеннях програми виконуються за формулами:

$$d_{vn} = d_n \cdot 2 \cdot d_{st};$$

$$G_{st} = ((3.14 \cdot d_n^2) / 4 - (3.14 \cdot d \cdot V_n^2)) \cdot l_{tr} \cdot \rho_{st};$$

$$c_1 = c_{st} \cdot G_{st};$$

$$c_3 = (3.14 \cdot d_n \cdot l_{tr}) / (1 / (\alpha_{f1}) + d_{st} / (21 \cdot \lambda_{bst}));$$

$$c_4 = (3.14 \cdot d_n \cdot l_{tr}) / (1 / (\alpha_{f2}) + d_{st} / (21 \cdot \lambda_{bst}) + d_{nak} / \lambda_{nak});$$

$$c_2 = c_3 + c_4;$$

$$d_1 = C_{vns} \cdot \rho_{vns} \cdot (3.14 \cdot d_n^2) / 4 \cdot l_{ur};$$

$$d_{11} = C_{vns} \cdot \rho_{vns} \cdot (3.14 \cdot d_n^2) / 4 \cdot l_{tr};$$

$$s_{0m} = (3.14 \cdot d \cdot V_n^2) / (4 \cdot 0.001) \cdot \omega_V;$$

$$d_{21} = c_4 + s_{0m} \cdot C_{vns} \cdot 2;$$

$$S_{1m} = s_{0m};$$

$$d_2 = c_4 + S_{1m} \cdot C_{vns};$$

$$d_3 = c_4;$$

$$d_4 = i_{11} \cdot Vt;$$

$$d_5 = s_{0m} \cdot C_{vns} \cdot t_{\theta};$$

$$d_{51} = 2 \cdot d_5.$$

Далі виконується розв'язок системи вищенаведених диференційних рівнянь методом Кута-Мерсона з регульованим кроком.

На відміну від підігрівників живильної води підігрівники мережної води (бойлери) мають регулятори температури нагріваємої води. Схема контуру регулювання температури води в основному бойлері наведена на рис. 5. По такій схемі виконаний контур регулювання температури води і в піковому бойлері, що гріє воду з 120 до 150 °С.

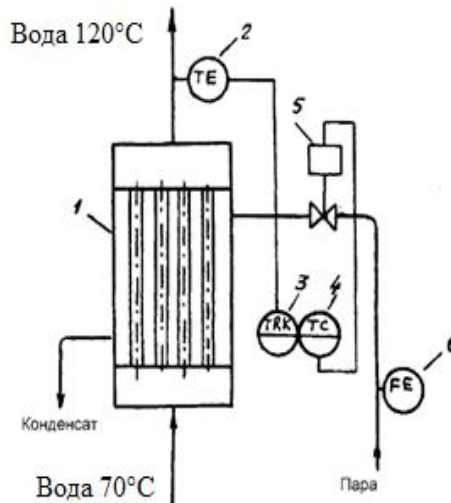


Рис. 5. Схема контуру регулювання температури води в основному бойлері
 1 - теплообмінник; 2 - датчик температури; 3 - станція управління регулятора; 4 - регулятор;
 5 - регулювальний клапан; 6 - діафрагма для виміру витрати пари

Для визначення часу перехідних процесів регулювання температури води використана методика [4]. Розрахунок перехідного процесу в піковому бойлері потужністю 23,4 МВт виконаний так. За збурення прийняте збільшення витрати гріючої пари на 15%, внаслідок чого підвищення температури води Δt склало $5,1^\circ\text{C}$.

Температура на виході з бойлера $t_v(\tau)$ розраховується по формулі:

$$t_v(\tau) = t_l - \Delta t \cdot x_v(\tau),$$

де t_l – температура на виході з бойлера до збурення (150°C), $\Delta t = 5,1^\circ\text{C}$, $x_v(\tau)$ – рівняння відносної зміни температури води в перехідному процесі регулювання. Рівняння $x_v(\tau)$ отримано з відомої передатної функції двохемістних об'єктів, до яких відноситься теплообмінник, передатних функцій Пі-регулятора та замкненої АСР для заданих параметрів бойлера. Воно має наступний вигляд:

$$x_v(t) = 1 - 0,99 \cdot e^{-0,27 \cdot \tau} + 0,33 \cdot e^{-0,67 \cdot \tau} \cdot \sin(1,33 \cdot \tau + 0,023)$$

Результати розрахунків зміни температури води в часі після дії збурювання показані в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків зміни температури води в часі після дії збурювання

τ , хв	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$x_v(\tau)$	0,042	0,455	0,696	0,836	0,918	0,966	0,993	1,01	1,019	1,025
$t_v(\tau)$	155,1	152,778	151,55	150,835	150,418	150,175	150,033	149,951	149,903	149,8875

З таблиці видно, що температура досягає заданого значення 150°C через 13 хвилин після нанесення збурювання.

Ідентифіковані за результатам розрахунків перехідних процесів математичні моделі підігрівників використані в комп'ютерному тренажері. Мнемосхеми ПВТ7, 8, 9 та блок управління ПВТ БІУ-8 наведені на рис. 6.

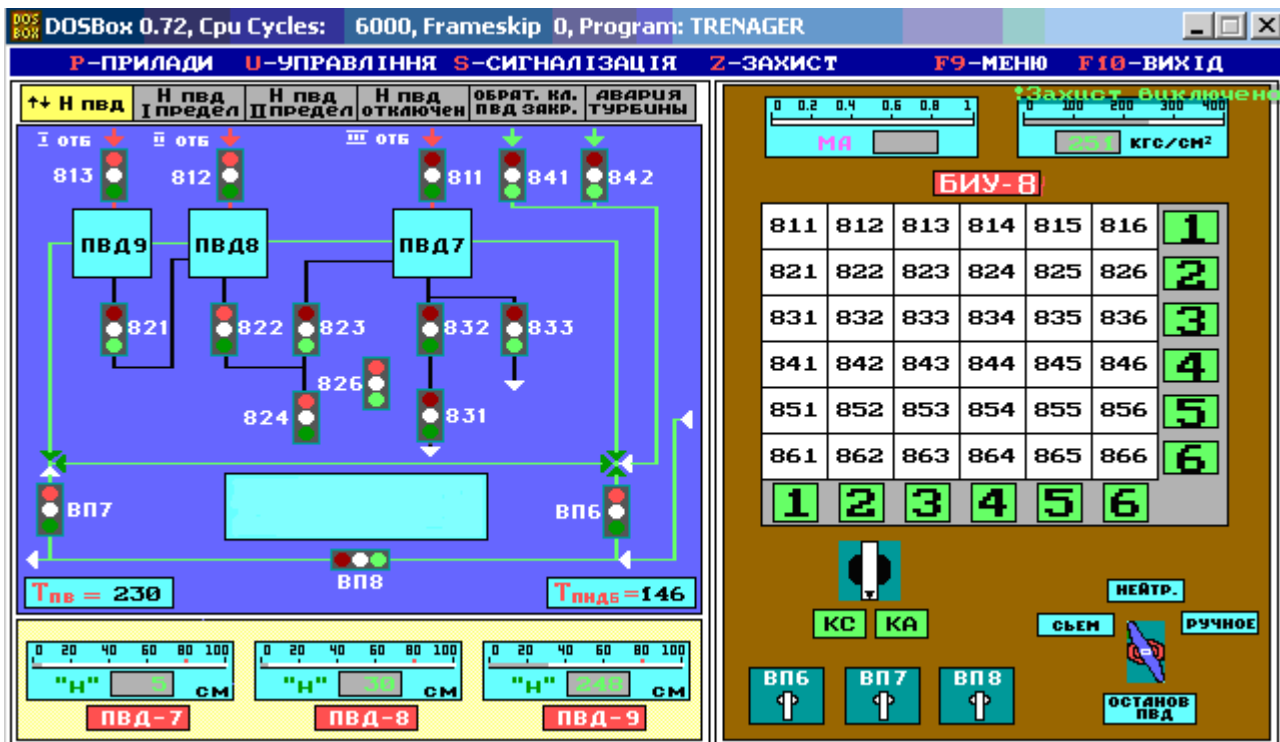


Рис. 6. Мнемосхеми ПВД7, 8, 9 та блок управління ПВД БИУ-8

В верхній частині мнемосхеми зображені табло сигналізації, які підсвічуються жовтим кольором при невеликих відхиленнях контролюємих параметрів від нормативних та червоним – при відхиленнях аварійних. В нижній частині виводяться рівні конденсатів підігрівників Н. На мнемосхемі 811, 812, 813 – парові засувки; 821, 822, 831 – регулятори рівня конденсату. Червоні лампочки відповідають положенню засувки або клапанів регуляторів “відчинено”, зелені – “зачинено”, “жовті” – проміжному положенню клапанів та засувки. Управління клапанами та засувками з БИУ-8 відбувається так. Натисканням на горизонтальні та вертикальні клавіші 1-6 викликається (підсвічується на табло з номерами засувки та клапанів) потрібний орган управління. Після повертання ключа, що розташований під табло, вправо або вліво засувка сама рухається до крайнього положення. При відкритті клапана, міра його відкриття відповідає куту повороту ключа. Міра відкриття засувки або клапана виводиться на табло з написом «МА». Повний час відкриття засувки до 60 с, і при необхідності зупинення засувки, що рухається, натискають на кнопку «КС» (стоп). Кнопкою КА (автомат) регулятор включається або вимикається. Засувки ВП6, 7, 8 відкриваються та закриваються відповідними ключами. Якщо ключ «Останов ПВД» знаходиться в положенні «Нейтр», то вмикається захист ПВД по першій межі рівня. Якщо ключ «Останов ПВД» знаходиться в положенні «Съём», то захист знімається. Якщо ключ «Останов ПВД» знаходиться в положенні «Ручное», то ПВД відключається. Включення захисту по другій межі рівня виконується натисканням на кнопку Z.

Висновки

1. Розглянуті математичні моделі підігрівників живильної та мережної води енергоблоку ТЕС для комп'ютерного тренажера.
2. Розроблений комп'ютерний тренажер з експлуатації підігрівників живильної та мережної води в складі енергоблоку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головченко О. М. Удосконалення методів розрахунку теплоенергетичних установок [Електронний ресурс] / О. М. Головченко, О. М. Нанак // Матеріали XLV Науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 23–24 березня 2016 р. – Електрон. текст. дані. – 2016. – Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2016/paper/view/557>. – Назва з екрана.

2. Ротач В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296с.
3. Белик В. Г. Справочник по моделированию и оптимизации теплообменного оборудования сахарной промышленности / В. Г. Белик, И. И. Костанжи. – Москва: АГРОПРОМИЗДАТ, 1986. – 271 с.
4. Ефимов В. Т., Молчанов В. И., Ефимов А. В. Методы расчетов химико-технологических и теплоэнергетических процессов / Молчанов В. И., Ефимов А. В. – Харьков. ХГПУ, 1998г. – 316с.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Нанак Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Golovchenko Oleksiy M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksey.golovch@gmail.com;

Nanaka Olena M. – PhD, assistant professor at the department of renewable energy and electrical transportation systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАСОБУ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропонована математична модель засобу для тепловізійного діагностування об'єктів, що обертаються, з врахуванням найвищої температури об'єкта дослідження та розміру локальної області підвищеної температури, що дозволяє підвищити точність прогнозування пошкоджень на ранніх стадіях їх розвитку.

Ключові слова: математична модель, тепловізійне діагностування, об'єкт, що обертається, засіб.

Abstract

There had been suggested the mathematical model of the device for thermal image diagnosing of the object which rotate, taking into consideration of the highest temperature of the object under research as well as the size of the local region with the increased temperature, which allows to improve the accuracy in prognosticating the damages on the early stages of their development.

Keywords: mathematical model, thermal image diagnosing, rotating object, device.

Відомо [1], що застосування тепловізійних методів діагностування електрообладнання є ефективним інструментом виявлення пошкоджень на ранніх стадіях.

Відомо, що для тепловізійного діагностування об'єктів, що обертаються, зокрема, потужних електричних машин, використання звичайних тепловізійних засобів не є ефективним. Це обумовлено тим, що тепловізійне зображення точки об'єкта, що обертається, на звичайному тепловізійному засобі відображається у вигляді кола або еліпса.

Тому для тепловізійного діагностування таких об'єктів застосовуються спеціальні засоби.

В роботі [2] запропоновані математичні моделі та засоби тепловізійного діагностування об'єктів, що обертаються. Застосування таких моделей тепловізійних засобів передбачає відслідковування всього поля контролю тепловізійного зображення в полярній системі координат з одночасною синхронізацією зі швидкістю обертання об'єкта. Відповідним тепловізійним засобом передбачається масив отриманої діагностичної інформації після візуального спостереження об'єкта передавати в комп'ютер для подальшої обробки.

Однак, як показує практика, в багатьох випадках необхідно одразу ж отримати інформацію про найвищу температуру об'єкта дослідження. Якщо ж об'єкт дослідження містить область підвищеної температури, то для попередньої оцінки прогнозованого розвитку пошкодження доцільно одночасно автоматично визначати і розмір цієї області.

З врахуванням представлених міркувань математична модель тепловізійного засобу для діагностування об'єктів, що обертаються, має вигляд, наведений нижче, в якій $\omega_{кд}$ – кутова швидкість крокового двигуна (КД), яким забезпечується синхронізація з об'єктом, що обертається; ω_1 – кутова швидкість КД, коли об'єкт діагностування знаходиться в нерухомому стані; $\omega_{об}$ – кутова швидкість досліджуваного об'єкта; $f_{кд}$ – частота імпульсів, що подаються на КД; f_G – частота імпульсів генератора, з якою скануються всі точки об'єкта дослідження; ω_i – поточна кутова швидкість досліджуваного об'єкта; n – кількість точок сканування об'єкта діагностування вздовж одного радіусу; m – кількість радіусів, які можуть мати місце для повної розгортки кругового зображення досліджуваного об'єкта; $N = n \cdot m$ – загальна кількість точок теплового поля; β – розмір сектора сканування; T_{max} – найбільша температура обмотки ротора; $T_{max\ доп}$ – найбільша допустима температура обмотки ротора; T_{min} – найменша вибрана температура обмотки ротора; T – поточна температура обмотки ротора; X – кількість точок з температурою, що перевищує мінімальне вибране значення; A – розмір локальної області підвищеної температури обмотки ротора гідрогенератора.

$$\left\{ \begin{array}{l}
N = n \cdot m, \\
m = \frac{360}{\beta}, \\
\omega_{\text{кд}} = \omega_1 = \text{const, якщо } \omega_{\text{об}} = 0, \\
\omega_{\text{кд}} = \begin{cases} \omega_{1+1} - \omega_1, \text{ якщо } 0 < \omega_{\text{кд}} < (\omega_{\text{об}} - \omega_1), \\ \omega_1 - \omega_1, \text{ якщо } 0 \leq \omega_{\text{кд}} = (\omega_{\text{об}} - \omega_1), \\ \omega_{1-1} - \omega_1, \text{ якщо } 0 < (\omega_{\text{об}} - \omega_1) < \omega_{\text{кд}}, \end{cases} \\
\omega_{\text{кд}} = \begin{cases} \omega_{1+1}, \text{ якщо } 0 < \omega_{\text{кд}} < \omega_{\text{об}}, \\ \omega_1, \text{ якщо } 0 < \omega_{\text{кд}} = \omega_{\text{об}}, \\ \omega_{1-1}, \text{ якщо } 0 < \omega_{\text{об}} < \omega_{\text{кд}}, \end{cases} \\
\omega_{\text{кд}} = 2\pi \cdot f_{\text{кд}}, \\
f_{\text{кд}} = \frac{f_G}{n}, \\
T_{\text{max}} = \max\{T_1 \div T_N\} \leq T_{\text{max доп}}, \\
\left\{ \begin{array}{l} K = f(T); K = 1, \text{ якщо } T \geq T_{\text{min}}, K = 0, \text{ якщо } T < T_{\text{min}}, \\ \underbrace{(T_{ij} \div T_{ijx})}_{i=0, n; j=0, m; T \geq T_{\text{min}}} \Rightarrow A = \sum_{q=1}^X K_q, \end{array} \right. \\
f_G = \varphi(N, \omega_{\text{об}}).
\end{array} \right.$$

Запропонована модель, реалізована у засобі для тепловізійного діагностування об'єктів, що обертаються, дозволяє розширити функціонально можливість дослідження прогнозованих пошкоджень, що розвиваються.

Висновки

1. Удосконалена математична модель засобу для тепловізійного діагностування об'єктів, що обертаються, за рахунок введення додаткових контрольованих параметрів, а саме – найбільшої температури об'єкта дослідження та визначення розміру локальної області підвищеної температури, що дозволяє виявляти прогнозовані пошкодження на ранніх стадіях їх розвитку.

2. Здійснено реалізацію запропонованої математичної моделі у вигляді засобу для тепловізійного діагностування об'єктів, що обертаються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маслова В.А. Термографія в диагностике и неразрушающем контроле / В.А. Маслова, В.А. Стороженко – Харьков: «Компания СМІТ», 2004.–160 с.
2. Грабко В.В. Методи і засоби для дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями: монографія / В.В. Грабко, В.В. Грабко – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 155 с.

Грабко Валентин Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, grabko@vntu.edu.ua

Grabko Valentyn V. – PhD., assistant professor with the Department of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, grabko@vntu.edu.ua

РЕКУПЕРАТИВНИЙ РЕЖИМ ІЗ АКТИВНИМ СПОЖИВАЧЕМ НА ДІЛЯНЦІ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено детальний аналіз режимів рекуперативного гальмування засобів рухомого складу міського електричного транспорту та запропоновано критерії порівняльної оцінки енергоефективності цих режимів, що дозволяє підвищити ефективність використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту.

Ключові слова: міський електричний транспорт, система електропостачання, рекуперація, контактна мережа, тяговий режим.

Abstract

A detailed analysis of urban electric transport rolling stock recuperative braking modes has been carried out. The criteria of energy efficiency comparative estimation of these regimes have been proposed, which allows to increase the efficiency of electric energy use of urban electric transport electric braking.

Keywords: city electric transport, power supply system, recovery, contact network, traction mode.

Вступ

Міський електричний транспорт (МЕТ) – складова частина єдиної транспортної системи, призначена для перевезення громадян трамваями, тролейбусами, поїздами метрополітену на маршрутах (лініях) відповідно до вимог життєзабезпечення населених пунктів [1].

Актуальним питанням світової енергетики є зниження електроспоживання всіх електроприймачів. Досить вагомим споживачем електричної енергії є міський електричний транспорт [1]. Щороку в салони, наприклад, вінницького транспорту загального користування заходить понад 170 млн. пасажирів. 70% з них перевозить пасажирський електротранспорт.

Питання, пов'язане зі зниженням енерговитрат шляхом створення високотехнологічних зразків транспортних засобів та забезпечення енергоефективних режимів їх роботи, є актуальним для міського електричного транспорту в цілому, де енергетична складова в даний час досягає 30 ... 50 % від загальних витрат комунальних підприємств.

Одним із основних напрямків зниження електроспоживання міського електричного транспорту є повернення електричної енергії в мережу або передача її в накопичувач енергії (НЕ) при електричному гальмуванні [2]. При такому гальмуванні трамвай (тролейбус) може віддавати в мережу до 40% спожитої ним енергії з одночасним істотним зниженням зносу механічних гальмівних пристроїв.

Мета роботи полягає у проведенні детального аналізу режимів електричного гальмування засобів рухомого складу (ЗРС) міського електричного транспорту та розробці критеріїв порівняльної оцінки енергоефективності цих режимів з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань електротехнічного комплексу «система електропостачання – електротранспорт міста» із врахуванням особливостей чергування режимів його роботи.

Результати дослідження

При здійсненні рекуперативного гальмування на схилі або з метою зниження швидкості, а також перед зупинкою ЗРС, тягові двигуни переводяться в генераторний режим. Накопичена ЗРС механічна енергія перетворюється в електричну, передається через тягову мережу іншим споживачам, в першу чергу ЗРС, які в цей час працюють в тяговому режимі (активному ЗРС). Таким чином, при рекуперації МЕТ працює паралельно із джерелами живлення. Дана особливість визначає умови

роботи ЗРС МЕТ при рекуперативному гальмуванні і створює абсолютно особливі умови для роботи системи електропостачання, вплив яких необхідно враховувати [2].

Під час здійснення рекуперативного гальмування на ділянках контактної мережі (КМ) з'являється рухоме джерело енергії, яке розвантажує підстанції та підвищує напругу в тяговій мережі, тим самим покращуючи умови роботи ЗРС, що знаходиться в тяговому режимі. Найбільш економічним при рекуперації є такий режим, при якому вся вироблена енергія передається іншому ЗРС, який знаходиться поблизу в режимі тяги. Проте це не завжди є можливим [3].

Справа в тому, що основною особливістю роботи системи тягового електропостачання (СТЕ) при рекуперації є значно більша, ніж в режимі тяги, залежність умов роботи пристроїв електропостачання від рівня напруги. Саме тому, під час розрахунків режимів рекуперативного гальмування необхідно враховувати діючі рівні напруги як на тягових підстанціях, так і на ЗРС. Крім цього, слід взяти до уваги, що, якщо в режимі тяги напруга в контактній мережі в тій чи іншій мірі впливає на швидкість ЗРС, пропускну здатність та інші показники, то при рекуперативному гальмуванні від рівня напруги в контактній мережі і на підстанціях залежать не тільки економічні показники, а й сама можливість рекуперації [3].

Варто відзначити, що кількість надлишкової енергії рекуперації залежить від щільності ЗРС на ділянці контактної мережі, відстаней між пунктами зупинок, технічних характеристик приймачів енергії, місця їх розміщення та режимів роботи системи електропостачання в цілому. При цьому, чим меншими є надлишкові струми (при одних і тих же струмах рекуперації ЗРС), тим більша частина енергії рекуперації використовується ЗРС, що працює в режимі тяги, і тим меншою є необхідна потужність самих приймачів [3, 4].

Вагомим чинником здійснення рекуперативного гальмування із активним споживачем на ділянці контактної мережі є розподіл напруги уздовж КМ. При відсутності рекуперації напруга на струмоприймачах ЗРС, що знаходяться в режимі тяги, завжди є нижчою напруги холостого ходу тягових підстанцій, а при рекуперації вона може бути вищою, як на навантаженнях, так і на шинах тягових підстанцій.

Таким чином, необхідно створити такі умови, при яких енергія рекуперативного гальмування завжди може бути сприйнята приймачем із мінімальним часом його роботи.

Основне завдання вибору при проектуванні приймача енергії для впровадження в систему тягового електропостачання і місця його розміщення (ТП, міжфідерна зона, ділянка контактної мережі) пов'язана із визначенням ймовірності збігів актів тяги та гальмування. Отримані значення ймовірностей визначають величину надлишкової енергії рекуперації, на основі якої проводяться розрахунки величин струмів, рівнів напруг, об'ємів і часу роботи активного споживача на ділянці контактної мережі [5, 6].

Із впровадженням чітко налагодженої системи рекуперативного гальмування на міському електричному транспорті відбуватиметься зменшення споживання електричної енергії із системи первинного електропостачання, підвищення надійності системи тягового електропостачання та часу роботи обладнання за рахунок зниження ефективного струму лінії, зниження навантаження в тяговій мережі в моменти пуску транспортних засобів, значне підвищення пропускну здатності ліній, підвищення маневреності міського транспорту, зниження собівартості транспортної роботи і, як наслідок, підвищення конкурентоздатності тролейбусів (трамваїв).

Висновки

Проведено детальний аналіз можливих режимів рекуперативного гальмування засобів рухомого складу (ЗРС) міського електричного транспорту та запропоновано критерії порівняльної оцінки енергоефективності цих режимів з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту.

Запропонована методика отримання значень ймовірностей для визначення величин надлишкової енергії рекуперації, на основі якої проводяться розрахунки величин струмів, рівнів напруг, об'ємів і часу роботи активних споживачів на ділянці контактної мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Байрыева Л.С. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт / Л.С. Байрыева, В.В. Шевченко. — М. : Транспорт, 1986. — 206 с.

2. Сопов В.И. Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава / В.И. Сопов, Н.И. Щуров; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2-е. 126 - 136.
3. Ито Ж. Система тягового электроснабжения постоянного тока для участков обращения электропоездов с рекуперативным торможением / Ж. Ито, Т. Ито. — Железные дороги мира 1997, №4. — с.43 - 47.
4. Щуров Н.И. Повышение эффективности использования электрической энергии в подсистеме электрического транспорта / Н.И. Щуров, В.И. Сопов, А.А. Штанг, Ю.А. Прокушев; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — с. 6 - 20.
5. Сопов В.И. Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава / В.И. Сопов, Н.И. Щуров; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2-е. 126 - 136.
6. Марквардт, К.Г. Работа системы электроснабжения при рекуперации энергии. — Техника железных дорог 1955, №4. — с. 19-20.

Олександр Анатолійович Паянок — к.т.н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oapayanok@gmail.com.

Payanok Oleksandr A — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Renewable energy and transportation systems and electrical systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oapayanok@gmail.com.

ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ ШАХТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропонована система електропривода шахтного електровоза з використанням тягових двигунів змінного струму. Виконана заміна існуючої релейно-контакторної системи керування електровоза на сучасну мікропроцесорну систему, що дозволяє підвищити надійність та гнучкість налагодження системи електропривода, забезпечити плавне регулювання тягового зусилля електровоза, а також захист від буксування.

Ключові слова: тяговий електропривод, шахтний електровоз, регулювання, мікропроцесор, система керування, двигун змінного струму.

Abstract

System of the mine electric locomotive electric drive with the use of traction alternating current engines is proposed. The replacement of the existing relay-contactor control system of the electric locomotive on the modern microprocessor system has been performed, which allows to increase the reliability and flexibility of the adjustment of the electric drive system, provide a smooth adjustment of the traction effort of the electric locomotive, as well as protection against towing.

Keywords: traction electric drive, mine electric locomotive, regulation, microprocessor, control system, AC motor.

Вступ

Рейковий підземний транспорт широко застосовується в гірничорудній промисловості. Локомотивний транспорт є основним видом транспорту на шахтах гірничодобувної промисловості і служить для перевезення основних та допоміжних вантажів, перевезення людей та виконання маневрових робіт [1].

Модернізація гірничодобувної галузі відбувається в напрямку поліпшення показників продуктивності, шляхом зміни конструкції вагонеток, впровадження двосистемних контактних-аккумуляторних електровозів, монорейкових транспортних систем. Фактором, що стримує розвиток локомотивного транспорту, є застосування двигунів постійного струму послідовного збудження з реостатно-контакторною схемою керування. Незважаючи на існуючі переваги тягового електроприводу постійного струму та великий досвід роботи експлуатації шахтного підземного транспорту у даного рішення є ряд недоліків, зокрема [2-3]:

- втрата енергії в режимах пуску та при гальмуванні через неможливість використання рекуперативного гальмування;
- для тягового приводу в сукупності із реостатно-контакторною схемою характерна м'яка механічна характеристика, що ускладнює завдання підтримання стабільності швидкості електровоза в статичних режимах роботи;
- конструктивний недолік тягових двигунів постійного струму у вигляді щітково-колекторного вузла, який обмежує надійність, ускладнює технічне обслуговування та застосування даного типу електроприводу в шахтах з вибухонебезпечним середовищем;
- відсутність ефективних рішень від пробуксовки та юзу.

Результати дослідження

На актуальність напрямку застосування електротяги змінного струму вказує достатня кількість публікацій про спроби використання на шахтних електровозах асинхронного електроприводу. А технічний і експлуатаційний знос підземного транспорту вимагає заходів з модернізації та

впровадження нових технологій.

Варто відзначити, що на змінному струмі на електровоз можна передавати набагато більшу потужність, ніж на постійному [3]. На змінному струмі простіше погасити електричну дугу, яка виникає при проходженні секційних ізоляторів, в разі пробою повітряних проміжків, при перемиканнях роз'єднувачів, оскільки дуга може сама згаснути при переході фази через нульове значення. На змінному струмі простішою є конструкція тягових підстанцій. Один потужний випрямляч на стаціонарній тяговій підстанції є набагато надійнішим, ніж випрямляч на порядок меншої потужності на кожному електровозі окремо.

Важливим питанням розробки тягового електроприводу змінного струму шахтного електровоза є питання застосування індивідуальних перетворювачів на кожен двигун або одного спільного перетворювача. Особливість асинхронного привода полягає в тому, що при паралельному живленні двигунів від одного джерела і допустимій різниці параметрів приводів (наприклад, різної ступені зношення ведучих коліс) нерівномірність навантаження двигунів виявляється недопустимо великою. Тому необхідним є живлення тягових двигунів від індивідуальних перетворювачів або живлення від спільного перетворювача із застосуванням спеціальних мір по вирівнюванню навантажень тягових двигунів [3, 5].

В результаті проведеної роботи було запропоновано структурну схему силової частини асинхронного тягового електропривода шахтного електровоза, яка приведена на рисунку 1.

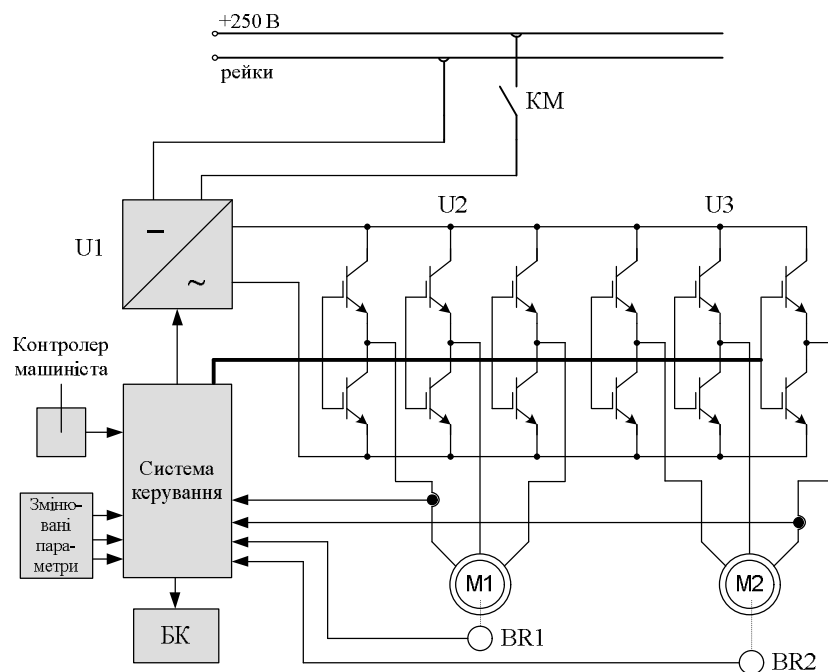


Рис. 1. Структурна схема тягового електропривода шахтного електровоза

Схема побудована із використанням мікропроцесорної техніки, яка порівняно легко реалізує функції порівняння дискретних величин. Система керування електропривода приймає сигнали завдання від контролера машиніста та від задавачів змінюваних параметрів, до яких відносяться, наприклад, гранична швидкість руху в даних умовах відкатки. Вхідними сигналами системи керування є сигнали кутової швидкості кожного із двигунів, а також параметри роботи перетворювачів (струми і напруги, які відповідають силовим колам). Вихідними сигналами системи керування є сигнали керування перетворювачами.

Система керування електроприводом забезпечує плавне регулювання струму і тягового зусилля, а також захист від буксування. За рахунок цього максимальне тягове зусилля може бути збільшено на 10 - 20%. В результаті максимальна сила тяги електровоза збільшується і він здатний стійко перевозити состави з 12 вагонеток вантажопідйомністю 10 т.

За рахунок плавного регулювання також знижується ймовірність та інтенсивність буксування, що зменшить зношування коліс та рейок і витрати енергії.

Висновки

Запропонована система тягового електропривода шахтного електровоза з використанням двигунів змінного струму. Виконана заміна існуючої релейно-контакторної системи керування на сучасну мікропроцесорну систему. Таке переобладнання електропривода електровоза дозволить підвищити надійність та гнучкість налагодження системи електроприводу, забезпечити плавне регулювання струму і тягового зусилля, а також захист від буксування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Анализ эксплуатации шахтных электровозов. / В.Г. Щербаков, М. Б. Бондаренко, И.К. Юренко, Ю. А. Самара // Сб. научн. тр. Всерос. науч. исслед. и проет.-конструкт. ин-т электровозостр. – Новочеркасск, 1997. №37. – С. 143 – 147.
2. Литвинов А.В. Развитие силовой преобразовательной техники как способ повышения эксплуатационной надежности электроподвижного состава / А.В. Литвинов // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. С. 105-110.
3. Слепцов М.А., Прокопович А.В., Савина Т.И., Тулупов В.Д. Основы тяги электротранспорта. – Москва: вид-во Академія 2006. –464 с.
4. Бутт Ю. Ф. Шахтный подземный транспорт: справочное издание. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт / Ю. Ф. Бутт, В. Б. Грядущий, В. Л. Дебель, А. Н. Коваль, А. Л. Фурман, В. М. Щука, В. А. Яценко // Под общ. ред. Б. А. Грядущего. – Т.І. – Донецк : «ВИК», 2009.– 481 с.
5. Синчук О. Н. Синергетический тяговый асинхронный электротехнический привод для контактно-аккумуляторного двухосного электровоза / О. Н. Синчук, Д. А. Шокарев, Е. И. Скапа, Э. С. Гузов, Ф. И. Караманич // Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – Кременчук : КНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 65 – 68.

Олександр Анатолійович Паянок — к. т. н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: opayanok@gmail.com.

Гончар Роман Валерійович — ст. гр. ЕТЗ-17м, Факультет електроенергетики та електромеханіки.

Науковий керівник: **Олександр Анатолійович Паянок** — к.т.н., доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Payanok Oleksandr A — PhD, assistant professor of Renewable energy and electrical transportation systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: opayanok@gmail.com.

Gonchar Roman V — student of the group ETZ-17m, Faculty of Electricity and Electromechanics.

Supervisor: **Payanok Oleksandr A** — PhD, assistant professor of Renewable energy and electrical transportation systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: opayanok@gmail.com.

Мережне наукове видання

Матеріали XLVII науково-технічної конференції
підрозділів Вінницького національного
технічного університету (НТКП ВНТУ–2018)

14-23 березня 2018 року

Збірник доповідей

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 15. 06. 2018 р.

Гарнітура Times New Roman.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-81-59,
press.vntu.edu.ua,
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.