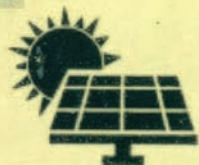


В. М. Лагутін, Н. В. Остра, В. В. Нетребський

ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. М. Лагунін, Н. В. Остра, В. В. Нетребський

**ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ**

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 621.313.004.67

ББК 31.261

Л14

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 29.05.2014 р.).

Рецензенти:

В. М. Лисогор, доктор технічних наук, професор

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

О. Є. Рубаненко, кандидат технічних наук, доцент

Лагутін, В. М.

Л14 Технічна експлуатація електричних станцій : лабораторний практикум / В. М. Лагутін, Н. В. Остра, В. В. Нетребський. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 95 с.

В посібнику розглядаються лабораторні роботи з дисципліни «Експлуатація електричних станцій».

Лабораторний практикум призначений для студентів електроенергетичних спеціальностей.

УДК 621.313.004.67

ББК 31.261

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 Лабораторна робота № 1 «Випробування ТГ з нерухомим ротором».....	6
2 Лабораторна робота № 2 «Випробування СГ з рухомим ротором»	19
3 Лабораторна робота № 3 «Перевірка та випробування силових трансформаторів».....	25
4 Лабораторна робота № 4 «Визначення груп з'єднань обмоток силових трансформаторів».....	31
5 Лабораторна робота № 5 «Фазування силових трансформаторів».....	49
6 Лабораторна робота № 6 «Приймання в експлуатацію двигунів власних потреб».....	58
7 Лабораторна робота № 7 «Налаштування високочастотного загорджувача типу ЗВС-100-У1».....	61
8 Лабораторна робота № 8 «Оперативні перемикання в схемах РУ».....	80
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	89
ДОДАТОК А.....	90
ДОДАТОК Б	93

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРЗ	автоматичне регулювання збудження
ВКЗ	відношення короткого замикання
ВН	вища напруга
ВП	власні потреби
ГГ	гідрогенератор
ЕС	електрична станція
ЗГНП	захист генератора нульової послідовності
ЕРС	електрорушійна сила
КЗ	коротке замикання
ЛАТР	лабораторний автотрансформатор
МСЗ	максимальний струмовий захист
НН	нижча напруга
ОЗЗ	однофазні замикання на землю
ПБЗ	перемикання без збудження
ПЛЕП	повітряна лінія електропередачі
ПТЕ	правила технічної експлуатації
ПУЕ	правила улаштування електроустановок
ПШЗ	пристрій швидкодійного збудження
РЗ	релейний захист
РУ	розподільна установка
РГН	регулювання під навантаженням
СГ	синхронний генератор
ТВП	трансформатор власних потреб
ТГ	турбогенератор
ТН	трансформатор напруги
ТС	трансформатор струму
ФЗ	форсування збудження
ХХ	холостий хід

ВСТУП

В лабораторії «Електричні станції та підстанції» кафедри електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету, після проведеного удосконалення та реконструкції, проводяться лабораторні роботи з таких дисциплін:

- «Експлуатація електричних станцій»;
- «Власні потреби електричних станцій»;
- «Електричні станції та підстанції».

На виконання лабораторних робіт з дисципліни «Експлуатація електричних станцій» відводиться 16 годин на студента. Для організації навчального процесу з даної дисципліни пропонуються до виконання вісім лабораторних робіт, в яких виконується випробування електрообладнання різного виду, а саме: генератори, турбогенератори, силові трансформатори, електродвигуни та двигуни власних потреб ЕС, високочастотний загороджувач. На кожну лабораторну роботу відводиться 2 години. Виконання даних лабораторних робіт дозволить полегшити та організувати вивчення дисципліни «Експлуатація електричних станцій» та підвищити рівень підготовки спеціалістів в цілому.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

«Випробування ТГ з нерухомим ротором»

Мета роботи: набуття навиків роботи з електроустановками при введенні їх в експлуатацію або після капітального ремонту, на прикладі приймання в експлуатацію ТГ.

1.1 Підготовка до лабораторної роботи

1.1.1 Ознайомитися з описом лабораторної установки (рис. 1.1).

1.1.2 Підготувати заготовку звіту з лабораторної роботи, в якій:

- вказати параметри ТГ;
- вказати програму приймання в експлуатацію ТГ;
- скласти наряд-допуск для виконання робіт з випробування ТГ з нерухомим ротором;
- накреслити таблиці для запису результатів вимірювань;
- накреслити схеми вимірювань основних параметрів у скороченому вигляді (у вигляді блок-схем).

1.2 Програма експериментальних робіт

1.2.1 Вивчити та описати технічні характеристики та улаштування ТГ.

1.2.2 Виміряти опори ізоляції R_{15}^* та R_{60}^* , визначити зволоженість ізоляції за коефіцієнтом абсорбції.

1.2.3 Виміряти опір обмоток статора і ротора постійному струму та порівняти з паспортними даними.

1.2.4 Визначити надперехідні індуктивні опори x_d^* та x_q^* в омах і відносних одиницях та порівняти їх з паспортними даними.

1.2.5 Визначити опори зворотної послідовності x_2 та Z_2 в омах та відносних одиницях.

1.3 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з ТГ та стенда для встановлення приладів та проведення експериментальних робіт (рис. 1.1).

На стенд виведені початки кожної фази обмотки статора, середня точка зірки та обмотки збудження. Для визначення індуктивних опорів на стенді встановлений ЛАТР, якій живиться від мережі 220 В. Напряга від ЛАТРа подається на вимірювальні пристрої, які підключаються до затискачів обмотки статора генератора. На стенді також встановлені

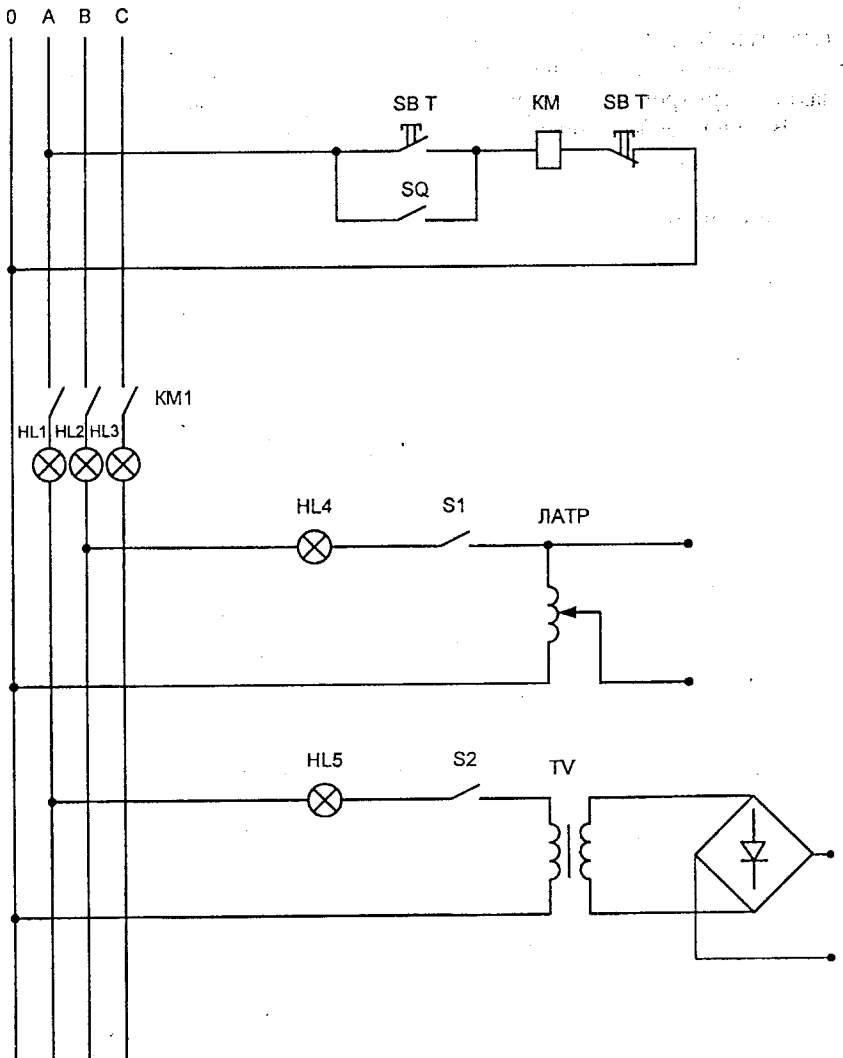


Рисунок 1.1 – Схема лабораторної установки

прилади для вимірювання опору обмоток постійному струму та джерело постійного струму напругою 6–12 В.

Перелік робіт з налагодження генератора охоплює такі групи випробувань:

1. Визначення характеристик та випробування машини в нерухомому стані та при обертанні ротора;

2. Визначення характеристик та випробування допоміжних пристроїв (системи збудження, охолодження та змащування);

3. Перевірка та налагодження вторинних пристроїв (релейного захисту, синхронізації, автоматики, керування, сигналізації та блокувань).

В даній роботі виконуються дослідження, які належать до першої групи.

1.4 Основні теоретичні відомості

1.4.1 Визначення стану ізоляції обмоток статора ТГ

Визначення стану ізоляції обмоток статора ТГ виконується за опором ізоляції та коефіцієнтом абсорбції [1]. Розглянемо алгоритм використання мегометра та методику визначення опорів ізоляції (R_{15}'' та R_{60}''), використовуючи схему лабораторної установки (див. рис. 1.1) та схему вимірювань опору ізоляції обмоток, наведену на рисунку 1.2.

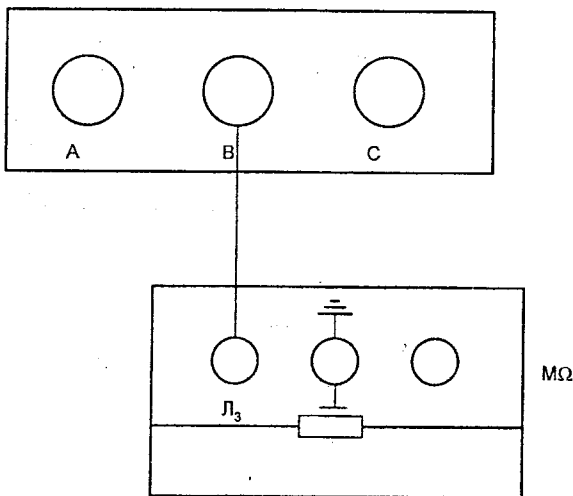


Рисунок 1.2 – Схема вимірювань опору ізоляції обмоток

R_{15}'' та R_{60}'' залежать від стану ізоляції, а особливо від її забруднення та зволоження. Опір зволоженої ізоляції понижений, струм абсорбції через ізоляцію затухає значно швидше та фіксується через $\nu = 15$ сек. В сухій ізоляції, внаслідок більш високого значення опору, струм через ізоляцію зменшується повільно та фіксується через $\nu = 60$ сек. Тому стан ізоляції прийнято оцінювати за опором ізоляції R_{60}'' , виміряним через 60 сек. після подачі до ізоляції постійної напруги певної величини.

Зі схеми вимірювання опору ізоляції (див. рис. 1.2) видно, що статор заземлюється, а клемма мегомметра L_3 з'єднується з виводом обмотки статора.

Коефіцієнт абсорбції визначається за виразом:

$$K_{abc} = \frac{R_{60}''}{R_{15}''}, \quad (1.1)$$

де R_{15}'' та R_{60}'' – значення опорів ізоляції, які виміряні за допомогою мегомметра відповідно після 60 і 15 секунд після подачі напруги від мегомметра.

Перед виконанням вимірювань опору ізоляції обмоток за допомогою мегомметра необхідно знайти та позначити кінці, які належать кожній фазі обмотки. Вимірюється опір ізоляції кожної фазної обмотки відносно корпусу та інших заземлених фазних обмоток. Для цього клемма « L_3 » мегомметра приєднується до початку або до кінця кожної фазної обмотки.

Опір ізоляції обмоток статора генератора напругою більше 0,5 кВ вимірюється мегомметром на 2500 В. Після закінчення вимірювань опору ізоляції обмотку слід приєднати до корпусу або до контуру заземлення не менше ніж на 1–2 хв. для зняття електричного заряду.

Виміряні таким чином значення слід порівняти з допустимими значеннями, що наведені в таблиці 1.1 [2]. Якщо R_{60}'' або K_{abc} задовольняє наведені норми, то проводиться вимірювання струмів витоку на випрямленій напрузі для побудови характеристики $i_{вит} = f(U_{випр})$. Характеристика $i_{вит} = f(U_{випр})$ знімається не менше ніж для п'яти значень випробувальної напруги в межах від $U_{мін}$ до $U_{мак}$ рівними ступенями (попередньо перевіряється відсутність витоків у вимірювальній схемі шляхом підвищення напруги, без навантаження).

1.4.2 Випробування ізоляції обмоток підвищеною напругою на змінному струмі

При випробуваннях ізоляції обмоток підвищеною напругою виявляють місцеві дефекти: тріщини, надломи, проколи, значні розшарування, повітряні утворення [8, 9]. Випробуванню підлягає кожна фаза обмотки відносно корпусу та інших заземлених фаз (з'єднаних з корпусом). В електричних машинах з паралельними вітками, при наявності між ними повної ізоляції, випробуванню підлягає кожна вітка відносно всіх інших обмоток (рисунок 1.3).

На рисунку 1.3 показано: КМ – автоматичний вимикач; ТУВ – регульовальна колонка; Т – випробувальний трансформатор; РА – амперметр для вимірювання струму на стороні нижчої напруги; PV_1, PV_2 –

Таблиця 1.1 – Допустимі значення опору ізоляції електричних машин

Елемент, що випробується	Напруга мегомметра, В	Допустиме значення опору ізоляції, МОм	Схема вимірювань
Обмотка статора генератора	500 при номінальній напрузі генератора до 0,5 кВ та 2500 при номінальній напрузі більшій 0,5 кВ	Регламентується електротехнічними вимогами. Норми, що вперше вводяться, не регламентуються	Опір ізоляції у генераторів з водяним охолодженням обмотки вимірюється без наявності води в обмотці статора при приєднаних з екраном мегомметра водозбірних колекторах, ізольованих від зовнішніх систем охолодження
Обмотка ротора	1000 або 500	Не менше 0,5 при $T = 10-30\text{ }^{\circ}\text{C}$	Допускається введення генераторів не більше 300 МВт з неявнополюсним ротором, який має R_{i2} не менше 2 кОм при $T = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ або 20 кОм при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; якщо значення потужності більше, тоді введення допускається при R_{i2} менше 0,5 МОм при $T = 10-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ за умов узгодження з заводом-виробником
Підшипники генератора та збуджувача	1000	Не менше 0,3 для ГТ і 1,0 для ГТ та компенсаторів	Для гідрогенераторів вимірювання проводиться, якщо дозволяє конструкція генератора

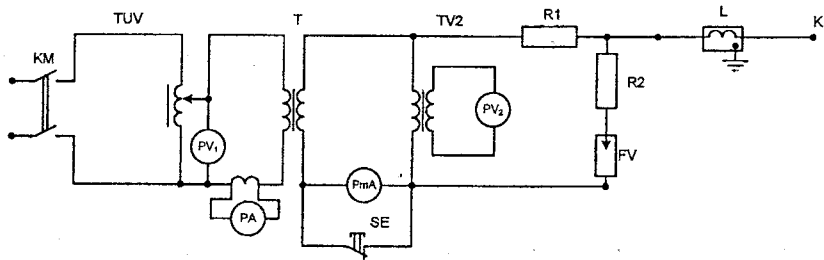


Рисунок 1.3 – Схема випробування ізоляції електрообладнання підвищеною напругою змінного струму

вольтметри; PmA – міліамперметр для вимірювання струму витoku ізоляції, що випробується; SE – кнопка, що пунтує PmA для його захисту від перевантажень; R1 – резистор для обмеження струму в випробувальному трансформаторі при пробоях в ізоляції, що випробується (1–2 Ом на 1 В випробувальної напруги); R2 – те ж для

обмеження комутаційних перенапруг на випробувальній ізоляції при пробі розрядника (1 Ом на 1 В випробувальної напруги); FV – розрядник; L – обмотка, що випробовується; K – корпус апарата, ізоляція якого випробовується.

Для випробування електричних машин потужністю до 70 МВт використовуються випробувальні установки потужністю 50–100 кВ·А.

При введенні в експлуатацію турбогенераторів 10 кВ і вище після випробування ізоляції обмоток підвищеною напругою промислової частоти протягом 1 хв випробувальна напруга знижується до номінального значення та підтримується (фіксується) протягом 5 хв для спостереження за характером коронування лобових частин обмотки статора, при цьому в окремих ділянках не повинно спостерігатися появи світіння жовтого і червоного кольорів, а також диму, тління бандажів та інших схожих явищ. Голубе та біле світіння допускається.

Перед ввімкненням генератора в роботу після закінчення монтажу проводиться контрольне випробування номінальною напругою промислової частоти або випрямленою напругою $1,5 \cdot U_{\text{ном}}$ протягом 1 хв при відкритих люках, через які проводиться спостереження. При появі загоряння, запаху горілої ізоляції або звуків електричних розрядів люки повинні бути швидко закриті, а в статор повинен бути поданий інертний газ.

1.4.3 Вимірювання опору обмоток на постійному струму

Вимірювання опору постійному струму проводиться з метою перевірки відсутності дефектів у з'єднаннях обмотки, а також для отримання вихідних даних, необхідних для визначення температури обмотки за значенням опору постійному струму [4]. Вимірювання у великих габаритних машинах проводиться за допомогою компенсаційного методу, подвійним мостом або за допомогою методу «амперметра - вольтметра» з використанням приладів класу точності не менше (нижче) 0,5 та підключенням мілівольтметра безпосередньо до виводів обмоток. Значення випробувальних напруг для обмоток електричних машин наведені в таблиці 1.2 [2].

Якщо опір обмотки статора становить більше 1 Ом, то при вимірюваннях згідно зі схемою, зображеною на рисунку 1.4, а), похибка збільшується, а більш точний результат вимірювань можна отримати, використовуючи схему рисунка 1.4, б). Якщо опір амперметра та проводу, що з'єднує затискачі амперметра та трансформатора, складає більше 0,5% від вимірюваного опору, то після розрахунків загального кола з нього вилучають опір амперметра та опір з'єднувального проводу.

Опори обмоток необхідно вимірювати в кожній парі затискачів. За результатами вимірювань визначаємо середньоарифметичний опір фаз обмоток, який має відповідати гранично допустимим значенням таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 – Значення випробувальних напруг для обмоток електричних машин

Елемент, що випробовується	Характеристика електричної машини	Випробувальна напруга, В	Умови випробування
Обмотка статора генератора	До 100 кВт, $U_n > 100$ В	$0,8(2U_n + 1000)$	Звичайні
Обмотка статора генератора	Від 100 кВт і більше, до 3300 В включно	$0,8(2U_n + 1000)$	Звичайні
Обмотка статора генератора	Від 1000 кВт і більше, від 3300 до 6600 В включно	$0,8 \cdot 2,5 \cdot U_n$	Звичайні
Обмотка статора генератора	Від 100 кВт і більше, від 6600 до 20000 В включно	$0,8(2U_n + 3000)$	Звичайні
Обмотка статора генератора	Від 1000 кВт і більше, від 20000 до 24000 В включно	$0,8(2U_n + 1000)$	Звичайні
Обмотка неявнополюсного ротора	—	1000	Якщо технічними умовами передбачені більш високі норми випробування, то дотримуються їх

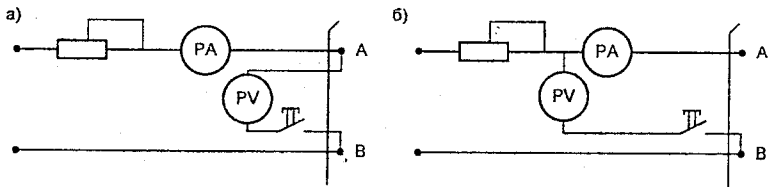


Рисунок 1.4 – Схеми для вимірювання опорів обмоток постійному струму

а) опір менше 1 Ом; б) опір більше 1 Ом

Таблиця 1.3 – Гранично допустимі відхилення опорів постійному струму

Об'єкт, що випробується	Норма
Обмотка статора (вимірювання проводиться для кожної фази та вітки окремо)	Вимірні опори в практично холодному стані обмоток різних фаз не повинні відрізнятися один від одного не більше ніж на 2%. За рахунок конструктивних особливостей (більша довжина з'єднувальних дуг та ін.) розбіжності між опорами віток у деяких типів генераторів можуть досягати 5%
Обмотка ротора	Вимірювання опору обмоток не повинно відрізнятися від даних заводу виробника більше ніж на 2%. Для уявно полюсних роторів вимірювання проводиться для кожного полюса окремо або попарно

1.4.4 Визначення активних та індуктивних опорів обмоток синхронної машини

Робота генератора в значній мірі визначається його індуктивним і активним опорами. Ці опори різні для різних режимів роботи: нормального режиму, при несиметричному навантаженні та перехідному процесі [3, 4].

Активні та індуктивні опори, які характеризують нормальний режим роботи, визначаються при пускових випробуваннях. В період монтажу проводяться вимірювання, які дозволяються визначити надперехідні та індуктивні опори, що характеризують роботу ТГ при несиметричному навантаженні.

Розрізняють надперехідний індуктивний опір по повздовжній осі x_d'' та надперехідний індуктивний опір по поперечній осі x_q'' (повздовжня вісь ротора d проходить через осі полюсів, поперечна вісь q перпендикулярна до неї).

Активні опори розрізняють за аналогією з індуктивними: активні опори нормального режиму і активні опори надперехідного режиму r_d'' та r_q'' . Індекси d і q , аналогічно до індуктивних опорів, визначають повздовжню та поперечну осі ротора.

Параметри прямої послідовності є параметрами нормального симетричного режиму роботи. Вони визначаються при пускових випробуваннях. Параметр зворотної послідовності (індуктивний опір зворотної послідовності r_2) визначається під час монтажу при нерухомому роторі).

Слід зауважити, що не тільки обмотка статора, але й обмотка ротора характеризуються активним опором, який виникає при протіканні змінного струму. Це пояснюється тим, що при перехідних та несиметричних режимах по обмотці ротора проходять значні змінні струми. В даному випадку при несиметричних режимах магнітний потік, який обертається з синхронною частотою проти напрямку руху ротора, відносно ротора має

частоту обертання в два рази більшу, ніж синхронна, в результаті чого в обмотці ротора з'являються значні струми.

Вимірювання проводяться стаціонарним методом на нерухомому генераторі. На сьогодні, під час монтажу ці вимірювання, як правило, не виконуються. Але, відповідно до норм [2], такі вимірювання необхідно проводити 1 раз при капітальному ремонті. Для цього виділяється трансформатор ВП РУ 0,4 кВ і однофазна змінна напруга 380 В, яка подається по черзі на виводи фаз обмоток статора А і В, В і С, С і А.

В усіх трьох дослідах визначають: струми – I_{AB} , I_{BC} , I_{AC} , значення напруг – U_{AB} , U_{BC} , U_{AC} та активні потужності – P_{AB} , P_{BC} , P_{AC} . Для зменшення похибки вимірювань за рахунок впливу опорів вимірювальних проводів та перехідних контактів вольтметр і обмотка напруги ватметра повинні приєднуватися окремими проводами безпосередньо до виводів ТТ.

Щоб запобігти появі значних напруг в обмотці ротора, а також для забезпечення точності вимірювань, обмотка ротора під час проведення вимірювань замикається накоротко; при цьому рекомендується контролювати струм, який проходить по цій обмотці. Правильність проведених вимірів перевіряється визначенням $\cos\phi$. Останній може бути в межах від 0,2 до 0,4. Значення струму I , (А) та потужності P , (кВт) визначаються за формулами (1.2) та (1.3) відповідно:

$$I = \frac{U \cdot S_H}{2 \cdot 0.15 \cdot U_H^2}; \quad (1.2)$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi, \quad (1.3)$$

де U – напруга, яка подається на виводи генератора, В; U_H – номінальна лінійна напруга, кВ; S_H – номінальна потужність, МВА.

Повні, активні та індуктивні опори визначаються за нижченаведеними формулами:

- повні опори відносно однієї фази обмотки, Ом:

$$Z_{AB} = \frac{U_{AB}}{2I_{AB}}; \quad (1.4)$$

$$Z_{BC} = \frac{U_{BC}}{2I_{BC}}; \quad Z_{AC} = \frac{U_{AC}}{2I_{AC}};$$

- активні опори відносно однієї фази обмотки, Ом:

$$r_{AB} = \frac{P_{AB}}{2I_{AB}^2}; \quad r_{BC} = \frac{P_{BC}}{2I_{BC}^2}; \quad r_{AC} = \frac{P_{AC}}{2I_{AC}^2}; \quad (1.5)$$

- індуктивні опори відносно однієї фази обмотки, Ом:

$$\begin{aligned}x_{AB} &= \sqrt{Z_{AB}^2 - r_{AB}^2}; \\x_{BC} &= \sqrt{Z_{BC}^2 - r_{BC}^2}; \\x_{AC} &= \sqrt{Z_{AC}^2 - r_{AC}^2}.\end{aligned}\tag{1.6}$$

Схема вимірювань активних і індуктивних опорів ТГ наведено на рисунку 1.5.

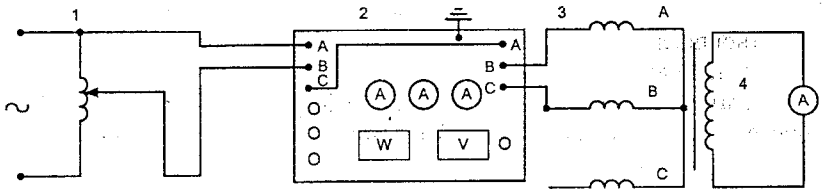


Рисунок 1.5 – Схема вимірювань для визначення активних і індуктивних опорів ТГ
1 – ЛАТР; 2 – прилад К51; 3 – обмотка статора; 4 – обмотка ротора

Середні значення опорів відносно однієї фази, Ом:

$$\begin{aligned}Z_{cp} &= \frac{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}{3}; \\x_{cp} &= \frac{x_{AB} + x_{BC} + x_{AC}}{3}; \\r_{cp} &= \frac{r_{AB} + r_{BC} + r_{AC}}{3}.\end{aligned}\tag{1.7}$$

Надперехідний індуктивний опір по повздовжній осі:

$$x_d'' = x_{cp} - \Delta x,\tag{1.8}$$

$$\text{де } \Delta x = 0.667 \sqrt{x_{AB}(x_{AB} - x_{BC}) + x_{BC}(x_{BC} - x_{AC}) + x_{AC}(x_{AC} - x_{AB})}.$$

Надперехідний індуктивний опір по поперечній осі:

$$x_q'' = x_{cp} + \Delta x. \quad (1.9)$$

При несиметричних режимах роботи СГ в ньому виникає ряд небажаних явищ, тоді режим роботи стає складним: з'являються додаткові втрати енергії та нагрів, вібрація та шум, порушується симетрія напруг, виникають вищі гармоніки струмів і напруг. Ці явища можуть бути пояснені за допомогою методу симетричних складових, згідно з яким при несиметричному навантаженні в обмотці статора, крім струмів прямої послідовності, нібито з'являються струми зворотної послідовності, і для цих струмів необхідно розглядати індуктивний x_2 і активний r_2 опори зворотної послідовності.

Під час свого обертання в деякі моменти вісь зворотно-синхронного поля статора буде збігатися з поздовжньою, а в інші моменти – з поперечною віссю ротора. Тобто, індуктивний опір змінюється між значеннями x_d'' та x_q'' і можна прийняти, що

$$x_2 = \frac{x_d'' + x_q''}{2}. \quad (1.10)$$

Таким чином, індуктивний опір x_2 можна визначити через опори x_d'' та x_q'' дослідним шляхом.

Внаслідок появи струмів подвійної частоти в осерді та обмотці збудження ТГ в них з'являються втрати енергії, яким відповідає опір зворотної послідовності ротора r_2 . Однак при проведенні дослідів для визначення x_d'' та x_q'' за допомогою ватметра, який ввімкнено в коло статора, не можна безпосередньо визначити активний опір зворотної послідовності, оскільки в цьому досліді струми ротора мають таку ж частоту, що і статор, – 50 Гц. Проте в умовах режиму зворотної послідовності струми в контурах ротора мають подвійну частоту, і тому втрати, а також відповідний їм активний опір r_2 будуть більшими.

Індуктивний опір у відсотках визначається за нижченаведеною формулою:

$$x\% = \frac{S_H \cdot x}{U_H^2} \cdot 100, \quad (1.11)$$

де S_H – номінальна потужність машини, МВА; U_H – номінальна лінійна напруга, кВ; x – індуктивний опір, Ом.

Активний опір по поздовжній осі:

$$r_d'' = r_{cp} - \Delta r, \quad (1.12)$$

$$\text{де } \Delta r = 0.667 \sqrt{r_{AB}(r_{AB} - r_{BC}) + r_{BC}(r_{BC} - r_{AC}) + r_{AC}(r_{AC} - r_{AB})}$$

Активний опір по поперечній осі:

$$r_q'' = r_{cp} + \Delta r.$$

Активні опори ротора:

$$\begin{aligned} r_{p,cp} &= r_{cp} - r_{cm}; \\ r_{dp}'' &= r_d'' - r_{cm}; \\ r_{qp}'' &= r_q'' - r_{cm}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

В цих виразах приймається:

– для генераторів, які мають неперервну ізоляцію обмотки статора,

$$r_{cm} = (2 \div 3)r;$$

- для генераторів, які мають гільзову ізоляцію,

$$r_{cm} = (4 \div 5)r,$$

де r – активний опір однієї фази обмотки статора постійному струму.

Активний опір ротора генератора при частоті 100 Гц може бути прийнятий

$$r_{zp} = r_{pcp} \sqrt{2}.$$

Тоді повний активний опір генератора зворотної послідовності визначасмо за (1.14):

$$r_2 = r_{cm} + r_{pcp} \sqrt{2}. \quad (1.14)$$

1.5 Обробка результатів та оформлення звіту

1.5.1 Тема, мета та порядок виконання лабораторної роботи.

1.5.2 Схема лабораторної установки.

1.5.3 Згідно з п. 1.2.1 програми експериментальних робіт навести номінальні технічні параметри ТГ та ПШЗ, перелік найменувань вузлів та

деталей статора, ротора, підшипників, систем змащування, системи охолодження та збудження ТГ.

1.5.4 Відповідно до п. 1.2.2 та 1.2.3 програми експериментальних робіт навести розрахункові та дослідні значення опорів ізоляції та обмоток постійному струму, показати схеми вимірювань опорів.

1.5.5 Відповідно до п. 1.2.4 та 1.2.5 програми експериментальних робіт подати схему для вимірювань індуктивних і активних опорів, навести дослідні дані і розрахунок всіх опорів, показати розрахунок струмів та потужностей, які споживаються в досліді при нерухомому роторі. Розрахувати та навести значення опорів у відносних одиницях, а також порівняти їх з паспортними даними.

1.5.6 Зробити висновки за результатами виконаної роботи.

1.5.7 Список використаної літератури.

1.6 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Назвіть номінальні дані ТГ.

2. Поясніть улаштування ТГ: статора, ротора, підшипників та системи змащування.

3. Назвіть конструктивні особливості системи охолодження ТГ.

4. Поясніть улаштування системи збудження ТГ.

5. Проаналізуйте улаштування обмотки статора.

6. Назвіть принципи побудови схеми обмотки статора: число котушок та котушкових груп в кожній фазі та в обмотці статора в цілому, з'єднання котушкових груп, кутовий зсув між котушковими групами, початками та кінцями фазних обмоток.

7. Як маркуються початки та кінці обмоток ТГ?

8. Поясніть, що таке коефіцієнт абсорбції?

9. Назвіть норми опорів ізоляції обмоток.

10. Як залежить опір ізоляції від температури?

11. Поясніть фізичний зміст опорів x_2 та r_2 та як вони визначаються дослідним шляхом.

12. Поясніть значення опорів x_d'' , x_q'' , x_2 і r_2 у відносних одиницях.

13. Як визначаються струм та потужність, які споживаються в досліді з нерухомим ротором?

14. Як вимірюється опір ізоляції обмоток ТГ?

15. Як визначається коефіцієнт абсорбції ізоляції?

16. Як вимірюється опір обмотки постійному струму?

17. Як визначається черговість фаз ТГ?

18. Як визначаються опори x_d'' , x_q'' , при довільному положенні нерухомого ротора?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 «Випробування СГ з рухомим ротором»

Мета роботи: вивчити обсяг і норми випробувань приймання-здачі синхронних генераторів до експлуатації та після капітальних ремонтів, провести випробування генератора, ротор якого обертається з номінальною швидкістю.

2.1 Підготовка до лабораторної роботи

2.1.1 Вивчити розділ I ПУЕ (1-8-13), який стосується обсягів і норм тестування при прийманні-здачі СГ змінного струму.

2.1.2 Підготувати заготовку звіту з лабораторної роботи, в якій:

– вказати параметри генератора, його пристрою збудження та двигуна, який обертає генератор;

– навести програму дослідження СГ з рухомим ротором при прийманні в експлуатацію;

– скласти наряд-допуск для переліку робіт з випробування СГ з рухомим ротором;

– накреслити таблиці для запису результатів вимірювань;

– навести схеми, за якими проводяться дослідження СГ з рухомим ротором.

2.2 Програма експериментальних робіт

2.2.1 Ознайомитись з лабораторним пристроєм. Вивчити та записати параметри СГ, його пристрою збудження та приводу-двигуна постійного струму.

2.2.2 Провести перший пуск агрегата на холостому ходу, виконати пускові випробування в режимі ХХ.

2.2.3 Зняти характеристику ХХ.

2.2.4 Зняти характеристику КЗ при замиканні 3 фаз СГ накоротко.

2.2.5 За даними випробувань на ХХ та КЗ побудувати їхні характеристики, з яких визначити синхронно-індуктивний опір X_d , ВКЗ, номінальний струм збудження генератора, номінальну напругу та струм СГ.

2.2.6 Побудувати діаграму Потье у відносних одиницях.

2.3 Опис лабораторного пристрою

Лабораторний пристрій складається з агрегата, який встановлений на рамі 1 стенда, де розміщені комутаційні апарати та вимірювальні прилади. Електрична схема пристрою показана на рисунку 2.1. Агрегат з рухомим

ротором складається з трифазного синхронного генератора G, його збудника GE та приводу у вигляді двигуна постійного струму M із серійним і шунтовим збудженням. Двигун M живиться від випрямляча, який розташований у металевій шафі. Пуск двигуна та грубе регулювання швидкості здійснюється за допомогою пускового реостата R, точне регулювання швидкості ведеться реостатом $R_{\text{шм}}$. Контроль швидкості здійснюється тахометром при незбудженому генераторі, при збудженні – частотоміром, який розташований на стенді.

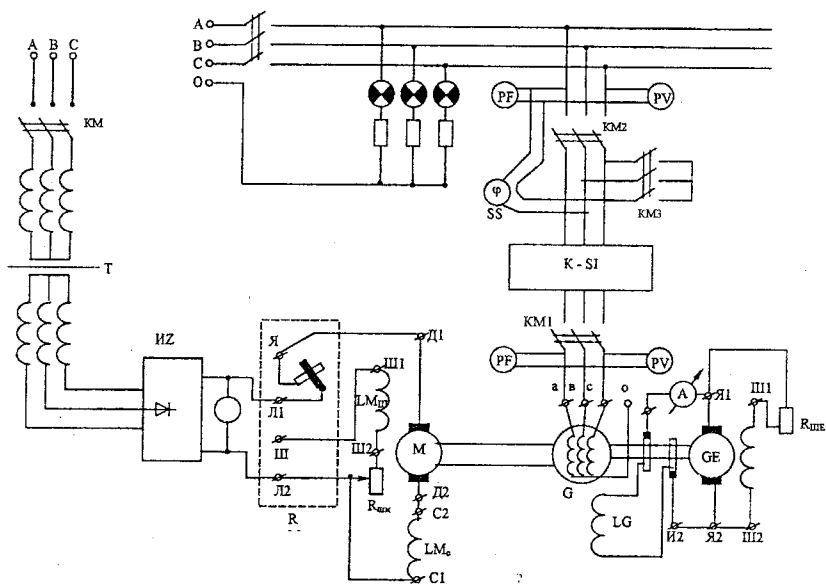


Рисунок 2.1 – Електрична схема пристрою

Збудник генератора постійного струму з шунтовим збудженням GE, регулювання струму та напруги на щитовому апараті запускається реостатом $R_{\text{ше}}$. Контроль струму збудження ведеться за показаннями амперметра А, що розташований на стенді.

Вмикання генератора на роботу з вимірювальними приладами напруги та фазних струмів здійснюється вимикачем КМ1. Трифазне КЗ проводиться вимикачем КМ3.

Вмикання генератора на паралельну роботу з мережею здійснює вимикач КМ після виконання всіх умов синхронізації.

УВАГА! У даній роботі вмикання генератора G на паралельну роботу з мережею ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ!

2.4 Порядок проведення експериментальних робіт

2.4.1 Підготовчі роботи перед першим пуском

Перед першим пуском при прийманні до експлуатації та після капітального ремонту в умовах роботи ЕС проводиться комплекс передпускових робіт, який охоплює:

- загальний зовнішній огляд агрегата на предмет виявлення видимих пошкоджень та надійності електричних контактів провідників;
- перевірку стану первинних і вторинних електричних кіл схеми вмикання СГ у мережу;
- перевірку уставок релейного захисту;
- перевірку стану комутаційних апаратів та ізоляції електричних кіл мегомметром;
- випробування систем охолодження та збудження при нерухомому роторі;
- інші заходи, регламентовані ПУЕ та ПТЕ.

Студент при виконанні лабораторної роботи повинен розібратися з усіма елементами схеми, зняти та записати всі паспортні дані обладнання, під'єднати всі прилади та елементи регулювання.

2.4.2 Пуск СГ

Пуск СГ проводиться при ненавантаженому генераторі електродвигуноу М (див. рис. 2.1). Для цього потрібно ввімкнути вимикач КМ на металевій шафі, де розташований розподільний трансформатор Т та випрямляч ИЗ. На виводі цього випрямляча стоїть вольтметр, який повинен показувати напругу 220–240 В, після чого пусковим реостатом R запускаємо двигун постійного струму М. Грубе регулювання швидкості обертання виконується реостатом R, тонке – реостатом $R_{\text{пм}}$, який вмикається в коло шунтової обмотки двигуна.

Реостатом у колі збудження $R_{\text{ШБ}}$ підвищуємо напругу на виводах генератора G до 0,4 кВ. При цьому номінальна швидкість контролюється частотоміром PF, що стоїть у колі-статорної обмотки генератора G.

Ввімкнувши вимірювальні прилади вимикачем КМ1 визначасмо несиметрію напруги статора за показаннями вольтметрів кожної фази:

$$\Delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_c} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де U_{\max} , U_{\min} – максимальна та мінімальна фазні напруги; U_c – середня напруга на виводах. Згідно з ПТЕ несиметрія напруг не повинна перевищувати 12%.

2.4.3 Зняття характеристики ХХ

Струм збудження I_f знижується до мінімально можливого значення, частота обертання – номінальна ($f_n = \text{const}$). Після цього знімається характеристика ХХ, тобто залежність $U_{os} = f(I_f)$ від $U_{os\text{min}}$ до $1.3 U_{ном}$. Знімаються показання у 5-6 точках, обов'язкова точка при U_n , при якій визначається струм збудження ХХ – I_{fxx} . Після цих вимірювань робиться вимір залишкової напруги.

2.4.4 Зняття характеристик КЗ

Залежність $I_f = f(I_D)$ знімається за допомогою вимірювальних пристроїв від мінімального до максимального струму, що не повинен перевищувати номінальний струм статора $I_{Imax} \leq I_{In}$ [3]. Для цього з початку дослідження струм збудження I_f знижується до мінімального, вмикаються КМ1 та вимикач КМ3, який закорочує 3 фази. Знімаються показання у 3-5 точках. За результатами вимірювань будується характеристика КЗ.

2.4.5 Побудова характеристик ХХ та КЗ у відносних одиницях

За відносну одиницю (в. о.) струму збудження береться струм збудження, при якому на ХХ генератор видає на виводах номінальну напругу. За в. о. осі ординат приймають номінальну напругу U_{1n} , а за в. о. осі абсцис приймають номінальний струм I_{1n} , значення яких беруться з паспортних даних. Таким чином, значення у в. о. на осях визначаються з таких виразів:

$$I_{1*} = \frac{I_f}{I_{1n}}; \quad U_{1*} = \frac{U_1}{U_{1n}}; \quad I_{f*} = \frac{I_f}{I_{fx}}. \quad (2.2)$$

Генератори, які обладнано ПШЗ, в усталеному режимі КЗ характеризуються граничним струмом збудження, який залежить від попереднього режиму. Відносний граничний струм збудження визначається за виразом [3, 5]:

$$I_{f.sp*} = \frac{I_{f.sp.}}{I_{f.x}}. \quad (2.3)$$

Значення $I_{f.sp}$ визначається розрахунковим або дослідним шляхом. Для розрахункового визначення $I_{f.sp}$ СГ з електромашинним збудженням необхідно знати навантажувальну характеристику збудника $U_{f\beta} = f(I_{f\beta})$ та опір-обмоток збудження збудника (r_{osz}) і генератора (r_{ogz}). Побудувавши навантажувальну характеристику (рис. 2.2, а) та пряму $U_{f\beta} = I_{f\beta} \cdot r_{ogz}$ для будь-яких значень $I_{f\beta}$, знаходимо точку їхнього перетину, яка дозволяє

визначити $U_{f_{зр}}$ – граничну напругу збудника при замкненому накоротко регулювальному опорі.

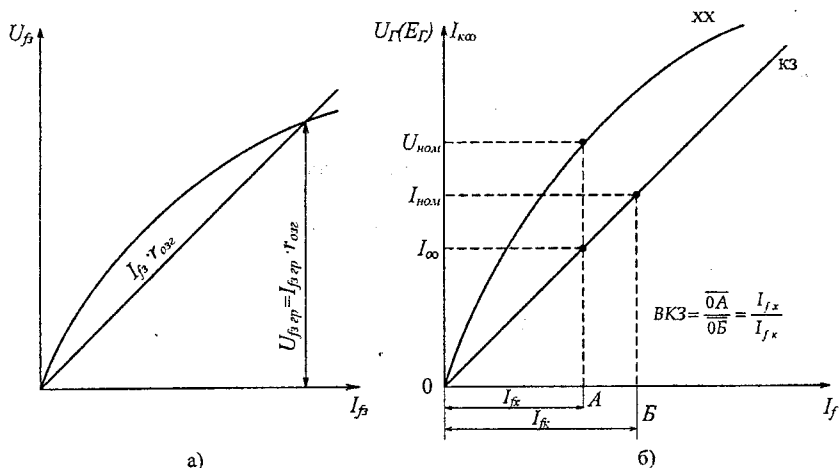


Рисунок 2.2 – Визначення $I_{f_{зр}}$ за навантажувальною характеристикою збудника (а) та визначення ВКЗ за характеристиками XX і КЗ генератора (б)

В умовах експлуатації на діючих генераторах ВКЗ може бути визначено за характеристиками XX і КЗ, які знімаються для кожного СГ (рисунок 2.2, б). ВКЗ може також бути визначено як відношення струму збудження, який відповідає номінальній напрузі при XX I_{fx} (відрізок OA рис. 2.2, б) до струму збудження, який відповідає струму трифазного КЗ, що дорівнює номінальному струму генератора I_{fk} (відрізок OB):

$$VKZ = \frac{OA}{OB} = \frac{I_{fx}}{I_{fk}}. \quad (2.4)$$

2.5 Обробка результатів та оформлення звіту

2.5.1 У звіті лабораторної роботи навести технічні дані всього обладнання рухомого агрегата (G, GE, M), схему випробувань і програму експериментальних робіт.

2.5.2 Навести дані несиметрії напруг 3 фаз генератора.

2.5.3 Навести експериментальні дані з характеристики XX.

2.5.4 Навести експериментальні дані з характеристики КЗ.

2.5.5 Побудувати характеристики ХХ і КЗ у відносних одиницях як основу діаграм Потье.

2.5.6 Побудувати діаграму Потье для визначення номінального струму збудження генератора I_{fn} та порівняти останній з експериментальним значенням.

2.5.7. Одержані результати пояснити за допомогою теоретичних відомостей.

2.5.8 Зробити висновки за результатами виконаної роботи, оформити звіт.

2.5.9 Навести список використаної літератури.

2.6 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Назвіть номінальні параметри СГ.
2. Назвіть конструктивні особливості СГ.
3. Поясніть улаштування пристрою збудження.
4. Поясніть улаштування приводу-двигуна постійного струму.
5. Як проводиться пуск СГ?
6. Поясніть, що таке ВКЗ?
7. Як визначаються синхронно-індуктивний опір і номінальний струм збудження генератора.
8. Як визначаються номінальна напруга та струм СГ.
9. Поясніть принципи побудови характеристик ХХ та КЗ.
10. Як визначається відносний граничний струм збудження?
11. Поясніть як знімається залежність $I_l = f(I_f)$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

«Перевірка та випробування силових трансформаторів»

Мета роботи: ознайомитись з методами перевірки та випробування силових трансформаторів в експлуатації.

3.1 Опис лабораторного стенда

На стенді розташовані клеми джерел живлення, контур заземлення б, виводи трансформатора, що випробовується, пускова і електровимірвальна апаратура (рисунок 3.1). Напряг на стенд подається від мережі змінного струму напругою 380/220 В: лінійна – 380 В, фазна – 220 В. Вона з'являється на клеммах 7, розташованих в лівій нижній частині стенда, після включення стендових магнітного пускача 16 та автомата 17. Ручка автомата і кнопки пускача знаходяться у правій частині стенда. Вмикання стенда фіксується сигнальними лампами 15, що знаходяться над кнопками магнітного пускача. Схематичне розташування клем та приладів на лицьовій панелі стенда наведено на рисунку 3.1.

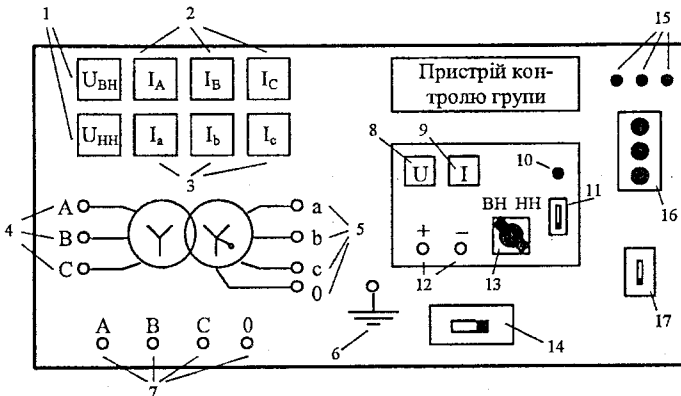


Рисунок 3.1 – Схематичне розташування клем та приладів на лицьовій панелі стенда

Як об'єкт випробувань використовується трифазний трансформатор типу ТМХ–50/10 при частоті не вище 50 Гц. Потужність 50 кВА, з номінальними лінійними напругами обмоток: $U_{ВН} = 10000$ В (10 кВ) та $U_{НН} = 400$ В, напругою КЗ – $U_K = 5,7\%$. Схема з'єднання обмоток: Y/Y–0. Від ввідів трансформатора ТМХ–50/10 на стенд кабелями виведені кінці обмотки ВН 4 та кінці обмотки НН 5. Для вимірювання фазних струмів обмоток ВН і НН використовуються відповідно амперметри 2 та 3. В лівій

верхній частині стенда знаходяться вольтметри для вимірювання лінійних напруг обмоток ВН та НН 1. Для виконання досліду КЗ обмотки НН в нижній частині стенда встановлений автомат КЗ 14.

УВАГА! З метою безпеки умов проведення лабораторної роботи напругу ~ 380 В подавати лише на клеми А, В, С обмотки ВН 4 силового трансформатора!!!

Для вимірювання опору обмоток трансформаторів постійному струму на стенді є клеми 12 джерела постійного струму, «+» і «-» відповідно, напруга на яких з'являється після включення стендових автомата 17, магнітного пускача 16 і автомата постійного струму 11. Наявність напруги на виводах джерела постійного струму фіксується сигнальною лампою 10. При вимірюванні опорів обмоток методом спаду напруги використовуються встановлені на стенді амперметр 9, вольтметр 8 і перемикач 13, який вмикає підвищену або знижену напругу джерела постійного струму для вимірювання опору обмоток ВН або НН відповідно.

У верхній частині стенда вмонтований прилад для визначення групи з'єднання обмоток трансформаторів УКГ-1 (вказівник групи), розроблений на кафедрі ЕСС ВНТУ.

3.2 Короткі теоретичні відомості

3.2.1 Оцінка стану ізоляції трансформаторів

Стан ізоляції струмопровідних частин електрообладнання, наприклад обмоток трансформаторів, оцінюється, перш за все, за опором ізоляції струму, що проходить в ній при прикладанні певної випрямленої або постійної напруги [5, 6]. При цьому в ізоляції виникає перехідний процес, обумовлений зарядом всього об'єму ізоляції та процесами поляризації в складному діелектрику, яким є ізоляція; у початковий момент струм має максимальне значення, а опір ізоляції – мінімальне значення. Потім струм зменшується з постійною часу, яка дорівнює добутку опору на сміність ізоляції, а опір збільшується до деякого встановленого значення. Після припинення процесу поляризації через ізоляцію протікає усталений струм наскрізної провідності (струм витоку), який визначається загальним опором ізоляції випрямленому (постійному) струму. Початковий і кінцевий опори ізоляції залежать не лише від властивостей ізоляції, а й від її стану, а також від її забруднення і зволоження. При зволоженні ізоляції її опір знижується, струм через ізоляцію згасає значно швидше і встановлюється приблизно через 15 с. В сухій ізоляції опір ізоляції більший і струм через ізоляцію зменшується повільніше і встановлюється приблизно через 60 с. У зв'язку з цим стан ізоляції прийнято оцінювати за опором ізоляції R_{60} , вимірним через 60 секунд після прикладання до ізоляції випрямленої (чи постійної) напруги певного значення та відносно

опорів ізоляції, виміряних через 15 і 60 секунд після прикладання напруги. Це відношення опорів ізоляції R_{60} та R_{15} називається коефіцієнтом абсорбції і використовується для оцінювання ступеня вологості ізоляції:

$$K_{abc} = \frac{R_{60}}{R_{15}} \quad (3.1)$$

При сухій ізоляції коефіцієнт абсорбції значно перевищує одиницю, а при вологій ізоляції – близький до одиниці.

Для вимірювання опору ізоляції застосовуються мегомметри. Мегомметр – переносний прилад, в якому є джерело постійної чи випрямленої напруги, яка прикладається при вимірюваннях до ізоляції, і прилад, який вимірює струм. Шкала мегомметра проградуєвана в МОм та КОм. У експериментальних дослідженнях використовуються мегомметр типу М4100,4 з вихідною напругою 1000 В або мегомметр МС–0,5 з вихідною напругою 2500 В, яка отримується від вбудованого генератора при обертанні рукоятки приладу зі швидкістю 120 об./хв. Перед початком вимірювання прилад перевіряють. Для цього затискачі З і Л замикають накоротко і обертають рукоятку. Стрілка приладу повинна встановитись навпроти поділки «0» шкали. Після цього затискачі З і Л розмикають і при повторному обертанні рукоятки стрілка приладу повинна встановитись навпроти поділки «∞». Якщо ці вимоги не виконуються, то приладом користуватися не можна і його необхідно відремонтувати або замінити.

Перед вимірюванням опору ізоляції струмопровідні частини обладнання заземлюють на 2–3 хвилини для того, щоб зняти з них залишкові заряди, які можуть вплинути на покази приладу. При необхідності точного вимірювання опору ізоляції затискач Л мегомметра слід підключити до струмопровідної частини устаткування провідником з посиленою ізоляцією. Опір ізоляції R_{Σ} визначається показом стрілки мегомметра через 60 секунд після подачі номінальної напруги приладу, що часто має місце при частоті обертання рукоятки приладу 120 об./хв. Час 60 секунд вимагається для встановлення струму, який протікає через ізоляцію.

При визначенні стану ізоляції обмоток трансформатора спочатку вимірюється опір ізоляції обмотки НН (рисунок 3.2, а), а обмотка ВН і бак трансформатора заземлюються. Потім вимірюється опір ізоляції обмоток ВН (рисунок 3.2, б), а обмотка НН і бак трансформатора заземлюються. При таких умовах опір ізоляції даної обмотки визначається відносно не лише бака, але й іншої обмотки. Перед вимірюванням опору ізоляції необхідно спочатку забезпечити номінальну напругу на мегомметрі обертанням його ручки зі швидкістю 120 об./хв, а вже потім провідник від затискача Л мегомметра прикласти до струмопровідної частини і почати відлік часу, вимірявши опір ізоляції мегомметром через 15 і 60 секунд

після прикладання номінальної напруги. Після вимірювання об'єкт слід розрядити короткочасним з'єднанням його з землею. Схеми для вимірювання опору ізоляції наведені на рисунку 3.2.

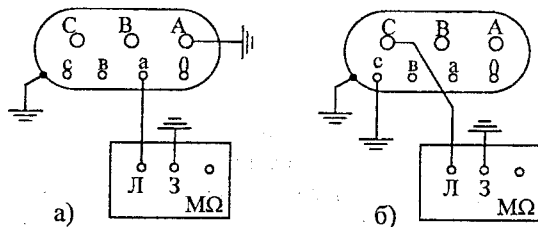


Рисунок 3.2 – Схеми для вимірювання опору ізоляції
а – обмотки НН; б – обмотки ВН

Мінімальний допустимий опір ізоляції R_{60} для масляних трансформаторів на напругу до 35 кВ включно, потужністю до 6300 кВА включно при температурі обмотки 20 °С дорівнює $R_{60} = 300 \text{ МОм}$, а коефіцієнт абсорбції повинен бути $K_{abc} \geq 1,3$.

3.2.2 Вимірювання опорів обмоток трансформатора постійному струму

При виконанні експериментальних досліджень опори обмоток вимірюють методом падіння напруги [5, 7]. При цьому, у відповідності зі значенням опору, який вимірюється, вибирають одну з двох схем вимірювання відповідно до рисунка 3.3.

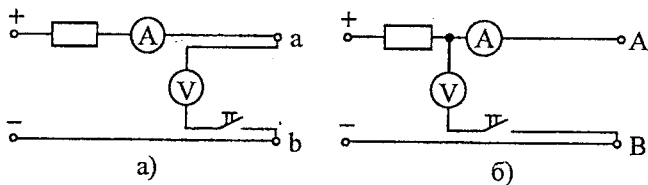


Рисунок 3.3 – Схеми для вимірювання опорів обмоток постійному струму

(а – при опорах менше 1 Ом; б – при опорах більше 1 Ом)

При вимірюваннях опорів менше 1 Ом проводи кола вольтметра приєднують безпосередньо до затискачів трансформатора (рис. 3.3, а). Якщо розрахункове значення вимірюваного опору складає 0,5% і більше від опору вольтметра, то значення опору обчислюють за формулою:

$$R' = R \frac{1}{1 - R/R_V}, \quad (3.2)$$

де R – опір, який обчислюється за вимірними значеннями струму і напруги, Ом; R_V – опір вольтметра, Ом.

Величина R/R_V враховує те, що при вимірюванні частина струму, хоча й невелика, проходить через вольтметр. Опір проводів в колі вольтметра повинен бути не більше 0,5% внутрішнього опору вольтметра.

Якщо опір обмотки трансформатора значний (більше 1 Ом), то при вимірюванні за схемою (рис. 3.3, а) похибка збільшується і більш точні результати дає схема вимірювань згідно з (рис. 3.3, б). Якщо опори амперметра і провідника, який з'єднує затискачі амперметра і трансформатора, складають більше 0,5% від значення опору, який вимірюється, то після обчислення загального опору кола з нього віднімають опір амперметра і провідника.

При вмиканні постійного струму в коло обмотки трансформатора виникає перехідний процес; при цьому на затискачах обмотки з'являється напруга, яка значно більша тих, на які може бути розрахований вольтметр. Щоб запобігти шкоди, вольтметр необхідно вмикати при ustalеному значенні струму, а вимикати до відключення струму, що може бути здійснено кнопкою чи вимикачем. Опори обмоток необхідно виміряти на кожній парі затискачів А – В, В – С, С – А і на парі затискачів а – b, b – с, с – а. За результатами вимірювань обчислюють і реєструють у звітній документації середньоарифметичний опір фаз обмоток.

3.2.3 Перевірка коефіцієнта трансформації

Коефіцієнт трансформації перевіряється методом двох вольтметрів в досліді ХХ трансформатора, коли виводи обмотки НН розімкнені. На обмотку ВН трансформатора подається трифазна напруга від затискачів А, В, С мережі змінного струму. Вимірюють значення лінійних напруг усіх трьох фаз на високій та низькій сторонах трансформатора [5, 6]. Вимірне значення коефіцієнта трансформації не повинно відрізнитися більше ніж на $\pm 1\%$ від паспортного. Коефіцієнт трансформації перевіряється при всіх положеннях перемикача регулювання напруги ПБЗ. В звітній документації у вигляді таблиці наводяться вимірні значення коефіцієнтів трансформації для кожного положення пристрою ПБЗ.

3.2.4 Перевірка напруги короткого замикання

Дослід виконують на номінальному ступені напруги обмоток. На затискачі А, В, С обмотки ВН трансформатора прикладається симетрична трифазна напруга від мережі змінного струму. Затискачі а, b, с обмотки НН замикаються накоротко за допомогою автомата КЗ. Вимірюються лінійні

напруги на обмотках ВН і фазні струми обмоток ВН і НН. Обчислюється середньоарифметичне значення лінійної напруги u'_k і фазних струмів I_1 і I_2 . Якщо напруга, яка прикладається до обмотки ВН, менша номінальної (паспортної), то напруга КЗ обчислюється за формулою:

$$u_k = u'_k \frac{I_{H1}}{I_1}, \quad (3.3)$$

де u'_k , I_1 – лінійна напруга і струм в обмотці ВН у досліді; I_{H1} – номінальний струм первинної обмотки (ВН). Визначене у експериментальних дослідженнях значення напруги КЗ не повинно відрізнятись від паспортного більш ніж на $\pm 10\%$.

3.3 Порядок виконання лабораторної роботи

3.3.1 Ознайомитись з конструктивними особливостями та параметрами трансформатора ТМХ–50/10. Списати паспортні данні зі щитка трансформатора, навести схему розташування ввідів на кришці бака і вказати місце встановлення пристрою ПБЗ.

3.3.2 Ознайомитись з принципом роботи, технічними характеристиками і схемами вмикання мегомметра. Перевірити справність роботи мегомметра.

3.3.3 Виміряти опір ізоляції обмоток ВН та НН трансформатора ТМХ – 50/10. Визначити коефіцієнт абсорбції ізоляції обмоток.

3.3.4 Виміряти опори обмоток ВН та НН трансформатора ТМХ – 50/10 постійному струму.

3.3.5 Перевірити коефіцієнт трансформації трансформатора ТМХ – 50/10 при всіх положеннях перемикача ПБЗ.

3.3.6 Визначити напругу КЗ трансформатора ТМХ – 50/10 і порівняти її з паспортним значенням.

3.3.7 Зробити висновки за результатами виконаної роботи, оформити звіт.

3.4 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Будова та принцип дії силових трансформаторів.
2. Технічні характеристики силових трансформаторів.
3. Як визначається стан ізоляції обмоток трансформатора?
4. Що таке коефіцієнт абсорбції і як він визначається?
5. Описати методику вимірювання опору обмоток постійному струму.
6. Що таке коефіцієнт трансформації і як він визначається?
7. Опишіть будову та принцип дії пристрою ПБЗ.
8. Опишіть будову та принцип дії пристрою РПН.
9. Як виконується практичне визначення коефіцієнта трансформації?
10. Що таке напруга КЗ і як вона визначається?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

«Визначення груп з'єднань обмоток силових трансформаторів»

Мета роботи: ознайомитись з методами визначення груп з'єднань обмоток силових трансформаторів

4.1 Підготовка до лабораторної роботи

4.1.1 Підготувати заготовку звіту з лабораторної роботи, в якій:

- вказати мету визначення груп з'єднань обмоток силових трансформаторів;
- вказати умови ввімкнення трансформаторів на паралельну роботу;
- вказати характеристики методів визначення груп з'єднань обмоток;
- описати метод фазометра;
- описати метод двох вольтметрів та його модифікації;
- описати метод постійного струму;
- накреслити схеми перевірки групи з'єднань обмоток силових трансформаторів.

4.2 Короткі теоретичні відомості

4.2.1 Групи з'єднань обмоток

Для паралельної роботи трансформаторів необхідно, щоб збіглися групи з'єднань обмоток. Групи з'єднань залежать від кута зсуву векторів лінійних ЕРС обмоток ВН і НН однакових фаз трансформаторів, що визначаються за схемами з'єднання обмоток. А також залежать від взаємного напрямку намотування та розташування обмоток на трансформаторі. Розрізняють 12 груп з'єднань, а саме: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. Вони характеризуються відповідним кутом зсуву векторів ЕРС ВН і НН між собою: 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° , 210° , 240° , 270° , 300° та 330° [1, 8, 10].

Якщо вектор ОА ЕРС обмотки ВН має вертикальний напрямок (рис. 4.1), тоді групу з'єднання обмоток визначатимемо в залежності від напрямку вектора Оа ЕРС обмотки НН.

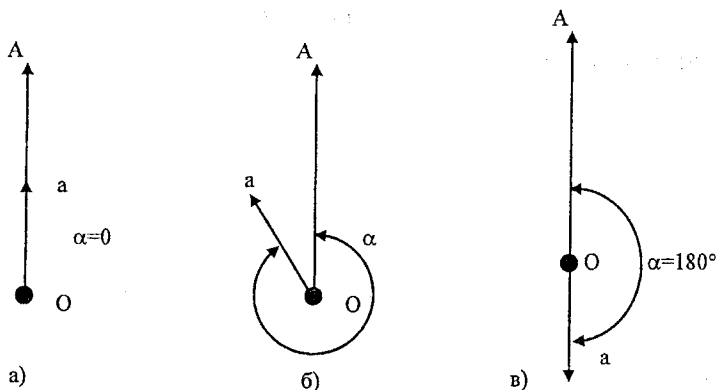


Рисунок 4.1 – Кут зсуву між векторами ЕРС ВН та НН

З рисунка 4.1, а) видно, що кут зсуву між векторами α дорівнює 0° . На рисунку 4.1, б) – кут α дорівнює деякому значенню, а на рисунку 4.1, в) кут $\alpha = 180^\circ$.

Кут зсуву між векторами ЕРС обмоток ВН та НН залежить від схеми їх з'єднання, а також взаємного напрямку намотування обох обмоток. У випадку, коли з'єднання обмоток за схемою «трикутник», кут зсуву також залежить від послідовності з'єднання фаз при утворенні трикутника (а-у або а-z). В залежності від взаємного напрямку намотування обмоток ВН та НН, позначення їх кінців та послідовності з'єднання фаз трикутника можна отримати різну кількість груп з'єднань обмоток (рис. 4.2).

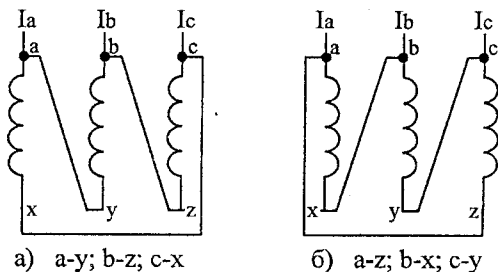


Рисунок 4.2 – Схеми з'єднань «трикутником»

Для того, щоб визначити напрямок намотування за зовнішнім виглядом, необхідно спочатку позначити, де початок і кінець обмотки. За ГОСТом 11677-75 початки фаз обмоток ВН позначаються великими

літерами А, В, С, а кінці – X, Y, Z. Обмотки НН відповідно – а, в, с та х, у, z. Знаючи початок і кінець обмотки, напрямок її намотування визначається так: якщо дивитися на обмотку з боку її початку, то при напрямі витків обмотки проти годинникової стрілки обмотка називається лівою, а при напрямі витків за годинниковою стрілкою – правою.

Для трифазних двообмоткових трансформаторів згідно з ГОСТом 11677–75 прийняті такі умовні позначення схем обмоток та груп їх з'єднань:

а) $\boxed{Y/Y_n-0}$ обмотка ВН з'єднана в зірку, обмотка НН – в зірку з виведеною нейтраллю; група з'єднання – 0 (рис. 4.3, а);

б) $\boxed{Y/D-11}$ обмотка ВН з'єднана в зірку, обмотка НН – в трикутник; група з'єднання – 11 (рис. 4.3, б);

в) $\boxed{Y_n/D-11}$ обмотка ВН з'єднана в зірку з виведеною нейтраллю, обмотка НН – в трикутник; група з'єднання – 11 (рис. 4.3, в);

г) $\boxed{Y/Z_n-11}$ обмотка ВН з'єднана в зірку, обмотка НН – в зигзаг з виведеною нейтраллю; група з'єднання – 11 (рис. 4.3, г);

д) $\boxed{D/Y_n-0}$ обмотка ВН з'єднана в зигзаг, обмотка НН – в зірку з виведеною нейтраллю; група з'єднання – 0 (рис. 4.3, д).

Числа (0, 11), які позначають групи з'єднань, характеризують кут між векторами ВН та НН в годинниковому вимірюванні.

Ввімкнення на паралельну роботу двох трансформаторів з різними групами з'єднань обмоток призводить до виникнення в трансформаторах зрівнювального струму:

$$I_{zp} = \frac{20 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{\frac{U_{k1}}{I_1} + \frac{U_{k2}}{I_2}}, \quad (4.1)$$

де α – кут зсуву між векторами ЕРС обох трансформаторів; U_{k1} , U_{k2} – напруги КЗ першого та другого трансформаторів; I_1 , I_2 – номінальні струми трансформаторів [1, 7].

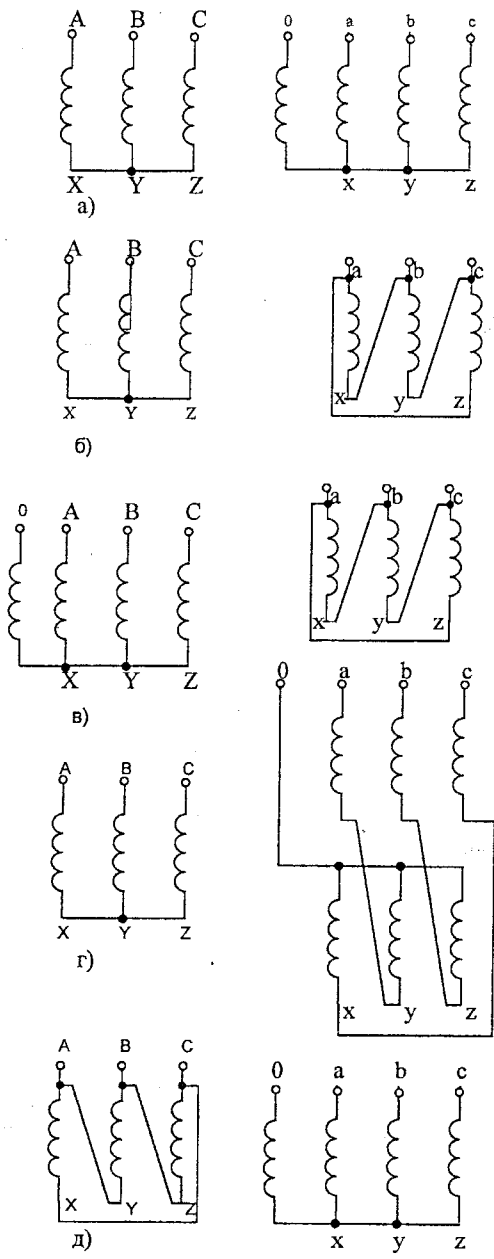


Рисунок 4.3 – Схеми та групи з'єднання обмоток (ГОСТ 11677-75)

Враховуючи те, що на паралельну роботу вмикаються два трансформатори з однаковими значеннями напруг КЗ, потужностей і струмів, вираз (4.1) після перетворень матиме такий вигляд:

$$I_{зр} = 20 \cdot I \cdot \sin(\alpha/2). \quad (4.2)$$

З виразу (4.2) випливає, що якщо при заводських випробуваннях допустили помилку і випустили трансформатор з іншою групою з'єднань обмоток, наприклад з 6-ою замість 0-ої, то при його ввімкненні в роботу паралельно з трансформатором, з групою з'єднань 0, зрівнювальний струм буде дорівнювати:

$$I_{зр} = 20 \cdot I \cdot \sin(180^\circ / 2) = 20 \cdot I_{ном}. \quad (4.3)$$

Таким чином, помилка у визначенні групи з'єднань обмоток може спричинити аварію при ввімкненні трансформатора на паралельну роботу з трансформатором, який має іншу групу з'єднань.

Групу з'єднань обмоток можна перевірити одним з нижченаведених методів [2, 6, 8]:

- прямим методом (фазометром);
- методом двох вольтметрів;
- методом моста при перевірці коефіцієнта трансформації;
- методом постійного струму.

Одночасно з перевіркою групи з'єднань обмоток контролюють правильність маркування ввідів трансформатора.

4.2.2 Метод фазометра

Перевірку груп з'єднань фазометром називають прямим методом, оскільки він дає можливість безпосередньо визначити кут зсуву між первинною та вторинною ЕРС. Якщо шкалу чотириквadrантного однофазного фазометра відградувати в годинникових поділках, то відхилення стрілки буде вказувати групу з'єднань в годинниковому позначенні.

Найбільше підходить для випробувань чотириквadrантний фазометр зі шкалою 380° типу Э-500. Для перевірки груп 11 та 0 можна також використовувати чотириквadrантний переносний фазометр Д578, який має шкалу 90° та перемикач квадрантів. Для визначення груп 11 та 0 цим приладом необхідно використовувати четвертий квадрант, в якому вимірюються кути зсувів від 270° до 360° .

Паралельна обмотка фазометра вмикається на лінійну напругу зі сторони живлення НН, а послідовна – на лінійну напругу обмотки ВН. В залежності від характеристики трансформаторів паралельну обмотку

фазометра можна вмикати через трансформатор напруги TV, а послідовну – завжди через резистор R.

Резистор R вибирають з урахуванням характеристик фазометра та умов випробування так, щоб струм, який проходить в послідовній обмотці, не перевищував величину номінального струму фазометра. Напруга, яка підводиться до паралельної обмотки фазометра, також не повинна перевищувати його номінального значення.

При перевірці групи з'єднань обмоток трифазних трансформаторів виконують не менше двох вимірювань (для двох пар відповідних лінійних ввідів). Повну схему фазометра перед введенням в експлуатацію періодично перевіряють за умов завчасно відомих груп з'єднань, використовуючи ту ж схему, в якій фазометр працює протягом випробувань.

Щоб уникнути помилок при визначенні груп з'єднань обмоток методом фазометра необхідно перевірити правильність чергування підведеної до обмотки трансформатора трифазної напруги. Схеми перевірки групи з'єднання обмоток силових трансформаторів наведені на рисунку 4.4.

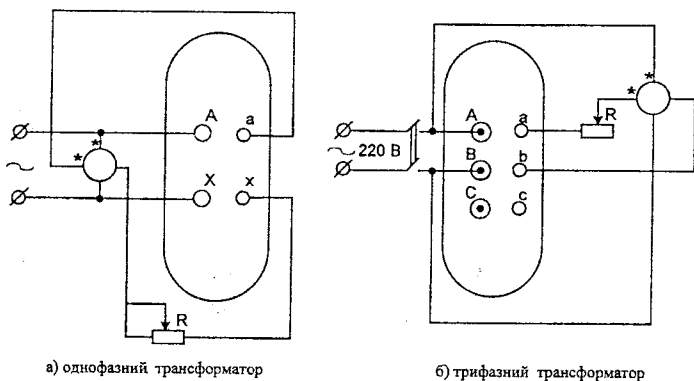


Рисунок 4.4 – Схеми перевірки групи з'єднання обмоток силових трансформаторів

Найбільш просто та зручно виконувати перевірку групи з'єднань за допомогою спеціального фазопоказчика типу Э-500/2 (рис. 4.5).

При ввімкненні рубильника стрілка приладу покаже кут між векторами напруг первинної та вторинної обмоток, тобто групу з'єднань трансформатора.

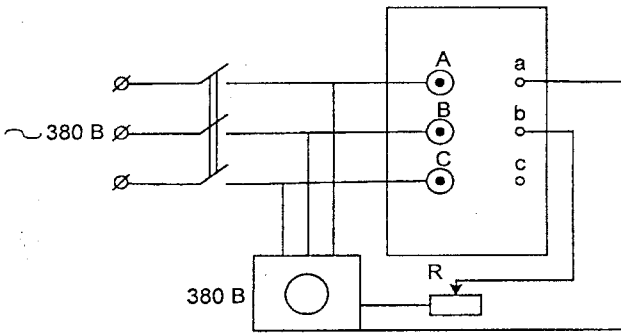


Рисунок 4.5 – Визначення групи з'єднань фазопоказником типу Э-500/2

4.2.3 Метод двох вольтметрів

В даному методі використовується накладання векторних діаграм первинної та вторинної ЕРС та вимірювання напруг між відповідними вводами з подальшим порівнянням цих напруг з розрахунковими значеннями. Схема перевірки групи з'єднань обмоток трансформатора методом двох вольтметрів наведена на рисунку 4.6.

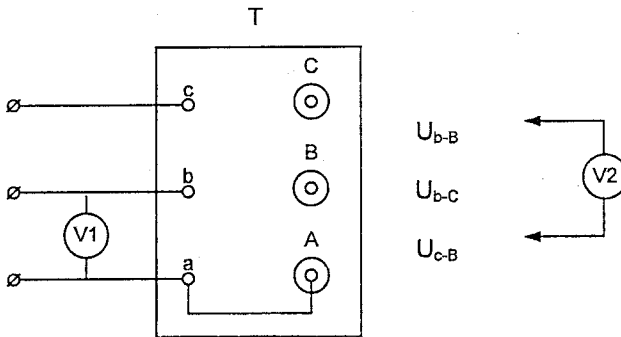


Рисунок 4.6 – Схема перевірки групи з'єднань обмоток трансформатора методом двох вольтметрів

Прийнято з'єднувати початки однакових фаз обмоток ВН та НН (на практиці з'єднують вводи А–а). Для перевірки групи з'єднань обмоток необхідно визначити напруги на вводах b–B, b–C та c–B накладених векторних діаграм. Напруги на вводах порівнюються зі значеннями напруг, які визначаються за допомогою формул таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Визначення груп з'єднань обмоток методом двох вольтметрів за допомогою коефіцієнтів трансформації

Група з'єднань	$\frac{U_{b-B}}{U_{HH}}$	$\frac{U_{b-C}}{U_{HH}}$	$\frac{U_{c-B}}{U_{HH}}$
0	K-1	$\sqrt{1-K+K^2}$	$\sqrt{1-K+K^2}$
1	$\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1+K^2}$
2	$\sqrt{1-K+K^2}$	K-1	$\sqrt{1+K+K^2}$
3	$\sqrt{1+K^2}$	$\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$
4	$\sqrt{1+K+K^2}$	$\sqrt{1-K+K^2}$	K+1
5	$\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1+K^2}$	$\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$
6	K+1	$\sqrt{1+K+K^2}$	$\sqrt{1+K+K^2}$
7	$\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1+K^2}$
8	$\sqrt{1+K+K^2}$	K+1	$\sqrt{1-K+K^2}$
9	$\sqrt{1+K^2}$	$\sqrt{1+\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$
10	$\sqrt{1-K+K^2}$	$\sqrt{1+K+K^2}$	K-1
11	$\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$	$\sqrt{1+K^2}$	$\sqrt{1-\sqrt{3}\cdot K+K^2}$

Примітка. K – коефіцієнт трансформації трансформатора

Протягом випробувань на місці встановлення трансформатора групи з'єднань не визначають, а лише перевіряють її відповідність паспортним даним. Тому в цих умовах використовують більш простий метод двох вольтметрів, де напругу живлення під'єднують до обмотки ВН. Вимірювати всі напруги та порівнювати за формулами таблиці 4.1 немає необхідності. Достатньо порівняти їх з підведеною лінійною напругою U_{B-C} та за таблицею 4.2. Для визначення групи з'єднання обмоток напруги умовно позначаються літерами «б», «о», «м» в залежності від того, яке значення напруги – більше, однакове або менше.

Таблиця 4.2 – Визначення груп з'єднань обмоток одним вольтметром

Показник	Група з'єднань обмоток											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Порівняння вимірюваної напруги з підведеною												
В-в	м	м	м	о	б	б	б	б	б	о	м	м
В-с	м	о	б	б	б	б	б	о	м	м	м	м
С-с	м	м	м	м	м	о	б	б	б	б	б	о

Для порівняльного досліду зручно використовувати схему з одним вольтметром (рис. 4.7).

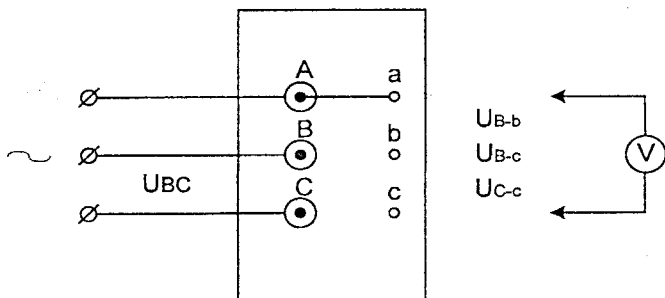


Рисунок 4.7 – Схема для перевірки групи з'єднань обмоток одним вольтметром

Під час живлення схеми від несиметричної трифазної мережі при визначенні групи з'єднань обмоток інколи допускають грубі помилки. Для врахування несиметрії використовують формули перерахунку (таблиця 4.3), в яких:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= U_{AB} / U_{cp} - 1; \\ \Delta_2 &= U_{BC} / U_{cp} - 1; \\ \Delta_3 &= U_{CA} / U_{cp} - 1; \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

$$\text{де } U_{cp} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}.$$

4.2.4 Метод постійного струму

Згідно з цим методом по черзі до затискачів АВ, ВС і АС (обмотки ВН) подається імпульс постійного струму, а на затискачах ab, bc і ac (обмотки НН) визначається відхилення приладу постійного струму (рис. 4.8).

Таблиця 4.3 – Розрахункові формули для визначення груп з'єднання обмоток при несиметричному живленні

Група з'єднань	Коефіцієнт групи	Розрахункова формула
0	$\frac{U_{B-b}}{U_{HH}}$	$(K-1)(1+\Delta_1)$
	$\frac{U_{B-c}}{U_{HH}}$	$\sqrt{1-K(1-4\Delta_2)+K^2(1+2\Delta_3)+2\Delta_1}$
	$\frac{U_{C-b}}{U_{HH}}$	$\sqrt{1-K(1-4\Delta_2)+K^2(1+2\Delta_1)+2\Delta_3}$
11	$\frac{U_{B-b}}{U_{HH}}$	$\sqrt{1-\sqrt{3} \cdot K[1+\frac{4}{3}(\Delta_1-\Delta_3)]+K^2(1+2\Delta_1)-2\Delta_3}$
	$\frac{U_{B-c}}{U_{HH}}$	$\sqrt{1+2,32 \cdot K(\Delta_2-\Delta_1)]+K^2(1+2\Delta_3)-2\Delta_3}$
	$\frac{U_{C-b}}{U_{HH}}$	$\sqrt{1-\sqrt{3} \cdot K[1+\frac{4}{3}(\Delta_1-\Delta_2)]+K^2(1+2\Delta_1)-2\Delta_2}$

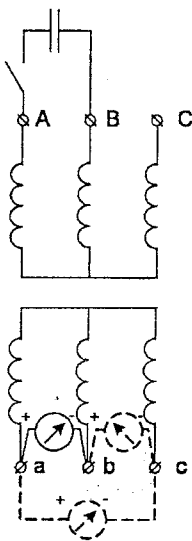


Рисунок 4.8 – Схема перевірки групи з'єднань обмоток постійним струмом

Для визначення групи з'єднань обмоток трансформаторів за схемою (рис. 4.8) необхідно виконати дев'ять вимірювань на обмотці ВН.

Висновок про групу з'єднань надається після порівняння отриманих результатів із табличним показником груп (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Показник груп з'єднання обмоток

Група з'єднань	Затискачі обмотки, на які подається живлення	Відхилення приладу на затискачах обмотки		
		ab	bc	ca
1	AB	+	-	0
	BC	0	+	-
	CA	-	0	+
2	AB	+	-	+
	BC	+	+	-
	CA	-	+	+
3	AB	-	-	+
	BC	+	0	-
	CA	-	+	0
4	AB	-	-	+
	BC	+	-	-
	CA	-	+	-
5	AB	-	0	+
	BC	+	-	0
	CA	0	+	-
6	AB	-	+	+
	BC	+	-	+
	CA	+	+	-
7	AB	-	+	0
	BC	0	-	+
	CA	+	0	-
8	AB	-	+	-
	BC	-	-	+
	CA	+	-	-
9	AB	0	+	-
	BC	-	0	+
	CA	+	-	0
10	AB	+	+	-
	BC	-	+	+
	CA	+	-	+
11	AB	+	0	-
	BC	-	+	0
	CA	0	-	+
0	AB	+	-	-
	BC	-	+	-
	CA	-	-	+

Аналіз таблиці 4.4 показує, що немає необхідності виконувати три дослідження з подачею напруги на три варіанти з'єднання фаз – АВ, ВС і АС. Достатньо тільки двох дослідів. Однак і при цьому метод постійного

струму залишається незручним, оскільки двічі потребує попарного підведення живлення до фаз обмотки ВН та обмотки НН.

Перевірку групи з'єднань обмоток трансформатора методом постійного струму можна виконувати за допомогою одного досліду таким чином:

- один із полюсів живлення постійного струму приєднують через рубильник до затискача однієї з фаз обмотки ВН, наприклад до фази В, а другий полюс живлення – до з'єднаних між собою затискачів двох інших фаз трансформатора, наприклад А і С при з'єднанні фаз обмоток у зірку.

При з'єднанні фаз обмоток у трикутник живлення постійного струму подається до двох будь-яких його затискачів (А-В, В-С або А-С). В цьому випадку всі три фази обмотки, які з'єднані в трикутник, задіяні в досліді.

Результати вимірювань для всіх груп з'єднання обмоток трансформаторів при подачі живлення до фази b та з'єднаних затискачів фаз a і c обмотки НН занесені в таблицю 4.5. Схеми з'єднань обмоток трифазних трансформаторів наведені на рисунку 4.9.

Таблиця 4.5 – Результати вимірювань для всіх груп з'єднань обмоток трансформаторів

Група з'єднань	Обмотка НН		
	ab	bc	ca
1	-	+	+
2	0	+	+
3	+	+	+
4	+	0	+
5	+	-	+
6	+	-	0
7	+	-	-
8	0	-	-
9	-	-	-
10	-	0	-
11	-	+	-
0	-	+	0

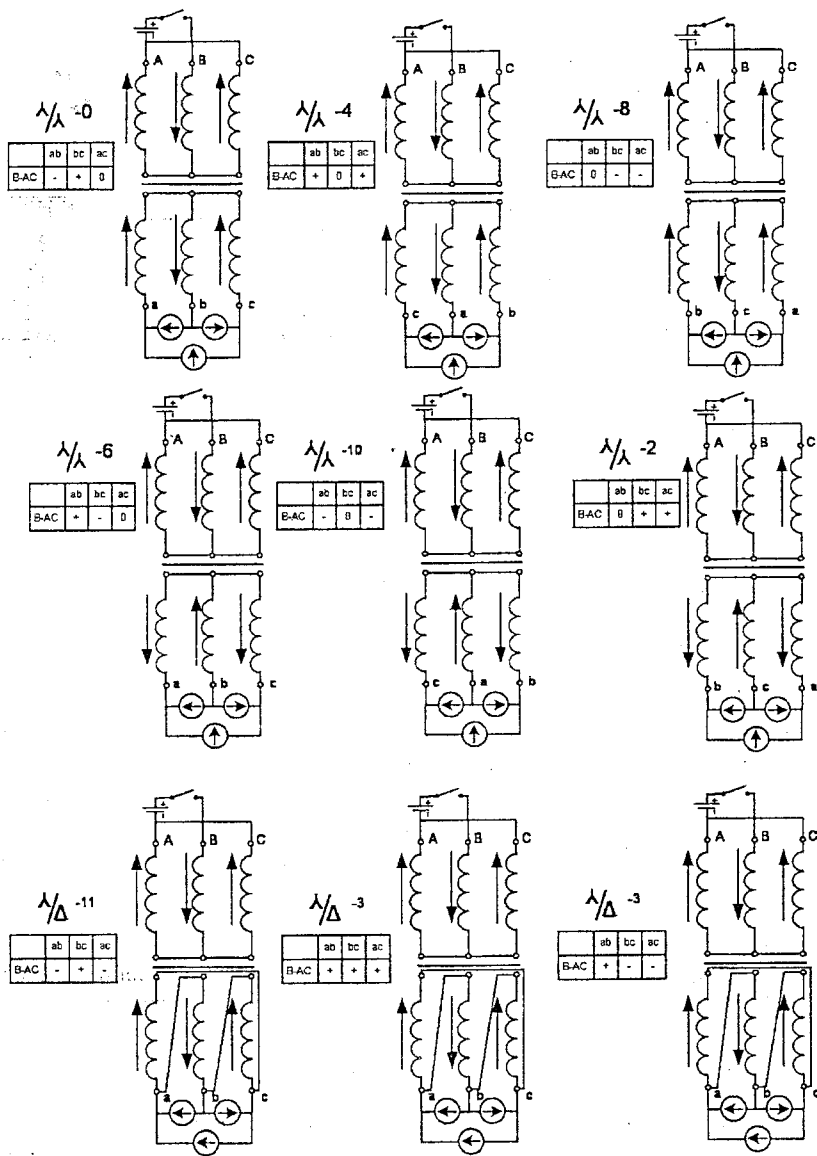
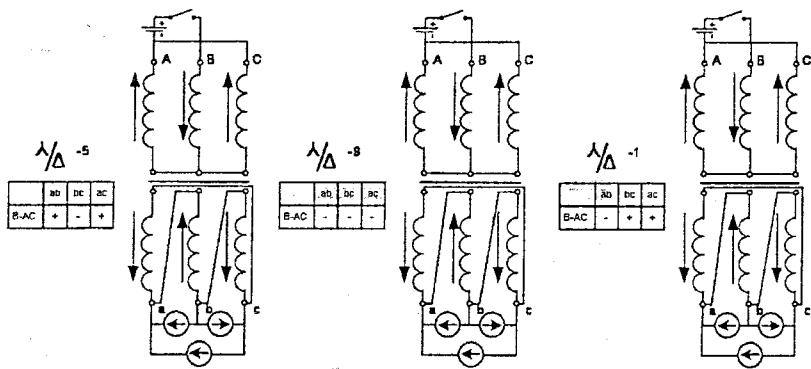


Рисунок 4.9 – Схеми з'єднань обмоток трифазних трансформаторів



Продовження рисунка 4.9

При визначенні групи з'єднань трансформатора живлення можна підводити до фаз обмотки НН, а визначати відхилення стрілки приладу – на стороні обмотки ВН.

На основі цього методу розроблено прилад УКГ, який дозволяє визначити групу з'єднань обмоток трансформатора. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень було встановлено, якщо за базову схему підключення живлення прийнято приєднання позитивного полюса джерела до фази В, а негативного – до фази А обмотки ВН силового трансформатора, то, незалежно від схеми з'єднання його обмоток відхилення гальванометра зберігається:

- при Δ/Y цей варіант приєднання зберігається;
- при Y/Y та Y/Δ – додатково встановлюється перемичка між вводами А і С;
- у випадку Δ/Δ – додатково встановлюється перемичка між вводами між В і С.

Виявилось, що цю відповідність зручніше подавати не у вигляді трьох показників відхилення гальванометра ($\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$), а у вигляді додавання показника другого відхилення (γ_2) та суми відхилень гальванометра:

$$S = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3.$$

Для фіксації показника другого відхилення в процесі експерименту в схемі пристрою (УКГ-1) передбачається поляризоване реле К4 та проміжні реле К1 + К3 для фіксації знаків відхилень ватметра.

Для визначення груп з'єднання силових трансформаторів за допомогою пристрою УКГ-1 дотримуються такого алгоритму [10, 12]:

1. Затискачі пристрою «+» та «-» приєднують відповідно до входів В і А обмотки силового трансформатора (якщо обмотки з'єднані за схемою Y/Y або Y/Δ – тоді додатково встановлюють перемичку між вводами А і

С); затискачі a, b, c – до відповідних ввідів обмотки НН, а шнур живлення – до мережі змінного струму 220 В;

2. Перемикач SAC встановлюють в положення – «2»; при ввімкненні кнопки SB («мережа») лампа HL сигналізує про наявність живлення; для перевірки працездатності цифрових індикаторів використовують кнопку SB1 (висвітлюється цифра «10»);

3. Встановлюємо перемикач SAC в положення «ab», натискаємо кнопку SB2 і за гальванометром фіксуємо знак відхилення (+1, -1, 0). Потім перемикач SAC перемикаємо в положення «bc» і аналогічним способом визначаємо знак другого відхилення, а потім перемикач SAC перемикаємо в положення «ac» і визначаємо знак третього відхилення;

4. За результатами відхилення гальванометра визначаємо суму відхилень та встановлюємо перемикач SAC у відповідне положення; при ввімкненні кнопкою SB2 цифрових індикаторів висвітлюється номер групи з'єднання обмоток. Передня панель приладу УКГ-1 показана на рисунку 4.10.

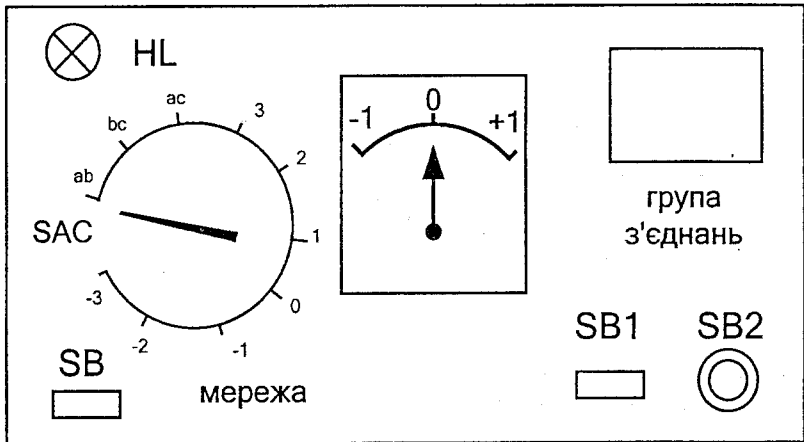
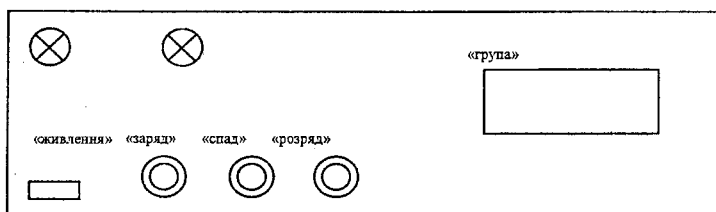
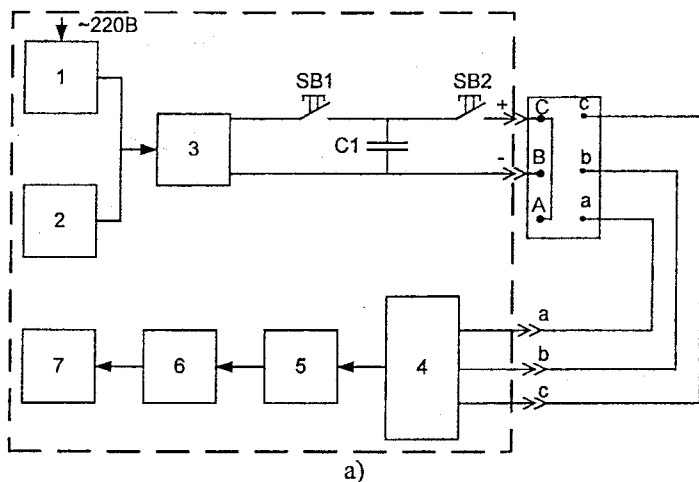


Рисунок 4.10 – Передня панель приладу УКГ-1

На базі приладу УКГ-1 був розроблений прилад УКГ-3, який дозволяє повністю автоматизувати процес визначення номера групи з'єднання обмоток [13]. Структурна схема приладу показана на рисунку 4.11.



б)

Рисунок 4.11 – Структурна схема а) та передня панель б) приладу УКГ-3

1 – джерело випрямленої стабілізованої напруги; 2 – акумуляторна батарея; 3 – перетворювач напруги; 4 – датчик знаків відхилень; 5 – реєстр станів; 6 – дешифратор; 7 – блок індикації номера груп з'єднань обмоток

Для визначення груп з'єднання обмоток силових трансформаторів за допомогою УКГ-3 необхідно дотримуватись такого порядку роботи:

1. Затискачі приладу «+» і «-» під'єднують відповідно до вводів В і А обмотки ВН силового трансформатора, якщо обмотки з'єднані за схемою Y/Y; якщо обмотки з'єднані за схемою Y/Δ, тоді додатково встановлюють перемичку між вводами А та С; затискачі а, b, с – до відповідних вводів обмотки НН;

2. Включаємо тумблер «живлення»;

3. При ввімкненні кнопки «заряд» подається напруга на перетворювач напруг, який заряджає конденсатор С1 (при цьому загоряється світлодіод), після чого повертаємо кнопку в початкове положення;

4. Короткочасно натискаємо кнопку «спад» для приведення приладу в початковий стан;

5. Короткочасно натискаємо кнопку «розряд» і за допомогою блока індикації визначаємо групу з'єднань обмоток трансформатора.

4.3 Опис лабораторного стенда

На стенд виведено затискачі обмоток А, В, С, а, б, с трифазного силового трансформатора типу ТМХ-50/10, який має схему з'єднання обмоток: Y/Y-0. На стенді встановлено вимірювальні прилади:

- амперметри в кожній фазі обмоток трансформатора;
- вольтметри для вимірювання лінійної напруги на сторонах ВН та НН трансформатора;
- джерело постійного струму напругою 12 В;
- автомат для створення трифазного КЗ на стороні НН.

Живлення на стенд подається від мережі 380 В змінного струму через автомат та магнітний пускач. Сигналізація про наявність живлення на стенді здійснюється за допомогою ламп.

4.4 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з лабораторним стендом.
2. Перевірити за допомогою відповідних приладів симетрію напруги живлення та правильність чергування фаз.
3. Визначити групу з'єднань трансформатора за допомогою фазометра:
 - а) зібрати схему (див. рис. 4.4, б);
 - б) подати живлення на стенд;
 - в) визначити групу з'єднань обмоток трансформатора;
 - г) зняти напругу зі стенда та розібрати схему.
4. Визначити групу з'єднань трансформатора методом двох вольтметрів:
 - а) зібрати схему (див. рис. 4.7);
 - б) подати живлення на стенд;
 - в) виконати вимірювання напруг $U_{В-С}$, $U_{В-а}$, $U_{В-с}$, $U_{С-с}$;
 - г) за допомогою допоміжних таблиць визначити групу з'єднання обмоток.
5. Визначити групу з'єднань трансформатора методом постійного струму за допомогою приладу УКГ:
 - а) під'єднати прилад до трансформатора;
 - б) подати на прилад живлення;
 - в) визначити групу з'єднань обмоток;
 - г) зняти напругу зі схеми та відключити прилад;
6. Оформити звіт та навести список літератури.

4.5 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Вкажіть умови ввімкнення трансформаторів на паралельну роботу.
2. Назвіть характеристики методів визначення груп з'єднань обмоток.
3. Поясніть метод фазометра для перевірки групи з'єднань обмоток.
4. Поясніть метод двох вольтметрів та його модифікації.
5. Що таке коефіцієнт трансформації і як він визначається?
6. Поясніть метод моста при перевірці коефіцієнта трансформації.
7. Поясніть метод постійного струму для перевірки групи з'єднань обмоток.
8. Наведіть схеми перевірки групи з'єднань обмоток силових трансформаторів.
9. Який метод дає можливість безпосередньо визначити кут зсуву між первинною та вторинною ЕРС?
10. Поясніть алгоритм визначення групи з'єднань обмоток фазопоказником типу Э-500/2.
11. Якого алгоритму дотримуються при визначенні групи з'єднань силових трансформаторів за допомогою пристрою УКГ-1?
12. Який прилад дозволяє повністю автоматизувати процес визначення номера групи з'єднання обмоток?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 «Фазування силових трансформаторів»

Мета роботи: ознайомитись з методами фазування силових трансформаторів в умовах експлуатації.

5.1 Опис лабораторного стенда

На стенд виведені виводи 1, 2 вторинних обмоток фазованих силових понижувальних трансформаторів T_1 і T_2 відповідно (рис. 5.1). Лінійні номінальні напруги первинних обмоток цих трансформаторів дорівнюють 380 В, а вторинних – 16,5 В. Первинні обмотки 3, 4 трансформаторів T_1 та T_2 відповідно, під'єднані через пакетні вимикачі 5, 6 до мережі змінного струму напругою 380 В. В центрі стенда встановлений вольтметр 9, клеми 9 якого виведені на стенд, а у правій частині – автомат 10 і магнітний пускач 11, які призначені для подачі живлення на стенд. Ввімкнення стенда фіксується сигнальними лампами 12, а під'єднання трансформаторів T_1 та T_2 до мережі фіксується сигнальними лампами 7 та 8 відповідно. Для з'єднання вторинних обмоток за схемою Y_n на стенд виведено клему контуру заземлення 13.

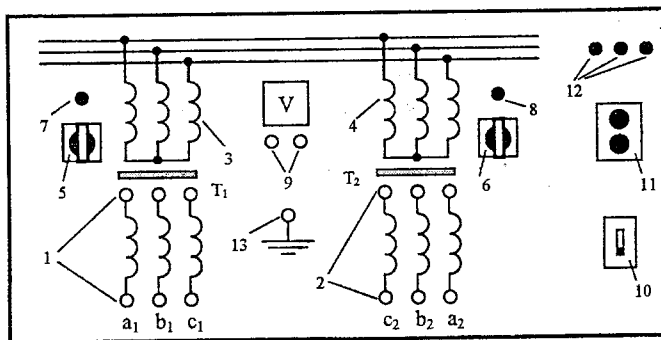


Рисунок 5.1 – Схематичне розташування клем та приладів на стенді

5.2 Короткі теоретичні відомості

5.2.1 Загальні положення

Перед ввімкненням силових трансформаторів на паралельну роботу з системою повинні бути перевірені тотожності системи та фаз напруг трансформатора, який вмикають. Якщо не виконати таку перевірку, тоді можлива поява значних зрівнювальних струмів, які призведуть до

обмеження потужності або значного перевантаження трансформатора, а за умови, коли чергування фаз не збігається, виникне КЗ [1, 6].

Така перевірка називається фазуванням. Суть фазування полягає у вимірюванні напруги між різнойменними фазами трансформатора, який вмикається, і системою та визначенні відсутності напруги між однойменними фазами. Фазування проводиться за допомогою вольтметрів, розрахованих на напругу до 380 В або за допомогою вольтметрів і трансформаторів напруги, якщо фазовані напруги вищі 380 В. Якщо значення напруги дорівнюють 2–10 кВ, то фазування може проводитись за допомогою показників напруги. Якщо значення напруги низькі, то фазування може проводитись за допомогою ламп розжарювання.

В усіх випадках під час фазування, для уникнення помилок, значення фазованих напруг мають бути однакові (допускаються відхилення не більше 10%). Вимірювання або перевірка повинні проводитись між всіма однойменними фазами, а також між кожною з них та двома іншими різнойменними фазами.

5.2.2 Фазування трансформаторів, які мають обмотки НН до 380 В, без встановлення перемички між виводами трансформатора

Таким методом фазують силові трансформатори, вторинні обмотки яких з'єднанні в зірку із виведеною нульовою точкою, а також вимірювальні трансформатори напруги, які мають вторинні обмотки із заземленою нейтраллю [15]. Фазування проводять за допомогою вольтметра на стороні обмоток НН. Вольтметр повинен бути розрахований на подвійну фазну напругу. Фазовані трансформатори повинні бути ввімкненні за схемою, яка показана на рисунку 5.2.

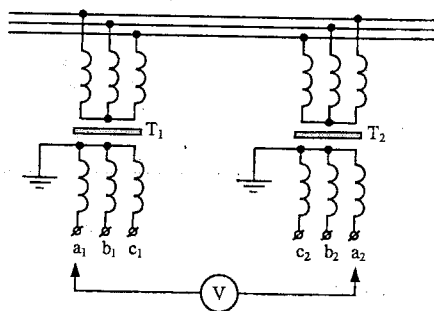


Рисунок 5.2 – Схема ввімкнення двох трансформаторів, які мають заземлені нульові точки вторинних обмоток

Перед початком фазування слід перевірити надійне заземлення нульових точок вторинних обмоток або їхнє приєднання до спільного нульового проводу. Це необхідно для утворення між фазованими

трансформаторами електричного зв'язку, в результаті чого з'являється замкнений контур для проходження струму через вимірювальний прилад.

Далі перевіряють симетричність напруг трансформаторів. Для цього вольтметр по чергово приєднують до затискачів: a_1-b_1 ; b_1-c_1 ; c_1-a_1 ; a_2-b_2 ; b_2-c_2 ; c_2-a_2 . Якщо значення виміряних напруг значно відрізняються, то перевіряють положення перемикачів обох трансформаторів. Перемиканням зменшують різницю напруг. Фазування допускається, якщо різниця напруг не перевищує 10%.

Після виконання вищевказаних перевірок починають фазування. Його суть полягає у визначенні виводів, різниця напруг між якими практично дорівнює нулю. Для цього один з провідників вольтметра приєднують до виводу першого трансформатора, а іншим провідником торкаються трьох виводів другого трансформатора (наприклад – вимірюють напругу між виводами a_1-a_2 ; a_1-b_2 ; a_1-c_2).

Далі фазування залежить від отриманих результатів. Якщо протягом одного вимірювання (наприклад, між виводами a_1-a_2) показання вольтметра були близькими до нуля, то ці виводи позначають, а вольтметр приєднують до іншого виводу (наприклад b_1) першого трансформатора. Тоді вимірюють напругу між виводами b_1-b_2 та b_1-c_2 . Якщо отримують хоча б одне показання вольтметра (наприклад, між виводами b_1-b_2) близьке до нуля, то фазування вважають закінченим (рис. 5.3, а).

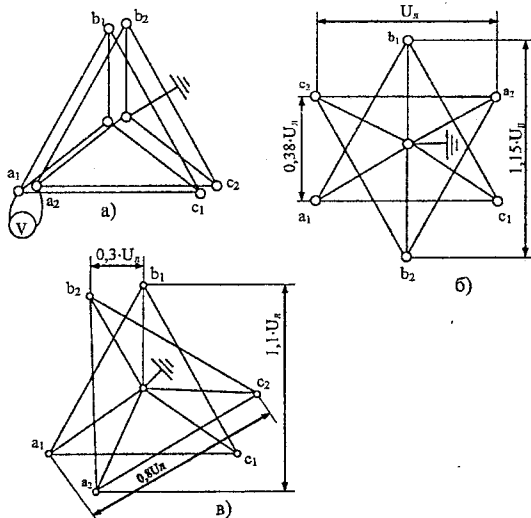


Рисунок 5.3 – Векторні діаграми напруг обмоток трансформаторів НН протягом їхнього фабування
 а) якщо фази збігаються; б) при зсуві векторів на 180°; в) при зсуві векторів на 30°

Особливої необхідності у вимірюванні напруги між виводами c_1-c_2 немає, але для підтвердження отриманих результатів про те, що фази збігаються, все-таки проводять вимірювання напруги між виводами s_1-s_2 . Виводи, між якими не було різниці напруг, з'єднують при ввімкненні трансформаторів на паралельну роботу. У кожного полюса комутаційного апарата такі виводи повинні знаходитись безпосередньо один навпроти одного.

Якщо після вимірювань напруг між виводами трансформаторів a_1-a_2 , a_1-b_2 , a_1-c_2 , b_1-a_2 , b_1-b_2 , b_1-c_2 хоча б одне з показань вольтметра не було близьким до нуля, то це вказує на те, що трансформатори належать до різних груп з'єднань, а їхнє ввімкнення на паралельну роботу неможливе. На цьому фазування закінчують. На основі вимірювань будують векторні діаграми, згідно з якими приймають рішення, чи можна вмикати трансформатори паралельно, і які з'єднання потрібно для цього виконати.

Характерними є два випадки. В першому випадку:

$$\begin{aligned} U_{a_1-a_2} &= 1,15U_n; & U_{a_1-b_2} &= 0,58U_n; & U_{a_1-c_2} &= 0,58U_n; \\ U_{b_1-a_2} &= 0,58U_n; & U_{b_1-b_2} &= 1,15U_n; & U_{b_1-c_2} &= 0,58U_n. \end{aligned}$$

Типова векторна діаграма для такого випадку наведена на рисунку 5.3, б). З рисунка 5.3, б) видно, що вектори вторинних напруг мають зсув на 180° , а напруга між виводами a_1-a_2 дорівнює подвійній фазній напрузі:

$$U_{a_1-a_2} = 2 \cdot U_\phi = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot U_n = 1,15 \cdot U_n.$$

Якщо обидва трансформатори належать до непарних груп, то для їхнього паралельного ввімкнення слід в одного з них через з'єднати шини на виводах обмоток ВН і НН, тобто провести подвійне перемаркування. Для трансформаторів парних груп необхідне внутрішнє пересідання обмоток.

В другому випадку:

$$\begin{aligned} U_{a_1-a_2} &= 0,3U_n; & U_{a_1-b_2} &= 0,8U_n; & U_{a_1-c_2} &= 1,1U_n; \\ U_{b_1-a_2} &= 1,1U_n; & U_{b_1-b_2} &= 0,3U_n; & U_{b_1-c_2} &= 0,8U_n. \end{aligned}$$

На типовій векторній діаграмі для цього випадку (див. рис. 5.3, в) вектори напруг зміщені на кут 30° . Такий кут зсуву може бути у трансформаторів як парних, так і непарних груп. Фазування таких трансформаторів неможливе, а їхнє ввімкнення на паралельну роботу не може бути проведене ні за яких умов. Тому завжди слід перевіряти схеми і групи з'єднань обмоток трансформаторів перед початком їхнього фазування.

Побудова векторних діаграм за результатами вимірювань лінійних напруг виконується таким чином: трикутник лінійних напруг першого

трансформатора будуть довільно, а точки вершин другого трикутника знаходять за допомогою циркуля шляхом засічок, радіуси яких чисельно дорівнюють напругам між виводами – a_1-a_2 і b_1-a_2 , a_1-b_2 і b_1-b_2 .

5.2.3 Фазування трансформаторів, які мають обмотки НН до 380 В, зі встановленням перемички між двома виводами

Цей метод використовують для фабування трансформаторів, вторинні обмотки яких не мають нульового виводу [2, 15]. Фабування проводять на стороні НН за допомогою вольтметра. Його шкала повинна бути розрахована на подвійну лінійну напругу. Перед ввімкненням трансформаторів на напругу мегомметром перевіряють опір ізоляції вторинних обмоток відносно землі. Обмотки не повинні мати ніяких з'єднань із землею, оскільки подвійне замикання на землю при наявності перемички між виводами може призвести до КЗ. Перемичка (бажано з опором 3–5 кОм) встановлюється між двома будь-якими виводами одного і другого трансформатора (рис. 5.4). Наявність перемички забезпечує відсутність замкненого кола для протікання струму КЗ.

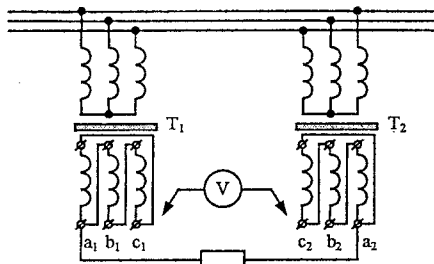


Рисунок 5.4 – Схема фабування двох трансформаторів зі встановленням перемички між їхніми виводами

Для проведення фабування до трансформаторів прикладають напругу зі сторони ВН, після чого на виводах НН кожного трансформатора вольтметром перевіряють симетричність напруг між виводами. Всього проводиться шість вимірювань.

Фабування виконують у два етапи. Спочатку вимірюють напругу між одним з вільних виводів першого трансформатора і двома вільними виводами другого трансформатора (наприклад між виводами b_1-b_2 і b_1-c_2 , якщо перемичка встановлена між виводами a_1-a_2). Далі вимірюють напругу між другим вільним виводом першого трансформатора і тими ж виводами другого (c_2-b_2 і c_1-c_2). Результати вимірювань залежать від того, між якими парами виводів встановлена перемичка. Можливі три варіанти її встановлення: a_1-a_2 ; b_1-a_2 ; c_1-a_2 . Кожному з цих варіантів, при однакових групах з'єднань трансформаторів, будуть відповідати такі показання вольтметра (таблиця 5.1):

Таблиця 5.1 – Показання вольметра

З'єднані записки	a_1-a_2	b_1-a_2	c_1-a_2
Напряга між виводами	$U_{b_1-b_2} = 0$	$U_{a_1-b_2} = 2U_n$	$U_{a_1-b_2} = 1,73 \cdot U_n$
	$U_{b_1-c_2} = U_n$	$U_{a_1-c_2} = 1,73U_n$	$U_{a_1-c_2} = 2 \cdot U_n$
	$U_{c_1-b_2} = U_n$	$U_{c_1-b_2} = 1,73U_n$	$U_{b_1-b_2} = U_n$
	$U_{c_1-c_2} = 0$	$U_{c_1-c_2} = U_n$	$U_{b_1-c_2} = 1,73 \cdot U_n$

Побудовані за показаннями вольметра векторні діаграми напруг обмоток НН наведені на рисунку 5.5. З рисунку 5.5, а) видно, що трансформатори мають однакові групи з'єднань. Паралельне ввімкнення трансформаторів можливе за умови з'єднання між собою виводів a_1 і a_2 , b_1 і b_2 , c_1 і c_2 .

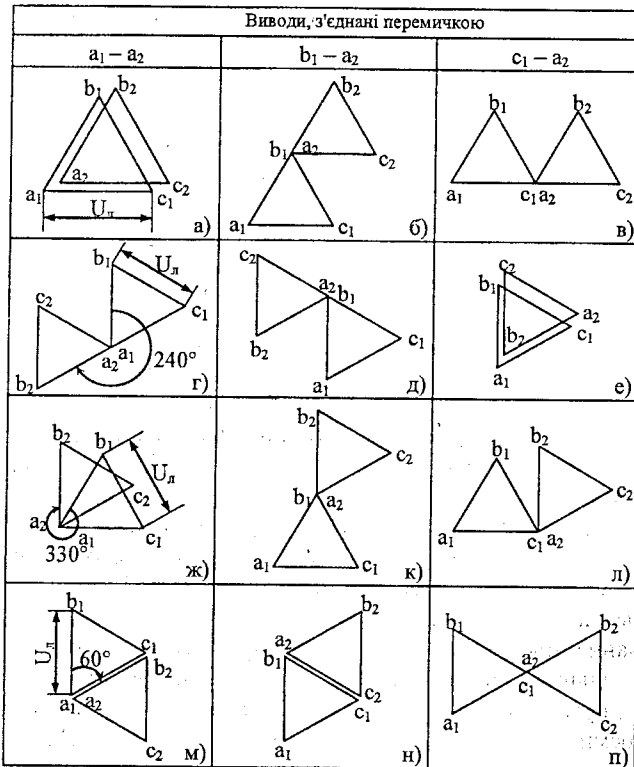


Рисунок 5.5 – Векторні діаграми напруг при фазуванні трансформаторів
 а), б), в) – при однакових групах з'єднань; г), д), е) – при зсуві векторів на 240° ; ж), к), л) – кут зсуву 330° ; м), н), п) – кут зсуву 60°

Крім того, з рисунка 5.5, б) і в) видно, що побудовані для тих же трансформаторів векторні діаграми напруг дозволяють зробити такий самий висновок. Тому фазування звичайно закінчують, як тільки отримають показання одного з трьох варіантів вимірювань і побудують векторну діаграму, що подібна наведеній на рисунку 5.5, а), б) і в). Характерним для такого випадку фазування (варіант з'єднання однойменних виводів a_1-a_2) є отримання двох нульових показань вольтметра протягом кожного з етапів вимірювань. Два нульові показання можуть бути отримані також при різних групах з'єднань, коли вектори напруг зсунуті на 240° . Але за таких умов виводи c_1-a_2 повинні бути з'єднані перемичкою. Векторні діаграми для такого випадку показані на рисунку 5.5, г), д) і е). Паралельне ввімкнення таких трансформаторів можливе лише після перез'єднання шин, під'єднаних до трансформатора, тобто після циклічного перемаркування фаз.

Коли за умови встановлення перемички за всіма трьома варіантами не отримують жодного нульового показання вольтметра, тоді це свідчить про неможливість паралельного ввімкнення трансформаторів. Наприклад, за умови з'єднання обмоток НН трансформаторів згідно з рисунком 5.6 отримують такі показання вольтметра (таблиця 5.2).

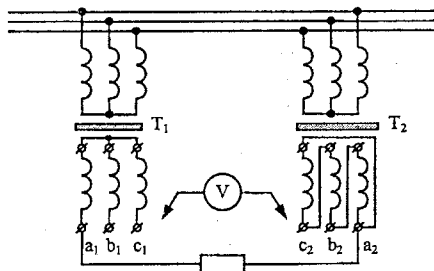


Рисунок 5.6 – Схема фабування трансформаторів з парною та непарною групами з'єднань

Таблиця 5.2 – Показання вольтметра

З'єднані затискачі	a_1-a_2	b_1-a_2	c_1-a_2
Напруга між виводами	$U_{b_1-b_2} = 0,5 \cdot U_n$	$U_{a_1-b_2} = 1,9 \cdot U_n$	$U_{a_1-a_2} = 1,4 \cdot U_n$
	$U_{b_1-c_2} = 0,5 \cdot U_n$	$U_{a_1-c_2} = 1,9 \cdot U_n$	$U_{a_1-c_2} = 1,9 \cdot U_n$
	$U_{c_1-b_2} = 1,4 \cdot U_n$	$U_{c_1-b_2} = 1,9 \cdot U_n$	$U_{b_1-b_2} = 0,5 \cdot U_n$
	$U_{c_1-c_2} = 0,5 \cdot U_n$	$U_{c_1-c_2} = 1,4 \cdot U_n$	$U_{b_1-c_2} = 1,4 \cdot U_n$

З векторних діаграм, наведених на рисунку 5.5, ж), к) та л), видно, що вектори лінійних напруг зсунуті на 330° . Такий кут зсуву отримують, якщо трансформатори належать до парної та непарної груп з'єднань (наприклад

У/У-0 і У/Δ-11). Ввімкнення таких трансформаторів на паралельну роботу неможливе.

Якщо у процесі фазування в двох з трьох варіантів встановлення перемички отримують одине нульове показання, то це свідчить про можливість паралельного ввімкнення трансформаторів, але лише після деяких змін у схемі з'єднань. Наприклад, у трансформаторів неспарних груп з'єднань із зсувом векторів вторинних напруг на 60° , рис. 5.5, м), н) і п), необхідно провести подвійне перемаркування фаз.

5.3 Порядок виконання лабораторної роботи

5.3.1 Провести фазування силових трансформаторів T_1 і T_2 , які мають заземлені нульові точки вторинних обмоток:

а) зібрати схему згідно з рисунком 5.2;

б) увімкнути автомат та магнітний пускач (загоряться сигнальні лампи 12);

в) подати живлення на обмотки ВН обох трансформаторів за допомогою пакетних вимикачів 5 та 6 (при цьому загоряться сигнальні лампи 7 та 8 відповідно);

г) перевірити симетричність лінійних напруг обмоток НН обох трансформаторів;

д) виміряти різниці напруг між однойменними та різнойменними виводами обмоток НН трансформаторів T_1 та T_2 ;

е) вимкнути живлення стенда та розібрати схему.

5.3.2 Провести фазування силових трансформаторів T_1 і T_2 зі встановленням перемички між їхніми виводами:

а) зібрати схему згідно з рисунком 5.4;

б) увімкнути автомат та магнітний пускач;

в) подати живлення на обмотки ВН обох трансформаторів;

г) перевірити симетричність напруг обмоток НН трансформаторів;

д) виміряти різниці напруг між відповідними виводами обмоток НН трансформаторів T_1 та T_2 (див. таблицю 5.1) при трьох положеннях з'єднувальної перемички;

е) вимкнути живлення стенда та розібрати схему.

5.3.3 Провести фазування силових трансформаторів T_1 і T_2 з парною та непарною групами з'єднань:

а) зібрати схему згідно з рисунком 5.6;

б) увімкнути автомат та магнітний пускач;

в) подати живлення на обмотки ВН обох трансформаторів;

г) перевірити симетричність напруг обмоток НН трансформаторів;

д) виміряти різниці напруг між відповідними виводами обмоток НН трансформаторів T_1 та T_2 (див. таблицю 5.2) при трьох положеннях з'єднувальної перемички;

е) вимкнути живлення стенда та розібрати схему.

5.3.4 Для кожної розглянутої комбінації схем з'єднань обмоток НН, за вимірними значеннями напруг, побудувати векторні діаграми.

5.3.5 Зробити висновки про можливість або неможливість ввімкнення трансформаторів T_1 і T_2 на паралельну роботу для кожної розглянутої комбінації схем з'єднань обмоток НН.

5.3.6 Оформити звіт.

5.3.7 Навести список використаної літератури.

5.4 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Поясніть будову та принцип дії понижувальних трансформаторів.

2. Назвіть технічні характеристики понижувальних трансформаторів.

3. Яку перевірку потрібно виконати перед ввімкненням трансформаторів на паралельну роботу з системою?

4. Що таке фазування трансформаторів?

5. Поясніть методику фазування трансформаторів, які мають обмотки НН до 380 В, без встановлення перемички між виводами трансформатора.

6. Наведіть схему ввімкнення двох трансформаторів, які мають заземлені нульові точки вторинних обмоток.

7. Наведіть векторні діаграми напруг обмоток трансформаторів НН протягом їхнього фазування за різних умов.

8. Поясніть методику фазування трансформаторів, які мають обмотки НН до 380 В, зі встановленням перемички між двома виводами.

9. Наведіть схему фазування двох трансформаторів зі встановленням перемички між їхніми виводами.

10. Наведіть схему фазування трансформаторів з парною та непарною групами з'єднань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

«Приймання в експлуатацію електродвигунів власних потреб»

Мета роботи: вивчити перелік та норми приймально-здавальних випробувань електродвигунів ВП при прийманні в експлуатацію та після ремонтів, засвоїти роботу в електроустановках за нарядами та розпорядженнями.

6.1 Підготовка до лабораторної роботи

6.1.1 Вивчити за ПВЕ-76 розділ I, главу 1–8 (п. 1–8–15) – перелік і норми приймально-здавальних випробувань електродвигунів ВП змінного струму (додаток А).

6.1.2 Підготувати необхідні прилади для проведення випробувань електродвигуна.

6.1.3 Підготувати та перевірити справність апаратури та приладів для випробувань: тестера, мегометра, магнітного пускача, заземлювального провідника.

6.1.4 Підготувати заготовку звіту з лабораторної роботи, в якій:

- вказати параметри електродвигунів;
- вказати параметри вимірювальних пристроїв;
- вказати параметри комутаційних апаратів;
- вказати програму приймання в експлуатацію електродвигуна;
- скласти наряд-допуск для виконання робіт з випробування електродвигуна (додаток А);
- накреслити схему під'єднання електродвигуна ВП;
- накреслити таблиці для запису результатів випробувань.

6.2 Програма експериментальних робіт

6.2.1 Ознайомитись з електродвигунами ВП та записати їх паспортні дані, провести зовнішній огляд двигунів, магнітного пускача, кабелів, що підводяться [4, 5]. Визначити перелік робіт згідно з додатком А.

6.2.2 Скласти наряд-допуск для виконання робіт з приймання в експлуатацію електродвигуна ВП (додаток Б).

6.2.3 Провести випробування електродвигуна згідно з нарядом-допуском.

6.2.4 Зібрати схему під'єднання електродвигуна на стенді лабораторної роботи.

6.2.5 Ввімкнути двигун та перевірити напрям обертання вала при ввімкненні кнопок «Пуск» та «Реверс».

Монтаж схеми необхідно виконувати в знеструмленому стані при накладенні переносного заземлювача. Під'єднання електродвигуна виконується через реверсивний пускач, що має 2 системи трифазних контактів і теплове реле перевантаження. На стенд виведені клеми для часткового монтажу схеми пуску. Схема ввімкнення електродвигуна через нереверсивний пускач складається студентом самостійно.

Крім того, обов'язковими приладами для виконання випробувань є мегомметр і тестер для проведення випробувань згідно з *програмою експериментальних робіт*. Необхідний набір інструментів – ключі, викрутка, індикатор наявності напруги – група отримує в завідувача лабораторії.

6.4 Обробка результатів та оформлення звіту

6.4.1 У звіті лабораторної роботи навести технічні дані електродвигуна ВП, параметри вимірювальних пристроїв та комутаційних апаратів.

6.4.2 Навести схему проведення випробувань.

6.4.3 Навести наряд-допуск виконаних робіт з приймання в експлуатацію електродвигуна ВП.

6.4.4 Навести результати виконаних робіт згідно з переліком та нормами, що наведені в додатку А, у вигляді таблиць.

6.4.5 Зробити висновки за результатами виконаної роботи, оформити звіт.

6.4.6 Навести список використаної літератури.

6.5 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

6.5.1 Поясніть принцип роботи асинхронного двигуна.

6.5.2 Назвіть основні та обов'язкові вимірювання й випробування електродвигунів ВП перед введенням в експлуатацію.

6.5.3 Наведіть характеристики елементів статора і ротора електродвигуна.

6.5.4 Як відбувається визначення зволоженості ізоляції електродвигунів?

6.5.5 Яка мета проведення випробувань електродвигуна підвищеною напругою?

6.5.6 Як проводяться вібровипробування електродвигунів ВП?

6.5.7 Поясніть принцип роботи схеми під'єднання електродвигуна ВП до мережі та основних її елементів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

«Налаштування високочастотного загороджувача типу ЗВС-100-У1»

Мета роботи: ознайомитись з нормами налаштування та технічними характеристиками високочастотного загороджувача, розрахувати параметри фільтрів високочастотного загороджувача.

7.1 Підготовка до лабораторної роботи

1.1.1 Ознайомитися з описом лабораторного стенда.

1.1.2 Підготувати заготовку звіту з лабораторної роботи, в якій:

- вказати параметри високочастотного загороджувача типу ЗВС-100-У1;
- навести порядок виконання роботи;
- накреслити схеми одночастотного резонансного загороджувача та одночастотного загубленого налаштування загороджувача (рис. 7.1);
- накреслити схему фільтра верхніх частот широкочастотного загороджувач (рис. 7.2).

7.2 Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд містить загороджувач ЗВС-100-У1, осцилограф, генератор високочастотних сигналів, частотомір. Для зручності комутації і вимірювань налаштування елементів загороджувача виведене на комутаційну панель стенда. Живлення стенда здійснюється від мережі змінного струму, напругою 220 В, ввімкненням тумблера на задній панелі стенда. Основні технічні характеристики високочастотного загороджувача занесені до таблиці 7.1. В таблиці 7.2 наведені параметри елементів, виведених на комутаційну панель стенда.

За допомогою лабораторного стенда можна зібрати:

- схему одночастотного резонансного загороджувача;
- схему одночастотного загубленого налаштування загороджувача з ввімкненням загублювального резистора паралельно контуру;
- схему одночастотного загубленого налаштування загороджувача з ввімкненням загублювального резистора послідовно з конденсатором;
- схему ширококутового налаштування за схемою фільтра верхніх частот.

Зауваження! 1. Якщо час дії резервного захисту лінії, до якої під'єднується загороджувач, більше 1 сек., то використання загороджувача допускається за умов [2]:

- час дії резервного захисту не повинен бути більше 4 сек.;

– допустиме значення усталеного струму КЗ лінії $I_{устКЗ}$ має відповідати умові (7.1):

$$I_{устКЗ} \leq \frac{I_T}{\sqrt{t}}, \quad (7.1)$$

де I_T – струм термічної стійкості; t – час протікання струму КЗ в лінії.

Значення нижньої межі загального діапазону частот може бути забезпечене лише за умови під'єднання в схему елемента налаштування додаткової котушки індуктивності.

2. Загороджувач призначений для обслуговування ПЛ 6–110 кВ [5].

Таблиця 7.1 – Технічні характеристики загороджувача

№ параметра	Параметри	ЗВС-100-0,6-У1
1	Номинальний робочий струм $I_{ном}$, А (не більше)	100
2	Робочий струм в режимі перевантаження протягом 80 хв, А	150
3	Струм термічної стійкості одnoseкундної $I_{мс}$, кА (на менше)	5,0
4	Струм електродинамічної стійкості $I_{g\ max}$, кА	12,75
5	Індуктивність реактора L, мГц – на частоті 100 кГц – на частоті 50 Гц	0,5±0,25 0,57±0,028
6	Загальний діапазон частот, які перекриваються, кГц	40–600
7	Втрати електроенергії в загороджувачі на промисловій частоті при номінальному робочому струмі, Вт (не більше) – при опорному встановленні – при підвішуванні	170 180
8	Загороджувальний опір, Ом (не менше)	485
9	Габаритні розміри, мм – довжина (не більше) – ширина (не більше) – висота (не більше)	630 550 600
10	Маса, кг (не більше)	45

Таблиця 7.2 – Параметри елементів, виведених на комутаційну панель стенда

Ємність	Індуктивність	Опір	Примітки
$C_1 = 3600 \text{ пФ}$	$L = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$	$R_1 = 11 \text{ Ом}$	
$C_2 = 3600 \text{ пФ}$		$R_2 = 11 \text{ Ом}$	
$C_3 = 3600 \text{ пФ}$		$R_3 = 11 \text{ Ом}$	
$C_4 = 3600 \text{ пФ}$		$R_4 = 11 \text{ Ом}$	
$C_5 = 2000 \text{ пФ}$		$R_5 = 20 \text{ Ом}$	
$C_6 = 2000 \text{ пФ}$		$R_6 = 30 \text{ Ом}$	
$C_7 = 2000 \text{ пФ}$		$R_7 = 270 \text{ Ом}$	
$C_8 = 2000 \text{ пФ}$		$R_8 = 300 \text{ Ом}$	
$C_9 = 2000 \text{ пФ}$			
$C_{10} = 2000 \text{ пФ}$			
$C_{11} = 2000 \text{ пФ}$			
$C_{12} = 2000 \text{ пФ}$			
$C_{13} = 510 \text{ пФ}$			
$C_{14} = 390 \text{ пФ}$			
$C_{15} = 150 \text{ пФ}$			
$C_{16} = 110 \text{ пФ}$			
$C_{17} = 390 \text{ пФ}$			
$C_{18} = 51 \text{ пФ}$			
$C_{19} = 100 \text{ пФ}$			

7.3 Короткі теоретичні відомості

7.3.1 Загальні положення

Робота сучасних енергосистем неможлива без обміну інформацією між енергетичними об'єктами. Для передачі такої інформації необхідна мережа каналів зв'язку. За своїм призначенням види зв'язку в енергосистемах можна поділити на такі категорії: диспетчерський телефонний зв'язок, канали зв'язку для телемеханіки, канали зв'язку для автоматики, технологічний зв'язок, місцевий зв'язок [14].

Диспетчерський телефонний зв'язок. Для телефонного зв'язку диспетчера підприємства електричних мереж (ПЕМ) з енергетичними об'єктами застосовуються канали дротового зв'язку по повітряних, а інколи, кабельних лініях, канали радіозв'язку на ультракоротких хвилях (УКХ), а також канали височастотного зв'язку по лініях електропередач. Для телефонного зв'язку центрального диспетчерського пункту (ЦДП) енергосистеми найбільше застосовують канали височастотного зв'язку по лініях електропередачі; застосовуються також канали по спеціальних провідних лініях, канали по радіорелейних лініях.

Канали зв'язку для телемеханіки. Канали для пристроїв телемеханіки зазвичай поєднують з каналами телефонного зв'язку: вони використовують ті самі лінії, загальне обладнання і апаратуру. Для здійснення телемеханіки в межах підприємства електричних мереж застосовуються канали

високочастотного зв'язку по лініях електропередач, кабельні лінії зв'язку та спеціальні мережі радіоканалів.

Канали зв'язку для автоматики. Системну автоматику, в якій також використовуються канали зв'язку, можна розділити на протиаварійну та системно-режимну. До протиаварійної автоматики відносять релейний захист і телеввімкнення (автоматична передача сигналу на дистанційне вимкнення вимикачів). До системно-режимної автоматики відносять системи автоматичного регулювання режиму роботи енергосистеми чи енергооб'єднання (телерегулювання).

Для протиаварійної автоматики застосовуються виключно канали високочастотного зв'язку по лініях електропередач, оскільки інші види каналів не відповідають вимогам надійності. Для режимної автоматики застосовуються всі види каналів зв'язку, в тому числі канали високочастотного зв'язку по лініях електропередач.

Технологічний зв'язок. Цей зв'язок в енергосистемах використовується для керування виробничо-господарською діяльністю енергетичних об'єктів і лінійно-експлуатаційних служб. Переговори бригади лінійщиків з диспетчером чи черговим найближчої підстанції здійснюються по спеціальних провідних лініях, вздовж траси ЛЕП, радіоканалами і високочастотним зв'язком з використанням переносних високочастотних апаратів.

Місцевий зв'язок. Так називаються засоби зв'язку з іншими енергооб'єктами – диспетчерськими пунктами, електростанціями та підстанціями. В даному випадку часто використовується місцевий та міжмісцевий зв'язок.

Каналом високочастотного зв'язку по лініях електропередач називається такий сигнал, в якому за лінію зв'язку використовується одна чи декілька ліній електропередач, а на кінцевих пунктах встановлена апаратура приєднання та ущільнення.

Канали високочастотного зв'язку реалізують, в основному, по лініях напругою 35 кВ і вище, а в сільських районах – по лініях більш низької напруги 3–10 кВ.

7.3.2 Високовольтні загороджувачі

Будь-який загороджувач має на робочих частотах кінцевий опір. Внаслідок цього шини підстанції з послідовно ввімкненим загороджувачем деякою мірою шунтують лінійний канал. Вхідний опір шин підстанції зазвичай є реактивним, причому, в основному, носить смісний характер. Якщо опір загороджувача на робочій частоті є комплексним, то можливо, що реактивний опір шин підстанції буде протилежним за знаком і дорівнювати реактивній складовій опору загороджувача [16].

Якщо розглядати умови проходження сигналу з лінії до високочастотного приймача, то лінія повинна бути замінена еквівалентним генератором, причому внутрішній опір генератора буде дорівнювати

вхідному опору лінійного каналу. Затуханням (згасанням), яке створює загороджувач, називається половина натурального логарифма – відношення потужності, яка надходить на вхід лінійного каналу при вимкненій лінії з загороджувачем (тобто при $R_3 = \infty$), до потужності, яка надходить в лінію з діючим загороджувачем (7.2):

$$a_3 = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2}, \text{ (неп)}. \quad (7.2)$$

Це число містить a , одиниць вимірювання, які називаються неперами. Разом з неперам користуються іншою логарифмічною одиницею вимірювання, яка має назву бел. Одиниця (бел) досить незручна, оскільки вона дуже велика. Тому зазвичай використовують меншу одиницю вимірювання, яка дорівнює 0,1(бел) і має назву – децибел:

$$a_3 = 10 \ln \frac{P_1}{P_2}, \text{ (дБ)}. \quad (7.3)$$

$$a_3 = 10 \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \lg \frac{I_1}{I_2}, \text{ (дБ)}. \quad (7.4)$$

Так: 1 (дБ) = 0,115 (неп) або 1 (неп) = 8,7 (дБ).

Згасання, яке вносить загороджувач, можна виразити через елементи схеми заміщення:

$$a_3 = \ln \left[1 + \frac{r_{\phi, n} - r_{ex, l}}{r'_3 (r_{\phi, l} + r_{ex, l})} \right], \quad (7.5)$$

де $r'_3 = r_3 + r_n = r'_3 + jX'_3$ – сумарний опір шин підстанції та загороджувача.

Якщо вхідний опір лінії та фільтра приєднання активний, а також сумарний опір шин підстанції і загороджувача активний, тоді:

$$a_3 = \ln \left(1 + \frac{r'_{\phi, n} \times r_{\phi, n}}{r'_3 (r_{\phi, l} + r_{ex, l})} \right). \quad (7.6)$$

Для випадку реактивного опору загороджувача:

$$\alpha_3 = \frac{1}{2} \ln \left[1 + \frac{1}{X_3'^2} \left(\frac{r_{\text{ex.l}} \times r_{\text{ф.п}}}{r_{\text{ex.l}} + r_{\text{ф.п}}} \right)^2 \right]. \quad (7.7)$$

При реактивному характері навантаження загороджувач вносить менше згасання, ніж при активному опорі тієї ж величини. Тобто, реактивний опір менше шунтує канал, ніж активний.

Загороджувачі з активним опором можуть застосовуватись в тих випадках, коли компенсація такого опора шинами підстанції малоімовірна.

Активна складова повного опора загороджувача не може бути компенсована, і тому при будь-якому навантаженні підстанції опір загороджувача буде не більшим, ніж при $r_{\text{ндс}} = 0$. Можливий емнісний характер опора підстанції показаний в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Величини емності силового обладнання на фазу

Найменування обладнання	Напруга, (кВ)	Ємність, пФ
Роз'єднувач РЛНЗ-110М	110	125/23
Роз'єднувач РЛНЗ-220	220	235/200
Вимикач масляний МКП-110М	110	1200/350
Вимикач повітряний ВВН-110	110	75
Вимикач повітряний ВВН-220	220	500
Розрядник підстанційний РВС-110	110	85
Розрядник підстанційний РВС-220	220	85
Трансформатор струму ТФНД-110	110	275
Трансформатор струму ТФНД-220	220	145
Трансформатор силовий ГДТГ-10000/110	110	760
Трансформатор силовий ГДТГ-20000/110	110	630
Трансформатор силовий ГДТГ-405000/110	110	1340
Трансформатор силовий ГДТГ-60000/110	110	860
Трансформатор силовий ГДТГ-20000/110	110	1200
Трансформатор силовий ОДТГ-30000/220	220	2500
Трансформатор силовий ОДП-40000/220	220	2680

Примітка. В чисельнику дано значення емності при ввімкненому стані обладнання, а в знаменнику – при вимкненому.

В подальшому, при аналізі смуги загородження за активним навантаженням будемо вважати, що реактивна складова навантаження загороджувача компенсована підстанцією, тобто:

$$z_n = -jx_3,$$

або

$$z'_3 = r_3.$$

При розгляданні смуги загородження за реактивним або повним опором будемо вважати, що

$$z_n = 0.$$

Якщо задається величина згасання, яке вноситься загороджувачем, то можна визначити необхідну величину його опору.

Для загороджувача з активним опором:

$$r_3 = \frac{r_{\phi.n} \times r_{ex.l}}{r_{\phi.n} + r_{ex.l}} \times \frac{1}{e^{a_3} - 1}. \quad (7.8)$$

Для загороджувача з реактивним опором:

$$x_3 = \frac{r_{\phi.n} \times r_{ex.l}}{r_{\phi.n} + r_{ex.l}} \times \sqrt{\frac{1}{e^{2a_3} - 1}}. \quad (7.9)$$

При розрахунках a_3 , r_3 , x_3 зазвичай приймають $z_{ex.l}$ таким, щоб він дорівнював характерному навантаженню лінійного каналу:

$$z_{ex.l} = r_c; r_{ex.l} = r. \quad (7.10)$$

Високочастотні загороджувачі розрізняються за параметрами силової котушки (загороджувального реактора) і схемами налаштування.

Силіві котушки розрізняються за величинами індуктивностей та номінального робочого струму промислової частоти.

Робочий струм, на який розрахована силова котушка, повинен бути не менше максимального робочого струму лінії електропередач, в яку під'єднується загороджувач. Величини індуктивності та робочого струму входять в найменування типу загороджувача. Наприклад: загороджувач ВЗ-1000-0,6 має індуктивність силової котушки 0,6 (мГн) і розрахований на максимальний робочий струм 1000 (А).

Максимальна величина індуктивності силової котушки, яка призначена для повітряних ЛЕП, складає 0,1 (мГн). При меншій величині індуктивності не можна отримати задовільні характеристики загороджувача. Максимальна величина індуктивності складає 2,0 (мГн). При такій величині індуктивності можна без переналаштування загороджувача здійснювати загородження по всій смузі частот, яка використовується для високочастотного зв'язку по лініях електропередачі

40 ÷ 600 (кГц). Збільшення індуктивності силової котушки вище 2 (мГн) не дає суттєвого покращення загороджувальних властивостей загороджувача, але призводить до збільшення його розмірів і ваги.

При проходженні по силевій котушці струму КЗ може виникнути недопустимий перегрів обмотки і деформація котушки. Тому після вибору загороджувача за струмом проводиться перевірка на термічну та динамічну стійкості.

Для збільшення індуктивності силової котушки в деяких випадках використовують осердя з трансформаторної сталі. Загороджувач з такою котушкою називається загороджувачем зі стальним осердям.

Загороджувачі розрізняють за схемою налаштування (настроювання). Застосовують такі види налаштування загороджувача.

Резонансне одночастотне налаштування, при якому силова котушка налаштовується за допомогою комплекта конденсаторів за схемою паралельного резонансного контуру на одну частоту, яка дорівнює середній частоті робочої смуги високочастотного каналу.

Резонансне двочастотне налаштування, при якому силова котушка налаштовується на дві резонансні частоти. При цьому загороджувач загороджує дві смуги частот, ширина кожної з цих смуг менша, ніж при одночастотному налаштуванні на будь-яку з двох частот.

Багаточастотні схеми налаштувань майже не використовуються, оскільки смуги загородження будуть малими.

Резонансне зазрублене налаштування відрізняється від попередніх двох налаштувань тим, що в резонансні контурні схеми вводяться активні опори для розширення загородження смуги частот за активним опором.

Широкочастотне налаштування, за схемами смугових фільтрів – забезпечує приблизно постійну величину загороджувального навантаження в межах визначеної смуги частот.

Широкочастотне налаштування за схемою фільтра верхніх частот забезпечує приблизно постійну величину загороджувального навантаження на всіх частотах вище нижньої граничної частоти.

Загороджувачі, в яких застосовані резонансні одночастотні або двочастотні схеми налаштувань, називаються *резонансними загороджувачами*. Загороджувачі зі смуговими схемами налаштувань отримали назву *широкосмугових загороджувачів*.

7.3.3 Одночастотне резонансне налаштування

При одночастотному резонансному налаштуванні загороджувач є паралельним резонансним контуром, налаштованим на робочу частоту. Схема такого контуру показана на рисунку 7.1. В цій схемі: L – індуктивність, r – активне навантаження силової котушки на робочій частоті, C – конденсатор налаштування.

Залежність повного опору контуру на рисунку 7.1 від частоти має вигляд:

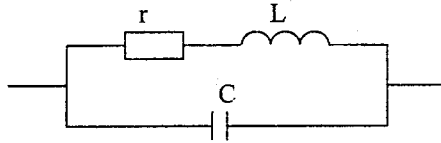


Рисунок 7.1 – Схема одночастотного резонансного загороджувача

Залежність повного опору контуру (рис. 7.1) від частоти має вигляд:

$$z_3 = r_0 \left\{ \frac{1}{\eta^2 + Q_0^2 (1 - \eta^2)^2} + j \frac{\frac{\eta}{Q_0} [Q_0^2 (1 - \eta^2) - 1]}{\eta^2 + Q_0^2 (1 - \eta^2)^2} \right\}, \quad (7.11)$$

де η – відносна частота; Q_0 – добротність контуру; r_0 – резонансний опір.

Відносна частота визначається за формулою (7.12):

$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad (7.12)$$

де ω_0 – резонансна частота налаштування.

Резонансна частота налаштування:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{2C}} = 2\pi f_0. \quad (7.13)$$

Добротність контуру визначається за формулою (7.14):

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{r}. \quad (7.14)$$

Резонансний опір:

$$r_0 = \omega_0 L Q_0. \quad (7.15)$$

Смугою пропускання системи умовно називають діапазон частот, в межах якої відклик не стає меншим, ніж $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$ максимального свого значення, а смугою поглинання (загородження) – діапазон частот, які розташовані зовні смуги пропускання. Частота на границі смуги пропускання називається *граничною*. Розрізняють смуги загородження за активним, реактивним і повним опором. В першому випадку смуга загородження визначається тільки величиною активної складової навантаження загороджувача, в другому – величиною реактивної складової цього опору. Смуга загородження за повним опором збігається зі смугою загородження за реактивним опором, оскільки поблизу меж смуги опір загороджувача майже чітко реактивний.

Якщо задати величину активної складової опору контуру r_{3min} на межі смуги загородження, то можна знайти граничні частоти смуги за активним опором:

$$f_{1,2} = f_0 \sqrt{1 \pm \frac{2\Pi f_0 L}{z_0} \sqrt{\frac{z_0}{r_{3min}} - 1}} \approx f_0 \left[1 \pm \frac{\Pi f_0 L}{z_0} \sqrt{\frac{z_0}{r_{3min}} - 1} \right]. \quad (7.16)$$

З виразу (7.16) визначається ширина смуги загородження за активним опором:

$$\Delta f_a = \frac{2\Pi f_0^2 L}{z_0} \sqrt{\frac{z_0}{r_{3min}} - 1}. \quad (7.17)$$

З виразу (7.17) видно, що смуга загородження за активним опором тим менша, чим більший резонансний опір.

Смуга загородження за реактивним опором визначається за формулою:

$$\Delta f_p = \Delta f_n = 2\Pi f_0^2 \frac{L}{x_{3min}}, \quad (7.18)$$

де x_{3min} – задана величина реактивного опору контуру на межі смуги загородження.

Смуга загородження за повним опором завжди ширша смуги за активним опором. Смуга за повним опором практично не залежить від значення добротності контуру.

7.3.4 Одночастотне загрублене налаштування

Одночастотне загрублене налаштування застосовується для розширення смуги загородження за активним опором. Це розширення досягається зменшенням резонансного опору контуру [16].

На рисунку 7.2 наведені дві схеми одночастотних загороджувачів, які відрізняються місцем ввімкнення резистора.

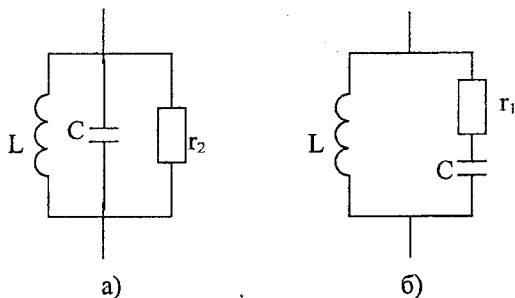


Рисунок 7.2 – Схеми одночастотних загрублених загороджувачів

Схема з послідовним з'єднанням резистора та індуктивності не застосовується, оскільки в цьому випадку через резистор буде проходити робочий струм лінії.

Загрублене налаштування з ввімкненням резистора паралельно контуру показано на рисунку 7.2, а). При значному загрубленні опір шунтувального резистора r_2 значно менший резонансного опору контуру.

$$r_2 \ll r_0 = \omega_0 L Q_0.$$

При цьому можна не враховувати опір активних втрат в контурі LC. Залежність повного опору контуру від частоти для цього випадку має вигляд:

$$z_s = r_2 \left[\frac{\eta^2}{\eta^2 + Q_0^2 (1 - \eta^2)^2} + j \frac{\eta Q_0 (1 - \eta^2)}{\eta^2 + Q_0^2 (1 - \eta^2)^2} \right]. \quad (7.19)$$

Залежність повного опору від частоти матиме спрощений вигляд, якщо використати поняття узагальненого розлагодження:

$$U = \frac{r_2}{\omega_m L} \left(\frac{\omega}{\omega_m} - \frac{\omega_m}{\omega} \right). \quad (7.20)$$

Середня геометрична частота смуг загородження:

$$\omega_m = \sqrt{\omega_{1a} \cdot \omega_{2a}} = \sqrt{\omega_{1n} \cdot \omega_{2n}}, \quad (7.21)$$

де ω_{1a} та ω_{2a} – нижня і верхня граничні частоти смуги загородження за активним опором; ω_{1n} та ω_{2n} – нижня і верхня граничні частоти смуги загородження за повним опором.

Застосування узагальненого розлагодження дає можливість суттєво спростити формули і процес розрахунку. З урахуванням цього залежність повного опору контуру приймає вигляд:

$$z_3 = r_2 \left(\frac{1}{1+U^2} - j \frac{U}{1+U^2} \right). \quad (7.22)$$

Залежність (7.22) відносної величини опору загороджувача від узагальненого розлагодження за схемою рисунка 7.2, а) наведена на рисунку 7.3.

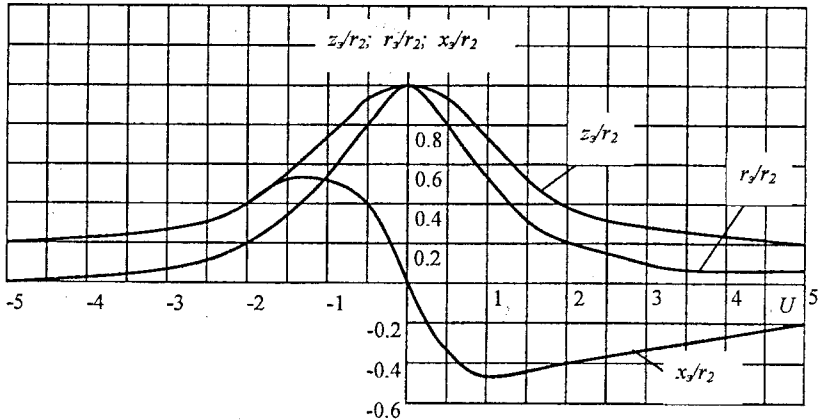


Рисунок 7.3 – Залежність відносної величини опору загороджувача від узагальненого розлагодження

Межі смуги загородження визначаються допустимими мінімальними значеннями активного або повного опорів загороджувача.

За допустимими величинами співвідношень z/r_2 або x/r_2 з графіків (див. рис. 7.3) визначається значення узагальненого розлагодження U для меж смуги. За значенням U визначаються обмежені частоти f_1 та f_2 смуги загородження:

$$f_{1,2} = \sqrt{f_m^2 + \left(\frac{\Pi LU}{r_2} f_m^2\right)^2} \pm \frac{\Pi LU}{r_2} f_m^2; \quad (7.23)$$

$$\Delta f = \frac{2\Pi LU}{r_2} f_m^2. \quad (7.24)$$

Якщо задано мінімальне значення r_{3min} активного опору на межах смуги загородження, то ця смуга буде найбільшою при $U = 1$ та $r_2 = 2r_{3min}$

$$\Delta f_{amax} = \frac{\Pi L}{r_{3min}} f_m^2. \quad (7.25)$$

Вираз (7.25) дозволяє визначити мінімальний опір в смугі загородження, якщо загороджувач виконується на задану смугу частот від f_1 до f_2 :

$$r_{3min} = \frac{\Pi f_1 f_2 L}{f_2 - f_1}. \quad (7.26)$$

Граничні частоти смуги загородження (за активним або повним опорами) поєднані такими співвідношеннями:

$$f_1 = \frac{f_2}{1 + \frac{2\Pi LU f_2}{r_2}}; \quad f_2 = \frac{f_1}{1 - \frac{2\Pi LU f_1}{r_2}}. \quad (7.27)$$

Загрублене налаштування із під'єднанням резистора послідовно з конденсатором показане на рисунку 7.2, б). Цей вид загрубленого налаштування отримав найбільше застосування на практиці. Якщо знехтувати активним опором силової котушки, то залежність повного опору контуру (див. рис. 7.3, б) від частоти буде мати вигляд:

$$z_3 = z_0 \left\{ \frac{\eta^4}{\eta^2 + Q_0^2 (1 - \eta^2)^2} + j \frac{Q_0 \left[\eta^2 + Q_0^2 (1 - \eta^2) \right]}{\eta^2 + Q_0^2 (1 - \eta^2)^2} \right\}. \quad (7.28)$$

Якщо задати одну з граничних частот (наприклад, нижню) і резонансну частоту загороджувача, тоді опір цієї граничної частоти буде залежати від

величини добротності контуру, тобто від величини загрублювального резистора. Дослідження показали, що при заданій величині η оптимальне значення добротності визначається за нижченаведеною формулою

$$Q_{\text{optm}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta}} \quad (7.29)$$

Якщо задані значення граничних частот, тоді величину резонансної частоти можна визначити за (7.30)

$$f_0 = f_1 \sqrt{\frac{1 + \sqrt{2 - (f_1/f_2)^2}}{(f_1/f_2)^2 + \sqrt{2 - (f_1/f_2)^2}}} \quad (7.30)$$

Залежність $\eta_1 = f_1/f_2$ від співвідношення граничних частот показана на рисунку 7.4. Така залежність поєднує граничну та резонансну частоти загороджувача за схемою рис. 7.2, б).

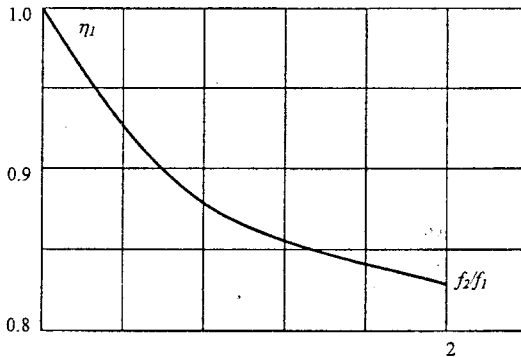


Рисунок 7.4 – Залежність, яка поєднує граничну та резонансну частоти загороджувача

Якщо задана нижня гранична частота f_1 і опір загороджувача $r_{\text{зmin}}$ на цій частоті, тоді резонансна частота визначається з нижченаведеного виразу

$$f_0 = f_1 \sqrt{\frac{\Pi L f_1}{r_{\text{зmin}}} + 1} \quad (7.31)$$

Опір загрублювального резистора визначається з нижченаведеного виразу

$$r_1 = \frac{\omega_0 L}{Q_{\text{донн}}} = \omega_0 L \left(\frac{1}{\eta_1} - \eta_1 \right), \quad (7.32)$$

де $Q_{\text{донн}}$ визначено при відносному розлагодженні, що відповідає нижній межі смуги загородження, тобто $\eta = \eta_1$.

Якщо задані граничні частоти смуги загородження f_1 та f_2 , то можна визначити мінімальний опір $r_{\text{зmin}}$ в межах смуги:

$$r_{\text{зmin}} = \frac{\eta_1^2 \omega_0 L}{2 \left(\frac{1}{\eta_1} - \eta_1 \right)}, \quad (7.33)$$

де η_1 – визначається з графіка (див. рис. 7.4), а $f_0 = f_1 \eta_1$.

Отримане значення $r_{\text{зmin}}$ буде найбільшим з усіх можливих при даній смугі загородження.

На рисунку 7.5 показані графіки залежностей $r_{\text{зmax}}$ та $x_{\text{з2}}$ від співвідношення граничних частот смуги загородження $\frac{f_2}{f_1}$.

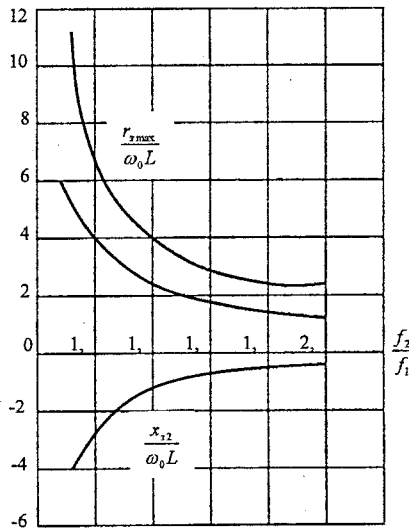


Рисунок 7.5 – Параметри загороджувача за схемою рис. 7.2, б) в залежності від співвідношення граничних частот

$r_{\text{змах}}$ та x_{z2} – величини опорів загороджувача на частотах f_1 та f_2 відповідно розглядаються відносно величини $\omega_0 L$.

Показаний розрахунок базується на отриманні максимуму активної складової опору загороджувача на нижній граничній частоті f_1 при налаштуванні на частоту f_2 . Можливий вибір опору загрублювального резистора, виходячи з умови максимуму смуги загородження при заданому $r_{\text{змін}}$ на нижній граничній частоті.

7.3.5 Широкочастотне налаштування за схемою фільтра верхніх частот

Широкочастотний загороджувач може бути виконаний за схемою фільтра верхніх частот, в якому вхідний опір близький до характеристичного в діапазоні частот вищевказаної граничної частоти [16].

Якщо є деякий лінійний пасивний чотириполосник, то можна знайти його характеристичні опори z_{01} та z_{02} , які мають такі властивості:

1. При навантаженні виходу чотириполосника на опір z_{01} його вхідний опір дорівнює z_{02} ;
2. При навантаженні входу чотириполосника на z_{01} його вихідний опір рівний z_{02} .

$$z_{01} = \sqrt{\frac{AB}{CD}}, \quad z_{02} = \sqrt{\frac{BD}{AC}},$$

де A, B, C, D – параметри чотириполосника.

$$\dot{U}_2 = D\dot{U}_1 - B\dot{I}_1, \quad \dot{I} = A\dot{I}_1 - C\dot{U}_1. \quad (7.34)$$

Такий загороджувач загороджує смугу частот вище нижньої частоти. Принципова схема широкочастотного загороджувача показана на рисунку 7.6.

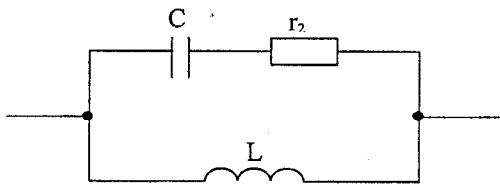


Рисунок 7.6 – Широкочастотний загороджувач за схемою фільтра верхніх частот

При зростанні частоти збільшується індуктивний опір силової котушки L і зменшується ємнісний опір конденсатора C ; на великих частотах $x_L = \omega L \gg r_2$, а $x_C = 1/\omega C \ll r_2$.

При цьому повний опір загороджувача за умови збільшення частоти прямує до величини r_2 .

Залежність повного опору загороджувача від відносної частоти η при $r_2 = \sqrt{L/C}$ визначається за виразом:

$$z_s = r_2 \left[\frac{\eta^4}{\eta^4 - \eta^2 + 1} + j \frac{\eta}{\eta^4 - \eta^2 + 1} \right], \quad (7.35)$$

де $\eta = f/f_0$; а $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ — резонансна частота контуру загороджувача.

Нижньою граничною частотою смуги загородження називають таку частоту, починаючи з якої активна складова повного опору загороджувача залишається більшою r_2 . При цьому смуга загородження охоплює весь діапазон частот від $f = f_1$ до $f = \infty$. Практично через наявність міжвиткової ємності силової котушки при високих частотах опір загороджувача зменшується нижче величини r_2 . При відомій величині індуктивності силової котушки і заданому мінімальному опорі $r_{\min} = r_2$, значення нижньої граничної частоти f_1 залежить від величини ємності конденсатора C . Значення нижньої граничної частоти буде мінімальне, коли величина ємності дорівнює:

$$C = \frac{L}{r_2^2}. \quad (7.36)$$

При цьому

$$f_1 = f_{1\min} = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{r_2}{2\pi L}. \quad (7.37)$$

При малих ($L = 0,1 \div 0,25$ МГн) і середніх ($L = 0,5 \div 1,3$ МГн) величинах індуктивності силової котушки виконання загороджувача за схемою (див. рис. 7.6) можливо лише тільки в діапазоні високих частот. Наприклад, при $r_2 = 600$ МГн, $L = 0,6$ МГн загороджувач за схемою фільтра верхніх частот може бути виконано лише при нижній граничній частоті $f_1 = 160$ кГц.

7.4 Порядок виконання роботи

7.4.1. У відповідності з варіантом завдання (таблиця 7.4) розрахувати параметри фільтрів.

Таблиця 7.4 – Варіанти завдань до лабораторної роботи

Схема налаштування	Дано	Визначити
Одночастотна резонансна	$L = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$	C
	$R = 0,03 \text{ Ом}$	Q_0
	$f_0 = 100 \text{ кГц}$	z_0
	$f_0 = 150 \text{ кГц}$	
	$f_0 = 200 \text{ кГц}$	
	$f_0 = 250 \text{ кГц}$	
	$f_0 = 300 \text{ кГц}$	
	$f_0 = 400 \text{ кГц}$	
Одночастотне загрублене налаштування з під'єднанням резистора паралельно контуру	$L = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$	f_2
	$U = 1$	Δf_a
	$r_{\text{min}} = 300 \text{ Ом}$	$f_m = f_0$
	$f_1 = 100 \text{ кГц}$	C
	$f_1 = 150 \text{ кГц}$	r_2
	$f_1 = 200 \text{ кГц}$	
	$f_1 = 250 \text{ кГц}$	
	$f_1 = 300 \text{ кГц}$	
Одночастотне загрублене налаштування із під'єднанням резистора послідовно з конденсатором	$L = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$	f_2 / f_1
	$f_1 = 90 \text{ кГц}$	η_1
	$f_2 = 110 \text{ кГц}$	f_0
	$f_1 = 145 \text{ кГц}$	z_0
	$f_2 = 155 \text{ кГц}$	r_1
	$f_1 = 180 \text{ кГц}$	C
	$f_2 = 210 \text{ кГц}$	$r_{3 \text{ min}}$
	$f_1 = 245 \text{ кГц}$	$r_{3 \text{ max}}$
	$f_2 = 255 \text{ кГц}$	x_{31}
	$f_1 = 290 \text{ кГц}$	x_{32}
	$f_2 = 310 \text{ кГц}$	
	$f_1 = 390 \text{ кГц}$	
$f_2 = 410 \text{ кГц}$		
$f_1 = 490 \text{ кГц}$		
$f_2 = 510 \text{ кГц}$		
Широкочастотне налаштування за схемою фільтра верхніх частот	$L = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$	$r_3 / r_2 = x_3 / r_2$
	$r_3 = x_{31} = 500 \text{ Ом}$	η_{1a}
	$r_2 = 600 \text{ Ом}$	η_{1p}
	$r_2 = 570 \text{ Ом}$	$f_0 = f_{1 \text{ min}}$
	$r_2 = 620 \text{ Ом}$	f_{1a}
	$r_2 = 631 \text{ Ом}$	f_{1p}
	$r_2 = 642 \text{ Ом}$	C
$r_2 = 653 \text{ Ом}$		

7.4.2 Зняти амплітудно-частотні характеристики фільтрів.

7.4.3 Визначити згасання, що вноситься загороджувачем на частоті резонансу.

7.4.4 Зробити висновки з виконаної роботи, оформити звіт.

7.5 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Які види зв'язку використовуються в енергосистемах?
2. Які переваги має високочастотний зв'язок по лініях електропередачі?
3. Які особливості ліній електропередачі ускладнюють їхнє використання для каналів зв'язку?
4. Наведіть схеми ввімкнення високочастотної апаратури до проводів ліній електропередач.
5. Чим відрізняються прості та складні високочастотні канали?
6. Яке призначення загороджувачів?
7. За якими параметрами проводиться вибір і перевірка загороджувачів?
8. Наведіть еквівалентні схеми пристроїв обробки та приєднання.
9. Що таке смуга загородження? Як визначити згасання, що його вносить загороджувач? В яких одиницях вимірюється згасання?
10. Які існують види налаштування загороджувачів?
11. В чому різниця резонансного налаштування від загубленого?
12. Які особливості широкочастотного налаштування за схемою фільтра верхніх частот в порівнянні з резонансною і загубленою схемами налаштування?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

«Оперативні перемикання в схемах РУ»

Мета роботи: закріпити знання за головними схемами електричних з'єднань електричних станцій і підстанцій та практично ознайомитись з проведенням оперативних перемикань в розподільних установках.

8.1 Підготовка до лабораторної роботи

8.1.1 Підготувати відповіді на запитання згідно з підрозділом 8.6.

8.1.2 Ознайомитися з описом лабораторного стенда (рис. 8.1, 8.2).

8.1.3 Підготувати заготовку звіту з лабораторної роботи, в якій:

- вказати параметри електрообладнання, яке застосовується в ході лабораторної роботи;
- вказати програму експериментальних робіт;
- накреслити схеми електричних з'єднань підстанції, яка моделюється на стенді.

8.2 Програма експериментальних робіт

8.2.1 В лабораторії, де проводиться заняття, ознайомитися з вимогами «Типової інструкції з виконання перемикань в РУ ЕС та підстанцій»

8.2.2 Виконати завдання щодо нижченаведених перемикань:

- виведення вимикача Q1 лінії W1 на плановий ремонт без перерви живлення споживачів (блок-схема I, рис. 8.1);
- введення вимикача Q1 лінії W1 після ремонту в роботу (блок-схема I, рис. 8.1);
- переведення приєднань лінії W3 і трансформатора T2 з другої системи шин на першу без перерви електричного живлення споживачів (блок-схема II, рис. 8.1);
- переведення приєднань лінії W3 і трансформатора T2 з першої системи шин на другу без перерви електричного живлення (блок-схема II, рис. 8.1);
- виведення триобмоткового трансформатора T1 на плановий ремонт (блок-схема III, рис. 8.1, 8.2);
- ввімкнення триобмоткового трансформатора T1 після проведеного планового ремонту на першу систему збірних шин напругами 220, 110 та 35 кВ (блок-схеми III, рис. 8.1, 8.2);
- ввімкнення лінії W4 на першу систему збірних шин при несправному шинному роз'єднувачі QS39 (блок-схема IV, рис. 8.1);
- виведення на плановий ремонт лінії W4 (блок-схема IV, рис. 8.1);

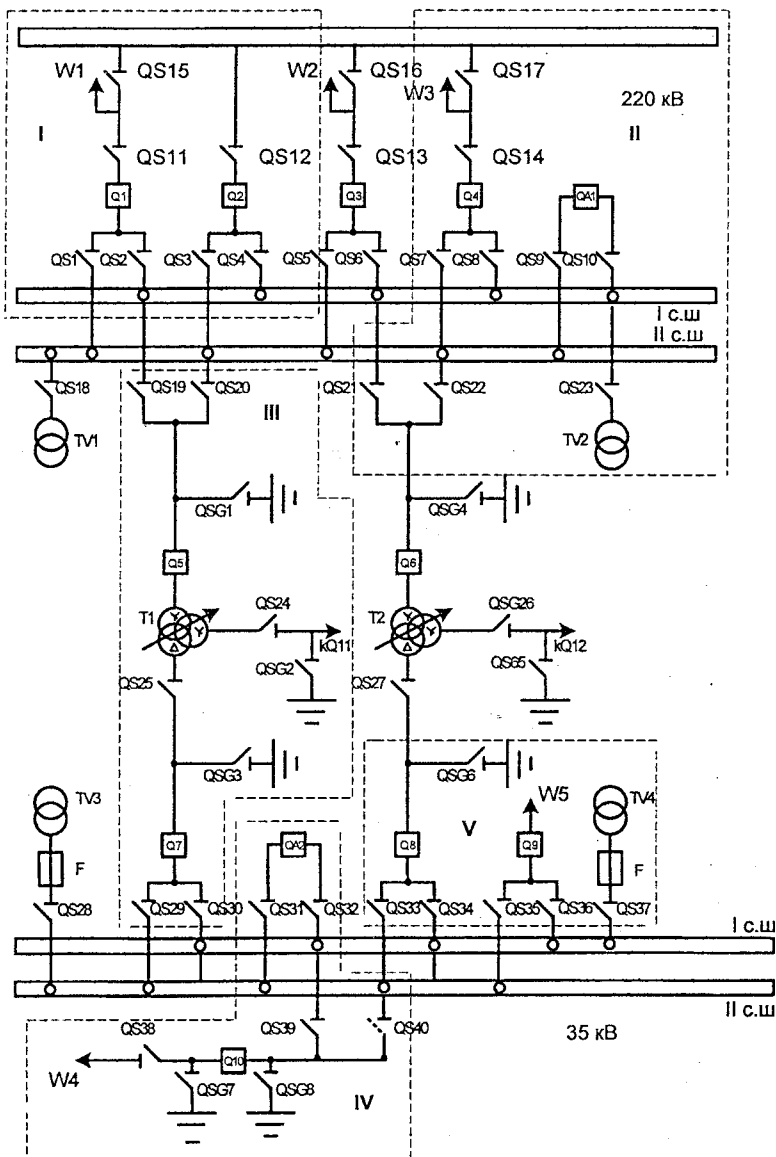


Рисунок 8.1 – Часткова схема підстанції зі збірними шинами 220 та 35 кВ

- виведення в ремонт трансформатора ТЗ зі збереженням електропостачання споживачів секції 6 кВ (див. блок-схему VIII, рис. 8.2).
- введення в роботу трансформатора ТЗ після ремонту (див. блок-схему VIII, рис. 8.2).

8.3 Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд містить схему-макет підстанції з чотирма РУ напругою 220, 110, 35 та 6 кВ (рис. 8.1 та 8.2).

Схема підстанції розділена на 8 електричних блок-схем, які дозволяють виконати 16 вищевказаних завдань.

Порядок виконання оперативних перемикачів в кожному завданні встановлений у відповідності з вимогами «Типової інструкції з виконання перемикачів в РУ ЕС та підстанцій»

Кожен елемент РУ на схемі обладнаний лампами, що сигналізують його стан (червона – ввімкнено, зелена – вимкнено). На похилій панелі стенда знаходиться перемикач схем (в лівій частині панелі) та тумблери, за допомогою яких виконується ввімкнення та вимкнення елементів – моделювальних вимикачів, роз'єднувачів, кіл захисту та джерело оперативного струму в схемі керування вимикачем [14].

8.4 Порядок виконання роботи

8.4.1 Розглянути опис вихідних станів схеми підстанції.

Блок-схема I

1. Виведення вимикача лінії Q1 в плановий ремонт без перерви живлення споживачів (перемикач проводиться без випробування обхідної системи шин).

Вихідне положення:

- вимкнені – обхідний вимикач Q2, його обхідний та шинні роз'єднувачі, обхідний роз'єднувач лінії QS15;
- лінія W1 ввімкнена на першу систему збірних шин вимикачем Q1, а також лінійним і шинним роз'єднувачами;

2. Введення вимикача лінії W1 в роботу з виведенням з роботи обхідного вимикача.

Вихідне положення:

- вимкнені – вимикач Q1, а також лінійний QS11 та шинні QS1 і QS2 роз'єднувачі;
- електропостачання споживачів здійснюється по лінії W1 з першої системи збірних шин через обхідну систему ввімкненням обхідного вимикача Q2, обхідних QS12, QS15 та шинних QS1–4 роз'єднувачів.

Блок-схема II

1. Переведення приєднань (лінії W3 та трансформатора T2) з другої на першу систему збірних шин без перерви електропостачання по лінії W3.

Вихідне положення:

- в роботі перша та друга системи збірних шин;
- лінія W3 та трансформатор T2 ввімкнені на другу систему збірних шин (їхні шинні роз'єднувачі від першої системи шин вимкнені);
- шиноз'єднувальний вимикач вимкнений, а його роз'єднувачі ввімкнені на обидві системи шин;
- оперативний струм в колах керування шиноз'єднувальним вимикачем (QA1) ввімкнений.

2. Переведення лінії W3 та трансформатора T2 з першої на другу систему збірних шин без перерви електричного живлення по W3.

Вихідне положення:

- в роботі перша та друга системи збірних шин;
- лінія W3 і трансформатор T2 ввімкнені своїми роз'єднувачами на першу систему збірних шин;
- ввімкнені вимикачі лінії W3 та трансформатора T2;
- шиноз'єднувальний вимикач вимкнений, а його роз'єднувачі ввімкнені на обидві системи шин;
- оперативний струм в колах керування шиноз'єднувальним вимикачем ввімкнений.

Блок-схема III

1. Виведення триобмоткового трансформатора в ремонт.

Вихідне положення: трансформатор T1 знаходиться в роботі та ввімкнений вимикачами і роз'єднувачами на першу систему збірних шин на напруги 220, 110 та 35 кВ.

2. Ввімкнення трансформатора T1 в роботу на першу систему збірних шин напругою 220, 110 та 35 кВ.

Вихідне положення:

- трансформатор T1 вимкнений своїми вимикачами та роз'єднувачами;
- кола заземлення ввімкнені.

Блок-схема IV

1. Ввімкнення лінії W4 в роботу на першу систему збірних шин через шиноз'єднувальний вимикач та другу систему збірних шин.

Вихідне положення:

- вимикач, лінійний на шинний роз'єднувачі лінії W4 вимкнений;
- заземлювальні ножі ввімкнені;
- шиноз'єднувальний вимикач і його роз'єднувач вимкнені;
- робоча перша система збірних;
- роз'єднувач QS39 в несправному стані.

2. Виведення в ремонт лінії W4.

Вихідне положення: лінія W4 ввімкнена на першу систему шин, через шиноз'єднувальний вимикач, оскільки роз'єднувач QS39 в несправному стані.

Блок-схема V

1. Переведення лінії W5 з першої на другу систему збірних шин 35 кВ (на окреме живлення від трансформатора T2) без шиноз'єднувального вимикача з перервою живлення по лінії.

Вихідне положення:

- трансформатор T2 та лінія W5 ввімкнені на першу систему збірних шин;
- шиноз'єднувальний вимикач в ремонті;
- кола живлення захисту лінії та трансформатора ввімкнені на трансформатор напруги TV4.

2. Переведення лінії W5 з другої на першу систему збірних шин без шиноз'єднувального вимикача з перервою живлення по лінії W5.

Вихідне положення:

- трансформатор T2 ввімкнений на першу систему збірних шин (кола живлення його захисту ввімкнені на трансформатор напруги TV4);
- лінія W5 ввімкнена на другу систему шин;
- кола живлення його захисту ввімкнені на трансформатор напруги TV3;
- шиноз'єднувальний вимикач знаходиться в ремонті.

Блок-схема VI

1. Виведення в ремонт другої системи збірних шин 35 кВ.

Вихідне положення:

- всі приєднання ввімкнені на першу систему збірних шин;
- шиноз'єднувальний вимикач і його роз'єднувачі ввімкнені;
- трансформатор напруги TV5 підключений до другої системи збірних шин.

2. Введення в роботу другої системи збірних шин 35 кВ.

Вихідне положення:

- друга система збірних шин в ремонті;
- заземлювальний ніж ввімкнений;
- шиноз'єднувальний роз'єднувач вимкнений.

Блок-схема VII

1. Виведення лінії W6 в ремонт.

Вихідне положення:

- лінія W6 знаходиться в роботі та шинним роз'єднувачем ввімкнена на першу систему збірних шин.

2. Ввімкнення лінії W6 на першу систему збірних шин.

Вихідне положення:

- лінія W6 знаходиться в ремонті (її вимикач та роз'єднувач вимкнені);
- ніж заземлення ввімкнений.

Блок-схема VIII

1. Виведення трансформатора ТЗ в ремонт при збереженні електричного живлення споживачів 6 кВ.

Вихідне положення:

- трансформатор ТЗ в роботі;
- секційний вимикач вимкнений.

2. Введення трансформатора ТЗ в роботу після ремонту та ввімкнення його на напругу 110 кВ на першу систему збірних шин, та на шини 6 кВ.

Вихідне положення:

- трансформатор ТЗ знаходиться в ремонті;
- ножі заземлення ввімкнені;
- споживачі 6 кВ отримують живлення через секційний вимикач.

8.4.2 Порядок виконання роботи на стенді:

- а) тумблером виставляється вихідне положення схеми, в якій будуть виконуватись оперативні перемикання;
- б) перемикач схем поставити на номер вказаної схеми;
- в) за допомогою кнопки «пуск», встановленої в правій частині столу, виконати ввімкнення стенда;
- г) виконати вищенаведені завдання.

УВАГА! ПРИ НЕПРАВИЛЬНОМУ ВИКОНАННІ ПОДАЄТЬСЯ ЗВУКОВИЙ СИГНАЛ І СПРАЦЬОВУЄ ЛІЧИЛЬНИК НЕПРАВИЛЬНИХ ДІЙ.

Завдання вважається виконаним, якщо при виконанні роботи з перемикачів звуковий сигнал відсутній.

8.4.3 За дорученням викладача лабораторна робота може виконуватись з використанням бланка перемикачів, як це виконується при оперативних перемиканнях в реальних умовах роботи ЕС чи підстанції. В цьому випадку бригаді студентів видаються «бланки перемикачів».

Викладач виконує роль диспетчера енергосистеми чи підприємства мережі, видає розпорядження бригадиру, який виконує роль старшого чергового, про виконання перемикачів. Із числа членів бригади назначається студент, що контролює перемикання в системі, а також студент, який виконує перемикання.

Студент, який отримав вказівку щодо виконання перемикачів, зобов'язаний повторити її та отримати підтвердження про те, що розпорядження прийнято правильно. Після запису завдання в оперативному журналі студент, який отримав розпорядження, складає бланк перемикачів, в якому послідовно записує всі дії з комутаційними апаратами, пристроями РЗ, а також дії з перевірки відсутності напруги та встановлення заземлення. Після перевірки за оперативними схемами бланк перемикачів підписується особою, що контролює перемикання, а також

особою, яка виконує перемикання в схемі. Слід пам'ятати, що бланк перемикань являє собою документ оперативної звітності і вносити в нього виправлення заборонено.

Під час виконання перемикань чергові, які мають при собі заповнений бланк перемикань, уважно перевіряють згідно з записами назви приєднань та назви обладнання, за допомогою яких необхідно здійснювати перемикання та впевнитись у правильності вибраного обладнання. Особа, яка контролює та керує перемиканнями, зачитує з бланка перелік перемикань, які потрібно виконати, а особа, яка виконує перемикання, повторює їхній перелік, та, отримавши дозвіл особи, що контролює процес, виконує їх. По мірі виконання відповідної дії в бланку проставляються відповідні помітки, щоб уникнути можливості пропуску будь-якої дії. Забороняється змінювати порядок виконання перемикань, зазначених в бланку.

8.5 Обробка результатів та оформлення звіту

8.5.1 У звіті лабораторної роботи навести технічні дані електричного обладнання, яке застосовується в роботі.

8.5.2 Навести схеми електричних з'єднань підстанції.

8.5.3 Навести завдання з виконання перемикань.

8.5.4 Навести порядок оперативних перемикань за кожною схемою з відповідними поясненнями.

8.5.5 Навести заповнені бланки перемикань.

8.5.6 Зробити висновки за результатами виконаної роботи, оформити звіт.

8.5.7 Навести список використаної літератури.

8.6 Питання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Поясніть призначення, переваги та недоліки РУ з однією системою збірних шин.

2. Поясніть призначення, переваги та недоліки РУ з двома робочими системами шин.

3. Який режим роботи під'єднань в схемі з двома робочими системами збірних шин вважається нормальним?

4. Назвіть призначення обхідної системи збірних шин.

5. Назвіть призначення секційного вимикача.

6. Назвіть призначення шиноз'єднувального вимикача.

7. Назвіть призначення обхідного вимикача.

8. В яких випадках роз'єднувачі можна використовувати як оперативні елементи?

9. Як оформляється розпорядження про виконання перемикань в РУ?

10. Назвіть призначення, зміст та оформлення бланка перемикань.

11. Поясніть порядок виконання перемикань за бланком перемикань.
12. Поясніть яким чином виконується виведення вимикача лінії в резерв чи ремонт без перерви в живленні споживачів, за наявності обхідної системи шин.
13. Як здійснюється введення вимикача лінії в роботу після його ремонту, без перерви в живленні споживачів, якщо до цього лінія була ввімкнена на обхідну систему шин?
14. Назвіть порядок переведення приєднань з однієї робочої системи шин на іншу.
15. Поясніть порядок виведення триобмоткового трансформатора в ремонт при наявності живлення з усіх трьох сторін.
16. Порядок введення триобмоткового трансформатора в роботу після виконання ремонтних робіт.
17. Як виконується виведення в ремонт лінії?
18. Як виконується переведення живлення лінії з однієї робочої системи шин на іншу під час ремонту шиноз'єднувального вимикача?
19. Поясніть порядок ввімкнення лінії в роботу на одну із робочих систем шин після виконання ремонту лінії.
20. Як виконується виведення двообмоткового трансформатора в ремонт, зі збереженням електричного живлення споживачів, від секціонованої системи шин нижчої напруги?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций / под ред. П. И. Устинова. – М. : Энергия, 1974. – 576 с.
2. Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций / под ред. Э. С. Мусаэяна. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.
3. Гайсаров Р. В. Режимы работы электрооборудования электрических станций и подстанций / Гайсаров Р. В. – Челябинск : Изд-во ЮурГУ, 2005. – 42 с.
4. Котеленец Н. Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин / Котеленец Н. Ф., Акимова Н. А., Антонов М. В. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 384 с.
5. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин – М. : Энергия, 1980. – 646 с.
6. Мусаэян Э. С. Наладка и испытание электрооборудования станций и подстанций / Мусаэян Э. С. – М. : Энергия, 1979. – 357 с.
7. Каганович Е. А. Испытания трансформаторов мощностью до 6300 кВ·А и напряжением до 35 кВ / Е. А. Каганович, И. М. Райхлин – М. : Энергия, 1980 – 312 с.
8. Сахновский Н. Л. Испытание и проверка электрического оборудования / Сахновский Н. Л. – М. : Энергия, 1975 – 104 с.
9. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин / Гемке Р. Г. – Л. : Энергоатомиздат, 1989 – 336 с.
10. Забокрицкий Е. И. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики / Забокрицкий Е. И., Холодовский Б. А., Митченко А. И. – К. : Наукова думка, 1985 – 702 с.
11. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / под ред. М. Г. Зименкова. – М. : Энергоатомиздат, 1983 – 480 с.
12. Кутин В. М. Переносное устройство для определения групп соединения обмоток трансформатора / В. М. Кутин, В. М. Лагутин, О. И. Кульматицкий // Промышленная энергетика. – 1983. – № 4. – С. 11–12.
13. Кутин В. М. Устройство для определения группы соединения обмоток трансформаторов (УКГ-3) / В. М. Кутин, В. М. Лагутин, О. И. Коваль // Электрические станции. – 1988. – № 4. – С. 76–79.
14. Филатов А. А. Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом / Филатов А. А. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
15. Филатов А. А. Фазировка электрического оборудования / Филатов А. А. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 72 с.
16. Микуцкий Г. В. Линейные тракты каналов высокочастотной связи по линиям электропередачи / Микуцкий Г. В., Шкарин Ю. П. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.

Додаток А

Перелік та норми прийнятно-здавальних випробувань електрообладнання

Електродвигуни змінного струму

1–8–15. Електродвигуни змінного струму напругою до 1000 В випробовуються за пп. 2, 4 б), 10, 11 нижченаведеного переліку норм.

Електродвигуни змінного струму напругою вище 1000 В випробовуються за пп. 1–4, 7, 9–11 нижченаведеного переліку норм.

За пп. 5, 6, 8 нижченаведеного переліку норм випробовуються електродвигуни, що надходять для монтажу в розібраному вигляді.

Перелік норм випробувань електродвигунів змінного струму

1. Визначення можливості ввімкнення електродвигунів напругою вище 1000 В без сушіння слід виконувати у відповідності з чинною «Інструкцією з визначення можливості ввімкнення обертових електричних машин змінного струму без сушіння» (СН241–63).

2. Вимірювання опору ізоляції. Найменші допустимі величини опору ізоляції електродвигунів напругою вище 1000 В повинні відповідати вимогам інструкції, що вказана в п.1. В інших випадках опір ізоляції повинен відповідати нормам, які наведені в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Допустимі значення опору ізоляції електродвигунів змінного струму

Об'єкт, що випробовується	Напруга мегомметра, В	Норма
Обмотка статора електродвигуна напругою до 1000 В	1000	Величина опору ізоляції повинна бути не менше 0,5 МОм при температурі +10–30 °С
Обмотка ротора синхронних електродвигунів та електродвигунів з фазним ротором	500	Величина опору ізоляції повинна бути не менша 0,2 МОм при температурі +10–30 °С. Допускається введення в експлуатацію неявнополюсних роторів, що мають опір ізоляції не нижче 2000 Ом при +75 °С або 2000 Ом при +20 °С
Термодетектори	250	Величина опору ізоляції не нормується
Підшипники синхронних електродвигунів напругою вище 1000 В	1000	Величина опору ізоляції не нормується. Вимірювання проводяться відносно фундаментної плити при повністю зібраних маслопроводах

3. Випробування підвищенням промислової частоти проводяться на повністю зібраному електродвигуні. Випробування обмотки статора виконуються для кожної фази окремо відносно корпусу з двома іншими фазами, що з'єднані з корпусом. У двигунів, які не мають виводів для кожної фази окремо, допускається виконувати випробування всієї обмотки відносно корпусу.

Величини випробувальних напруг наведені в таблиці А.2. Тривалість прикладання нормованої випробувальної напруги 1 хв.

Таблиця А.2 – Величини випробувальної напруги промислової частоти для електродвигунів змінного струму

Об'єкт, що випробовується	Характеристика електродвигуна	Випробувальна напруга, В
Обмотка статора	Електродвигун потужністю до 1000 кВт на номінальну напругу вище 1000 В	$1,6U_{\text{ном}} + 800$
	Електродвигун потужністю вище 1000 кВт на номінальну напругу до 3300 В	$1,6U_{\text{ном}} + 800$
	Електродвигун потужністю вище 1000 кВт на номінальну напругу від 3300 до 6600 В	$2U_{\text{ном}}$
	Електродвигун потужністю вище 1000 кВт на номінальну напругу вище 6600 В	$1,6U_{\text{ном}} + 2400$
Обмотка ротора синхронних електродвигунів		$8U_{\text{ном}}$ системи збудження, але не менше 1200 В
Обмотка ротора електродвигунів з фазним ротором		1000 В
Реостати і пускорегулювальні опори		1000 В
Опір гасіння поля синхронних електродвигунів		2000 В

4. Вимірювання опору постійному струму:

а) *обмоток статора і ротора* – виконується при потужності електродвигунів 300 кВт і вище.

Виміряні величини опорів обмоток різних фаз повинні відрізнятися одна від одної або від заводських даних не більше ніж на 2%;

б) *реостатів і пускорегулювальних опорів* – вимірюється загальний опір і перевіряється цілісність відпайок. Величина опору повинна відрізнитись від паспортних даних не більше ніж на 10%.

5. Вимірювання зазорів між сталлю ротора і статора. Величини повітряних зазорів у діаметрально протилежних точках або точках, що зміщені відносно осі ротора на 90° , повинні відрізнитися не більше ніж на 10% від середньої величини.

6. Вимірювання зазорів в підшипниках ковзання. Величини зазорів наведені в таблиці А.3.

Таблиця А.3 – Граничні величини зазорів в підшипниках ковзання електродвигуна

Номинальний діаметр, мм	Зазор, мм, при частоті обертання, хв^{-1}		
	менше 1000	1000–1500	більше 1500
18–30	0,040–0,093	0,060–0,130	0,140–0,280
30–50	0,050–0,112	0,075–0,160	0,170–0,340
50–80	0,065–0,135	0,095–0,195	0,200–0,400
80–120	0,080–0,160	0,120–0,235	0,230–0,460
120–180	0,100–0,195	0,150–0,285	0,260–0,580
180–260	0,120–0,225	0,180–0,300	0,300–0,600
260–360	0,140–0,250	0,210–0,380	0,340–0,680
360–500	0,170–0,305	0,250–0,440	0,380–0,760

7. Вимірювання вібрації підшипників електродвигуна. Гранична величина вібрації, виміряна на кожному підшипнику, повинна бути не більшою величин, які наведені в таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Гранична величина вібрації підшипників електродвигуна

Синхронна частота обертання, хв^{-1}	амплітуда вібрації підшипника, мкм	750 і нижче			
		3000	1500	1000	750
Допустима		50	100	130	160

8. Вимірювання розбігу ротора. Виконується для електродвигунів, які мають підшипники ковзання.

9. Випробування випроохолоджувача гідравлічним тиском. Тривалість випробувань – 10 хв. Виконується надлишковим гідравлічним тиском 0,2–0,25 МПа (2–2,5 $\text{кг}/\text{см}^2$). При цьому не повинно спостерігатися пониження тиску або витoku.

10. Перевірка роботи електродвигуна на ХХ або з ненавантаженим механізмом. Тривалість перевірки – не менше 1 год.

11. Перевірка роботи електродвигуна під навантаженням. Виконується при потужності, яка споживається електродвигуном з мережі, що забезпечена технологічним обладнанням до моменту здачі в експлуатацію. При цьому для електродвигунів з регульованою швидкістю обертання визначаються межі регулювання.

Додаток Б
Форма наряда-допуска

Для робіт в електроустановках

Підприємство _____
Підрозділ _____

НАРЯД-ДОПУСК № _____

Керівнику робіт _____ який допускає _____
Виконавцю робіт _____ який спостерігає _____
З членами бригади _____
Доручається _____
Роботу почати: дата _____ час _____
Роботу закінчити: _____ час _____

Заходи з підготовки робочих місць

Найменування електроустановок, в яких необхідно провести вимкнення та встановити заземлення	Що повинно бути вимкнене, де заземлене
1	2

Окремі вказівки _____

Наряд видав: дата _____ час _____
Підпис _____ прізвище _____
Наряд продовжив до: дата _____ час _____
Підпис _____ прізвище _____

Дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск

Дозвіл на підготовку робочих місць та на допуск видав (посада, прізвище, підпис)	Дата, час	Підпис робітника, що отримав дозвіл на підготовку робочих місць та на допуск
1	2	3

Робочі місця підготовлені. Під напругою залишилися _____

Допускаючий _____ (_____)

(підпис)

Керівник (виконавець робіт чи спостерігач) _____

(підпис)

Щоденний допуск до роботи та її завершення

Бригада проінструктована та допущена на підготовлене робоче місце				Робота завершена, бригада виведена	
Найменування робочого місця	Дата, час	Підпис особи, яка допускає	Підпис виконавця робіт (особа, яка спостерігає)	Дата, час	Підпис виконавця робіт (спостерігаю- чого)
1	2	3	4	5	6

Робота повністю завершена, бригада виведена, заземлення, встановлені бригадою, зняті, повідомлено (кому) _____

(посада)

(прізвище)

Дата _____ час _____

Виконавець робіт (особа, яка спостерігає) _____

(підпис)

Керівник робіт _____

(підпис)

Навчальне видання

**Лагутін Валерій Михайлович
Остра Наталя Вікторівна
Нетребський Володимир Васильович**

**ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ**

Лабораторний практикум

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет підготовлено Н. Острою

Підписано до друку 09.10.2015 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 6,4.
Наклад 75 пр. Зам. № 2015-092.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.