

В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА СИСТЕМНА АВТОМАТИКА



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко

Релейний захист та системна автоматика

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2018

УДК 621.311(075)
К95

Рекомендовано до друку вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 25 червня 2015 р.)

Рецензенти:

П. Д. Лежнюк, д.т.н., професор

В. А. Матвійчук, д.т.н., професор

О. Д. Демов, к.т.н., доцент

А. І. Богоцький, нач. СРЗА ПАТ «Вінницяобленерго»

Кутін, В. М.

К95 Релейний захист та системна автоматика : лабораторний практикум / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 130 с.

Лабораторний практикум є методичним забезпеченням лабораторних робіт з дослідження параметрів як різних електромеханічних, напівпровідникових, так і мікропроцесорних реле REJ 515 та схем їх підключення до вимірювальних трансформаторів. Розглянуто струмовий ступеневий захист, струмовий направлений захист, диференціальний поперечний захист, струмові захисти триобмоткового силового трансформатора. Лабораторні роботи покликані навчити студентів збирати, налаштовувати, визначати уставки пристроїв: автоматичного повторного увімкнення ліній електропередач (ЛЕП), автоматичного введення резерву на двотрансформаторній підстанції, автоматичного частотного розвантаження (АЧР) і АПВ після АЧР (АПВЧ) та автоматичної синхронізації на прикладі ЛЕП з двостроннім живленням.

УДК 621.311(075)

Зміст

Список умовних позначень і скорочень	4
Вступ	5
Організація навчального процесу.....	7
1 Лабораторна робота № 1. Випробовування та визначення характеристик реле	8
2 Лабораторна робота № 2. Дослідження схем з'єднань трансформаторів струму та реле	19
3 Лабораторна робота № 3. Максимальний струмовий ступеневий захист ЛЕП з одностороннім живленням	25
4 Лабораторна робота № 4. Дослідження одноступеневого струмового направленої захисту.....	34
5 Лабораторна робота № 5. Поперечний диференціальний струмовий направлений захист ЛЕП	39
6 Лабораторна робота № 6. Захист силового триобмоткового трансформатора з одностороннім живленням	52
7 Лабораторна робота № 7. Трифазне автоматичне повторне увімкнення повітряної ЛЕП в радіальній мережі з одностороннім живленням	66
8 Лабораторна робота № 8. Автоматичне вмикання резерву на двотрансформаторній підстанції	76
9 Лабораторна робота № 9. Автоматичне частотне розвантаження в енергосистемі.....	86
10 Лабораторна робота № 10. Пристрій автоматичної точної синхронізації	96
11 Лабораторна робота № 11. Мікропроцесорний струмовий захист ЛЕП 6-35 кВ	116
Література.....	124
Додаток А. Призначення приладу ВАФ-85 та робота з ним.....	126
Додаток Б. Вимоги до звіту	128

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- ЛЕП – лінія електропередачі
- ФІЧ – фіксатор інтервалів часу
- РЗА – релейний захист та автоматика
- СЧХ – струмово-часова характеристика
- ЕЕС – електроенергетична система
- АПАХ – автоматика припинення асинхронного ходу
- МЗШО – механізм зміни швидкості обертів
 - G – електричний генератор
 - М – електричний мотор
 - Дв – електричний двигун
- SPA – Stromberg Protection Acquisition – Стромбергський протокол обміну даними між реле REJ515A і ПЕОМ (Стромберг – назва міста у Фінляндії, де виготовляють реле REJ515A) . Sender protocol address (SPA) – логічна адреса відправника
- SGB – Switching group for blocking – група перемикачів для введення в дію блокувань
- SGF – Switching group for function – група перемикачів для введення в дію додаткових функцій
- SGR – Switching group for relays – група перемикачів для введення в дію окремих реле
- ABB – Asea Brown Boveri
- ПРВВ – пристрій резервування відмов вимикача
 - СВ – струмова відсічка
 - VD – діод
- АВР – автоматичне введення резерву
 - СВ – струмова відсічка
- МСЗ – максимальний струмовий захист
- СВбВ – струмова відсічка без витримки часу
- СВзВЧ – струмова відсічка з витримкою часу
- ЕСС – електроенергетична система
- ARP – Address Resolution Protocol
- COM – communications port
 - в.о. – відносні одиниці
- ПУЕ – Правила улаштування електроустановок
- вит. – виток

ВСТУП

Одна з характерних особливостей сучасного науково-технічного прогресу – надзвичайне прискорення темпів приросту і оновлення знань. Розвиток людського суспільства, його культурний рівень безпосередньо пов'язані із збільшенням кількості споживаної енергії, дослідженням і обґрунтуванням нових, ефективніших її видів. Нинішній науково-технічний прогрес неможливий без використання якісно нового виду енергії, в першу чергу, електричної [18]. Вона широко застосовується в промисловості, міському і сільському господарстві, на транспорті. Тому роль інженера-електроенергетика в сучасному суспільстві надзвичайно вагома. Відомо, що економічність і надійність систем електропостачання багато в чому забезпечується засобами захисту і автоматики [2, 5, 6, 7, 18].

При експлуатації енергетичного устаткування і електричних мереж неминучі їх пошкодження і ненормальні режими [9].

В більшості випадків розвиток аварій може запобігти швидким відключенням пошкодженої ділянки електричної установки або мережі за допомогою спеціальних автоматичних пристроїв, які діють на відключення вимикачів отримали назву релейний захист [9, 12, 20].

Терміном реле позначається широка група автоматичних приладів і пристроїв, використовуваних в релейному захисті, автоматичній, телемеханіці, телеграфії, телефонії і інших галузях техніки [22, 23, 24].

Нині ми переживаємо справжню технічну революцію, пов'язану з приходом нового покоління пристроїв РЗА – мікроелектронної і мікропроцесорної техніки (зокрема українських виробників: РС-80, УЗА-10, «Діамант», УРЧ-3, МРЗС, Альтра та багатьох інших).

У наш час різко скоротився термін впровадження наукових ідей в практику і виробництво. Зараз мікропроцесорна елементна база стала основою сучасних пристроїв релейного захисту і автоматики електроенергетичних систем. Більшість фірм виробників устаткування РЗА припиняють випуск електромеханічних реле і пристроїв і переходять на цифрову елементну базу [14, 16].

Перехід на нову елементну базу не приводить до зміни принципів релейного захисту і електроавтоматики, а тільки розширює її функціональні можливості, спрощує експлуатацію і знижує її вартість. Саме з цих причин мікропроцесорні пристрої дуже швидко займають місце застарілих електромеханічних і мікроелектронних реле [1, 3, 6, 10, 13, 15, 16].

Основні характеристики мікропроцесорних захистів значно вищі, ніж у мікроелектронних, а тим паче електромеханічних. Так, потужність, споживана від вимірювальних трансформаторів струму і напруги, знаходиться на рівні 0,1–0,5 ВА, похибка – в межах 2÷5%, коефіцієнт повернення вимірювальних органів становить 0,96÷0,97 [17].

Світовими лідерами у виробництві пристроїв РЗА є європейські концерни ALSTOM, ABB і SIEMENS [18]. Загальною для них є тенденція все

більшого переходу на цифрову техніку. Цифрові захисти, які випускають перераховані фірми, мають високу вартість, яка, втім, окупається їх високими технічними характеристиками і багатофункціональністю. Мікропроцесорну апаратуру випускають і інші фірми: GE Multilin, SEL. Перехід на цифрові способи обробки інформації в пристроях РЗА не привів до появи яких-небудь нових принципів побудови захисту електроустановок, але істотно поліпшив експлуатаційні якості реле.

Сучасні цифрові пристрої РЗА інтегровані в рамках єдиного інформаційного комплексу функції релейного захисту, вимірювання, регулювання і управління електроустановкою. Такі пристрої в структурі автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) енергетичного об'єкту є крайовими пристроями збору інформації. У інтегрованих цифрових комплексах РЗА з'являється можливість переходу до нових нетрадиційних вимірювальних перетворювачів струму і напруги – на основі оптоелектронних датчиків, трансформаторів без феромагнітного осердя. Ці перетворювачі технологічні при виробництві, мають дуже високі метрологічні характеристики, але малу вихідну потужність і непридатні для роботи з традиційною апаратурою.

На основі мікропроцесорної елементної бази створено комплектні пристрої, що містять набір блоків, які виконують всі необхідні функції захисту, автоматики і управління одного з елементів системи виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії.

У лабораторному практикумі вивчаються особливості мікропроцесорного реле виробництва концерну АВВ. Цей концерн є одним із найвідоміших світових лідерів в галузі розробки, виробництва і впровадження пристроїв релейного захисту. Його історія починається з 1883 року, коли Людвік Фредхольм створює в Стокгольмі компанію Elektriska Aktiebolaget – виробника електричної освітлювальної апаратури і генераторів. Серед багатьох відомих на весь світ досягнень компанії АВВ належать такі: у 1893 році компанія ASEA створює першу трифазну систему передачі електричного струму в Швеції; у 1901 році компанія BBC будує першу парову турбіну в Європі; у 1939 році компанія BBC створює першу газову турбіну для виробництва електроенергії; у 1932 році компанія ASEA створює найбільший в світі трансформатор з повітряним охолодженням потужністю 2500 кВА; у 1943 році компанія BBC створює перший високошвидкісний повітряний вимикач на напругу 110 кВ; у 1942 році компанія ASEA створює перший в світі трансформатор потужністю 120 МВА, напругою 220 кВ для об'єкта Elverks Vartanstation в Стокгольмі; у 1953 році компанія BBC виконала першу передачу сигналу управління в диспетчерський центр електростанції на несучій частоті високовольтної лінії електропередач напругою 735 кВ; у 1965 році компанія BBC будує перший в світі КРП з ЕІ (комплектний розподільний пристрій з елегазовою ізоляцією) напругою 110 кВ, що дозволяє вимикачам струму безпечно працювати в умовах обмеженого простору; у 1971 році компанія BBC створює наймогутніший в

світі трансформатор потужністю 1300 МВА; у 2012 році АБВ успішно проектує і розробляє гібридний вимикач постійного струму для будівництва міжрегіональних мереж постійного струму (цей технологічний прорив вирішує технічну проблему, яка залишалася невирішеною протягом більше ста років і, можливо, вимикач АБВ став одним з головних «авторитетів» у «Війні струмів»). У 1988 році компанії ASEA і BBC об'єдналися для створення нової компанії з штаб-квартирою в Цюріху, Швейцарія. Доходи нової Групи компаній, що працює з 5 січня 1988 року, становили 17 млрд. доларів США, кількість співробітників по всьому світу – 160 000 чоловік.

Компанія АБВ, світовий лідер з технологій для енергетики та автоматизації, працює в Україні з 1992 року.

Компанія АБВ в свій час стала однією з перших електроенергетичних компаній, котра зосередилась на виробництві продукції для підвищення енергоефективності електромереж та промислових підприємств, обладнання та технологічних рішень для альтернативної енергетики.

Організація навчального процесу

Лабораторні роботи виконуються в лабораторії релейного захисту та протиаварійної автоматики електроенергетичних систем. Група ділиться на дві підгрупи. У підгрупі завдання виконуються кожним студентом індивідуально або у складі бригади, яка складається не менше ніж з двох студентів.

Виконанню роботи передують самостійна теоретична та практична підготовка студента. Під час самостійної підготовки студент повинен виконати всі завдання, які наведені в лабораторному практикумі.

Тому на лабораторне заняття студент приходить підготовленим, з заготовкою звіту та незаповненими протоколами майбутніх випробовувань.

Виконанню лабораторної роботи передують вхідний контроль теоретичних знань та практичних навичок, набутих студентом під час самостійної підготовки. Незадовільний рівень самостійної підготовки унеможливує виконання лабораторної роботи в повному обсязі та якісне засвоєння матеріалу у короткий термін аудиторного заняття.

Аудиторні лабораторні роботи виконуються відповідно до варіантів, які призначає викладач.

Після закінчення лабораторної роботи заповнені протоколи випробовувань потрібно узгодити з викладачем.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИПРОБУВАННЯ ТА ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕ

1.1 Мета роботи

Метою роботи є: ознайомлення з конструкцією та характеристиками електромагнітних, індукційних та напівпровідникових реле, які використовуються в пристроях релейного захисту, шляхом експериментальних досліджень основних параметрів реле та їх характеристик.

1.2 Підготовка до лабораторної роботи

1.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.

3. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації / Гобрей Р. М., Рубаненко О. Є, Талочерья В. Л. – Київ : Науково-технічний учбово-консультаційний центр Ас-ЕлЕнерго, 2008. – 528 с.

1.2.2 Підготуйтеся відповідати на запитання в п. 1.9.

1.2.3 Підготуйте заготовку звіту, в якій наведіть програму виконання робіт в лабораторії, схеми для визначення характеристик реле та таблиці для внесення в них результатів випробувань реле.

1.3 Завдання до лабораторної роботи №1

1.3.1 Ознайомтеся зі стендом: з джерелом живлення, з апаратурою регулювання, з електровимірювальними приладами та з дослідними реле, вивчити схему стенда (рис. 1.1).

1.3.2 Запишіть технічні характеристики реле, вивчити їх конструкцію та принцип дії.

1.3.3 Випробування реле напруги типу РН-54:

а) визначте напругу спрацьовування $U_{спр}$;
б) визначте напругу повернення $U_{нов}$;
в) визначте коефіцієнт повернення реле $k_{нов}$;
г) визначте потужність, яку споживає реле, при мінімальній та максимальній напругах спрацьовування та повернення $P_{спр.мін}$ та $P_{нов.макс}$;
д) виміряйте час спрацьовування реле $t_{спр}$ при різних напругах і уставках.

1.3.4 Випробування напівпровідникового реле струму РТЗ-50:

а) визначте струм спрацьовування $I_{спр}$ реле;
б) визначте струм повернення $I_{нов}$ реле;

в) визначте коефіцієнт повернення $k_{нов}$ реле;
г) виміряйте час спрацьовування реле $t_{спр}$ при різних струмах та уставках.

1.3.5 Випробування індукційного реле струму типу РТ-81/1:

- а) визначте струм спрацьовування $I_{спр}$ реле;
б) визначте струм повернення $I_{нов}$ реле;
в) визначте коефіцієнт повернення $k_{нов}$ реле;
г) виміряйте час спрацьовування реле $t_{спр}$ при різних захисних характеристиках, струмах та уставках;
д) визначте кратності струмів спрацьовування реле для вибраних уставок за шкалою струмів;
е) порівняйте кратності струмів спрацьовування струмової відсічки, нанесені на регульовальному гвинті відсічки з реальними та визначте відносну похибку;
ж) побудуйте струмо-часові характеристики (СЧХ) реле $t=f(I_p/I_{спр})$ при заданих уставках за шкалою струмів та за шкалою часу;
к) визначте відносну похибку в часі спрацьовування реле при заданому значенні струму в реле.

1.3.6 Випробування напівпровідникового реле часу типу ВЛ-27 при номінальній напрузі:

- а) виміряйте час спрацьовування реле для заданих уставок;
б) визначте відносну похибку спрацьовування реле;
в) визначте потужність, яку споживає реле до спрацьовування $P_{до\ спр}$;
г) визначте потужність, яку споживає реле після спрацьовування $P_{після\ спр}$.

1.3.7 Складіть звіт про виконану роботу.

1.4 Опис лабораторного стенда

На стенді (рис. 1.1) розташовано клеми джерел живлення, пускову та вимірювальну апаратуру і досліджувані реле: реле напруги типу РН-54 (KV), напівпровідникові реле струму типу РТЗ-50 (КА1), індукційні реле струму типу РТ-81/1 (КА2) та напівпровідникові реле часу типу ВЛ-27 (КТ).

Напруга на стенд подається від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц. Для отримання регульованої напруги від 0 до 220 В змінного струму використано лабораторний автотрансформатор (ЛАТР), позначений TV1.

Його первинна обмотка приєднана до мережі 220 В, 50 Гц через вимикач SA1, контактор К та вимикач SA2 (рис. 1.1).

Якщо світиться лампа HL1, то це означає, що напругу подано на лабораторний стенд, а якщо світиться лампа HLR2, то це означає, що напругу подано на ЛАТР TV1.

Напруга на вихідних клеммах ХТ25-ХТ26 ЛАТРа регулюється регулятором, шток якого виведений на стенд.

Для забезпечення потрібної сили струму, який подається на дослідні реле струму, додатково до TV1 застосовується трансформатор TV2. До вторинної обмотки TV2 послідовно приєднані чотири трансформатори струму (ТА1, ТА2, ТА3, ТА4) та перемикач SAC3 з амперметром PA2 для вимірювань струму при дослідженнях реле РТ-81/1.

Обмотка цього реле приєднується до виводів ХТ21-ХТ22, а виводи ХТ19 та ХТ20 з'єднуються між собою (рис. 1.6 та 1.7).

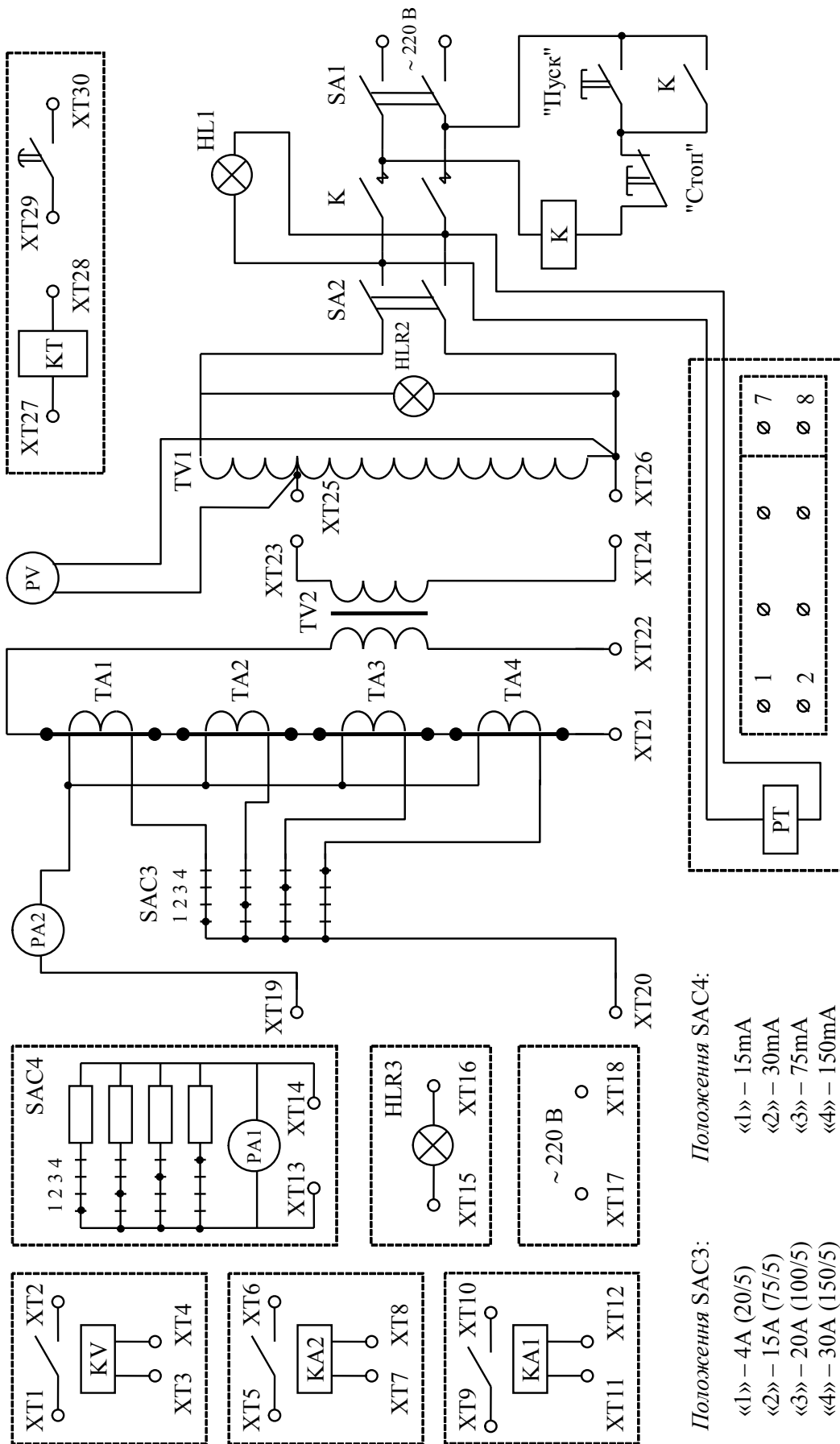
Під час досліджень напівпровідникового реле струму типу РТ3-50, яке має струм уставки $I_{уст} = 20$ мА, виводи ХТ21 та ХТ22 з'єднуються між собою, а обмотка реле КА1 (клеми ХТ11 та ХТ12) приєднується послідовно з перемикачем SAC4 та міліамперметром PA1 (клеми ХТ13 та ХТ14) до виводів ХТ19 та ХТ20. При цьому амперметр PA2 залишається ввімкненим в загальне коло, але він практично не реагує на струм через малу величину струму (рис. 1.4 та 1.5). Для спрощення схем на рис. 1.4, 1.5 та 1.8 показано один резистор перемикача SAC4, а на рис. 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 – одне положення перемикача SAC3.

Для фіксації моментів спрацьовування реле РН-54, РТ3-50, РТ-81/1 контакти цих реле замикають коло лампи HLR3, що приєднана до клем ХТ17-ХТ18, на яких є напруга 220 В, 50 Гц (рис. 1.2, 1.4, 1.6).

Для вимірювання часу спрацьовування реле використовується електромеханічний секундомір, який вмонтований в прилад РТ «Фіксатор інтервалів часу ФІЧ». Контакти 7 – 8 ФІЧ приєднуються послідовно в коло катушки, а контакти 1 – 2 – в коло контактів дослідного реле, яке випробовується (див. рис. 1.3, 1.5, 1.7, 1.8).

Для вимірювання часу спрацьовування реле необхідно:

1. Увімкнути кнопку живлення РТ «мережа» на панелі ФІЧ, при цьому засвітиться зелена лампочка.
2. Встановити перемикачі «Вид вимірювання» РТ в положення: лівий – «3», правий – «відпускання».
3. Встановити в колі необхідні напруги або струм.
4. Перемикач «Вид вимірювання» перевести в положення: лівий – «1», правий – «спрацьовування».
5. Клавішею «скидання» на секундомірі встановити стрілку в положення «0».
6. Правий перемикач «Вид вимірювання» перевести в положення «відпускання».
7. Записати час спрацьовування реле (таблиця 1).
8. Лівий перемикач «Вид вимірювання» перевести в положення «3».
9. Повторити п. 3.
10. Правий перемикач «Вид вимірювання» перевести в положення «спрацьовування».
11. Записати час повернення реле.



Положения SAC3:

- «1» – 4А (20/5)
- «2» – 15А (75/5)
- «3» – 20А (100/5)
- «4» – 30А (150/5)

Положения SAC4:

- «1» – 15mA
- «2» – 30mA
- «3» – 75mA
- «4» – 150mA

Рисунок 1.1 – Схема стенда №1

1.5 Випробовування реле напруги типу РН-54

Реле напруги типу РН-54 часто виконує функції реле мінімальної напруги. За таких умов воно спрацьовує при зменшенні напруги. При номінальній напрузі U_n якір реле притягнутий, замикаючий контакт замкнений. Коли напруга зменшується, реле спрацьовує при напрузі U_{cnp} . Якір «відпускається». До цього часу замкнутий (нормально розімкнений) контакт реле розмикається. На схемі рис. 1.2 при напрузі, близькій до номінальної, контакт 1KV замкнений, лампа HLR3 світиться.

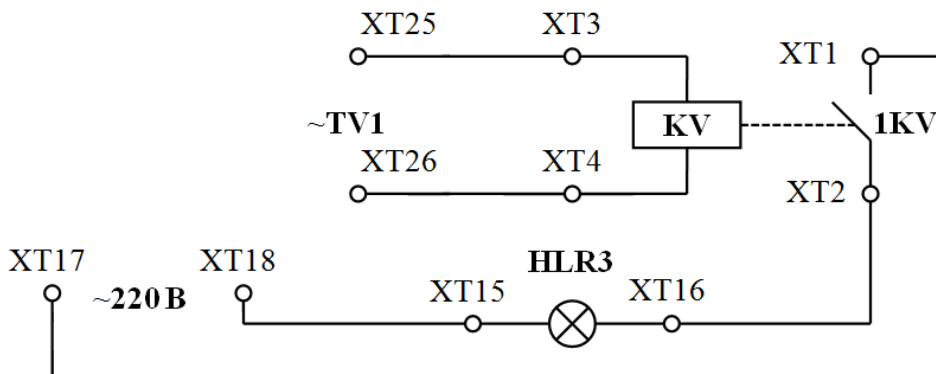


Рисунок 1.2 – Схема дослідження реле напруги РН-54

При напрузі $U_{cnp} < U_n$ контакт 1KV розмикається, лампа HLR3 перестає світити. При підвищенні напруги на обмотці реле до $U_{нов} > U_{cnp}$ якір реле притягується (при напрузі «повернення» ($U_{нов}$) реле мінімальної напруги повертається в початковий стан), контакт 1KV замикається і лампа HLR3 знову починає світити. Коефіцієнт повернення реле $k_{нов} > 1$.

Дослід проводиться при таких напругах уставок ($U_{уст}$) на шкалі реле: $U_{уст} = 160, 120$ та 100 В. $U_{уст}$, U_{cnp} , $U_{нов}$ записуються в табл. 1.1 і визначається коефіцієнт повернення $k_{нов} = U_{нов} / U_{cnp} > 1$.

Для визначення потужності $S = U \cdot I$, яку споживає реле, в колі котушки реле на рис. 1.2 потрібно послідовно з котушкою реле приєднати міліамперметр РА1 (контакти ХТ13 та ХТ14).

Таблиця 1.1 – Результати випробовувань реле РН-54 та РТЗ-50

№ досліджу	$U_{уст}$, В	U_{cnp} , В	$U_{нов}$, В	$k_{нов II}$	Примітка
	$I_{уст}$, А	I_{cnp} , А	$I_{нов}$, А	$k_{нов I}$	
...

Для вимірювання часу спрацьовування реле потрібно зібрати схему згідно з рис. 1.3. Виміряти час спрацьовування при $U_{уст} = 160$ та 80 В.

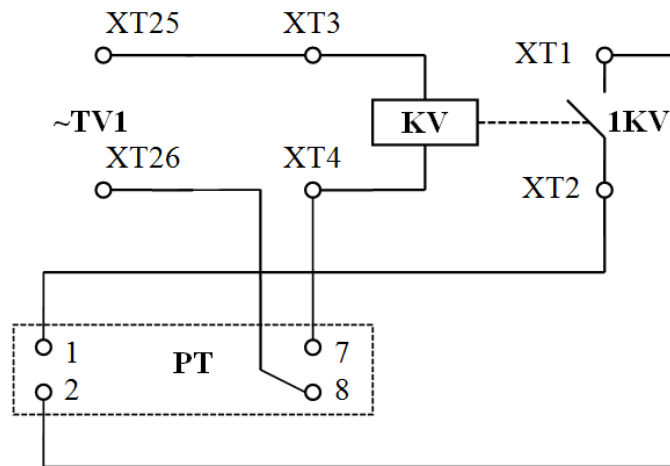


Рисунок 1.3 – Схема для вимірювання часу спрацьовування реле напруги РН-54

1.6 Випробовування напівпровідникового реле струму типу РТЗ-50

Струми спрацьовування $I_{спр}$ та повернення $I_{нов}$ реле визначаються за схемою, яка показана на рис. 1.4.

Якщо реле спрацьовує, то починає світити лампа HLR3, а якщо контакти реле повертаються в початковий стан (розімкнуті), то лампа HLR3 перестає світити. Струм, при якому лампа HLR3 починає світити, є струмом спрацьовування реле $I_{спр}$, а струм, при якому лампа HLR3 перестає світити, є струмом повернення реле $I_{нов}$.

Під час виконання лабораторної роботи потрібно визначити струми $I_{спр}$ і $I_{нов}$ та коефіцієнт повернення $k_{нов}$ ($k_{нов} = I_{нов} / I_{спр}$) при уставках спрацьовування реле $I_{уст} = 10, 16$ та 20 мА.

Результати спостережень та розрахунків потрібно записати в табл. 1.1.

Для перевірки роботи реле при його спрацьовуванні, спочатку за приладом РА1 встановлюємо потрібну силу струму в електричному колі катушки реле. Сила струму дорівнює уставці на шкалі реле. Наприклад, $I_{уст} = 14$ А (перемикач SAC4 в положенні «2»). Відключаємо джерело живлення вимикачем SA2, а потім знову вмикаємо SA2. Звертаємо увагу на те, що реле спрацьовує. Потім зменшуємо струм на $5 \div 10\%$ від попереднього до значення, при якому реле вимкнеться, а лампа HLR3 перестане світити.

Вимикаємо SA2, а потім знову вмикаємо SA2. Звертаємо увагу на те, що реле не спрацьовує. Дослід повторюємо сім разів. Результати спостережень записуємо в табл. 1.2.

Вимірювання часу спрацьовування реле виконується за схемою, яка показана на рис. 1.5 при уставках $I_{уст} = 10$ і 20 мА.

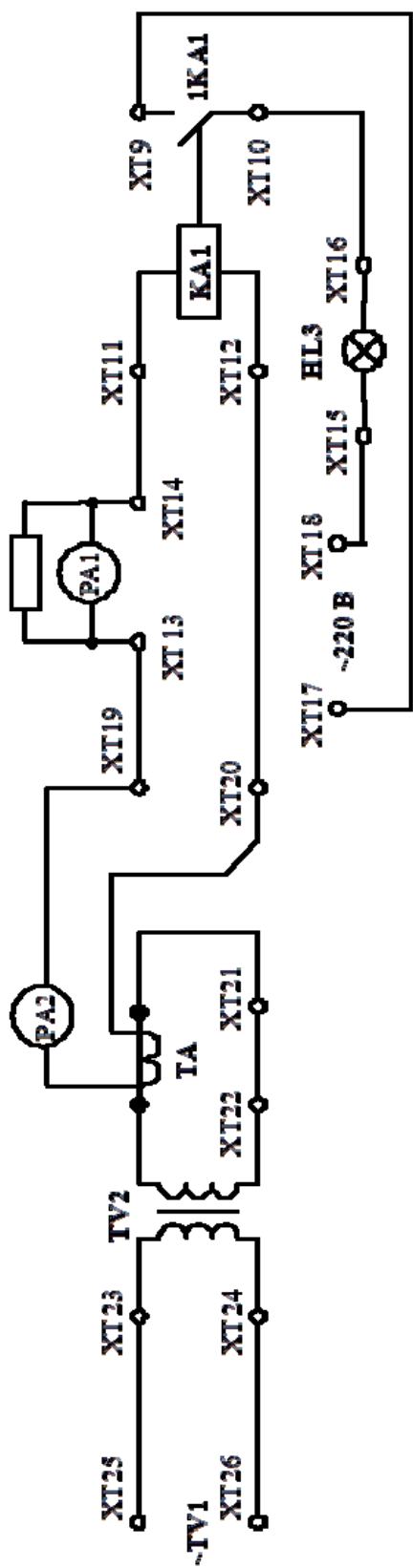


Рисунок 1.4 – Схема досліджень реле струму РТЗ-50

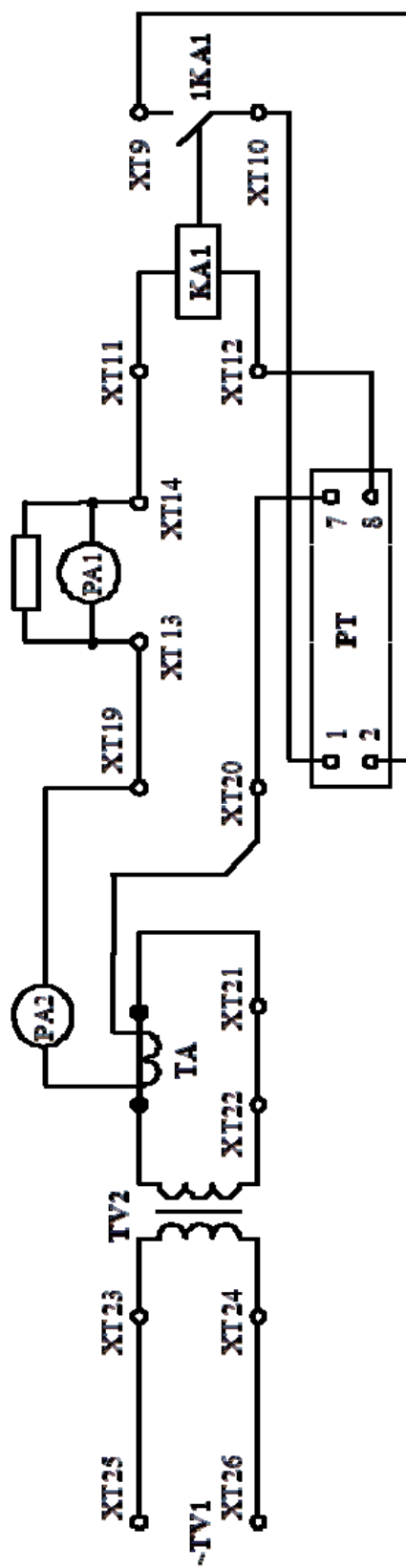


Рисунок 1.5 – Схема для визначення часу спрацювання реле струму РТЗ-50

Таблиця 1.2 – Результати випробовувань реле РТЗ-50

Вимірювана величина	Номер досліду						
	1	2	3	4	5	6	7
$I_{уст}$, А							
$I_{спр}$, А							
$I_{нов}$, А							
$k_{нов I}$							

1.7 Випробовування індукційного реле струму типу РТ-81/1

Струми спрацьовування $I_{спр}$ та повернення $I_{нов}$ визначаються за схемою, яка показана на рис. 1.6 для вибраних уставок за шкалою струмів, наприклад, при $I_{уст} = 4$ та 6 А.

Під струмом спрацьовування $I_{спр}$ індукційного реле струму розуміємо струм, при якому зубчастий сегмент, який «керує» роботою контактів реле, входить в зчеплення з черв'яком, розташованим на осі диска. Це визначається візуально при знятому кожусі реле. Струм повернення $I_{нов}$ – це струм, при якому розмикаються контакти реле. Струми $I_{спр}$, $I_{нов}$, $I_{уст}$ записуються в звіт. Далі розрахунковим шляхом визначається коефіцієнт повернення $k_{нов I}$. Отримані результати записуються в таблицю 1.3.

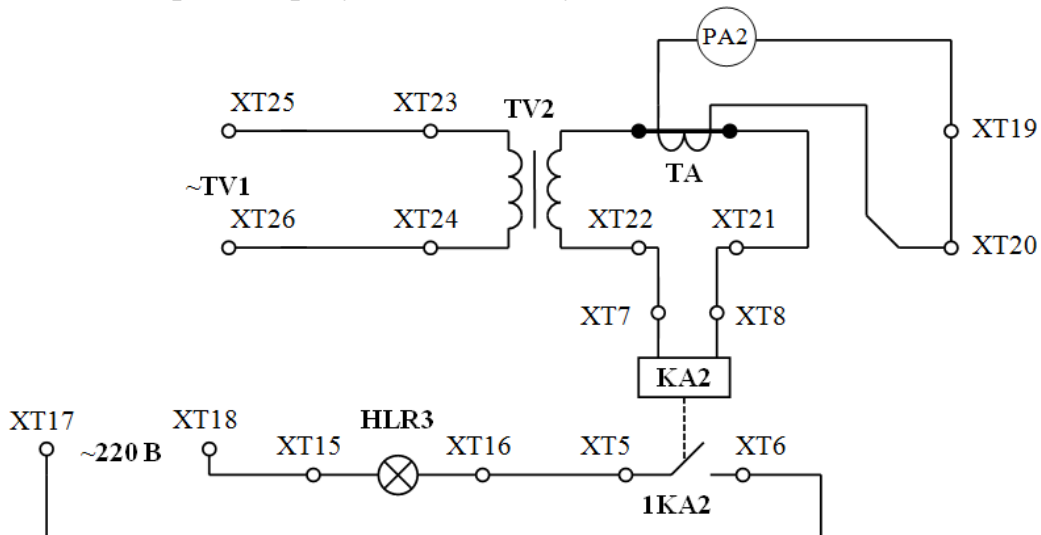


Рисунок 1.6 – Схема для визначення електричних характеристик реле РТ-81/1

Далі потрібно нарисувати струмо-часові характеристики (СЧХ) та показати їх на рисунку у звіті до лабораторної роботи.

Таблиця 1.3 – Параметри індукційного реле РТ-81/1 при уставці струму спрацьовування ____ А та часу спрацьовування ____ секунд (уставки по шкалі реле)

Вимірювана величина	Номер досліду				
	1	2	3	4	5
Струм, що проходить по обмотці реле, $I_{реле}$, А					
Кратність струму відносно заданого струму спрацьовування, $k_{реле} = I_p / I_{уст}$, ($k_{реле} = 1 \div 7$)					
Час спрацьовування, $t_{спр}$, с					

Випробовування реле з метою визначення відхилень часу спрацьовування реле від сподіваних значень та відхилень часу спрацьовування реле між собою під час послідовного повторення дослідів проводиться також за схемою рис. 1.7 при $I_p / I_{уст} = 2$ А та $I_{уст} = 4$ А. Досліди провести не менше п'яти разів.

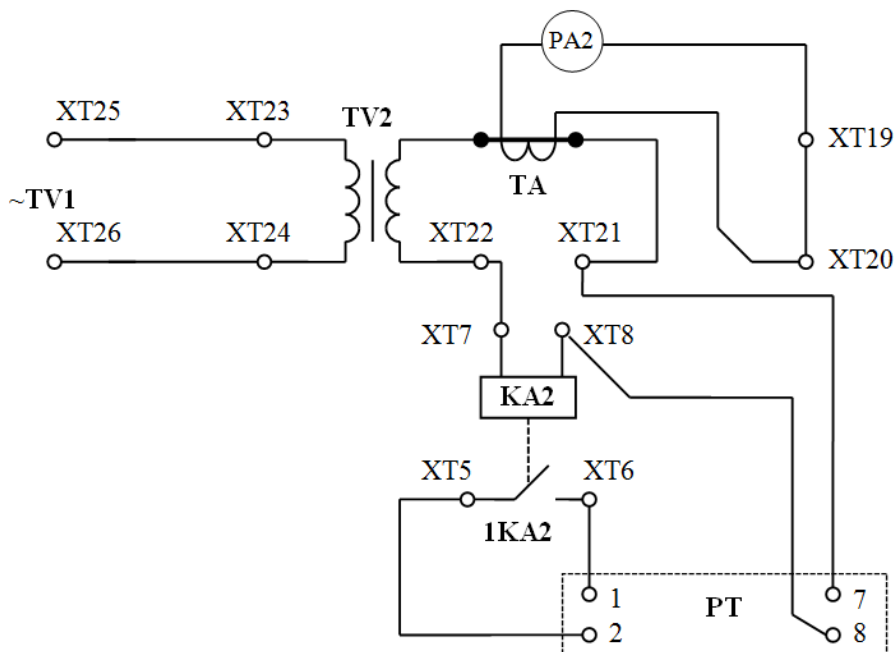


Рисунок 1.7 – Схема для визначення СЧХ реле РТ-81/1

1.8 Випробовування напівпровідникового реле часу типу ВЛ-27

Випробування проводиться за схемою, яка показана на рис. 1.8, для вибраних уставок часу, наприклад, $t = 2$ с та 10 с.

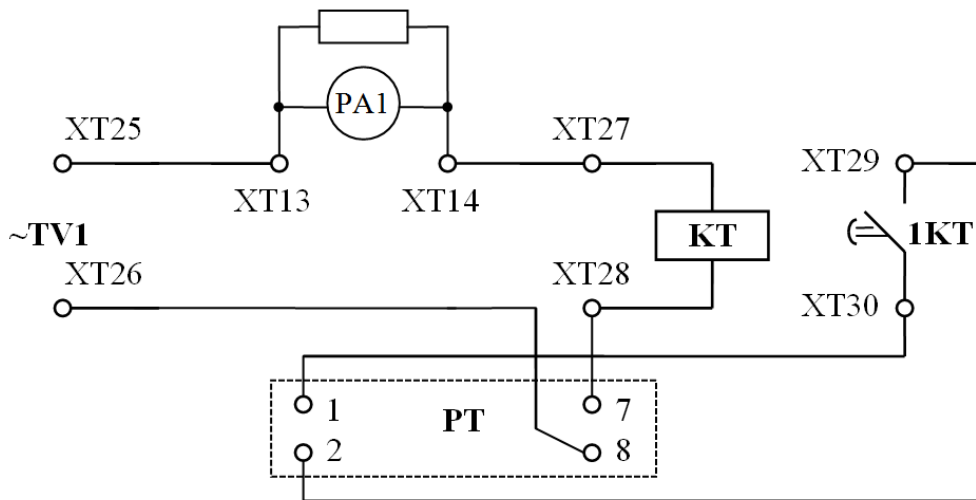


Рисунок 1.8 – Схема для визначення характеристик реле часу ВЛ-27

Для визначення потужності, яку потребує реле при номінальній напрузі, в схемі використовується міліамперметр PA1, а контакти 7–8 та 1–2 фіксатора ФІЧ від'єднуються від схеми: контакт XT28 з'єднується з XT26, а контакти XT29 і XT30 залишаються вільними.

Результати дослідів потрібно записати в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Вимірювання часу спрацьовування реле часу ВЛ-27

Уставка по шкалі, с	Номер досліду									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальна										
Мінімальна										
Задана										

1.9 Запитання для підготовки та захисту лабораторної роботи

1. Визначення та призначення реле.
2. Види реле, що реагують на зміну електричних параметрів.
3. Класифікація реле за принципом роботи та за призначенням.
4. Класифікація реле за способом вмикання обмоток та за способом впливу на вимикач.
5. Умовні позначення реле в схемах.

6. Що таке струми спрацьовування та повернення реле?
7. Що таке коефіцієнт повернення і які до нього вимоги ?
8. Принцип будови та роботи електромагнітних реле струму і напруги.
9. Особливості будови та роботи реле максимальної і мінімальної напруги.
10. Коефіцієнт повернення реле мінімальної напруги.
11. Схема реле мінімальної напруги та регулювання його уставок.
12. Переваги напівпровідникових реле.
13. Конструкція та принцип роботи напівпровідникового реле струму.
14. Регулювання уставок напівпровідникового реле струму.
15. Конструкція та принцип роботи індукційного реле струму типу РТ-81.
16. Робота індукційного елемента реле типу РТ-81.
17. Робота електромагнітної струмової відсічки елемента реле РТ-81.
18. Як регулюється струм спрацьовування індукційного реле струму?
19. Як визначається струм спрацьовування індукційного реле струму?
20. Вид часо-струмових характеристик індукційного реле струму.
21. Конструкція та принцип роботи напівпровідникового реле часу.
22. Конструкція та принцип роботи напівпровідникового реле струму РТЗ-50.
23. Конструкція та використання фіксатора інтервалів часу «ФІВ».

1.10 Вимоги до захисту лабораторної роботи

При захисті лабораторної роботи потрібно:

- знати умовні позначення всіх елементів схем;
- вміти пояснити призначення всіх елементів в електричних схемах випробувань;
- знати порядок проведення випробувань;
- вміти пояснити взаємодію всіх елементів схем;
- вміти пояснити отримані результати.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ З'ЄДНАНЬ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ ТА РЕЛЕ

2.1 Мета роботи

Метою роботи є: ознайомлення зі схемами з'єднань вторинних обмоток трансформаторів струму, що використовуються в пристроях релейного захисту та автоматики; експериментальне визначення розподілу струмів при різних видах пошкодження та побудова векторних діаграм струмів.

2.2 Підготовка до лабораторної роботи

2.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Чернобровов Н. В. Релейная защита. / Чернобровов Н. В. – М. : Энергия, 1971, – 680 с.;
3. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.

2.2.2 Дайте відповіді на такі запитання:

1. Які вам відомо типові схеми з'єднання трансформаторів струму та реле?
2. Який вигляд мають векторні діаграми при типових видах пошкоджень в первинних та вторинних колах типових схем з'єднання трансформаторів струму та реле [14, 20]?
3. Що таке коефіцієнт схеми та яке значення він має для типових схем з'єднання трансформаторів струму та реле?
4. Які ви знаєте особливості роботи типових схем з'єднання трансформаторів струму та реле?
5. Чому схема вмикання реле в неповний трикутник не встановлюється на лініях, що живлять підстанції з трансформаторами, які мають з'єднання обмоток «зірка – трикутник»?
6. Реле струмової відсічки призначені для захисту від міжфазних к.з. Вони увімкнені один раз за схемою рис. 2.1, а другий раз – за схемою рис.2.4. Чи змінюється зона захисту залежно від того, відбувається трифазне або двофазне к.з.?
7. Нарисуйте та поясніть векторні діаграми струмів схем з'єднання трансформаторів струму та реле при різних видах к.з.?
8. Які вам відомо переваги, недоліки та область застосування кожної схеми з'єднань трансформаторів струму та реле?
9. Для чого призначений нульовий провід в схемі повної зірки?
10. Як мають бути з'єднані контакти трьох реле в схемі рис. 2.1:
– у максимального струмового захисту;

– у захисту, що реагує тільки на трифазні к.з.?

11. Струм якої фази тече в нормальному режимі через реле в KA_0 схемі на рис.2.2 ?

12. Чому в мережах з ізольованою нейтраллю встановлюють два трансформатори струму (по одному в кожену крайню фазу), а в мережах з глухо заземленою нейтраллю – три трансформатори струму (по одному на кожену фазу)?

13. Підготуйте заготовку звіту, в якій наведіть програму виконання робіт в лабораторії, схеми для визначення характеристик реле, таблиці для внесення в них результатів випробувань реле та міліметрівку для побудови векторних діаграм струмів.

2.3 Короткі відомості про лабораторний стенд

На стенді змонтовано в трифазному виконанні схему первинних кіл трансформаторів струму типу ТА-20 з коефіцієнтами трансформації 5/5. Схема вторинних кіл складається в процесі виконання роботи. На стенді встановлено чотири реле струму типу РТ-40, які під'єднуються до вторинних кіл трансформаторів струму. Про спрацьовування реле сигналізують сигнальні лампи НЛ. Для імітації певного виду к.з. в схемі призначено тумблери К. При замкненні контактів реле засвітиться червона лампа, яка відповідає положенню реле.

Подача живлення на стенд здійснюється за допомогою магнітного пускача та пакетного вимикача, розташованих в правій частині стенда. За наявності на ньому живлення світиться біла лампочка. Вимірювання струмів та зняття їхніх векторних діаграм здійснюється за допомогою приладу ВАФ-85, що приєднується до клем, розташованих в правій частині стенда.

Правила користування приладом ВАФ-85.

В лабораторному стенді № 2 прилад ВАФ-85 приєднаний до трифазної мережі. Правильність послідовності фаз після під'єднання до мережі перевірте шляхом натискання кнопки зліва під диском. Диск має рухатись за годинниковою стрілкою. Встановіть перемикач роду робіт в положення «Величина». Перемикач зміни діапазону вимірювання струму – в положення 5 А (ампер). Підключіть струмовимірювальні кліщі до приладу ВАФ-85. Для цього позначки «*» на з'єднувачах шнура, на корпусі кліщів та на затискувачах приладу ВАФ-85 мають збігатися. Встановіть кліщі так, щоб вони охоплювали контрольований дріт. При цьому сподіваний напрямок потужності в проводі відносно розташування кліщів має бути таким, щоб з боку джерела живлення в підконтрольному проводі – на корпусі кліщів була позначка «*». Якщо по проводу протікає змінний електричний струм, то стрілка приладу вкаже на його величину. За необхідності підви-

щити чутливість при вимірюваннях струму переключіть відповідний перемикач в положення 1 А.

Переведіть перемикач роду робіт в положення **фаза**. За допомогою ручки в центрі диска покрутіть лімб в напрямку руху годинникової стрілки так, щоб при цьому стрілка приладу встановилася на нульову позначку, рухаючись зліва направо. Риска на планці приладу, яка розташована над диском, вкаже на кут фази. Знак цього кута залежить від напрямку його зростання відносно нуля. На корпусі приладу нарисовані два можливих напрямки – за годинниковою стрілкою та проти неї. Залежно від цього кут фази струму носитиме відповідно ємнісний (додатний відносно вектора напруги) та – індуктивний (від’ємний) характер.

Призначення та опис роботи ВАФ-85 дивіться в додатку А.

2.4 Алгоритм виконання роботи.

2.4.1 Ознайомтеся з апаратурою, яка встановлена на стенді.

2.4.2 Зберіть по черзі всі схеми, представлені на рис. 2.1-2.4. Для кожної схеми, імітуючи різні види к.з., провести виміри струмів та кутів зсуву за допомогою приладу ВАФ-85 для побудови векторних діаграм.

2.4.3 Побудуйте векторні діаграми струмів для схем, які досліджуються.

2.4.4 Для кожної схеми визначте коефіцієнт схеми k_{cx} , який відповідає визначеному виду к.з.

2.4.5 Вказівки до проведення роботи

2.4.6 Вторинні обмотки трансформаторів струму, що незадіяні в схемах, **о б о в ’ я з к о в о** мають бути замкнені накоротко провідником.

2.4.7 При визначенні параметрів захисту, наприклад, струму спрацьовування та чутливості) необхідно врахувати коефіцієнт схеми

$$k_{cx} = \frac{I_p}{I_2},$$

де I_p – струм, що проходить по обмотці реле в розглядуваному режимі;

I_2 – вторинний струм трансформатора струму в тому ж режимі;

$$I_2 = \frac{I_1}{n_c} ;$$

де I_1 – первинний струм;

n_c – коефіцієнт трансформації трансформатора струму ($n_c = 1$).

2.4.8 Вимірювання струмів та кутів між ними потрібно виконувати вольтамперфазометром типу ВАФ-85 (рис. 2.5).

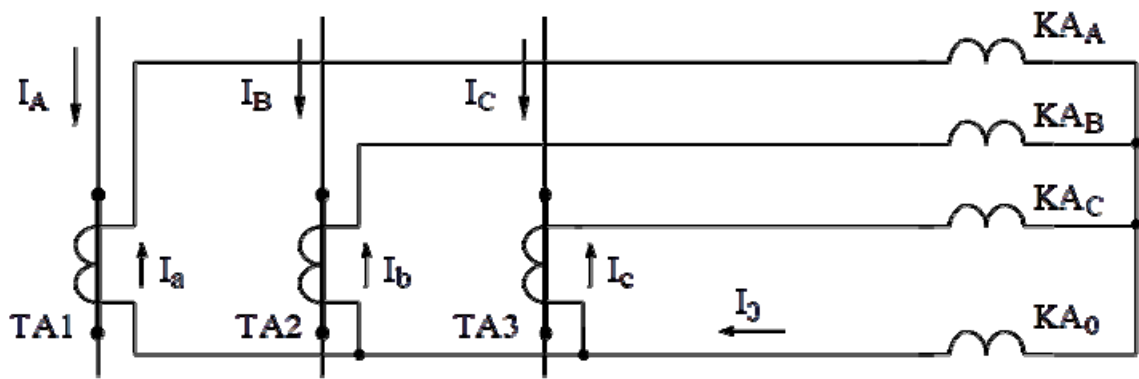


Рисунок 2.1 – Схема повної зірки

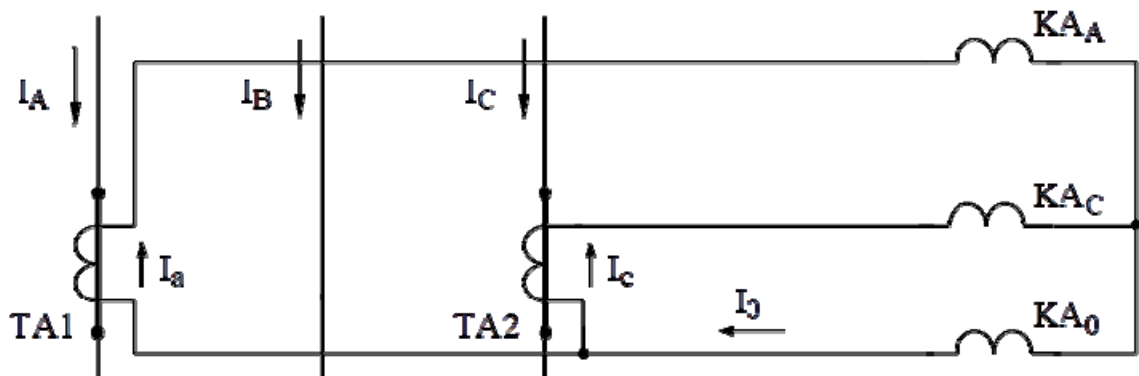


Рисунок 2.2 – Схема неповної зірки

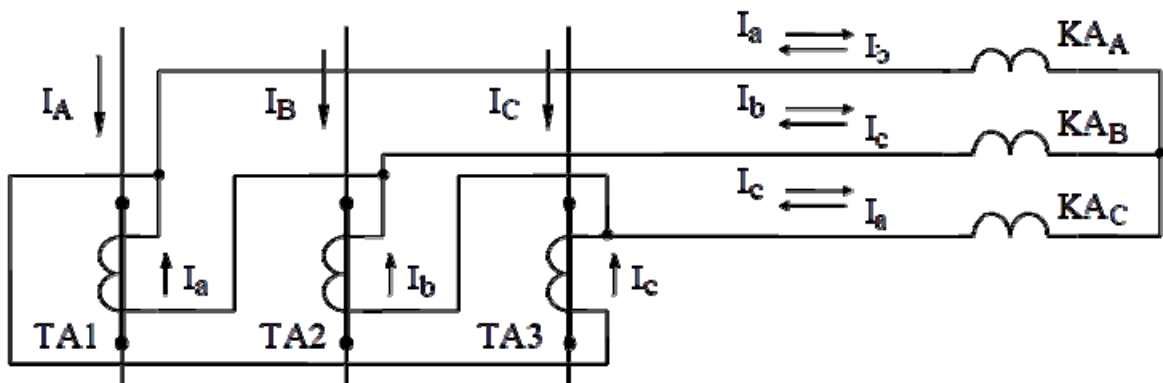


Рисунок 2.3 – Схема повного трикутника

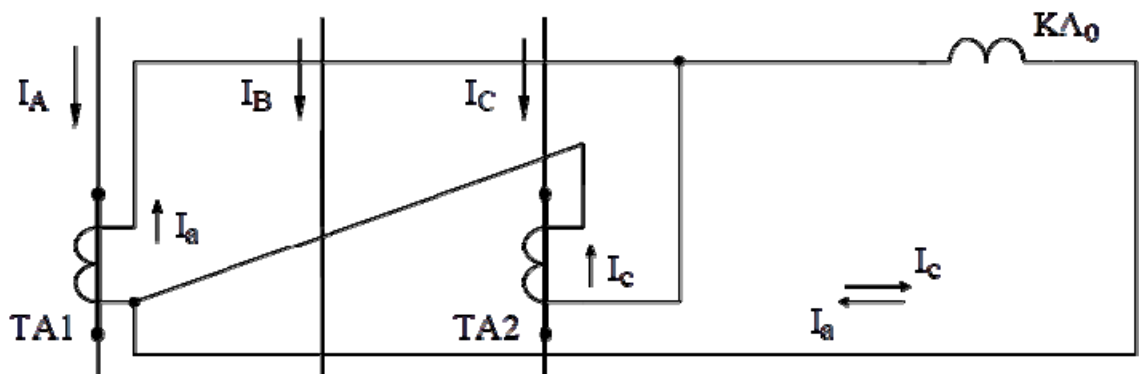


Рисунок 2.4 – Схема неповного трикутника

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань

Назва схеми	Вид к.з.	Струм вторинної обмотки трансформаторів струму (I_2) та його фаза (φ)				Струм через обмотку реле (I_p) та його фаза (φ)				k_{cx}
		$\frac{I_{A,A}}{\varphi_A}$	$\frac{I_{B,A}}{\varphi_B}$	$\frac{I_{C,A}}{\varphi_C}$	$\frac{I_{0,A}}{\varphi_0}$	$\frac{I_{A,A}}{\varphi_A}$	$\frac{I_{B,A}}{\varphi_B}$	$\frac{I_{C,A}}{\varphi_C}$	$\frac{I_{0,A}}{\varphi_0}$	
Повна зірка	$K^{(3)}$									
	$K^{(2)}$									
	$K^{(1,1)}$									
	$K^{(1)}$									
Неповна зірка	$K^{(3)}$									
	$K_{AB}^{(2)}$									
	$K_{AC}^{(2)}$									
	$K_{AC}^{(1,1)}$									
	$K_A^{(1)}$									
	$K_B^{(1)}$									
Повний трикутник	$K^{(3)}$									
	$K^{(2)}$									
	$K^{(1,1)}$									
	$K^{(1)}$									
Неповний трикутник	$K^{(3)}$									
	$K_{AB}^{(2)}$									
	$K_{AC}^{(2)}$									
	$K_{AB}^{(1,1)}$									
	$K_{AC}^{(1,1)}$									
	$K_A^{(1)}$									
	$K_B^{(1)}$									

В таблиці 2.1 наведено: $\kappa^{(3)}$ – позначення трифазного замикання, $\kappa^{(2)}$ – позначення двофазного замикання, $\kappa^{(1,1)}$ – позначення подвійного замикання на «землю», $\kappa^{(1)}$ – позначення однофазного замикання на «землю», $\kappa^{(3)}$ – позначення трифазного замикання, $\kappa_{AB}^{(2)}$ – позначення двофазного міжфазного замикання між фазами «А» і «В», $\kappa_{AC}^{(2)}$ – позначення двофазного міжфазного замикання між фазами «А» і «С», $\kappa_{AC}^{(1,1)}$ – позначення подвійного замикання на «землю», $\kappa_A^{(1)}$ – позначення однофазного замикання фази А, $\kappa_B^{(1)}$ – позначення однофазного замикання фази В.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд приладу «ВАФ-85-М1»

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ СТУПЕНЕВИЙ ЗАХИСТ ЛІНІЙ З ОДНОСТОРОННІМ ЖИВЛЕННЯМ

3.1 Мета роботи

Метою роботи є: вивчити структуру, різновидності та принцип дії максимального струмового ступеневого захисту; виконати вибір уставок спрацьовування окремих ступенів захисту, встановити їх на реле та перевірити надійність функціонування захисту.

3.2 Підготовка до лабораторної роботи

3.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / Андреев В. А. – М. : Высш. шк., 1991. – 496 с.;
3. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / В. П. Кідиба – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.

3.2.2 Дайте відповідь на такі питання та розв'яжіть задачу.

1. Поясніть принцип дії максимального струмового захисту та струмової відсічки. Як вибираються їхні параметри спрацьовування? Порівняйте їхні характеристики.
2. Що таке максимальний струмовий ступеневий захист, його різновидності, параметри спрацьовування окремих частин, зона дії окремої частини захисту та їх узгодження, межі використання.
3. Нарисуйте розгорнуту схему максимального струмового захисту на змінному оперативному струмі.
4. Нарисуйте схему двоступеневого максимального струмового захисту на постійному оперативному струмі в однолінійному виконанні. Запишіть алгоритм її роботи.
5. Опишіть роботу захисту, показаного на рис. 3.1.
6. Накресліть розгорнуту схему максимального струмового захисту з обмежено залежною витримкою часу з одним струмовим реле, ввімкненим на різницю струмів в двох фазах.
7. Перерахуйте особливості виконання струмових захистів від міжфазних к.з. на лініях з напругою 6–10 кВ та 35–110 кВ.
8. На рис. 2.7 показано схему ділянки радіальної кабельної мережі 6 кВ. Визначте уставки захисту 2, 3, 4 за такими початковими даними: захист 1, який діє на вимкнення вимикача Q1, – це захист навантаження, підключеного до шин підстанції IV 6 кВ. Він є швидкодійним захистом (відсічкою). Захисти 2, 3, 4 виконано за двофазною дворелейною схемою з реле типу РТ-85/1, в яких обмежено залежна від струму характеристика часу спрацьовування та потужний перемикальний контакт, здатний дешунтува-

ти кероване коло при струмах до 200 А. Час вимкнення встановлених на лініях вимикачів $t_{вим.в} = 0,1$ с. Значення максимальних робочих струмів кабелів $I_{p.max}$ і струмів короткого замикання на шинах, а також коефіцієнти трансформації встановлених трансформаторів струму вказано на рис. 3.2.

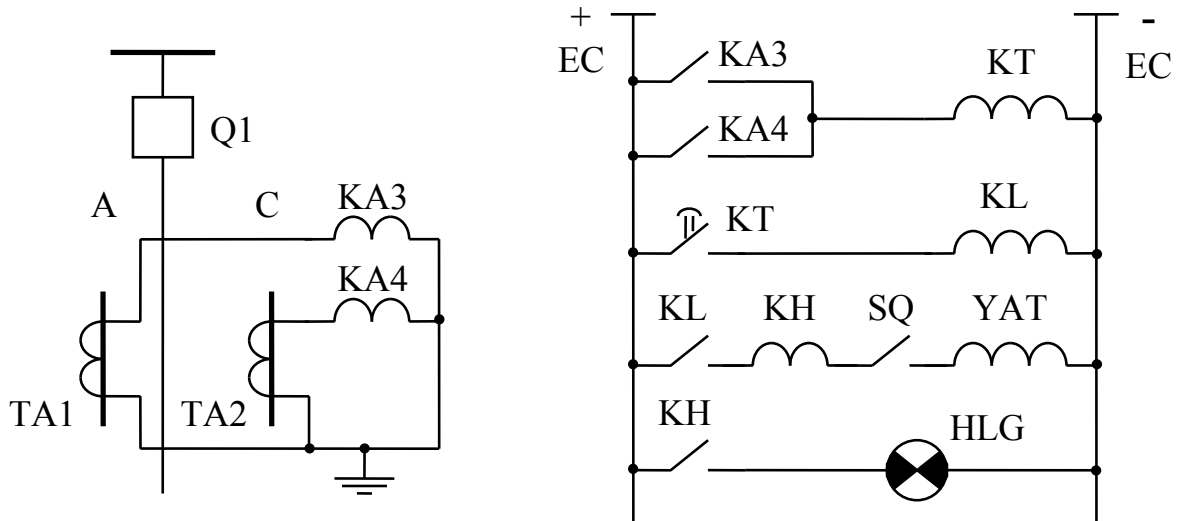


Рисунок 3.1 – Принципова схема захисту

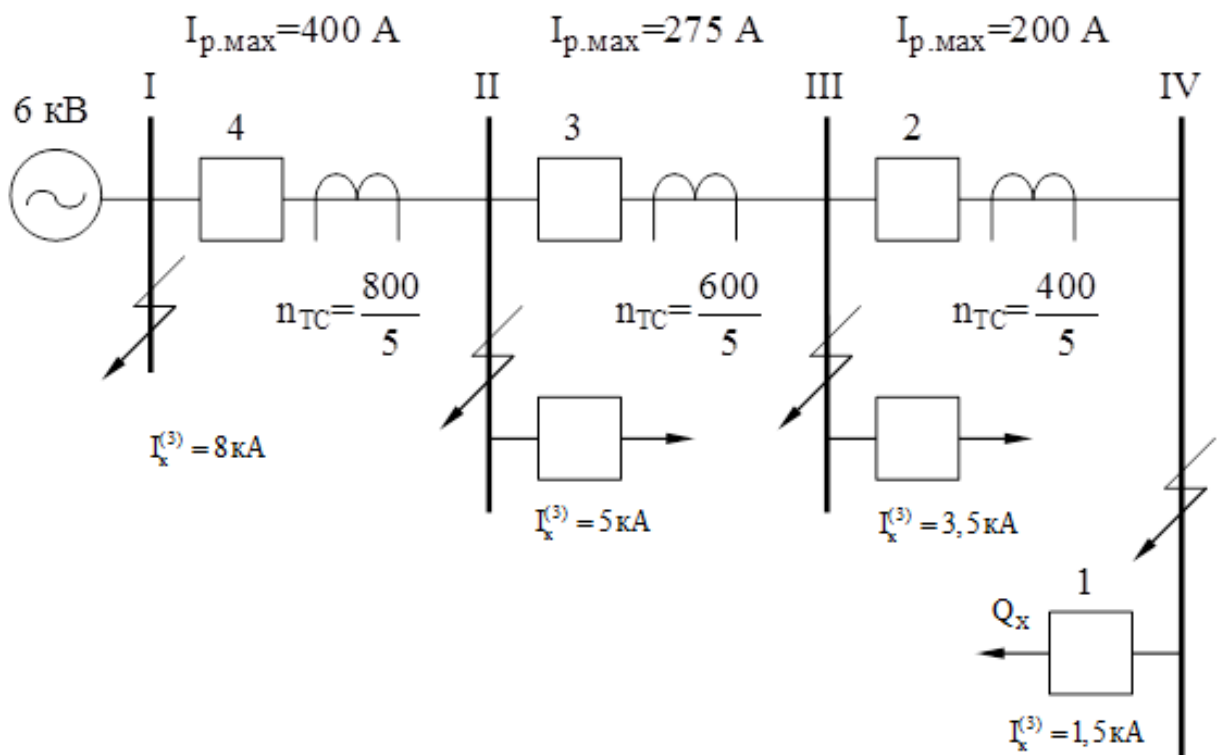


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема до задачі пункту 8

9. Методичні вказівки до розв'язування задачі п. 8.

Для мережі з напругою 6 ÷ 10 кВ та одностороннім живленням звичайно застосовують один ступінь захисту. Вибір уставки максимальних струмових захистів полягає у визначенні первинних та вторинних струмів спрацьовування, типів реле, мінімальних коефіцієнтів чутливості при металевих к.з. в кінці зон захисту, коли ці захисти діють як основні та резервні. Крім того, захисти двох та більше послідовно з'єднаних ділянок n та $n-1$ мають бути узгоджені за чутливістю та за часом. Вони мають діяти селективно: вимкнути місце пошкодження найближчими вимикачами.

Первинний струм спрацьовування максимального струмового захисту має бути відстроєний від струмів самозапуску повністю загальмованих електродвигунів. Крім того, захисти не мають спрацьовувати при максимально можливому струмі навантаження. Виходячи з цих умов, первинний струм спрацьовування захисту в симетричному нормальному режимі обчислюється за формулою

$$I_{c.z.} = \frac{k_n \cdot k_{c.z.} \cdot I_{pmax}}{k_{нов}} = k_{відл} \cdot I_{pmax},$$

де $k_n = 1,2 \div 1,3$;

$k_{нов}$, $k_{c.z.}$ – коефіцієнти відповідно надійності, повернення реле та самозапуску навантаження.

Для прикладу, який розглядається: $k_{відл} = 4$.

Струм спрацьовування реле (вторинний струм) обчислюється за формулою [14]:

$$I_{c.p} = \frac{k_{cx}^{(3)} \cdot I_{c.z.}}{n_{m.c.}},$$

де $k_{cx}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми (відношення струмів в реле до вторинного струму трансформаторів струму в симетричному нормальному режимі та при трифазному к.з.);

$n_{m.c.}$ – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

В цьому прикладі трансформатори струму з'єднані за схемою неповної зірки, тому $k_{cx}^{(3)} = 1$, а значення $n_{m.c.}$ вказано на рис. 3.2. Узгодження суміжних захистів $n-1$ та n за струмом спрацьовування відбувається за формулою

$$I_{c.z.n} = k_n \cdot I_{c.z.n-1},$$

де k_n – коефіцієнт надійності; $k_n = 1,3 \div 1,4$ для схеми серії реле РТ-80 та РТ-85, встановлених на лініях 6–10 кВ.

Ступінь селективності за часом обчислюють за формулою

$$\Delta t = \Delta t_{n-1} + \Delta t_n + t_{від.в} + t_{зан} + t_{i.в.},$$

де $\Delta t_{n-1}, \Delta t_n$ – похибки часу спрацьовування реле суміжних захистів;
 $\Delta t_n = \Delta t_{n-1} = 0,1 \div 0,15$ с для РТ-85/1;

$t_{зан} = 0,1$ с – час запасу;

$t_{i.в.} = 0,15$ с – час інерційного вибігу диска.

Час спрацьовування захисту в незалежній частині

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t,$$

де t_n, t_{n-1} – часи спрацьовування суміжних захистів, працюючих в незалежній частині характеристики.

Для реле РТ-85/1 часто беруть мінімально можливу уставку в незалежній частині характеристики $t_y = 0,5$ с. Коефіцієнт чутливості k_q захисту визначають за мінімальними струмами к.з. за формулою

$$k_q = \frac{I_p}{I_{c.p}} = \frac{k_{cx}^{(3)} \cdot I_{k \min} \cdot n_{m.c.}}{k_{cx}^{(3)} \cdot I_{c.з.} \cdot n_{m.c.}} = \frac{I_{k \min}}{I_{c.з.}}$$

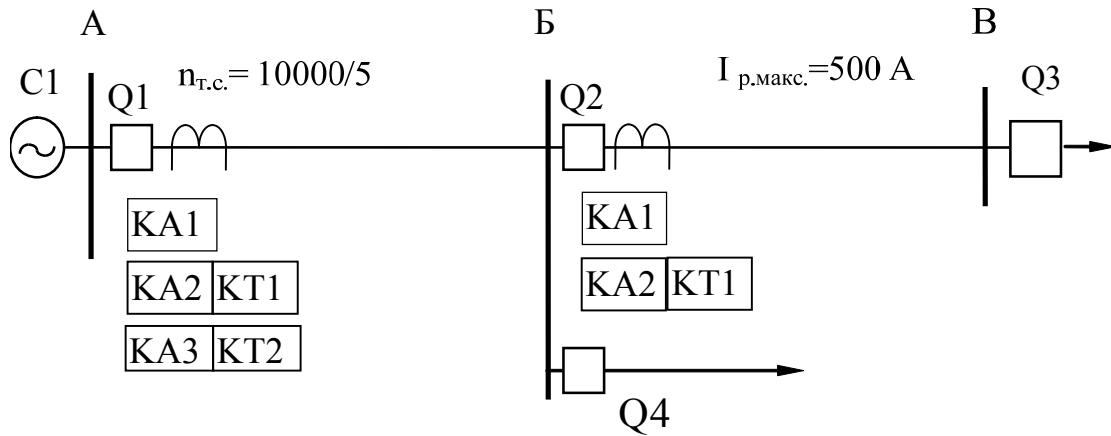
В цьому прикладі для основного захисту $k_q \geq 1,5$; для резервного $k_q \geq 1,2$.

Використовуючи методичні вказівки, визначте первинний та вторинний струми, час спрацьовування та коефіцієнт чутливості захистів 2, 3, 4, починаючи з захисту 2. Накресліть схему захисту однієї з ліній, враховуючи те, що вона має бути дворелейною з дешунтуванням котушки вимкнення вимикача, з реле типу РТ-85/1.

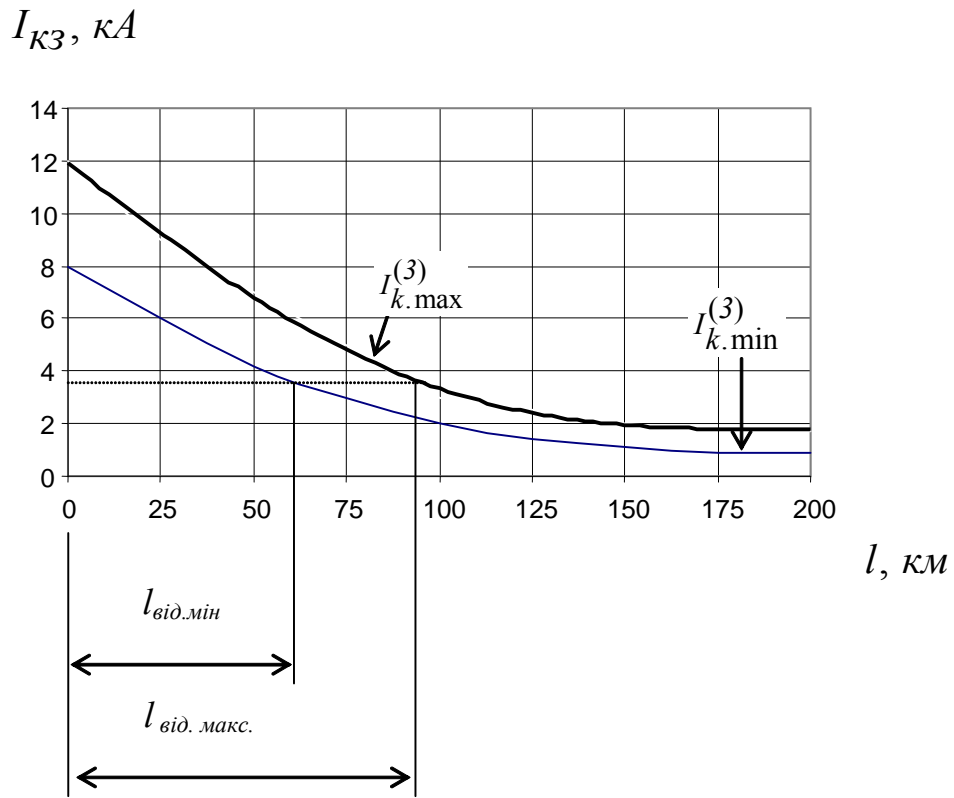
10. Визначте первинні та вторинні струми спрацьовування, зони дії ступеневого захисту лінії з одностороннім живленням напругою 35 кВ (рис. 16, а). На ділянці АБ встановлено триступеневий струмовий захист: струмова відсічка без витримки часу, струмова відсічка з витримкою часу та максимальний струмовий захист, який виконує функції резервного. На лінії ВС встановлено двоступеневий струмовий захист: струмова відсічка без витримки часу та максимальний струмовий захист. Розподіл струмів к.з. в максимальному та мінімальному режимах вздовж лінії зображено на рис. 16, б.

11. Методичні вказівки до розв'язання задачі п. 10.

Перший ступінь захисту – фазні відсічки без витримки часу за умови селективності не мають діяти за межами лінії, яка захищена релейним захистом, за будь-яких видів к.з. та будь-яких режимів роботи системи. Для цього струм спрацьовування відсічок має бути відстроєний, тобто бути більшим максимального струму в лінії при к.з. будь-якого виду в її кінці за максимального режиму роботи системи. Для відстроювання від роботи розрядників, які встановлюються на лініях, проміжне реле цього ступеня захисту мусить мати час спрацьовування $0,06 \div 0,08$ с. Струм спрацьовування фазних відсічок має бути також відстроєний від кидків струму намагнічування силових трансформаторів, підключених до лінії.



а - початкова схема



б – графічне визначення зони дії відсічки

Рисунок 3.3 – До задачі п. 10

Вибір первинного струму спрацьовування фазних відсічок без витримки часу виконується за формулою

$$I_{с.відл.1} = k_n \cdot I_{к_{макс}}$$

де k_n – коефіцієнт надійності, враховуючий похибки в розрахунку струмів к.з. та інші похибки; для реле РТ-40 $k_n = 1,2 \div 1,3$; для реле РТ-80 – $k_n = 1,5 \div 1,6$;

I_k – струм к.з. в кінці відповідної захищеної лінії.

Коефіцієнт повернення в цій формулі не враховують при мінімальних струмах в лінії, які мають місце при двофазних к.з. та мінімальному режимі системи. Ці зони визначаються графоаналітичним методом, а для простих схем також й аналітичним методом. Графічно для визначення максимальної зони дії відсічок обчислюються максимальні струми при трифазних к.з. $I_k^{(3)}$, а мінімальної зони – струми при двофазних к.з. $I_k^{(2)} = 0,866 \cdot I_k^{(3)}$ в декількох точках лінії. За обчисленими струмами будуються криві залежності струмів к.з. в лінії від її довжини (рис. 15, б). По точках перетину прямої, відповідної струму спрацьовування відсічок з цими кривими, визначають зону дії відсічок – мінімальну $I_{від.min}$ та максимальну $I_{від.max}$ (рис. 3.3, б).

Другий ступінь захисту лінії АВ є струмова відсічка з невеликою витримкою часу, яка дорівнює ступеню селективності. Зазвичай цей ступінь вибирається $\Delta t = 0,3 \div 0,5$ с. В мережі з одностороннім живленням при к.з. на лінії ВС струми, які проходять через первинні обмотки трансформаторів струму захистів, встановлених на лініях АВ та ВС, однакові. Тому струм спрацьовування другого ступеня захисту на лінії АВ (струмової відсічки з мінімальною витримкою часу спрацьовування) потрібно узгоджувати за чутливістю зі струмом спрацьовування відсічки без витримки часу лінії БВ $I_{с.від.1БВ}$ (суміжна ділянка), тобто

$$I_{с.від.2АВ} = k_n \cdot I_{с.від.1БВ},$$

де $k_n = 1,1 \div 1,2$.

Зона дії другого ступеня захисту, встановленого на лінії АВ, може бути визначена графічним шляхом (знаходженням точок перетину $I_{с.від.2АВ}$ з кривими $I_k^{(2)} = f(l)$ та $I_k^{(3)} = f(l)$. Коефіцієнт чутливості другого ступеня може бути визначений як в задачі пункту 8; при цьому як I_k береться значення струму в кінці зони дії другого ступеня та визначаються максимальний і мінімальний коефіцієнти чутливості.

Як третій ступінь захисту лінії АВ використовується максимальний струмовий захист, який виконує функцію резервного. Витримка часу його спрацьовування має вибиратися на ступінь селективності більшою, ніж другого ступеня захисту лінії АВ. Первинні і вторинні струми спрацьовування, а також коефіцієнт чутливості визначаються як в задачі п. 8.

3.3 Зміст лабораторної роботи та метод дослідження

3.3.1 Ознайомтеся зі стендом для проведення лабораторної роботи

На стенді подано модель радіальної мережі з одностороннім живленням у вигляді однолінійної схеми (рис. 3.3, а). На моделі показано джерело живлення С, збірні шини підстанцій А, Б, В, вимикачі ліній SA1, SA2, SA3 (положення вимикачів показується за допомогою ламп сигналізації), місце розміщення захисту та точки, в яких виконується к.з. (К1÷К7).

Для захисту ліній від к.з. на шинах підстанцій А, Б, В встановлено струмовий захист, виконаний за однофазною схемою на постійному оперативному струмі. Схеми захисту складено, а на передній панелі розміщено лише реле відповідного захисту. Режим роботи електричної системи задається за допомогою вимикача «Режим». Для вимірювання струму к.з. передбачено амперметр.

Ввімкнення в мережу та вимкнення лабораторного стенда здійснюється за допомогою кнопкової станції, а подача напруги 380 В та 220 В на моделі мережі здійснюється за допомогою перемикача «В». Наявність напруги сигналізується лампами.

Для захисту лінії АБ встановлено триступеневий струмовий захист, принципова схема якого показана на рис. 3.3, б. Перший ступінь (токова відсічка) виконано за допомогою струмового реле КА1 та вказівного (сигнального) реле КН1; другий ступінь (струмова відсічка з витримкою часу) виконано за допомогою струмового реле КА2, реле часу КТ2, сигнального реле КН2; третій ступінь (максимальний струмовий захист) виконано за допомогою реле КА3, КТ2 та КН3. Всі ступені впливають на проміжне реле КЛ1, яке через свій контакт КЛ1 та блок-контакт вимикача SQ1 передає сигнал на котушку YATQ1 вимкнення вимикача Q1. Ступені захисту вводяться або виводяться з дії за допомогою відповідних перемикачів SA1, SA2, SA3, розташованих на передній панелі. Пускові органи захисту, реле КА1, КА2, КА3 отримують живлення від вторинної обмотки трансформатора ТА1, первинна обмотка якого ввімкнена в розріз фази лінії.

Для захисту лінії БВ встановлено двоступеневий струмовий захист, принципову схему якого показано на рис. 3.3, в. Перший ступінь – струмова відсічка без витримки часу виконано на реле КА4, КН4; другий ступінь – струмова відсічка з затримкою часу, виконано на реле КА5, КТ3..., КН5. Ступені захисту впливають на виконавчий орган – проміжне реле КЛ2, яке виконує вимкнення вимикача Q2. Ступені захисту вводяться та виводяться за допомогою відповідних перемикачів SA4 та SA5. На шинах підстанції В встановлено максимальний струмовий захист, виконаний на реле КА6, КТ4..., КН6, КЛ3, який діє на вимикач Q3 (рис. 3.3, г). Пускові органи захисту, встановлені на підстанціях Б і В, отримують живлення від вторинних обмоток відповідно трансформаторів струму ТА2 і ТА3.

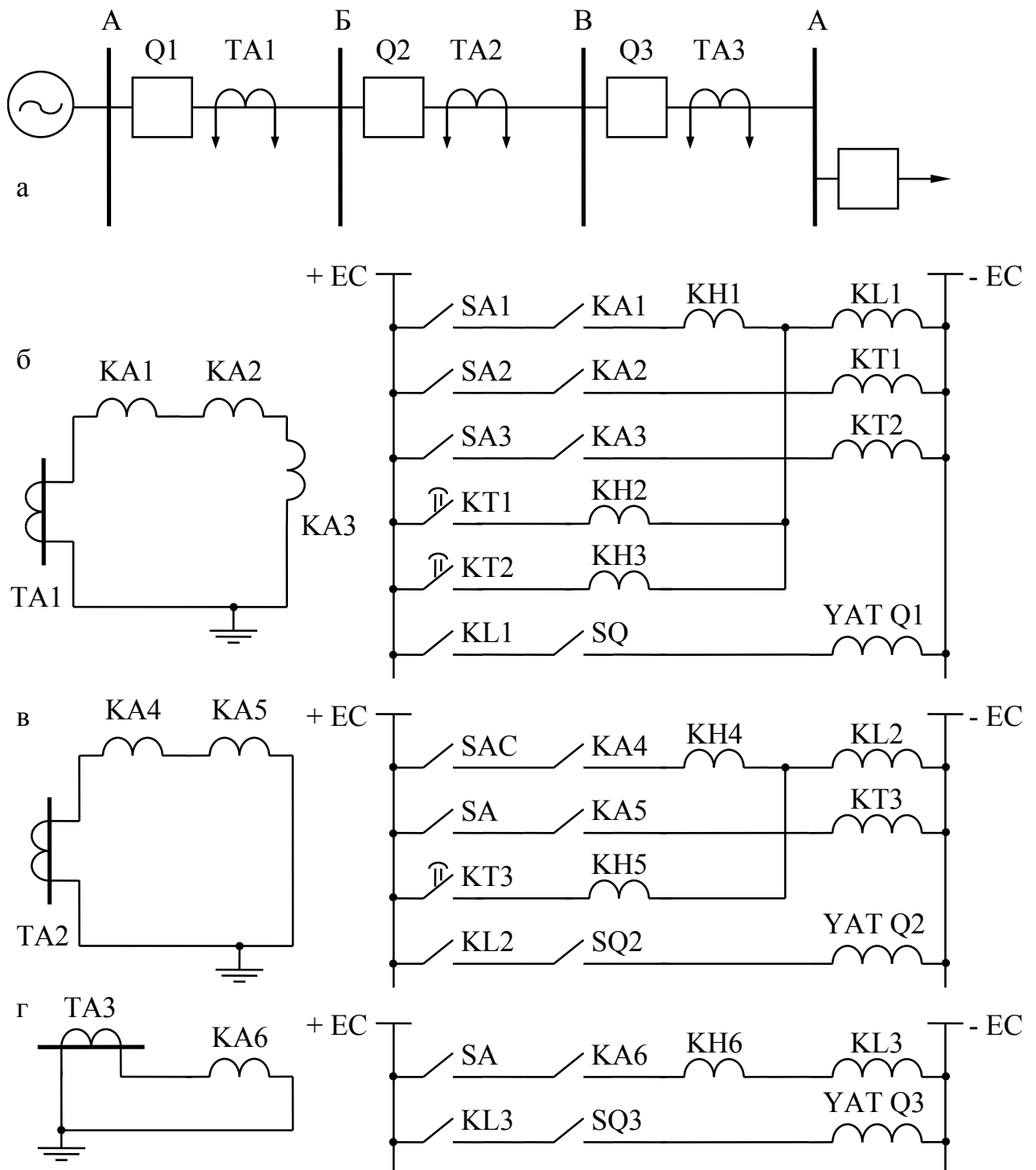


Рисунок 3.4 – Схеми лінії електропередачі та встановлених на ній релейних захистів

На схемі рис. 3.4 показано: а – однолінійна схема лінії з одностороннім живленням; б – розгорнута схема триступеневого захисту, який встановлено на шинах підстанції А; в – розгорнута схема двоступеневого захисту, який встановлено на шинах підстанції Б; г – розгорнута схема максимального струмового захисту, який встановлено на шинах підстанції В.

3.3.2 Виберіть уставки спрацьовування захистів, розташованих на підстанціях А, Б, В. Для цього отримайте криву розподілу струму к.з. вздовж ліній. Порядок виконання роботи:

- виведіть ступені захисту з дії за допомогою перемикачів SA1-6;
- увімкніть стенд та подайте живлення на модель мережі за допомогою кнопкової станції та перемикача «В»;
- за допомогою ключів управління SA1-3 увімкніть вимикачі на лініях;
- за показами амперметра зніміть криву розподілу струму к.з. вздовж лінії шляхом послідовного увімкнення та вимкнення перемикачів К1÷К7 в максимальному та мінімальному режимах роботи системи. Режим роботи системи задається за допомогою перемикача «Режим», а точки к.з. вибрані через 0,25 довжини лінії;

- побудувати в вибраному масштабі криву розподілу струму, як показано на рис. 3.2. Довжину лінії виберіть в відносних одиницях. Використовуючи криву розподілу струмів та рекомендації пункту 3.2.2.9, визначте струми спрацьовування та витримки часу, зони дії ступенів захисту та коефіцієнти їх чутливості. При розрахунках вважати $n_{mc} = 1$, $k_{cx} = 1$, а $I_{p\ max\ B-\Gamma} = 0,5I_{кз\ \Gamma}$, де $I_{кз\ \Gamma}$ – струм к.з. на лінії ВГ, $I_{p\ max\ A-B} = 0,5I_{кз\ B}$, де $I_{кз\ B}$ – струм к.з. на шинах підстанції Б, $I_{p\ max\ B-B} = 0,5I_{кз\ B}$, де $I_{кз\ B}$ – струм к.з. на шинах підстанції В.

3.3.3 **Вимкніть стенд**, зніміть кришки струмових реле та реле часу і виставте уставки захисту, отримані за розрахунковими даними. Уставки виставляйте після перегляду їх значень викладачем.

3.3.4 Перевірте порядок функціонування захисту. Для цього перемикачами SA1÷6 введіть їх в дію, закрийте кришками струмові реле та реле часу, подайте живлення та стенд та в схему.

Селективність дії захисту визначте шляхом створення штучного к.з. перемикачами К1÷К7. Послідовно вмикайте перемикачі К7, К6, К5, К4, К3, К2, К1. Простежте за вказівними реле, які ступені і якого захисту спрацьовують. Перед перевіркою блінкер всіх вказівних реле має бути піднятий, а вимикачі вимкнені, тобто після кожного спрацьовування захисту необхідно схему приводити в початковий стан. При виявленні хибного спрацьовування або неспрацьовування захисту узгодьте наступну зміну уставки з викладачем.

3.3.5 За завданням викладача виведіть із дії визначені викладачем ступені захисту та визначте порядок роботи релейного захисту.

3.3.6 Зробіть висновки, в яких дайте оцінку струмового ступеневого захисту з точки зору тих вимог, які висуваються до захисту, вкажіть сферу його застосування та шляхи подальшого удосконалення струмового ступеневого захисту.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОСТУПЕНЕВОГО СТРУМОВОГО НАПРАВЛЕНОГО ЗАХИСТУ

4.1 Мета роботи

Метою роботи є: вивчити принцип дії, схему виконання та порядок вибору параметрів максимального струмового направленного захисту; здійснити налагодження та перевірити роботу схеми захисту; вивчити конструкцію, принцип дії та схему під'єднання реле, які входять до схеми захисту.

4.2 Підготовка до лабораторної роботи

4.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / Андреев В. А. – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с.;
3. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.

4.2.2 Дайте відповіді на такі питання та розв'яжіть задачі.

1. Опишіть конструкцію, принцип дії індукційного та напівпровідникового реле потужності.
2. Опишіть основні характеристики реле потужності та наведіть схеми ввімкнення реле потужності.
3. В яких випадках доцільно застосовувати струмовий направлений захист? Накресліть в однофазному виконанні розгорнуту схему одноступеневого струмового направленного захисту.
4. Як вибирається струм спрацьовування та витримки часу максимального струмового направленного захисту?
5. Розв'яжіть задачу.

Для радіальної мережі з ізолюваною нейтраллю та двостороннім живленням, наведеної на рис. 3.4:

– виберіть струм спрацьовування захисту та реле, витримки часу максимальних струмових захистів 1, 2, 5, 6, 9, 10, 14 та вкажіть, які з них мають бути направленими;

– виберіть схему захисту та наведіть її на схемі в трифазному виконанні (одноступеневий максимальний струмовий направлений захист).

Початкові дані. На рис. 3.4 вказано максимальні робочі струми в лініях (I_{PM}), коефіцієнт трансформації трансформаторів струму, до яких приєднані струмові реле, виберіть $n_{mc} = 100$. Коефіцієнт повернення візьміть $k_n = 0,85$, коефіцієнт надійності – $k_n = 1,2$, коефіцієнт запуску – $k_z = 1,5$, коефіцієнт схеми – $k_{cx} = 1$, коефіцієнт надійності узгодження – $k_{н.у} = 1,2$. Варіанти витримок часу при к.з. у струмового захисту 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15 ліній з одностороннім живленням, які відходять від шин А, Б, В, Г, вказано

в табл. 4.1, ступінь селективності візьміть $\Delta t = 0,5$ с (вибір варіанта за вказівкою викладача).

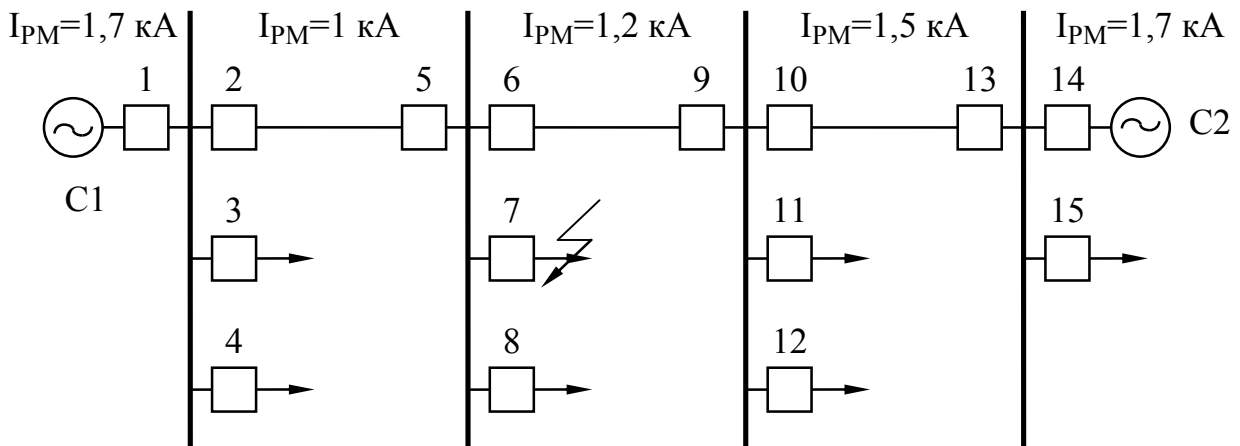


Рисунок 4.1 – Схема для розрахунку завдання задачі

Таблиця 4.1 – Варіанти завдань до задачі

Варіант	Витримка часу захисту, с						
	3	4	7	8	11	12	15
1	1,0	1,5	2,0	1,8	0,8	1,2	0,5
2	1,8	0,9	1,5	2,0	0,9	1,4	1,0
3	2,0	1,5	1,0	1,5	2,0	0,7	1,4
4	0,9	1,4	1,9	1,0	1,5	2,0	0,7

6. Теоретичні відомості до розв'язання задачі.

В радіальній мережі з двостороннім живленням можна забезпечити селективне вимкнення пошкодженої лінії максимальними струмовими захистами з витримкою часу, якщо деякі з них виконати направленими, тобто діючими тільки при направленні потужності від шин в бік лінії [14].

Для схеми мережі, яка показана на рис. 4.1, для забезпечення селективної дії захисти 2, 5, 6, 9, 10, 13 мають бути направленними, а захисти 1, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 14, 15 – ненаправленими. Витримки часу та струми спрацьовування захистів визначаються за зустрічно-ступеневим принципом. Цей принцип полягає в тому, що узгодження захисту виконується за однаковим напрямком потужності к.з. по радіальних захищених РЗА лініях (від шин в бік лінії). Так, при міжфазному к.з. в точці К1 може діяти направлений захист 2, 6, 9, 13 та ненаправлений 1, 7, 14. Щоб забезпечити селективну дію, витримки часу цього захисту вибираються за ступеневим принципом, збільшуючись із наближенням до джерела $t_6 = t_7 + \Delta t$; $t_2 = t_6 + \Delta t$; $t_9 = t_7 + \Delta t$; $t_{13} = t_9 + \Delta t$; $t_1 = t_2 + \Delta t$; $t_{14} = t_{13} + \Delta t$, а струми спрацьовування –

$$I_{c.з.} = \frac{k_n \cdot k_{cз.}}{k_{нов}} \cdot I_{роб.макс.}, \quad I_{c.з.n} = k_{н.с.} \cdot I_{c.з.n-1}, \quad I_{c.р.} = \frac{k_{сх.}}{n_{м.с.}} \cdot I_{c.з.}$$

захисту 1 та 2, 13 та 14 може і не знадобитись, якщо захист 1 та 14 виконаний диференціальним, тобто **швидкодійним**. При виборі витримки часу направленої захисту розрахункову точку к.з. слід вибрати у ненаправленого захисту з найбільшою витримкою часу.

4.3 Зміст лабораторної роботи та метод дослідження

Для виконання лабораторної роботи виконайте таку послідовність робіт.

4.3.1 Вивчіть конструкцію *індукційного реле потужності* за дослідним зразком, розташованим на стенді, та визначте основні конструктивні елементи, засвоївши їх призначення та взаємозв'язок в процесі роботи. У звіті до лабораторної роботи нарисуйте типові схеми приєднання реле потужності до мережі. Коротко опишіть принцип дії індукційного реле потужності та основні характеристики цього реле. Ознайомтеся з конструкцією та принципом дії *напівпровідникового реле потужності*. Дайте порівняльну характеристику напівпровідникового та індукційного реле потужності.

4.3.2 Ознайомтеся зі стендом для проведення лабораторної роботи.

На стенді подано модель енергосистеми з двостороннім живленням у вигляді однолінійної схеми (рис. 19).

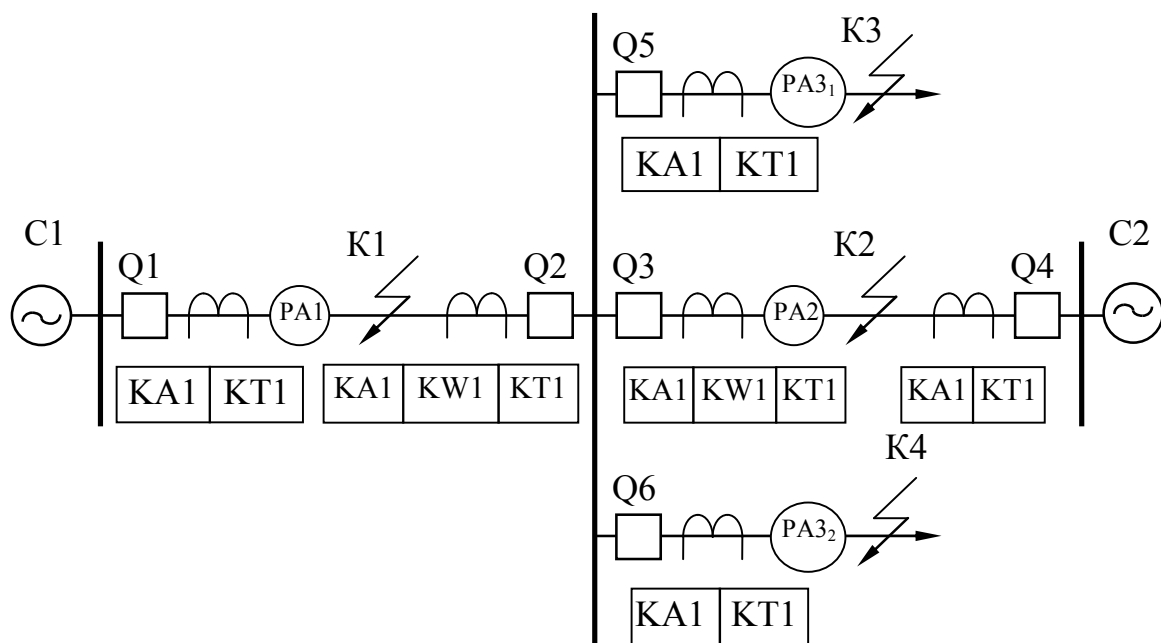


Рисунок 4.2 – Схема моделі електроенергетичної системи до лабораторної роботи № 4

На моделі показано джерела живлення (C1, C2), збірні шини, лінії, вимикачі ліній (1÷6) В, місце встановлення захисту, місце вимірювання

струмів в лінії (РА1, РА2, РА3) та точки, в яких відбувається коротке замикання (К1, К2, К3, К4).

Всього на лініях передбачено встановлення шести струмових захистів. Комплекти реле, які входять до відповідного захисту, об'єднані контуром та розташовані на стенді зліва. Для введення в роботу або виведення захисту із роботи передбачено перемикачі SA для максимального струмового ненаправленого захисту та SA і SAW для направленного. Перемикачем SAW користуються для вимкнення реле потужності. Схеми всіх захистів на схемі складено, за винятком одного з максимальних струмових направлених захистів, виводи датчиків та котушок реле якого розташовані справа внизу. Амперметри РА1, РА2, РА3 приєднані до ліній через трансформатори струму та призначені для вимірювання струму навантаження в лініях та контролю струму короткого замикання (к.з.).

Увімкнення в мережу та вимкнення лабораторного стенда здійснюється за допомогою кнопок та перемикача «Мережа 380 В» та «Мережа 220 В», розташованих в верхній частині панелі стенда. Подача живлення сигналізується сигнальними лампами. Управління вимикачами Q1 ÷ Q6 ліній здійснюється за допомогою ламп, розташованих над відповідним ключем управління. В положення «В» вимикач увімкнений, в положенні «О» – вимкнений.

4.3.3 Вивчіть схему максимального струмового направленного захисту. Для цього складіть схему одного з його ступенів на стенді (рис. 4.3, 4.4) та покажіть складену схему викладачеві для перевірки.

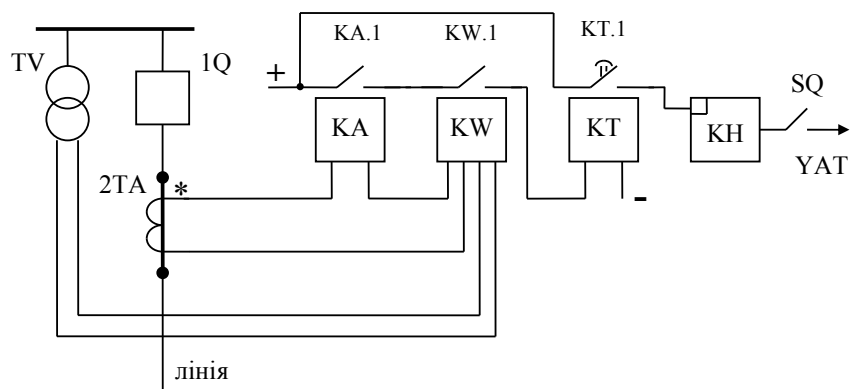


Рисунок 4.3 – Суміщена схема струмового направленного захисту

4.3.4 Розрахуйте та виберіть уставки спрацьовування захисту. Для вибору витримок часу викладач повинен задати час спрацьовування захисту, установленого на лініях W3 і W4 та ступінь селективності Δt .

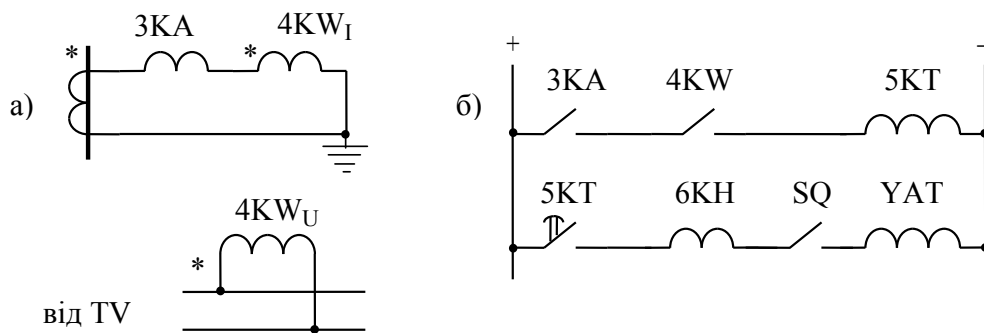


Рисунок 4.5 – Схеми вимірювальних кіл

Струм спрацьовування захисту визначається тільки за умовою відстроювання від максимального робочого струму в лініях. Значення робочого максимального струму в лінії визначається експериментально.

Для цього необхідно за допомогою перемикачів SA і SAW вивести захист, приєднати стенд до мережі, ввімкнути вимикачі та за показами амперметрів визначити струми в лініях. Результати вимірювань та розрахунків покажіть викладачеві. Розрахункові коефіцієнти при виборі струму спрацьовування захисту і струму спрацьовування реле необхідно узгодити з викладачем.

4.3.5 Обґрунтуйте необхідність врахування в захисті органа направленість потужності.

На рис. 4.5 показано: схеми вимірювальних кіл на змінному струмі (а); логічних та виконавчих кіл на випрямленому оперативному струмі (б) струмового направленого захисту.

4.3.6 Виставте уставки спрацьовування реле. Для цього вимкніть живлення стенда від мережі, зніміть кришки реле струму і часу, виставте розраховані уставки спрацьовування реле струму і часу, закрийте кришки реле, введіть захист в схему за допомогою перемикачів SA і SAW.

4.3.7 Перевірте правильність налаштування захисту. Увімкніть стенд та вимикачі ліній.

4.3.8 За допомогою перемикачів K1÷K4 по черзі штучно створіть к.з. на лінії і спостерігайте порядок спрацьовування захисту, слідкуючи за спрацьовуванням проміжних реле та сигнальних ламп стану контактів вимикачів.

4.3.9 Складіть таблицю спрацьовування захисту при к.з. в різних точках. Переконайтеся в тому, що захист діє селективно.

4.3.10 При неселективній роботі захисту з'ясуйте причину, скорегуйте та добийтеся селективності його дії шляхом зміни уставок спрацьовування або усуньте помилки при складанні схеми. Зміну уставок спрацьовування і усунення помилок в схемі виконуйте за присутності викладача.

4.3.11 Зробіть висновки, в яких дайте оцінку роботі захисту та вкажіть галузь його застосування.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ПОПЕРЕЧНИЙ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ НАПРАВЛЕНИЙ ЗАХИСТ ПАРАЛЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

5.1 Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення зі структурою і принцип дії диференціального струмового направленої захисту та вибором уставок захисту, його налаштуванням і перевіркою надійності функціонування.

5.2 Підготовка до лабораторної роботи

5.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / Андреев В. А. – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с.;
3. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.

5.2.2 Дайте відповіді на такі питання та розв'яжіть задачу.

1. Поясніть принцип дії поперечного диференціального струмового направленої захисту.
2. Яке призначення блокування за напругою оперативного кола в пристрої захисту?
3. Поясніть причини появи «мертвої зони» і зони каскадної дії захисту.
4. Які вимоги висуваються до схеми поперечного диференціального струмового направленої захисту?
5. Поясніть функціонування захисту при обриві проводу лінії з одностороннім живленням.
6. Дайте характеристику захисту і сферу його застосування.
7. Визначте уставки струмового поперечного релейного захисту.

Початкові дані. Схему захисту показано на рис. 5.1. Дані для розрахунку наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Дані для розрахунку уставок струмового поперечного диференціального захисту

№ пункту	Параметри	Одиниця вимірювань	Номер бригади			
			1	2	3	4
1	Довжина лінії	км	15	25	35	45

Продовження таблиці 5.1

№ пункту	Параметри	Одиниця вимірювань	Номер бригади			
			1	2	3	4
2	Опір лінії: активний реактивний	Ом/км	0,330	0,170	0,131	0,270
			0,414	0,395	0,360	0,408
3	Потужність системи	МВА	60	180	720	260
4	Опір системи	відн. один.	0,29	0,35	0,32	0,20
5	Номінальна напруга	кВ	35	35	35	110
6	Номінальний струм однієї лінії	А	200	240	300	320
7	Відносне значення неоднаковості опорів обох ліній	відносні одиниці	0,020	0,025	0,018	0,017
8	Коефіцієнти трансформації: трансформаторів струму трансформаторів напруги	відносні одиниці	600/5	600/5	600/5	400/5
			35/0,1	35/0,1	35/0,1	110/0,1
9	З'єднання котушок реле	—	паралельне			

5.3 Короткі теоретичні відомості

5.3.1 Принцип дії захисту

Направлений поперечний диференціальний захист застосовується на паралельних лініях із самостійними вимикачами на кожній лінії (рис. 5.1). До захисту таких ліній висувається вимога – від'єднати лише ту з двох ліній, яка пошкодилась [14]. Для виконання цієї вимоги струмовий поперечний диференціальний захист доповнюється реле напрямку потужності двосторонньої дії або двома реле напрямку потужності односторонньої дії, кожне з яких призначається лише для однієї лінії. Спрощену принципову схему однієї фази захисту показано на рис. 5.1.

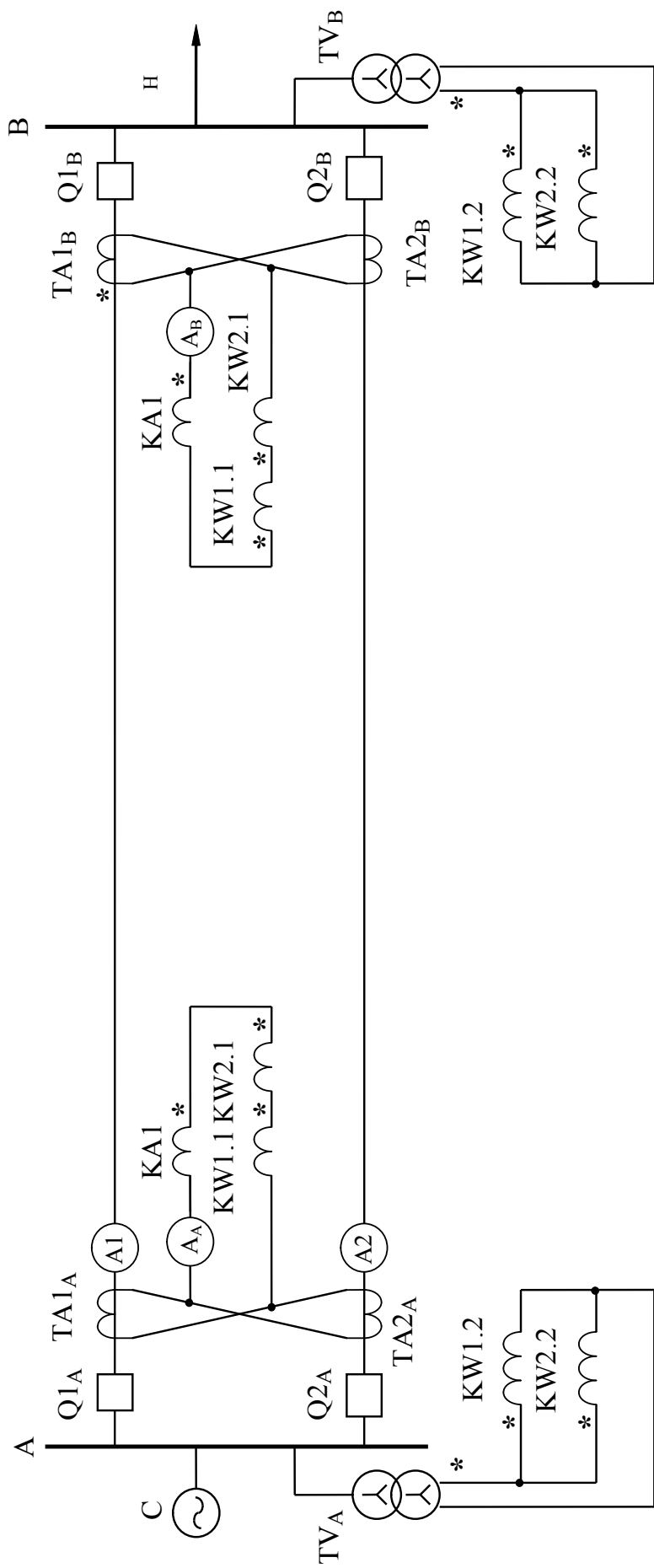


Рисунок 5.1 – Спрощена принципова схема однієї фази захисту:

A – кола змінного струму і напруги;

B – кола постійного струму одного комплекта захи у

Для двостороннього вимкнення пошкодженої лінії захист встановлюється з обох сторін паралельних ліній. На кожній лінії W1 і W2 встановлюються трансформатори струму ТА1 і ТА2 з однаковими коефіцієнтами трансформації. Вторинні обмотки трансформаторів струму однієї фази двох паралельних ліній з'єднані між собою та з обмотками реле так, що через обмотку реле протікає різниця струмів однойменних фаз. Паралельно їм приєднані реле струму КА1 і реле напрямку потужності КW1 і КW2. Напруга до реле КW1 і КW2 підводиться від трансформатора напруги TV, який приєднаний до відповідної підстанції. Реле напрямку потужності спрацьовує, якщо потужність КЗ спрямована від шин підстанції в лінію. Отже, реле КW1 реагує на КЗ в лінії W1, а реле КW2 – на КЗ в лінії W2.

Захист працює таким чином.

При КЗ на лінії W1 спрацьовує реле КА1 і КW1 (рис. 5.2), в результаті чого отримує живлення проміжне реле КL1, яке своїми контактами подає плюс оперативного струму на котушку вимкнення П першого вимикача. Вимикач Q1 вимикається, а вказівне реле КН1 просигналізує про спрацювання захисту. Оперативне коло захисту заводиться послідовно через блок-контакти SQ1_A1 і SQ2_A1 вимикачів ліній W1 і W2 (рис. 5.2).

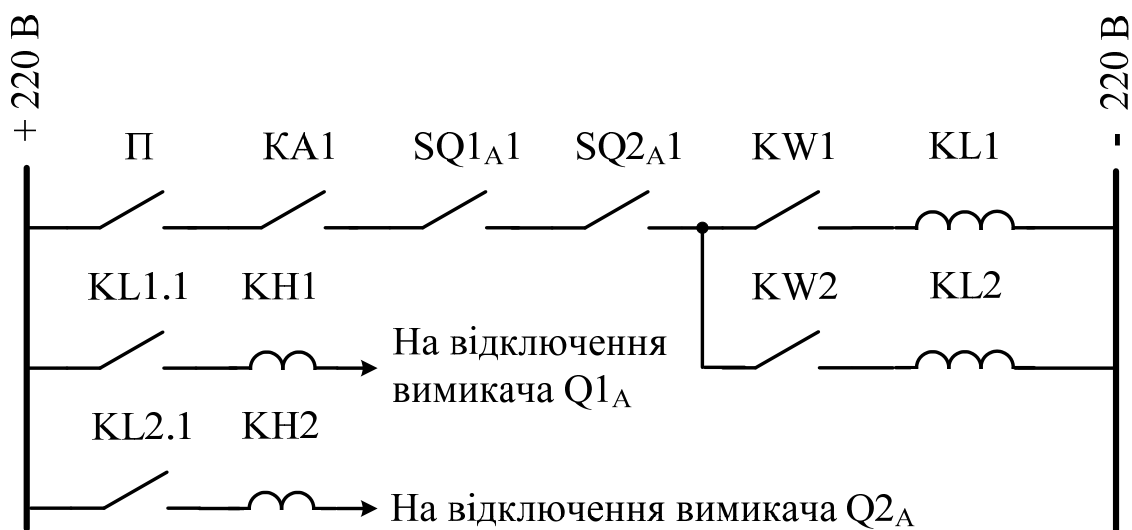


Рисунок 5.2 – Кола постійного струму одного комплекту поперечного диференціального захисту

При вимкненні вимикача блок-контакт розмикає оперативне коло і автоматично виводить з дії захист. Таке виконання оперативного кола необхідно для правильної роботи захисту у таких випадках:

1. Якщо при КЗ на лінії, наприклад W2, вимикач Q2_A відключиться раніше вимикача Q2_Б, то реле потужності захисту підстанції А під дією струму КЗ, який прямує до місця пошкодження на лінії W1, дозволить за-

хисту підстанції А відключити непошкоджену лінію W1. Така помилкова дія захисту усувається за допомогою блок-контакту SQ2_A1, який автоматично розмикає оперативне коло захисту при відключенні вимикача Q2_A.

Обов'язковою умовою надійності блокування є регулювання блок-контактів так, щоб отримати час $t_{\text{бл.}} < t$ вимкнення вимикача.

2. При вимкненні однієї з ліній захист перетворюється в миттєвий направлений захист. Він може неправильно працювати при зовнішніх к.з. і тому має виводитися з дії. Це здійснюється за допомогою блок-контактів, що знімають плюс із захисту при відключенні вимикача лінії. Схеми захисту виконуються з урахуванням таких положень:

- трансформатори струму на кожній лінії з'єднуються за схемою повної зірки для трифазних захистів і за схемою неповної зірки – для двофазних;

- реле потужності вмикається на струм і напругу за типовими схемами, що забезпечує найвигідніші умови для їхньої роботи (за 90-градусною схемою – при реле потужності змішаного типу);

- пуск захисту відбувається пофазно; при каскадному відключенні ушкодженої лінії W1 реле потужності під дією навантаження неушкоджених фаз неушкодженої лінії W2 можуть замкнути коло на вимкнення цієї лінії. При пофазному пуску реле потужності, ввімкнені на струм неушкоджених фаз, не одержують оперативного струму і не можуть в результаті цього подіяти на вимкнення;

- захист виконується без витримки часу, оскільки вона не діє при зовнішніх к.з.;

- у випадку обриву або перегорання запобіжника в колі напруги до реле потужності підводиться спотворена за фазою і значенням напруга і реле може неправильно діяти при к.з на одній з паралельних ліній. Для ліквідації цього недоліку передбачається пристрій контролю несправності кола напруги.

Позитивними особливостями направленного поперечного захисту є простота схеми, менша вартість порівняно з поздовжнім диференціальним захистом, відсутність витримки часу, nereагування на хитання, простота вибірки параметрів захисту.

До недоліків захисту потрібно віднести: каскадну дія, що викликає уповільнене вимкнення короткого замикання в зоні каскадної дії; «мертву зону» за напругою; необхідність виведення з дії захисту при відключенні однієї лінії, через що потрібно вводити додатковий повноцінний захист для лінії, що залишилася; неправильну роботу захисту при обриві проводу лінії з одностороннім живленням.

5.3.2 Розрахунок установок захисту

5.3.2.1 Струм спрацьовування захисту

Первинний струм спрацьовування пускових реле струму за відсутності пускових мінімальних реле напруги вибирається за такими умовами:

– відстроювання від розрахункового максимального струму небалансу при перехідному режимі зовнішнього трифазного металевого к.з. на шинах протилежної підстанції, А:

$$I_{сз}^3 \left[k'_H k_{анер} k_{одн} \varepsilon + k''_H k_{анер} f_{неід} \right] I_{kmax}^{(3)}, \quad (5.1)$$

де $k'_H = 1,2$; $k''_H = 1,3$ – коефіцієнти надійності;

$k_{анер} = 2$ – коефіцієнт, що враховує перехідний режим, тобто наявність аперіодичної складової струму;

$k_{одн}$ – коефіцієнт однотипності ТС, $k_{одн} = 0,5$;

ε – відносне значення повної похибки ТС, $\varepsilon = 0,1$;

$f_{неід}$ – відносне значення неідентичності опору обох ліній;

$I_{kmax}^{(3)}$ – максимальне значення струму в одній лінії при трифазному к.з.

на шинах В і роботі обох ліній, А;

– забезпечення повернення реле після вимкнення зовнішнього к.з. у режимі роботи однієї лінії або після вимкнення к.з. однієї з ліній у режимі роботи з двома лініями, А:

$$I_{с.з} \geq \frac{k_H I_{нав.мах}}{k_{пв}}, \quad (5.2)$$

у (5.2) наведено: $k_H = 1,2$; $k_{пв} = 0,8$ – коефіцієнти надійності і повернення реле, відповідно;

– відстроювання від струму неушкодженої фази $I_{неу}^{(2)}$ при каскадному відключенні двофазного к.з., А:

$$I_{с.з} \geq k_H \cdot I_{неу}^{(2)}, \quad (5.3)$$

де $k_H = 1,3$;

$I_{неу}^{(1)}$ – відстроювання від струму неушкоджених фаз при каскадному відключенні однофазного або двофазного к.з. на землю, коли пускові струми реле напруги комплекту від замикань на землю знаходяться на межі спрацьовування, А:

$$I_{с.з} \geq k_H \cdot I_{неу}^{(1)}, \quad (5.4)$$

де $k_H = 1,3$.

Умова відстроювання від максимального струму навантаження за (5.2) є, як правило, головною.

5.3.2.2 Чутливість захисту

Чутливість захисту визначається для двох режимів.

Перший режим. Початкові умови: вимикачі увімкнені з двох сторін ліній і к.з. у такій точці лінії, де чутливість захистів з обох сторін ліній однакова. При цьому враховується те, що при наближенні точки к.з. до місця розташування одного з захистів, його чутливість буде підвищуватися. Це викликано збільшенням струму з цього кінця пошкодженої лінії і зменшенням струму в непошкодженій лінії. В результаті цього струм у захисті, який розташований найближче до місця к.з., збільшується. Точка однакової чутливості захистів знаходиться на відстані l_q від місця вмикання захисту зі струмом спрацьовування $I_{с.з.В}$ й обчислюється за формулою, км:

$$l_q = \frac{I_{с.з.А}l}{I_{с.з.А} + I_{с.з.В}}, \quad (5.5)$$

При $I_{с.з.А} = I_{с.з.В}$ з (5.5) одержуємо $l_q = 0,5l$, тобто при однакових струмах спрацьовування захистів на обох кінцях лінії точка однакової чутливості пускових органів знаходиться посередині лінії. Коефіцієнт чутливості пускових реле при двофазних к.з. у точці однакової чутливості визначається за формулою:

$$k'_q = \frac{I_{РА}^{(2)}}{I_{ср.А}} = \frac{I_{РВ}^{(2)}}{I_{ср.В}}, \quad (5.6)$$

де $I_{РА}^{(2)}, I_{РВ}^{(2)}$ – струми в реле захисту А або В при двофазному к.з. у точці рівної чутливості;

$I_{ср.А}, I_{ср.В}$ – струми спрацьовування відповідно реле захистів А і В;

k'_q – має бути порядку 2 або більше. Коефіцієнти чутливості необхідно визначається в мінімальному режимі роботи системи.

Другий режим. Початкові умови: вимикач із протилежної сторони лінії уже відключений. Захист діє «каскадно». Коефіцієнт чутливості для такого режиму позначається – « k''_q ».

При $I_{с.з.А} = I_{с.з.В}$ коефіцієнт чутливості k''_q визначають тільки для захисту однієї зі сторін для найважчого випадку при двофазному к.з. у мінімальному режимі:

– для ліній з одностороннім живленням – зі сторони живлення;

– для ліній із двостороннім живленням – зі сторони більшого навантаження. У заданій схемі для захисту зі сторони підстанції А коефіцієнт чутливості знаходиться за виразом (5.7):

$$k''_ч = \frac{I^{(2)}_{рА}}{I_{ср.А}}, \quad (5.7)$$

За ПУЕ $k''_ч$ має бути приблизно 1,5. Якщо $k'_ч$ і $k''_ч$ менші необхідних за ПУЕ, то струмові пускові реле доповнюються пуском (блокуванням) реле мінімальної напруги. У цьому випадку струм спрацьовування $I_{с.з.}$ виставляють більшим, ніж струми небалансу при зовнішніх к.з. за (5.1), а напруга спрацьовування реле мінімальної напруги визначається за умовою повернення після обмеження к.з. на одній з ліній або зовнішнього к.з. за формулою (5.8):

$$U_{с.з.} = \frac{U_{роб. min}}{(k_H k_{пов})}, \quad (5.8)$$

де $U_{роб. min} = (0,9 - 0,95) \cdot U_H$ – мінімальна робоча напруга в місці установа- влення захисту;

$k_H = 1,2$; $k_{пов} = 1,25$ – коефіцієнти відповідно надійності і повернення реле серії РН-54.

Коефіцієнт чутливості реле мінімальної напруги визначається при к.з. на протилежному кінці лінії в режимі каскадного вимкнення за формулою

$$k_{ч.н.} = \frac{U_{с.з.}}{U_{з.мф}}, \quad (5.9)$$

де $U_{з.мф}$ – міжфазова залишкова напруга в місці установлення захисту.

Чутливість реле напрямку потужності, виконаного на індукційному принципі, не перевіряється, оскільки ПУЕ вона не регламентується.

5.3.2.3 Зона каскадної дії

Струм у поперечному диференціальному захисті дорівнює різниці струмів обох паралельних ліній, і зменшується із віддаленням точки к.з. від місця установлення захисту. У деякій зоні, що називається зоною каскадної дії, розташованій на протилежному кінці лінії, струм у пускових реле менший їхнього струму спрацьовування, тому захист не діє до моменту вимкнення к.з. із протилежної сторони. Зона каскадної дії в частках довжини лінії для кожного захисту обчислюється за формулами, км:

$$l_{каск.А} = \frac{I_{с.з.А} l_{л}}{I_{к.з.В}^{(2)}}; \quad (5.10)$$

$$l_{каск.В} = \frac{I_{с.з.В} l_{л}}{I_{к.з.А}^{(2)}}, \quad (5.11)$$

де $I_{к.з.А}^{(2)}$ і $I_{к.з.В}^{(2)}$ – струми двофазного к.з. на межі зони каскадної дії з боку шин В для захисту А і з боку шин А для захисту В, відповідно.

Приблизно $l_{каск.А}$ і $l_{каск.В}$ визначаються за струмами к.з. відповідно на шинах В і А в мінімальному режимі системи.

Зона каскадної дії не регламентується, тому що при $k'_ч > 2$ вона не може перевищити 30% довжини лінії при будь-яких параметрах мережі.

Якщо загальна довжина каскадно ліквідованих к.з. $l_{каск.заг} = l_{каск.А} + l_{каск.В} > l$, то в середній частині лінії з'являється ділянка, на якій при к.з. жоден з захистів не діє. Зазначене неприпустимо, тому необхідно мати $l_{каск.заг} \approx 0,6 \cdot l$ (враховується к.з. через перехідний опір).

Існування зони відмови реле напрямку потужності пояснюється малим значенням струму при к.з. на іншому кінці лінії. Ця зона менша зони каскадної дії струмового пускового органа, тому що підведені до реле напрямку потужності напруги достатньо великі в цих режимах, і це реле напрямку потужності завжди є більш чутливим, ніж пускові струмові реле. Тому розглядають випадки «мертвої» зони реле напрямку потужності за напругою при трифазних к.з. поблизу їхнього розташування.

Індукційні реле напрямку потужності типу РБМ-171/1 увімкнені за 90-градусною схемою, тобто до реле фази А підведено струм I_a і напругу U_{bc} .

Момент обертання якоря реле потужності знаходиться за таким виразом:

$$M_{об} = k \cdot U_p \cdot I_p \cdot \cos(\varphi_p + \alpha),$$

де кут максимальної чутливості $\alpha = 45^\circ$; мінімальна потужність спрацювання при куті максимальної чутливості $S_{сп.мін.} = 4 \text{ ВА}$ при струмі $I_{ном} = 5 \text{ А}$; $S_{сп.мін.} = 40 \text{ В} \cdot \text{А}$ – при 50А і при $S_{сп.мін.} = 80 \text{ В} \cdot \text{А}$ при струмі 100А. «Мертва» зона для 90-градусної схеми підключення реле визначається за формулою (5.12):

$$l_{м.з.} = \frac{n_n \cdot n_c \cdot S_{сп.мін.}}{\sqrt[3]{3} \cdot z_{линіи} \cdot I_{к.з.}^{(3)2} \cdot \cos(\varphi_{л} - 90^\circ + \alpha)}, \quad (5.12)$$

де n_H, n_C – коефіцієнти трансформації трансформаторів напруги і струму, відповідно;

$S_{сп. \min}$ – мінімальна потужність спрацьовування реле напрямку потужності, ВА;

$z_{num} = r_{num} + jx_{num}$ – питомий повний опір 1 км лінії, Ом/км;

$I_{к.з.}^{(3)}$ – струм трифазного к.з. у місці установлення захисту, А;

φ_L – кут повного опору лінії, град:

$$\varphi_L = \arctg \frac{r_{num}}{x_{num}} .$$

З виразу (5.12) випливає, що необхідно розрахувати струм $I_{к.з.}^{(3)}$, після чого за вторинним струмом к.з. $I_{к.з. \text{ втор}} = I_p$ визначити S , що залежить від I_p , і далі визначити $l_{м.з.}$.

Опір системи, Ом:

$$z_c = \frac{U_{ср.ф}}{I_{к.з.А}^{(3)}} ,$$

де $U_{ср.ф}$ – фазна напруга мережі, В;

$I_{к.з.А}^{(3)}$ – струм трифазного к.з. на шинах, А.

Опір двох паралельних ліній, Ом:

$$z_L = \frac{z_{num} \cdot l}{2} .$$

Струм трифазного к.з. фази А на лінії в шин В, А:

$$I_{к.з.ф.А}^{(3)} = \frac{0,5 \cdot U_{ср.ф}}{jx_c + z_L} .$$

Струм у реле фази А, А:

$$I_{p А} = \frac{I_{к.з.ф.А}^{(3)}}{n_{м.с.}} .$$

За знайденим струмом $I_{p А}$ визначаємо потужність $S_{сп. \min}$ та «мертву» зону (5.12):

$$l_{м.з.} \text{ і } l_{\% м.з.} .$$

$$l_{\% м.з.} = \frac{l_{м.з.}}{l} 100\% .$$

Довжина «мертвої» зони в декілька відсотків вважається припустимою.

5.4 Опис лабораторного стенда

На лабораторному стенді змонтовано модель паралельних ліній і схему захисту в однофазному виконанні. Живлення на стенд подається за допомогою перемикачів «Мережа» і кнопкової станції, розташованих у правій частині панелі стенда. Сигналізація про подачу живлення на стенд здійснюється за допомогою сигнальних ламп. Вмикання ліній забезпечується кнопками керування $Q1_A$, $Q2_A$, $Q1_B$ і $Q2_B$. Сигналізація положення вимикачів здійснюється сигнальними лампами: зеленою – при вимкненому і червоною – при увімкненому положеннях вимикачів. Амперметри $A1$ і $A2$, увімкнені на лініях $W1$ і $W2$, відповідно, призначені для вимірювання струму в лініях. Тумблери «П» здійснюють перемикання амперметрів з різною шкалою. Перемикачами $K1$, $K2$ і $K3$ здійснюються к.з. у точках $K1$, $K2$ і $K3$. За допомогою реостатів R передбачене переміщення точки $K1$ по лінії $W1$, відповідно, що дозволяє досліджувати роботу захисту при к.з. у будь-якій точці лінії по усій її довжині.

5.5 Алгоритм виконання лабораторної роботи

5.5.1 Ознайомтеся з лабораторним стендом, з призначенням всіх приладів та елементів.

5.5.2 При відключених перемикачах SA і знаходженні рукоятки реостата у крайньому лівому положенні виміряйте струми у лініях для нормального режиму роботи і при к.з. в точках $K1$, $K2$ та $K3$. Результати вимірювань запишіть у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати вимірювань

№ пункта	Режим роботи мережі	Покази приладів, А	
		A1	A2
1	Нормальний		
2	К.з. в точці K1		
3	К.з. в точці K2		
4	К.з. в точці K3		

УВАГА! При виконанні вимірювань струмів к.з. тумблери «П», які призначені для перемикання амперметрів з різною шкалою значень, знаходяться в нижньому положенні.

5.5.3 На підставі даних табл. 5.2 визначте уставки спрацьовування комплектів захисту.

Максимальне значення струм небалансу буде мати в режимі зовнішнього к.з. (точка $K3$).

$$I_{нб.мах.} = I_{w1(k3)} - I_{w2(k3)}.$$

Струм спрацьовування захисту буде дорівнювати:

$$I_{с.з.} = k_H \cdot I_{нб.макс.}$$

Вважається, що струм спрацьовування обох контактів захисту однаковий.

Тоді струм спрацьовування реле обох комплектів:

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх}}{n_{т.с.}} \cdot I_{с.з.},$$

де $k_{сх} = 1$;

$$n_{т.с.} = 10/5.$$

5.5.4 Встановіть на реле КА комплектів захисту А і В отримані значення струму спрацьовування.

5.5.5 Увімкніть живлення лабораторного стенда.

5.5.6 Введіть в дію захист за допомогою тумблерів «П» і дослідіть його роботу при к.з. в точках К1, К2 та К3. Результати дослідів запишіть у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати дослідів

№ пункту	Режим роботи мережі	Вимкнулися вимикачі	Спрацювали вказівні реле
1	к.з. в точці К1		
2	к.з. в точці К2		
3	к.з. в точці К3		

5.5.7 Визначте дослідним шляхом величину зони каскадної дії захисту. Для цього потрібно перемикачами SA вивести з дії комплекти захистів, ввімкнути тумблер К1 і, повертаючи ручку реостата поступово на однаковий кут (90°), провести вимірювання струмів $I_{w1(k1)}^{(3)}$ при зміщенні точки к.з. від початку лінії W1 до її кінця. Результати вимірювань запишіть у табл. 4.

Таблиця 5.4 – Результати вимірювань

Кут повертання реостата	90°	180°	270°	360°	450°	540°	630°	720°	810°	900°
Відстань до точки к.з. від початку лінії, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Струм к.з., А										

За даними таблиці 5.4. нарисуйте графік залежності $I_{w1(k1)}^3 = f(\Delta I)$.

При знаходженні ручки реостата у крайньому правому положенні введіть в дію перемикачем SA комплект захисту А і, плавно обертаючи ручку реостата вліво, перемістіть точку к.з. в сторону шин живлення до моменту спрацьовування захисту. Виведіть з дії захист і виміряйте струм $I_{w1(k1)}^3$ при к.з. в точці, яка відповідає межі зони каскадної дії. Відкладіть це значення струму на графіку і графічно визначте зону каскадної дії захисту $I_{к.д.}, \%$

5.5.8 Вимкніть живлення лабораторного стенда.

5.5.9 Оформіть звіт про виконану роботу та зробіть висновки.

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ЗАХИСТ СИЛОВОГО ТРИОБМОТКОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ОДНОСТОРОННІМ ЖИВЛЕННЯМ

6.1 Мета роботи

Метою роботи: є вивчення принципу дії, будови, схем виконання захистів, ознайомлення з методами розрахунків уставок захистів трансформатора; є вивчення методик налаштування та перевірки правильності функціонування захистів.

6.2 Підготовка до лабораторної роботи

6.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Лагутін В. М. Захист трансформаторів 10 кВ : навчальний посібник / Лагутін В. М., Рубаненко О. Є., Тептя В. В. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 76 с.;
3. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.;
4. Рубаненко О. Є. Релейний захист та автоматика двотрансформаторної підстанції : навчальний посібник / О. Є. Рубаненко, В. М. Лагутін. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 124 с.

6.2.2 Дайте відповіді на такі запитання.

1. Які вам відомі види пошкоджень і ненормальних режимів роботи трансформаторів?
2. Які вам відомі типи релейного захисту трансформаторів?
3. Що вам відомо про принцип дії і особливості виконання диференціального захисту трансформаторів з різними групами з'єднання обмоток?
4. Яким чином при використанні реле РНТ виконується налаштування від кидків струму намагнічування?
5. Що вам відомо про будову та принцип дії реле РНТ-562?
6. Як виконується струмова відсічка та максимальний струмовий захист на трансформаторах?
7. Що вам відомо про принцип дії газового захисту?

6.3 Короткі теоретичні відомості

6.3.1 Типи релейного захисту та сигналізації трансформаторів

Для захисту понижувальних трансформаторів від ушкоджень і ненормальних режимів відповідно до ПУЕ і на підставі розрахунку застосовуються такі основні типи релейного захисту [14, 16, 18, 19, 20]:

- повздовжній диференціальний захист – від коротких замикань в обмотках і на їх зовнішніх виводах для трансформаторів потужністю, як правило, 6,3 МВ·А і вище з дією на вимкнення трансформатора;
- струмова відсічка без витримки часу – від коротких замикань на зовнішніх виводах ВН трансформатора зі сторони живлення;
- газовий захист – від усіх видів пошкоджень всередині бака (кожуха) трансформатора, що супроводжуються виділенням газу з трансформаторного масла, а також від зниження рівня масла;
- максимальний струмовий захист (із пуском або без пуску за напругою);
- захист від надструмів, обумовлених зовнішніми міжфазними короткими замиканнями на сторонах НН або СН трансформатора;
- спеціальний струмовий захист нульової послідовності від однофазних к.з. на землю в мережі НН, працюючій з глухозаземленою нейтраллю;
- максимальний струмовий захист в одній фазі – від надструмів, обумовлених перевантаженням;
- сигналізація однофазних замикань на землю в обмотці ВН або на кабелі живлення трансформаторів, працюючих в мережах з ізольованою нейтраллю.

6.3.2 Принцип дії диференціального струмового захисту

Диференціальний струмовий захист є основним швидкодійним захистом трансформаторів. Промисловістю випускаються спеціальні реле для диференціальних захистів серій РНТ та ДЗТ. На дво- та триобмоткових силових трансформаторах (автотрансформаторах) без регулювання напруги під навантаженням зазвичай застосовується реле РНТ з насичуваними трансформаторами струму (НТС) і короткозамкненою обмоткою. Для захисту силових трансформаторів з регулюванням напруги під навантаженням, як правило, застосовують реле ДЗТ з НТС і магнітним гальмуванням наскрізним (циркулювальним) струмом диференціального захисту. Виняток можуть становити трансформатори з малими значеннями струмів к.з. при пошкодженнях на стороні нижчої напруги, для яких більш високу чутливість забезпечують реле РНТ.

Диференціальний струмовий захист трансформатора має декілька особливостей, що відрізняє його від повздовжніх диференціальних захистів інших елементів:

- необхідність відстроювання від кидків струму намагнічування, що виникають при включенні ненавантаженого трансформатора (автотрансформатора) під напругу або при відновленні напруги після вимкнення зовнішнього к.з. в мережі живлення;

– необхідність відстроювання від струмів небалансу, обумовлених неповним вирівнюванням дії неоднакових вторинних струмів в плечах диференціального захисту, що викликано:

– неможливістю точного встановлення на комутаторі реле РНТ і ДЗТ розрахункових чисел витків (дробових) вирівнювальних обмоток; це призводить до появи складової струму небалансу, що позначається $I''_{нб}$;

– регулюванням коефіцієнта трансформації захищеного трансформатора (автотрансформатора) з РПН; цим викликана зміна вторинних струмів лише в одному з плечей диференціального захисту, що призводить до появи складової струму небалансу, яка позначається $I''_{нб}$.

Поряд з цими складовими існує складова струму небалансу ($I'_{нб}$), обумовлена різницею струмів намагнічування трансформатора струму в плечах захисту. В практичних розрахунках прийнято вважати, що вона дорівнює струму намагнічування або повній похибці ε гіршого з трансформаторів струму. Неоднаковість значень вторинних струмів може також виникнути за рахунок кутового зсуву між первинними струмами в фазних виводах трансформатора при стандартній групі з'єднання обмоток У/Д-11, якщо не провести спеціальних заходів. Завданням розрахунку диференціального захисту трансформатора є визначення струму спрацьовування і числа обмоток НТС.

6.3.3 Алгоритм розрахунку уставок диференціального захисту триобмоткового трансформатора (рис. 6.1)

1. Початкові дані. ТА1, ТА2, ТА3 (рис. 6.1) – трансформатори струму диференціального захисту трансформатора; ТА4 – трансформатор струму максимальний струмовий захист (м.с.з.) та захисту трансформатора на стороні ВН; ТА5, ТА6 – трансформатори струму м.с.з. та захисту від перевантаження на сторонах СН та НН, відповідно.

2. Користуючись амперметром РА5 визначте та запишіть в таблицю 1 струми короткого замикання в точках К1, К2, К3.

Таблиця 6.1 – Струми короткого замикання

Найменування	Точка К.3.		
	К1	К2	К3
$I_{к.макс.}^{(3)}$ А	4,1	3,9	4,9

3. Визначте середні значення первинних і вторинних номінальних струмів для всіх плечей диференціального захисту (за номінальною поту-

жністю найбільш потужної обмотки трансформатора). Результати розрахунків запишіть в таблицю 6.2.

4. Сторону з більшим вторинним струмом вважайте основною.

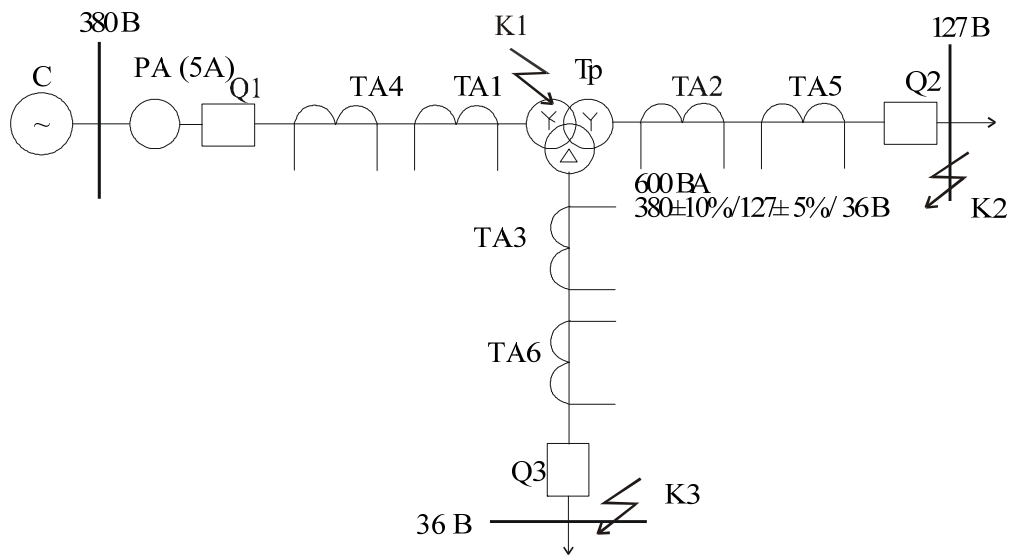


Рисунок 6.1 - Схема трансформаторної підстанції

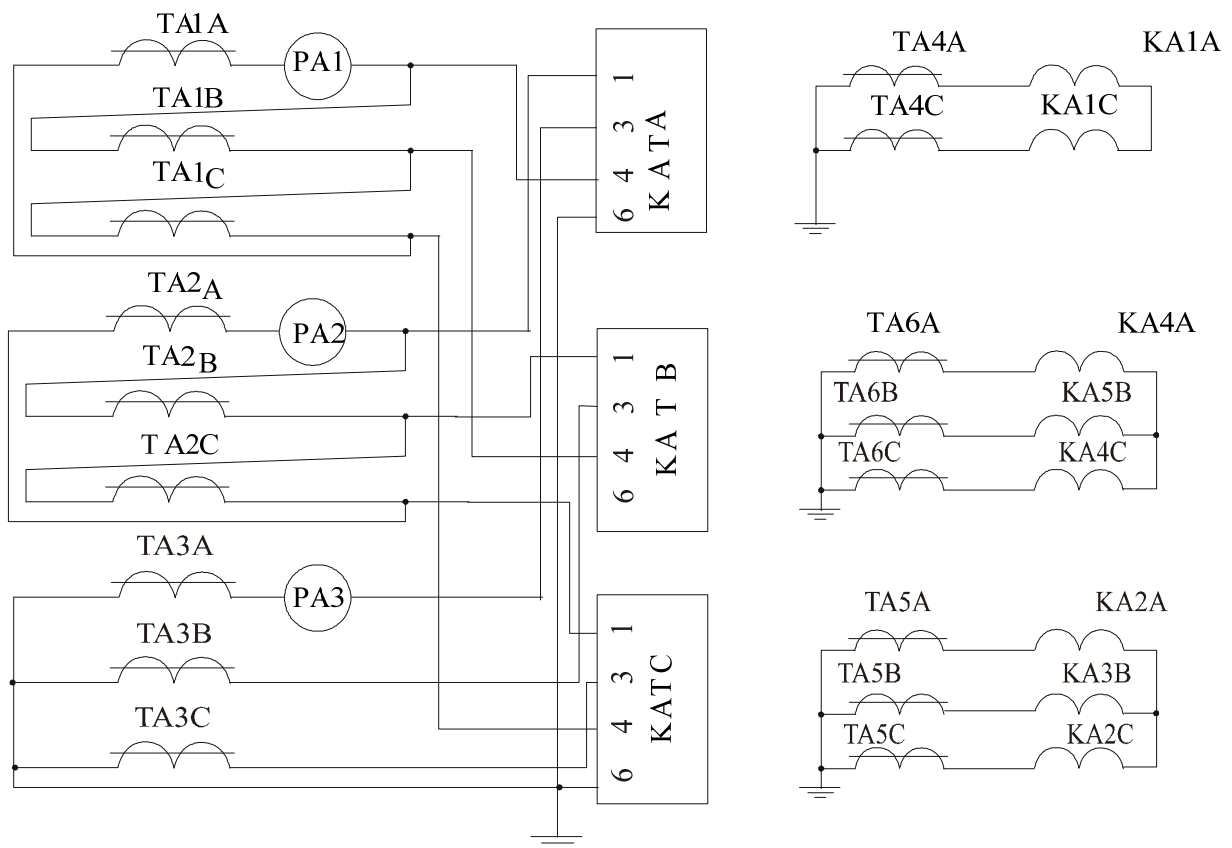


Рисунок 6.2 – Струмові кола захистів трансформатора

Визначте первинні струми небалансу без урахування складової $I_{нб}'''$ (табл. 6.2):
 – при к.з. на шинах 127 В (точка К2).

Таблиця 6.2 – Визначення вторинних струмів в плечах захисту.

Найменування параметра	Числові значення для сторін		
	380 В	127 В	36 В
Первинний номінальний струм трансформатора, А	$I_{1.ВН.} = \frac{S_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{В.ном}} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 380} = 0.91$	$I_{1.СН.} = \frac{S_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{С.ном}} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 127} = 2.73$	$I_{1.НН.} = \frac{S_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{Н.ном}} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 36} = 9.63$
Коефіцієнт трансформації трансформатора струму	1,5/5	5/5	20/5
Схема з'єднання обмоток трансформаторів струму	Д	Д	У
Вторинний струм в плечах захисту, А	$I_{2.ВН.} = \frac{I_{1.ВН.}}{n_{Т.ВН.}} = \frac{0.91}{0.3} \cdot \sqrt{3} = 5.25$	$I_{2.СН.} = \frac{I_{1.СН.}}{n_{Т.СН.}} = \frac{2.73}{1} \cdot \sqrt{3} = 4.72$	$I_{2.НН.} = \frac{I_{1.НН.}}{n_{Т.НН.}} = \frac{9.63}{0.3} = 32.1$

$$I_{нб}''' = (k_{анер} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{*\alpha} + \Delta U_{*\beta}) \cdot I_{к2, макс. ВН}^{(3)} =$$

$$= (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,1 + 0,05) \cdot 3,9 = 0,975 \text{ А},$$

де $I_{к2, макс. ВН}^{(3)}$ – максимальний струм, що проходить по регульованій стороні ВН трансформатора при КЗ на стороні СН; $k_{анер.}$ – коефіцієнт, що враховує перехідний режим; для реле з НТС може дорівнювати 1; $k_{одн.}$ – коефіцієнт однотипності, дорівнює 1; ε – відносне значення струму намагнічування, при виборі ТС по кривих граничних кратностей береться 0,1; $\Delta U_{*\alpha}$ і $\Delta U_{*\beta}$ – відносні похибки, обумовлені регулюванням напруги на сторонах захищеного трансформатора ($\Delta U_{*рнн.}$); в цьому прикладі $\Delta U_{*\alpha} = 0,1$; $\Delta U_{*\beta} = 0,05$;

– при к.з. на шинах 36 В (точка К3)

$$I_{нб} = (k_{анер}k_{одн} + \Delta U^*_{\alpha}) \cdot I_{кз, макс. ВН}^{(3)} = (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,1) \cdot 4,9 = 0,98 \text{ А},$$

де $I_{кз, макс. ВН}^{(3)}$ – максимальний струм, що проходить по регульованій стороні ВН трансформатора при к.з. на стороні НН.

5. Для подальшого розрахунку виберіть більший зі знайдених струмів $I_{нб}$.

6. Визначте струм спрацьовування захисту:

а) за умовою відстроювання від струму небалансу

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot I_{нб} = 1,3 \cdot 0,98 = 1,27 \text{ А},$$

де k_n – коефіцієнт надійності, що враховує помилку реле та необхідний запас; може бути взятий 1,3 для реле РНТ (для реле ДЗТ – 1,5);

б) за умовою налаштування від кидка струму намагнічування

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot I_{ном.тр.} = 1,3 \cdot 1,01 = 1,315 \text{ А},$$

де k_n – коефіцієнт відлаштування захисту від кидків струму намагнічування, попередньо береться 1,3 при виконанні захистів з реле типу РНТ за умови, що надійність відстроювання уточнюється при першому (п'ятикратному) включенні нового трансформатора під напругу (для реле типу ДЗТ береться 1,5 через відсутність в цих реле короткозамкненої обмотки); $I_{ном.тр.}$ – номінальний струм, що відповідає номінальній потужності трансформатора (номінальній потужності за найпотужнішою обмоткою), що визначається при знаходженні регулятора РПН в крайньому «від'ємному» положенні.

$$I_{ном.тр.} = \frac{S_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.вн} \cdot (1 - \Delta U^*_{рпн.})} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot (1 - 0,1)} = 1,01 \text{ А},$$

де $\Delta U^*_{рпн.} = \Delta U^*_{\alpha}$.

7. За розрахунковий струм візьміть більший із знайдених струмів $I_{с.з.}$.

8. Виконайте попередню перевірку чутливості захисту при пошкодженнях в зоні її дії захисту (табл. 6.3):

$$k_{\chi_{K2}}^{(2)} = \frac{I_{p.мін.к2}}{I_{с.р.}} = \frac{22,48}{7,6} = 2,95 > 2,$$

$$k_{\chi_{K3}}^{(2)} = \frac{I_{p.мін.к3}}{I_{с.р.}} = \frac{22,5}{7,6} = 2,96 > 2,$$

де $I_{p.мін.}$ – струм в первинній обмотці реле серій РНТ і ДЗТ, який з метою спрощення розрахунку визначається в припущенні, що весь струм пошкодження проходить лише по одній стороні трансформатора. Він визначається приведенням первинного струму пошкодження до вторинного кола трансформатора струму цієї сторони з врахуванням виду к.з. і схеми з'єднання трансформаторів струму; $I_{с.р.}$ – струм спрацьовування реле, що відповідає кількості витків первинної обмотки НТС реле РНТ, ДЗТ, що використовуються на тій стороні, по якій проходить струм $I_{p.мін.}$.

Як правило, необхідно щоб $k_{\chi} \geq 2$, але інколи допускається зниження k_{χ} до 1,5. При двофазному к.з. в точці К2 струм пошкодження проходить через ТС сторони 380 В, з'єднані в трикутник. В цьому випадку розрахунковий струм в реле диференціального захисту

$$I_{p.мін.к2} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{к2}^{(3)}}{n_{с.вн.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 3,9}{0,3} = 22,48 \text{ А.}$$

Струм спрацьовування реле (попередній)

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_{с.вн.}} k_{сх.вн.} = \frac{1,315 \cdot \sqrt{3}}{0,3} = 7,6 \text{ А.}$$

При двофазному к.з. в точці К3

$$I_{p.мін.к3} = \frac{1,5 \cdot I_{к3}^{(3)}}{n_{с.вн.}} = \frac{1,5 \cdot 4,9}{0,3} = 22,5 \text{ А.}$$

9. Визначте кількість витків обмоток реле РНТ-562. Розрахунок починається з вибору кількості витків сторони 380 В, оскільки це основна обмотка і, крім того, це – сторона живлення з регульованою напругою. Розрахунки запишіть в табл. 6.3.

Якщо нове значення $I_{с.з.осн.}$ виявилось більшим, ніж отримане раніше, то розрахунок повторюється для нового значення.

Таблиця 6.3 – Визначення кількості витків обмоток НТС

№ пункту	Позначення величини та розрахунковий вираз	Числові вирази
1	$I_{с.р.осн.(сторонаВН)} = \frac{I_{с.з} k_{сх.вн}}{n_{с.вн}}$	$\frac{1.315 \cdot \sqrt{3}}{0.3} = 7.6 \text{ А}$
2	$W_{осн.розр.} = \frac{F_{с.р.}}{I_{с.р.осн.}} = \frac{60}{I_{с.р.осн.}}$	$60/7.6 = 7.9 \text{ вит.}$
3	$W_{осн}$ (найближче менше число), допускається відхилення в більшу сторону, якщо воно не більше 5% розрахункових	8 витків
4	$I_{с.р.осн.} = F_{с.р.} / W_{осн.}$	$60/8 = 7.5 \text{ А}$
5	$I_{с.з.осн.} = I_{с.р.осн.} \cdot n_{с.вн.} / K_{сх.вн.}$	$7.5 \cdot 0.3 / \sqrt{3} = 1.3 \text{ А}$
6	$I_{с.з.осн.(сторонаСН)} = I_{с.з.осн.} \cdot \frac{U_{ВН.}(1 - \Delta U_{*РПН})}{U_{СН.}}$	$1.3 \cdot \frac{380 \cdot (1 - 0.1)}{127} = 1.3 \cdot 342 / 127 = 3.5 \text{ А}$
7	$W_{неосн.розр.СН.} = W_{осн.} \cdot \frac{I_{2.ВН}}{I_{2.СН.}}$	$8 \cdot \frac{5.25}{4.72} = 8.9 \text{ вит.}$
8	$W_{неосн.СН.}$ (найближче ціле число)	9 витків
9	$I_{с.з.неосн.}(сторона.НН) = I_{с.з.осн.} \cdot \frac{U_{ВН}(1 - \Delta U_{*РПН.})}{U_{НН.}}$	$1.3 \cdot 342 / 36 = 14.6 \text{ А}$
10	$W_{неосн.розр.НН.} = W_{осн.} \cdot \frac{I_{2.ВН}}{I_{2.НН.}}$	$8 \cdot \frac{5.25}{2.41} = 17.4 \text{ вит.}$
11	$W_{неосн.НН.}$ (найближче ціле число)	17 витків
12	$I_{нб.}''' = \frac{W_{неосн.розр.СН.} - W_{неосн.СН.}}{W_{неосн.розр.НН}} \cdot I_{к_2} + \frac{W_{неосн.розр.НН.} - W_{неосн.НН.}}{W_{неосн.розр.НН}} \cdot I_{к_3}$	$\frac{8.9 - 9}{8.9} \cdot 3.9 + \frac{17.4 - 17}{17.4} \cdot 4.9 = 0.069 \text{ А}$
13	$I_{нб.}$ з врахуванням $I_{нб.}'''$	$0.98 + 0.069 = 1.049 \text{ А}$
14	$I_{с.з.осн.}$ з врахуванням $I_{нб.}'''$ $I_{с.з.осн.} = k_n \cdot I_{нб.}$	$1.3 \cdot 1.049 = 1.36 \text{ А} > 1.315 \text{ А}$

Продовження таблиці 6.3

№ пункту	Позначення величини та розрахунковий вираз	Числові вирази
15	Прийняті кількості витків $W_{осн.} = W_p$ (сторона ВН) $W_{неосн.СН.} = W_{зр.І}$ (сторона СН) $W_{неосн.НН.} = W_{зр.ІІ}$ (сторона НН)	8 витків 9 витків 17 витків
16	Перевірка: $I_{2.ВН.} \cdot W_{осн.} \approx I_{2.СН.} \cdot W_{зр.І.расч.} \approx I_{2.НН.} \cdot W_{зр.ІІ.розр.}$	$5,23 \cdot 8 = 41,2 \text{ А} \cdot \text{вит.}$ $4,72 \cdot 8,9 = 42 \text{ А} \cdot \text{вит.}$ $2,41 \cdot 17,4 = 42 \text{ А} \cdot \text{вит.}$

10. Коефіцієнт чутливості при к.з. в точках К2 і К3 (при вибраних кількостях витків і струмів спрацьовування реле при проходженні струму К3 по стороні ВН): $k_{ч.сн.}^{(3)} = \frac{22,48}{7,5} = 3 > 2$; $k_{ч.нн.}^{(2)} = \frac{22,5}{7,5} = 3$.

11. Виберіть кількість витків в колі короткозамкнутої обмотки для реле РНТ-562 (положення штепсельних гвинтів – «В-В»).

6.4 Опис роботи максимального струмового захисту

Максимальний струмовий захист (МСЗ) спрацьовує при збільшенні струму захищеного елемента більше встановленого струму спрацьовування (уставки). Тому для запобігання зайвих (неселективних) спрацювань при зовнішніх к.з. в логічній частині захисту обов'язково має бути орган витримки часу, що уповільнює її дію на час, необхідний для спрацьовування захисту пошкодженого елемента. А для запобігання зайвих спрацювань при перевантаженні вимірювальній частині захисту потрібно мати струм спрацьовування (уставку) більший, ніж максимально можливий струм перевантаження.

МСЗ – єдиний із всіх типових захистів трансформаторів, який здійснює подальше резервування, тобто захист елементів нижчої (середньої) напруги у випадку к.з. на якомусь із елементів і відмови його власного захисту чи вимикача. На понижувальних трансформаторах МСЗ завжди встановлюється з боку основного живлення, а на багатообмоткових трансформаторах, крім того, на сторонах нижчої і середньої напруг.

Струм спрацьовування МСЗ трансформаторів

$$I_{с.з.} \geq 4 \cdot I_{ном.тр.},$$

а струм спрацьовування реле

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.}}{n_c} k_{сх.} .$$

Витримка часу вибирається з умов селективності на ступінь вище найбільшої витримки часу t_{max} захистів приєднань, що живляться від трансформатора, тобто

$$t_{МСЗ} = t_{max} + \Delta t .$$

В розрахунку беруть $t_{max} = 1,0$ с; $\Delta t = 0,5$ с. Коефіцієнт чутливості рекомендується визначати за вторинними струмами короткого замикання:

$$k_{ч} = \frac{I_{р.мін.}}{I_{c.p.}} .$$

В основній зоні (на шинах нижчої і середньої напруги) необхідно $K_{ч_{осн}} \geq 1,5$, а в зоні резервування $K_{ч_{рез.}} \geq 1,2$. Розрахунковим видом пошкодження є *двофазне к.з. за трансформатором.*

При к.з. в точці К2

$$I_{р.мін.} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{к2}}{n_c} .$$

При к.з. в точці К3

$$I_{р.мін.} = \frac{1,5 \cdot I_{к3}}{n_c} .$$

Струм спрацьовування захисту від перевантаження

$$I_{c.з.} = \frac{K_H}{K_{нв}} \cdot I_{ном.тр.} ,$$

де $K_H = 1,05$ – коефіцієнт надійності;

$K_{нв} = 0,85$ – коефіцієнт повернення реле.

Струм спрацьовування реле захисту від перевантаження

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.}}{n_c} \cdot I_{ном.тр.} .$$

Витримка часу захисту вибирається на ступінь більшою за час дії МСЗ:

$$t_{\text{пер.}} = t_{\text{МСЗ}} + \Delta t.$$

Схеми захистів трансформатора показано на рис. 6.1, 6.2.

6.5 Опис роботи лабораторного стенда

На стенді зображено модель триобмоткового трансформатора з одностороннім живленням і його захистів. На моделі показано джерело живлення (С), сторони трансформатора (ВН, СН, НН), місця встановлення вимикачів сторін (Q1, Q2, Q3), місця встановлення захистів (трансформаторів струму ТС і реле) і точки, в яких відбувається коротке замикання (К1, К2, К3).

Як триобмотковий трансформатор використовується триобмотковий трансформатор (встановлений на задній стороні стенда) потужністю $S_{\text{ном.}} = 600 \text{ В}\cdot\text{А}$ при номінальних напругах: на стороні ВН – $U_{\text{ВН.}} = 380 \text{ В}$, на стороні СН – $U_{\text{СН.}} = 127 \text{ В}$ і на стороні НН – $U_{\text{НН.}} = 36 \text{ В}$.

Трансформатор має такі види захистів:

- струмовий диференціальний захист, виконаний за допомогою трьох трансформаторів струму ТА1, ТА2, ТА3, які встановлені на кожній із сторін трансформатора, і реле типу РНТ-562; цей захист за допомогою проміжного реле КЛ1 діє на вимкнення трансформатора зі всіх трьох сторін;

- максимальний струмовий захист на стороні ВН, виконаний за допомогою трансформатора струму ТА4, реле струму КА1, реле часу КТ1, і діє також за допомогою проміжного реле КЛ1 на вимкнення трансформатора зі всіх трьох сторін;

- максимальний струмовий захист без витримки часу на стороні СН, виконано з допомогою трансформатора струму ТА5 і реле струму КА2, і діє з допомогою проміжного реле КЛ2 на вимкнення вимикача Q2; на цій самій стороні встановлено захист від перевантаження, виконаний за допомогою трансформатора струму ТА5, реле КА3, що діє з витримкою часу, яка здійснюється за допомогою реле часу КТ2, на сигнал (запалюється червона лампа НЛ).

Максимальний струмовий захист без витримки часу на стороні НН, виконаний (на лабораторному стенді) за допомогою трансформатора струму ТА6 і реле струму КА4. Цей захист діє через проміжне реле КЛ3 на вимкнення вимикача Q3. На передній панелі лабораторного стенду встановлено захист від перевантаження, виконаний за допомогою трансформатора струму ТА6, реле струму КА5. Він діє з витримкою часу, яку забезпечує реле часу КТ3, на сигнал (починає світити червона лампа НЛ).

Спрацьовування захистів фіксується сигнальними реле КН1 – КН8 (рис. 6.3). Під час спрацьовування захистів на вимкнення вимикачів Q1, Q2, Q3, їх вимкнення здійснюється шляхом подавання постійного струму

на котушки електромагнітів вимкнення YAT1, YAT2, YAT3 приводів вимикача.

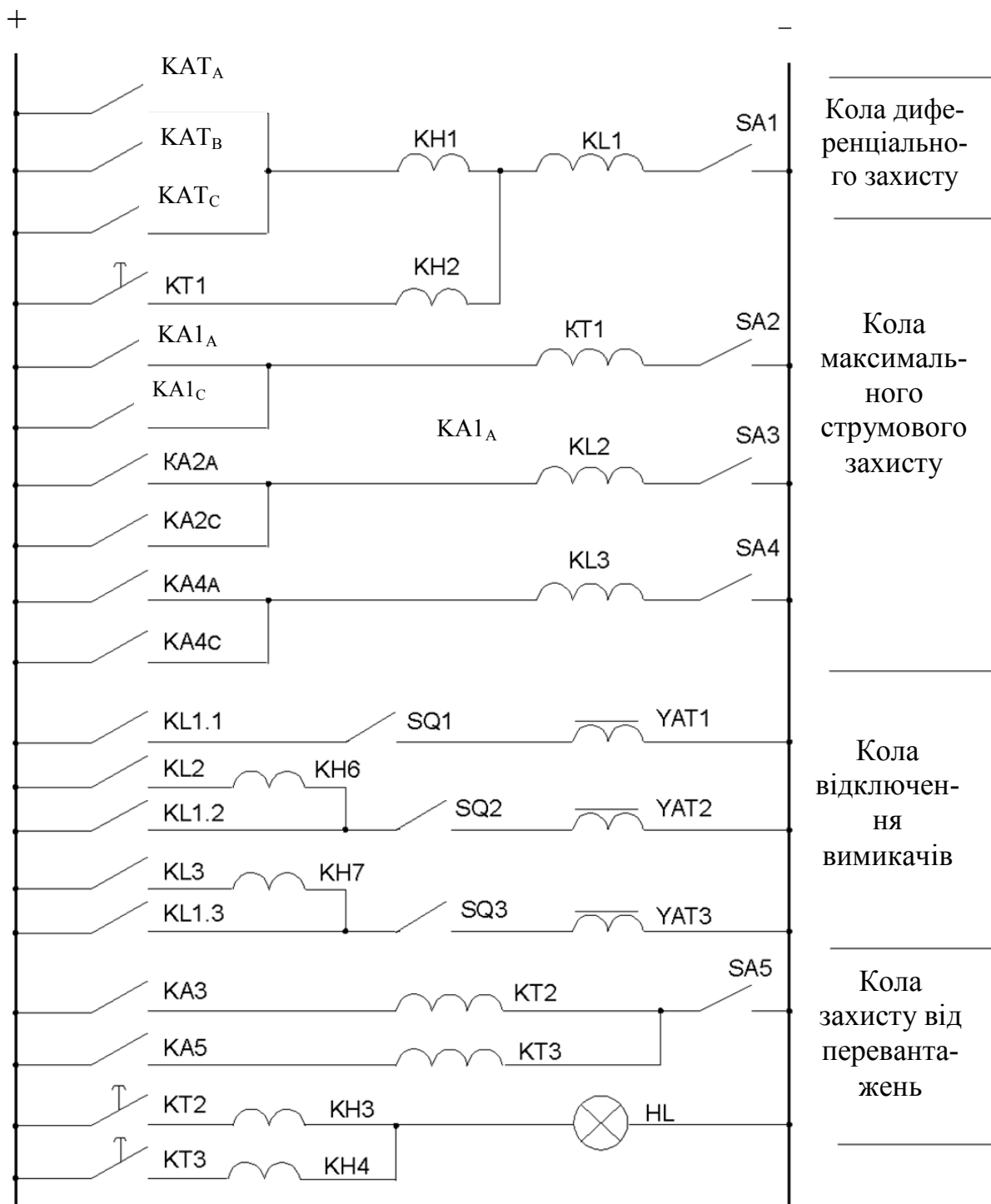


Рисунок 6.3 – Оперативні кола захистів трансформатора

На стенді схема складається до клем YAT1, YAT2, YAT3, оскільки самі котушки і їх другі кінці підключені до негативного полюсу джерела за стендом.

Захисти вводяться і виводяться з дії перемикачами SA1 ÷ SA5: диференціальний захист – SA1; максимальний струмовий на стороні ВН – пе-

перемикачем SA2; максимальний струмовий на стороні СН – SA3; максимальний струмовий захист на стороні НН – SA4; захист від перевантаження – перемикачем SA5 (див. рис. 6.3).

Амперметри PA1, PA2, PA3 призначено для вимірювання струмів у вторинних обмотках трансформаторів струму відповідно ТА1, ТА2 і ТА3. Трансформатори струму ТА1, ТА2 і ТА3 мають коефіцієнти трансформації струмів відповідно $n_C = 1.5/5$ А, $n_C = 5/5$ А, $n_C = 20/5$ А. Амперметр 5А, ввімкнений без трансформатора струму, служить для вимірювання струму на стороні ВН. За допомогою міліамперметра вимірюється струм в колі котушки струмового реле, ввімкненого у вторинну обмотку реле КАТ (див. рис. 6.3). Трансформатори струму ТА4, ТА5, ТА6 мають коефіцієнти трансформації струмів $n_C = 1.5/5$ А.

6.6 Алгоритм виконання лабораторної роботи

6.6.1 Ознайомтеся з лабораторним стендом:

- а) із зображеною на стенді схемою вмикання силового трансформатора (див. рис. 6.1);
- б) з розташуванням, призначенням і технічними даними трансформатора струму, приладів, реле, вимикачів і інших апаратів, встановлених на стенді (див. рис. 6.1, 6.2, 6.3);
- в) з будовою (рис. 6.4), технічними даними і схемою вмикання реле РНТ-565;



Рисунок 6.4 – Зовнішній вигляд реле РНТ-565

г) з призначенням і розташуванням контактів перемикачів, обмоток, контактів реле і інших апаратів, включених в коло оперативного постійного струму.

6.6.2 Складіть схеми для виконання лабораторної роботи:

1. З'єднайте обмотки реле РНТ-562 з вторинними обмотками трансформаторів струму і амперметрами (див. рис. 6.2).

2. Складіть схему захисту на оперативному постійному струмі (див. рис. 6.3).

6.6.3 Кнопкою «Пуск» магнітного пускача і тумблером живлення подайте на стенд живлення.

6.6.4 Увімкніть вимикачі і ознайоміться з роботою лабораторного стенда при виведених з роботи захистах трансформатора (перемикачі SA1 – SA5 вимкнені).

6.6.5 Виміряйте струми приладами в таких режимах:

в режимі паралельного навантаження;

в режимі к.з. на стороні ВН;

в режимі к.з. на стороні СН;

в режимі к.з. на стороні НН;

в режимі перевантаження на стороні СН;

в режимі перевантаження на стороні НН.

6.6.6 Розрахунковим шляхом визначте уставки спрацьовування диференціального, максимальних струмових захистів і виставте отримані значення уставок на реле.

6.6.7 Експериментально перевірте роботу захистів трансформатора при к.з. в точках К1, К2, К3 і при перевантаженнях на стороні СН та НН: по черзі при виведених інших захистах; при введених захистах (перемикачі SA1 – SA5 увімкнені).

6.6.8 Результати функціонування захистів запишіть в протокол досліджень.

6.6.9 Вимкніть живлення лабораторного стенда.

6.6.10 Оформіть звіт про виконану роботу та зробіть висновки.

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ТРИФАЗНЕ АВТОМАТИЧНЕ ПОВТОРНЕ ВМИКАННЯ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ (ПЛ) В РАДІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ З ОДНОСТОРОННІМ ЖИВЛЕННЯМ

7.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчити принцип дії і розрахунок параметрів пристрою однократного АПВ ліній електропередачі в радіальній мережі з одностороннім живленням.

7.2 Підготовка до лабораторної роботи

7.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / В. П. Кідиба – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.;
3. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посібник / Голота А. Д. – К. : Вища шк., 2006. – 367 с.;
4. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.

7.2.2 Дайте відповіді на такі запитання.

1. На яких видах електричного обладнання використовуються пристрої АПВ?
2. Як забезпечується однократність дії в схемах механічного АПВ?
3. Як забезпечується однократність дії в схемах електричного АПВ?
4. Чим визначається витримка часу АПВ?
5. У чому особливість виконання АПВ на повітряних вимикачах?
6. Коли застосовується двократне АПВ?
7. Які види АПВ застосовуються на лініях з двостороннім живленням?
8. Як здійснюється однофазне АПВ?
9. Як виконується АПВ на вимикачах з механічними приводами?
10. Як здійснюється АПВ шин?
11. В яких випадках застосовується «заборона дії» АПВ?

7.2.3 Підготуйте заготовку звіту, в якій наведіть програму виконання робіт в лабораторії, схеми для визначення характеристик реле та таблиці для внесення в них результатів випробувань реле.

7.3 Короткі теоретичні відомості

АПВ (автоматичне повторне увімкнення) призначено для виявлення нестійких відмов обладнання високої напруги.

Всі пошкодження в електричній мережі можна умовно розділити на два типи: стійкі і нестійкі. До стійких пошкоджень відносяться такі, для усунення яких потрібне втручання оперативного персоналу або аварійної бригади. Такі пошкодження не самоусуваються з часом, а експлуатація пошкодженої ділянки мережі неможлива. До таких пошкоджень відносяться обриви проводів, пошкодження ділянок ліній, опор ЛЕП, пошкодження електричних апаратів.

Нестійкі пошкодження характеризуються тим, що вони самоусуваються протягом короткого проміжку часу після виникнення. Такі пошкодження можуть виникати, наприклад, при випадковому короткочасному дотику проводів. При цьому виникає електрична дуга, яка не встигає призвести до значних пошкоджень, оскільки через невеликий проміжок часу після виникнення короткого замикання коло знеструмлюється дією релейного захисту.

Увімкнення відключеної ділянки мережі під напругу називається повторним включенням. Залежно від того, залишилась ця ділянка мережі в роботі чи знову відключилась, повторні включення поділяють на успішні і неуспішні. Відповідно, успішне повторне включення вказує на нестійкий характер пошкодження, а неуспішне – на те, що пошкодження було стійким.

Для прискорення і автоматизування процесу повторного включення застосовують пристрої автоматичного повторного включення.

Пристрої АПВ отримали широке застосування в електричних мережах. Їх використання в поєднанні з іншими засобами релейної автоматики дозволило повністю автоматизувати багато підстанцій, позбавляючи від необхідності тримати там оперативний персонал. Крім того, у ряді випадків АПВ дозволяє уникнути важких наслідків від помилкових дій обслуговуючого персоналу або помилкових спрацьовувань релейного захисту на ділянці, яка захищена релейним захистом.

Пристроями АПВ мають, в обов'язковому порядку, забезпечуватися всі повітряні і кабельно-повітряні лінії з робочою напругою 1 кВ і вище. Крім того, пристроями АПВ забезпечуються трансформатори, збірні шини підстанцій та електродвигуни.

Досвід експлуатації показує, що на ПЛ 70–80% коротких замикань самі ліквідуються, не встигаючи призвести до руйнування обладнання, якщо в момент їх появи здійснити швидке зняття напруги (вимкнення). Якщо ПЛ при повторному вмиканні залишається в роботі, то повторне включення ПЛ називають успішним. Якщо ПЛ має стійке пошкодження (обрив проводу, падіння опори і т. д.), то при повторному увімкненні пристрою захисти знову вимикають ПЛ. Таке повторне вмикання називають неуспішним. Використання АПВ значною мірою сприяє скороченню недопостачання електроенергії споживачу. Відомі пристрої АПВ за принципом дії поділяються на АПВ однократної та багатократної дії. Однократні АПВ забезпечують лише одне повторне вмикання лінії після появи відмови, і якщо

вмикання виявилось неуспішним, їх дія припиняється. Пристрій автоматичного повторного вмикання багатократної дії виконує ще одне або декілька повторних вмикань ПЛ після першого неуспішного вмикання, і якщо одне з вмикань виявилось успішним, ПЛ залишається в роботі [5, 6, 7, 8, 9].

В експлуатації є трифазні АПВ (ТАПВ) і однофазні АПВ (ОАПВ). Перші при спрацюванні забезпечують вмикання всіх трьох фаз ПЛ, а другі – тільки однієї фази. Перевагою ОАПВ є: збереження неповнофазного живлення споживача у випадку відмови однієї фази лінії електропередачі і збереження паралельної роботи по двох включених фазах при відключенні пошкодженої. До недоліків пристроїв ОАПВ відносять:

- роботу лише при однофазних коротких замиканнях;
- складність схеми ОАПВ за рахунок введення вузлів вибору фази;
- наявність в циклі роботи ОАПВ струмів нульової послідовності, що ускладнює умови роботи захисних пристроїв.

Пристроями ТАПВ оснащено більшість повітряних ліній електропередач в енергосистемах. Крім того, пристроями ТАПВ оснащується і інше обладнання: шини підстанцій, трансформатори і т. д.

Розрахунок параметрів пристроїв АПВ зводиться до визначення:

- $t_{АПВ}$, тобто витримки часу замикання контакту реле часу, яка визначає момент замикання кола на вмикання вимикача від АПВ;
- $t_{дебл.}$, тобто часу заряду конденсатора C до напруги спрацювання $U_{с.р.}$ – зарядного активного опору R .

Витримка часу $t_{АПВ}$ визначається за виразом

$$t_{АПВ} = t_{г.н.} + t_{зан}, \quad (7.1)$$

а при виконанні умови, коли $t_{д.с.} > t_{г.н.}$,

тоді:

$$t_{АПВ} = t_{д.с.} + t_{зан}, \quad (7.2)$$

де $t_{г.н.}$ – час готовності до повторної дії механізму приводу вимикача, с;

$t_{д.с.}$ – час деіонізації середовища після згасання електричної дуги в місці короткого замикання, с;

$t_{зан.}$ – час запасу, що враховує похибку у визначенні власного часу апаратури і часу деіонізації середовища, с ($t_{зан} = 0,1 \div 0,15$).

Витримка часу $t_{дебл.}$ визначається з врахуванням того, що конденсатор C може заряджатись лише при увімкненому вимикачі, тобто

$$t_{дебл.} = t_{р.з.} + t_{вим.в.}, \quad (7.3)$$

де $t_{р.з.}$ – час дії найбільш повільного релейного захисту. Цей захист вими-

кає вимикач після вмикання його пристроєм АПВ на неліквідоване к.з. на лінії, с;

$t_{вим.в}$ – час вимкнення вимикача від моменту подачі імпульсу до моменту зупинки траверси, с;

$t_{зар.}$ – час заряду, дорівнює 0,7 – 1,0 с.

Стосовно масляних вимикачів має виконуватись не лише умова (7.3), але і умова

$$t_{дебл} \geq t_{дебл.мін.} = 8 \div 10 \text{ с.} \quad (7.4)$$

Знаючи час заряду конденсатора $t_{зар.} = t_{дебл}$, можна визначити зарядний опір за виразом:

$$R = \frac{t_{зар.}}{C \cdot \ln \frac{U_{\delta}}{U_{\delta} - U_{сп.}}}, \quad (7.5)$$

де C – ємність конденсатора, Ф;

U_{δ} – напруга батареї, В;

$U_{сп.}$ – напруга спрацьовування проміжного реле, В.

На радіальній лінії і на трансформаторній підстанції встановлено МСЗ, струм спрацьовування захисту яких визначається за формулою:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_{сзн}}{k_{нв}} \cdot I_{роб.макс}, \quad (7.6)$$

де k_n – коефіцієнт надійності, що враховує похибку реле (k_n для реле типу РТ-40);

$k_{сзн}$ – коефіцієнт самозапуску, значення якого залежить від виду навантаження і його параметрів, від схеми і параметрів мережі живлення, від вибраних параметрів спрацьовування захисту і автоматики;

$k_{нв}$ – коефіцієнт повернення реле ($k_{нв} = 0,8$ для реле типу РТ-40);

$I_{роб.макс}$ – максимальний робочий струм (струм навантаження) захищуваного елемента.

Струм спрацьовування реле знаходиться за таким виразом:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}}{n_c} \cdot k_{сх}, \quad (7.7)$$

де $k_{сх}$ – коефіцієнт схеми, що враховує схему з'єднань трансформаторів струму;

n_c – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Струм спрацьовування реле РТБ блокування вимкнення відокремлювача, яке повинно надійно спрацьовувати з коефіцієнтом чутливості $K_c \geq 2$ при включенні короткозамикача QN, визначається із виразу:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{к.мін.}}{k_c n_c} = \frac{I_{к.мін.}}{2n_c}.$$

7.4 Опис роботи лабораторного стенда

На лабораторному стенді показано принципову схему радіальної лінії з одностороннім живленням (рис. 7.1), змонтовано реле захисту, пристрій АПВ, перемикачі, сигнальні лампи.

Вмикання і вимикання стенда в мережу здійснюється за допомогою перемикачів «Сеть ~ 380 В», «Сеть = 220 В» і кнопкової станції, розташованих в правій частині панелі.

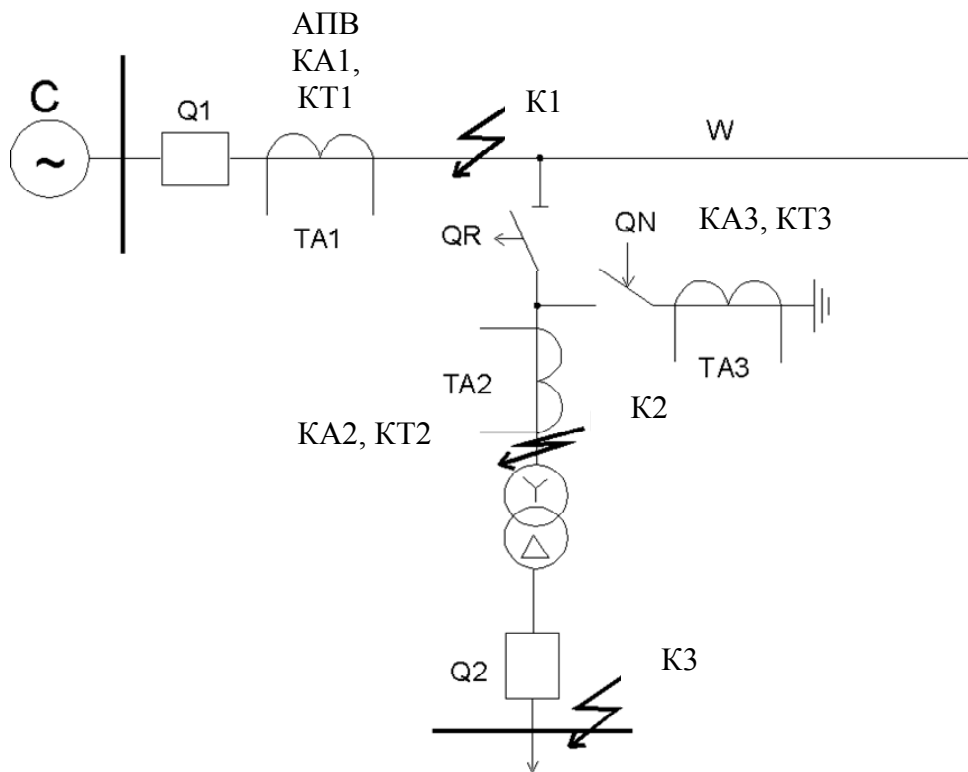


Рисунок 7.1 – Схема ділянки радіальної мережі

Трансформаторна підстанція приєднана до радіальної мережі через відокремлювач QR і короткозамикач QN за допомогою відпайки. Для захисту трансформатора передбачено максимальний струмовий захист (ТА2, КА2, КТ2, КН5), який діє на вмикання короткозамикача. Вмикання відокремлювача здійснюється кнопкою SB1, а вимикання короткозамикача – кнопкою SB2. В схемі передбачено блокування, яке не дозволяє включити

відокремлювач при увімкненому короткозамикачеві.

Вмикання і вимикання вимикача Q1, встановленого на радіальній лінії, здійснюється ключем керування SA1. На лінії встановлені МСЗ (ТА1, КА1, КТ1, КН1) та пристрій АПВ. Введення в дію МСЗ здійснюється за допомогою перемикача SA1, а пристрою АПВ – SA2. Короткі замикання в радіальній лінії і на трансформаторній підстанції імітуються кнопкою SB1, «Самоліквідоване» – перемикачем SA2, «Несамоліквідоване» – SA3. Перемикачем SA4 імітується «залипання» контактів реле KL2, а перемикачем SA5 вводиться блокування від «стрибання» вимикача.

На рис. 7.2 і 7.3 показано відповідно принципову схему захисту і пристрою АПВ, встановлених на радіальній лінії, і принципову схему захисту і сигналізації трансформаторної підстанції.

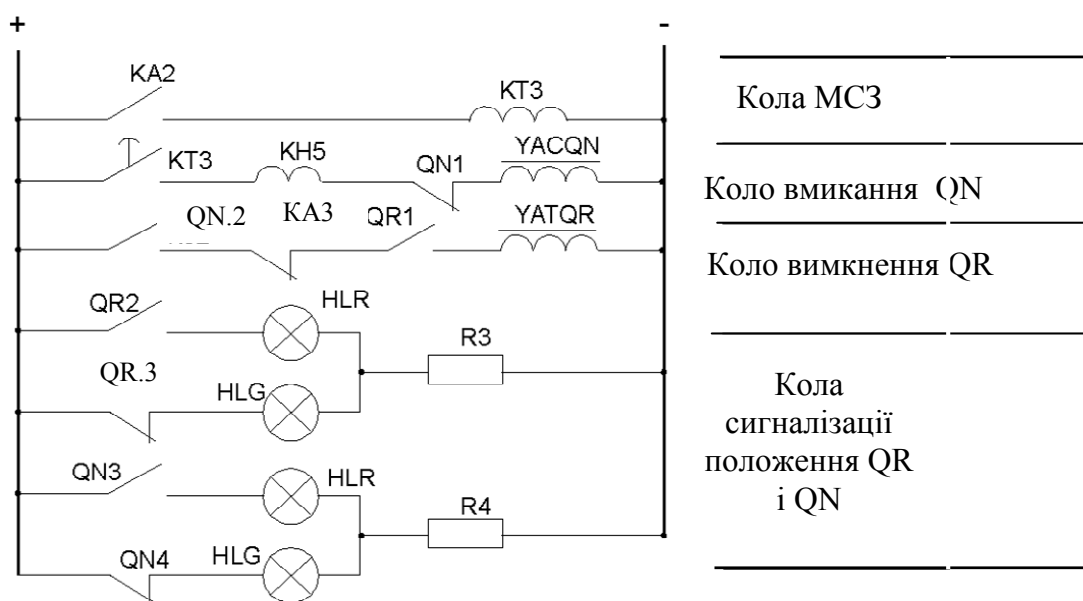


Рисунок 7.2 – Принципова схема захисту і сигналізації трансформаторної підстанції

В нормальному режимі вимикач Q1 радіальної лінії і відокремлювач QR увімкнені. При цьому блок-контакт вимикача SQ1.3 (рис. 7.3) замкнений і через обмотку реле KL3 протікає струм. Реле спрацьовує і замикає свої контакти KL3.1, через які проходить заряд конденсатора С («+»), KL3.1, R1, С, («-») і KL3.2, за допомогою якого воно стає на саможивлення через контакти 5÷7 ключа управління SA6 (останні при знаходженні SA6 в нейтральному положенні замкнені).

При пошкодженні трансформатора спрацьовує максимальний струмовий захист підстанції: контакт реле КА2 (рис. 7.2) замикається і подає живлення на обмотку реле часу КТ3, яке з витримкою часу замикає свій кон-

Через обмотку реле часу КТ1 починає протікати струм. Контакт реле КТ1.1 замикається з витримкою часу і подає живлення на обмотку проміжного реле КЛ1. Останнє замикає свій контакт КЛ1.1 в колі вимкнення вимикача («+», КЛ1.1, КН1, SQ1.6, YAT1, «-»). Вимикач Q1 вмикається, блок-контакт SQ1.4 замикається і починає світити сигнальна лампа аварійного вимкнення HLR.

В схемі (див. рис. 7.2) контакт реле КА3, яке запобігає вимкненню QR при увімкненому QN, замикається і подається живлення на соленоїд вимкнення відокремлювача YAT QR, тобто QR під час безструмової паузи вмикається.

При відключенні вимикача SQ1 блок-контакт SQ1.1 (див. рис. 7.4) замикається, і на обмотку реле часу КТ2 подається живлення. Реле часу замикає свій контакт КТ2 з витримкою часу в колі паралельної обмотки проміжного реле КЛ2, на яку і розряджається конденсатор С.

Реле КЛ2 спрацьовує і замикає контакт КЛ2 в колі соленоїда вмикання вимикача SQ1 («+», КЛ3.1, КН2, КЛ2, послідовна обмотка КЛ2, KBS1, SQ1.5, YAC1, «-»). Вимикач SQ1 повторно вмикається. Послідовна обмотка реле КЛ2 призначена для утримання контакту КЛ2 в увімкненому положенні в процесі вмикання вимикача.

В схемі передбачено блокування від вібрації контактів вимикача, тобто від багаторазового вмикання його на стійке К3 на радіальній лінії, коли утворюється одночасно два кола: на вмикання – через «залиплий» контакт КЛ2 і на вимкнення – від МС3. Для запобігання цього в схему введено реле KBS – реле блокування від багаторазових включень на К3. При спрацьовуванні МС3 замикається контакт проміжного реле КЛ1.2 в колі обмотки реле KBS, яке розмикає контакт KBS1 в колі вмикання вимикача і замикає контакт KBS2, через який обмотка реле стає на «саможивлення». Однократність дії АПВ у цій схемі досягається за рахунок того, що конденсатор С не встигає зарядитись до напруги спрацьовування реле КЛ2 у випадку стійкого к.з. на лінії.

У випадку неуспішного АПВ вимкнення вимикача відбувається таким чином. Спрацьовує МС3, і через миттєвий контакт реле часу КТ1.2 і контакт реле прискорення дії захисту РПЗ, що розмикається з витримкою часу, подається живлення на соленоїд вимкнення вимикача YAT1. Вимикач вмикається прискорено, тобто без витримки часу.

7.5 Алгоритм виконання лабораторної роботи

7.5.1 Ознайомтеся з лабораторним стендом.

7.5.2 Складіть схему згідно з рис. 7.4.

7.5.3 Розрахуйте уставки МС3 і параметри налаштування пристрою АПВ.

Початкові дані для розрахунку наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Дані для розрахунку уставок захисту мережі та параметрів налаштування пристрою АПВ

№ пункту	Параметри	Одиниця вимірювань	Варіант
1	Потужність трансформатора	тис. кВ·А	4
2	Номінальна напруга трансформатора	кВ	35±9%/II
3	Максимальний робочий струм радіальної лінії	А	147
4	Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму: ТА1 ТА2 ТА3		4000/5 1500/5 1000/5
5	Мінімальний струм К.З. на стороні ВН трансформатора	А	389
6	Тип вимикача 1Q		МКП – 38
7	Час вимикання вимикача	с	0.2
8	Час деіонізації середовища	с	0.07
9	Напруга спрацьовування реле	В	110
10	Напруга батареї	В	220
11	Ємність конденсатора	мкФ	20

7.5.4 Встановіть на реле КА1, КА2, КТ2 і КТ3 уставки струмів спрацьовування і витримки часу.

7.5.5 Подайте живлення на стенд. Ключем управління увімкніть вимикач Q1, а кнопкою SB1 – відокремлювач QR. Перевірте функціонування захистів в режимах, які наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Функціонування захистів

№ пункту	Увімкнені тумблери	Функціонування захистів при к.з. в точках		
		К1 «самоліквідоване»	К1 «несамоліквідоване»	К2
1	SA1			
2	SA1-SA2			
3	SA1-SA4			
4	SA1-SA5			

7.5.6 Поставте тумблери SA2-SA5 у початкове положення, вимкніть вимикач SQ1 і вимкніть живлення зі стенда за допомогою кнопки «Стоп» магнітного пускача.

7.5.7 Розберіть схему.

7.5.8 Уставки на струмових реле і реле часу поверніть у початкове положення.

7.5.9 Оформіть звіт про виконану лабораторну роботу.

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

АВТОМАТИЧНЕ ВМИКАННЯ РЕЗЕРВУ НА ДВОТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ

8.1 Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення з виконанням, функціонуванням та налаштуванням елементів схеми АВР.

8.2 Підготовка до лабораторної роботи

8.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.;
3. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посібник / Голота А. Д. – К. : Вища школа, 2006. – 367 с.;
4. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.

8.2.2 Дайте відповіді на такі запитання:

1. На яких видах електричного обладнання використовуються пристрої АВР?
2. Як забезпечується однократність дії АВР?
3. Що вам відомо про призначення пускового органа мінімальної напруги?
4. З якою метою в схемах пускового органа АВР застосовується реле частоти?
5. Як усунути хибну дію пускового органа мінімальної напруги при пошкодженнях в колах напруги?
6. Які види АВР застосовуються на підстанціях?
7. Що вам відомо про призначення АВР?
8. Чому за наявності декількох джерел живлення на підстанціях застосовуються схеми одностороннього живлення?
9. Як виконується розрахунок уставок АВР?

8.2.3 Підготуйте заготовку звіту, в якій наведіть програму виконання робіт в лабораторії, схеми для визначення характеристик реле та таблиці для внесення в них результатів випробувань реле.

8.3 Короткі теоретичні відомості

Всі пристрої АВР мають задовольняти такі основні вимоги:

– схема АВР повинна приходити в дію у випадку зникнення напруги на шинах споживачів з будь-якої причини, наприклад, при аварійному, помилковому або самостійному відключенні вимикачів робочого джерела живлення, а також при зникненні напруги на шинах, від яких здійснюється живлення робочого джерела. Вмикання резервного джерела живлення дозволяється також при к.з. на шинах споживача;

– для зменшення тривалості перерви живлення споживачів, вмикання резервного джерела живлення має відбуватись якомога швидше, відразу після вимикання робочого джерела;

– дія АВР має бути однократною для того, щоб не допустити декількох вмикань резервного джерела на неліквідоване к.з.;

– схема АВР не має починати діяти до вимикання вимикача робочого джерела для того, щоб уникнути вмикання резервного джерела на к.з. (у робочому джерелі), яке не усунуто; в окремих випадках виконання цієї вимоги виключає можливість несинхронного увімкнення двох джерел живлення;

– для того щоб схема АВР діяла при зникненні напруги на шинах, що живлять робоче джерело, коли його вимикач залишився увімкненим, вона має доповнюватись спеціальним пусковим органом мінімальної напруги;

– для прискорення вимикання резервного джерела живлення при його увімкненні на неусунуте к.з. потрібно передбачити прискорення дії захисту резервного джерела після АВР. Це особливо важливо у тих випадках, коли споживачі, що втратили живлення, підключаються до іншого вже завантаженого джерела. Швидке вимикання к.з. при цьому необхідне, щоб запобігти порушенню нормальної роботи споживачів, підключених до резервного джерела живлення [5, 6, 7, 8, 9, 10, 12].

Прискорений захист часто діє по колу прискорення без витримки часу. В установках власних потреб, а також на підстанціях, що живлять велику кількість двигунів, прискорення здійснюється до 0,5 с. Таке уповільнення прискореного захисту необхідне, щоб запобігти його помилковому спрацьовуванню. Це може бути при короткочасному замиканні контактів струмових реле в момент увімкнення вимикача під дією кидка струму. Цей кидок струму може бути зумовлений зсувом по фазі між напругою енергосистеми і затухаючою ЕРС електродвигунів. Кут зсуву може досягати 180° .

8.3.1 Розрахунок уставки реле однократності вмикання

Витримка часу проміжного реле однократності вмикання $t_{o.б}$ від моменту зняття напруги з його обмотки до розмикання контакту має з певним запасом перевищувати час вмикання вимикача резервного джерела живлення:

$$T_{o.б} = t_{вмк.} + t_{зан.} \text{ ,} \quad (8.1)$$

де $t_{вмк.}$ – час вмикання вимикача резервного джерела живлення,

$t_{зан}$ – час запасу, який вибирається в межах від 0,3 с до 0,5 с.

Якщо вимикачів часу резервного джерела живлення два, то час вмикання вимикача резервного джерела живлення дорівнює часу вмикання вимикача, що має більший час вмикання.

8.3.2 Розрахунок уставки реле пускового органу мінімальної напруги

Напряга спрацьовування реле мінімальної напруги при виконанні пускового органу за схемою, показаною на рис. 8.1 вибирається так, щоб пусковий орган спрацьовував лише при зникненні напруги і не починав діяти при зниженнях напруги, викликаних к.з. або самозапуском електродвигунів.

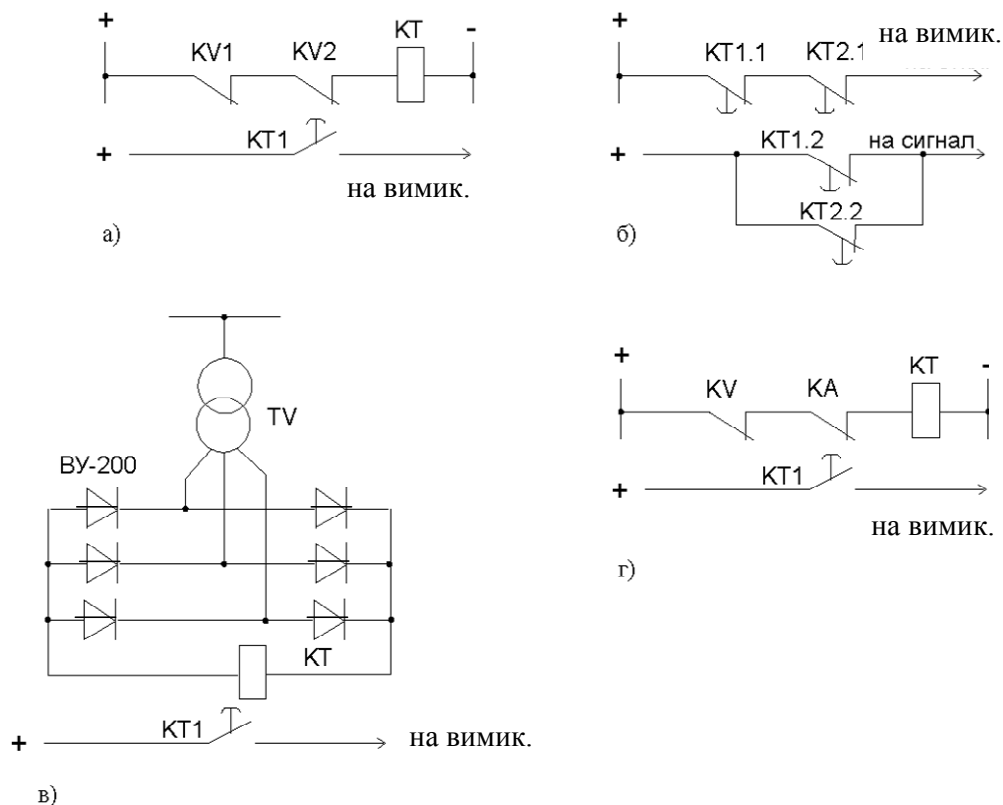


Рисунок 8.1 – Приклади виконання пускових органів АВР

На рис. 8.1 показано: а) – фрагмент схеми АВР, в якій як пусковий орган АВР використовуються реле мінімальної напруги; б), в) – фрагмент схеми АВР, в якій як пусковий орган АВР використовуються реле часу; г) – фрагмент схеми АВР, в якій як пусковий орган АВР використовуються реле мінімального струму та напруги.

Для виконання цієї умови напруга спрацьовування реле мінімальної напруги (напруга, при якій повертається якір реле в початковий стан) знаходиться за виразами (8.2) та (8.3):

$$U_{с.р.} = \frac{U_{зал.к.}}{k_H \cdot n_H}, \quad (8.2)$$

$$U_{c.p.} = \frac{U_{зан.}}{k_n \cdot n_n}, \quad (8.3)$$

де $U_{зал.к}$ – найменше розрахункове значення залишкової напруги при к.з.;

$U_{зан.}$ – найменша напруга при самозапуску електродвигунів;

k_n – коефіцієнт надійності (вибирається 1,25);

n_n – коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

У більшості випадків напруга спрацьовування реле мінімальної напруги може бути спрощено вибрана в межах

$$U_{c.p.} \approx (0.25 \div 0.4) \cdot U_{ном.}, \quad (8.4)$$

де $U_{ном.}$ – номінальна напруга електроустановки.

В схемах пускових органів мінімальної напруги мають застосовуватись реле напруги типу РН-53/60Д з межами уставок 15÷60 В і дозволяють тривале вмикання на напругу 110 і 220 В частотою 50 Гц.

При виконанні в схемі АВР (як пусковий орган мінімальної напруги) реле часу змінної напруги необхідно мати на увазі таке.

Напруга спрацьовування реле часу типів ЭВ-215 – ЭВ-245 не регулюється і за даними заводу становить $(0,25 \div 0,55) \cdot U_{ном.р.}$, де $U_{ном.р.}$ – номінальна напруга реле часу. Тому при використанні цих реле в схемах пускових органів мінімальної напруги потрібно відбирати реле з напругою спрацьовування, не вищою передбаченої.

Напруга спрацьовування реле часу типів ЭВ-215К – ЭВ-245К також не регулюється, але за даними заводу виробника реле ця напруга не перевищує $0,35 \cdot U_{ном.р.}$. Тому в схемах пускових органів можна застосовувати будь-які реле цих типів.

Витримка часу пускового органа мінімальної напруги має бути на ступінь селективності більшою витримок часу захистів, в зоні дії яких залишкова напруга при к.з. виявляється меншою напруги спрацьовування реле мінімальної напруги або реле часу. Такою зоною є ділянки до реакторів (точки 5, 6) і до трансформаторів (точка 4) на рис. 8.1.

Таким чином, витримка часу пускового органа мінімальної напруги визначається за виразами (8.5) та (8.6):

$$t_{n.o} = t_1 + \Delta t; \quad (8.5)$$

$$t_{n.o} = t_2 + \Delta t, \quad (8.6)$$

де t_1 – найбільша витримка часу захисту приєднань, що відходять від шин вищої напруги підстанції;

t_2 – найбільша витримка часу захисту приєднань, що відходять від шин нижчої напруги підстанції;

Δt – ступінь селективності, яка вибирається в межах від 0,4 с до 0,5 с.

Чим менша витримка часу пускового органу АВР, тим менша перерва у живленні споживачів. Тому при виборі уставок пускового органу слід намагатись того, щоб витримка часу була по можливості меншою.

8.3.3 Розрахунок уставки реле пускових органів мінімального струму і мінімальної напруги АВР

Напруга спрацьовування реле мінімальної напруги пускового органу напруги (рис. 8.1, г) вибирається за формулами (8.2) ÷ (8.4).

При цьому відстроюватись потрібно лише від коротких замикань в точці 3 (див. рис. 8.2).

Струм спрацьовування реле мінімального струму пускового органу мінімального струму має бути меншим мінімального струму навантаження. Його визначають за формулою:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{нав.мін.}}{k_n \cdot n_c}, \quad (8.7)$$

де $I_{нав.мін.}$ – мінімальний струм навантаження трансформатора;

k_n – коефіцієнт надійності, що береться 1,5;

n_c – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Витримка часу визначається лише за формулою (8.5) із умови узгодження із захистом, що діє при к.з. в точці 6 (див. рис. 8.2). Узгодження із захистом приєднань шин нижчої напруги не потрібно.

8.3.4 Розрахунок уставки реле контролю наявності напруги на резервному джерелі живлення пристрою АВР

Напруга спрацьовування цього реле визначається із умови налагодження від мінімальної робочої напруги за формулою

$$U_{c.p.} = \frac{U_{роб.мін.}}{k_n \cdot k_{нов} \cdot n_n}, \quad (8.8)$$

де $U_{роб.мін.}$ – мінімальна робоча напруга;

k_n – коефіцієнт надійності, приймається 1,2;

$k_{нов}$ – коефіцієнт повернення реле.

8.3.5 Принцип дії АВР

Розглянемо принцип дії АВР на прикладі двотрансформаторної підстанції, схема якої наведена на рис. 8.3, коли увімкнено вимикачі Q1, Q2, Q5 і в точці К1 відбулось коротке замикання.

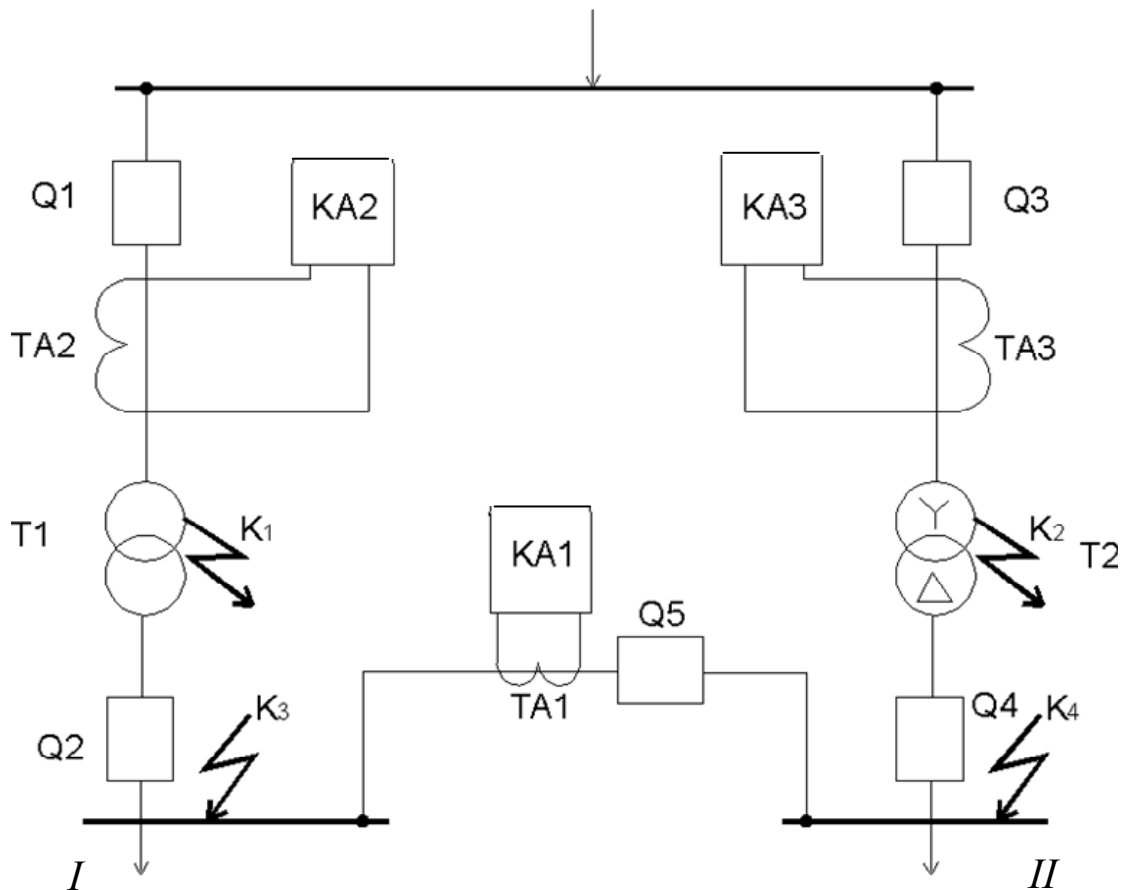


Рисунок 8.2 – Фрагмент схеми електричних з'єднань підстанції для пояснення принципу дії АВР

У цьому випадку спрацьовує максимальний струмовий захист трансформатора Т1: реле КА2 (рис. 8.2, 8.3) своїми контактами подає оперативний струм через увімкнений тумблер SA8 на обмотку проміжного реле KLT4. Реле KLT4 спрацьовує і з витримкою часу замикає контакти KLT4.1 і KLT4.2, подаючи живлення на котушки вимикання вимикачів Q1 і Q2 – YATQ1 і YATQ2.

В результаті вимикачі Q1 і Q2 вимикаються. При цьому блок-контакт вимикача Q2 – SQ2.1 розмикається і знеструмлює обмотку реле KLT1. Блок-контакт вимикача Q2 – SQ2.2 замикається і через контакт реле KLT1, що розмикається з витримкою часу, живить обмотку реле KL1. Останнє спрацьовує і через свої контакти KL1.1 і KL1.2 подає живлення на котушки вимикання вимикачів Q3 і Q4 – YACQ3 і YACQ4. Вони вводять в роботу трансформатор T2 і забезпечують живлення обох секцій підстанції.

Якщо к.з. відбулось в точці K3, схемою передбачено прискорення дії захисту секційного вимикача Q5. У цьому випадку спрацьовують МСЗ (реле КА1 і КА2), відключаються вимикачі Q1, Q2, Q5. Потім пристроєм АВР вмикаються вимикачі Q3, Q4 і Q5, але на секції 1 є к.з.

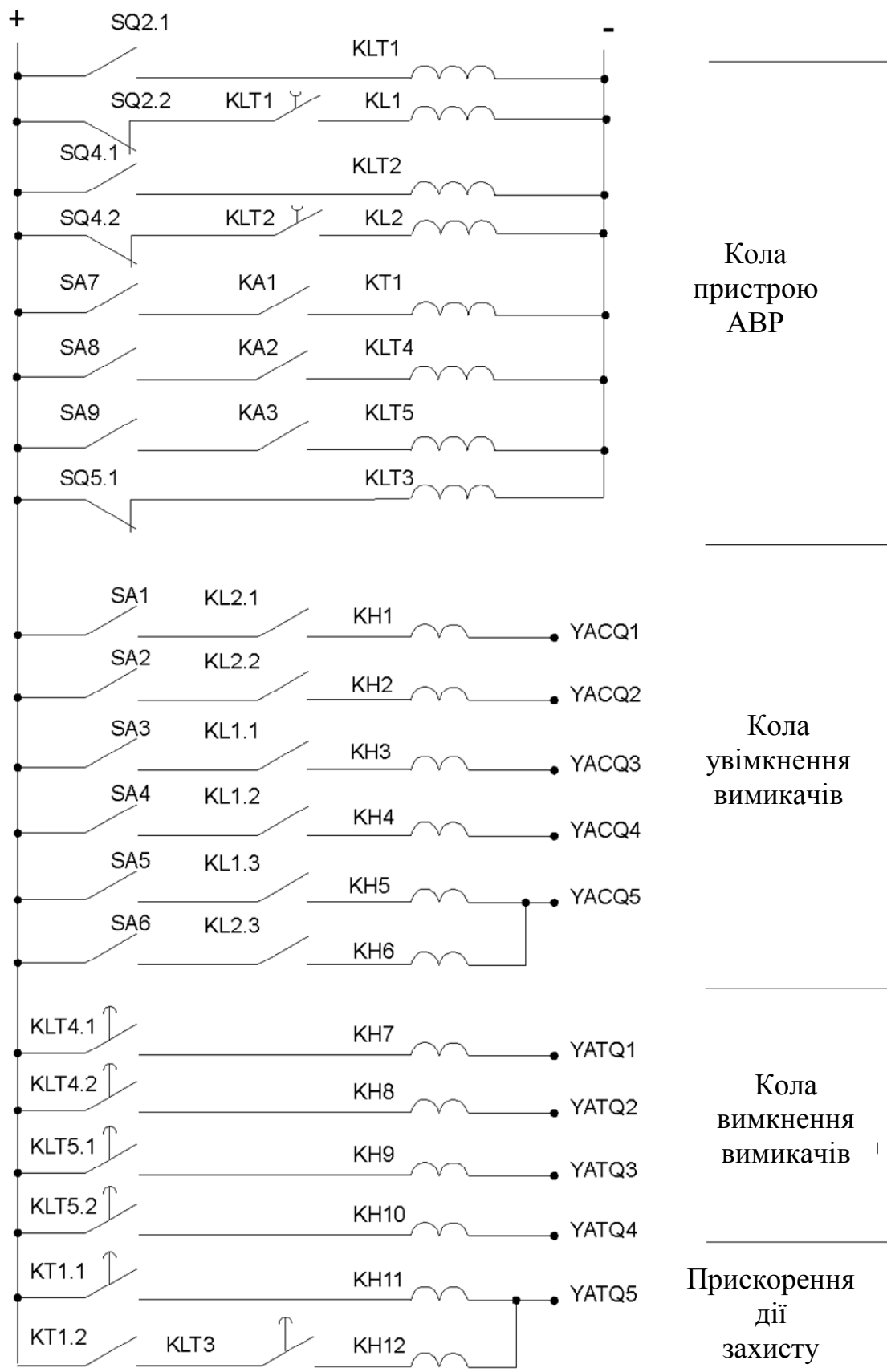


Рисунок 8.3 – Схема пристрою АВР і релейного захисту

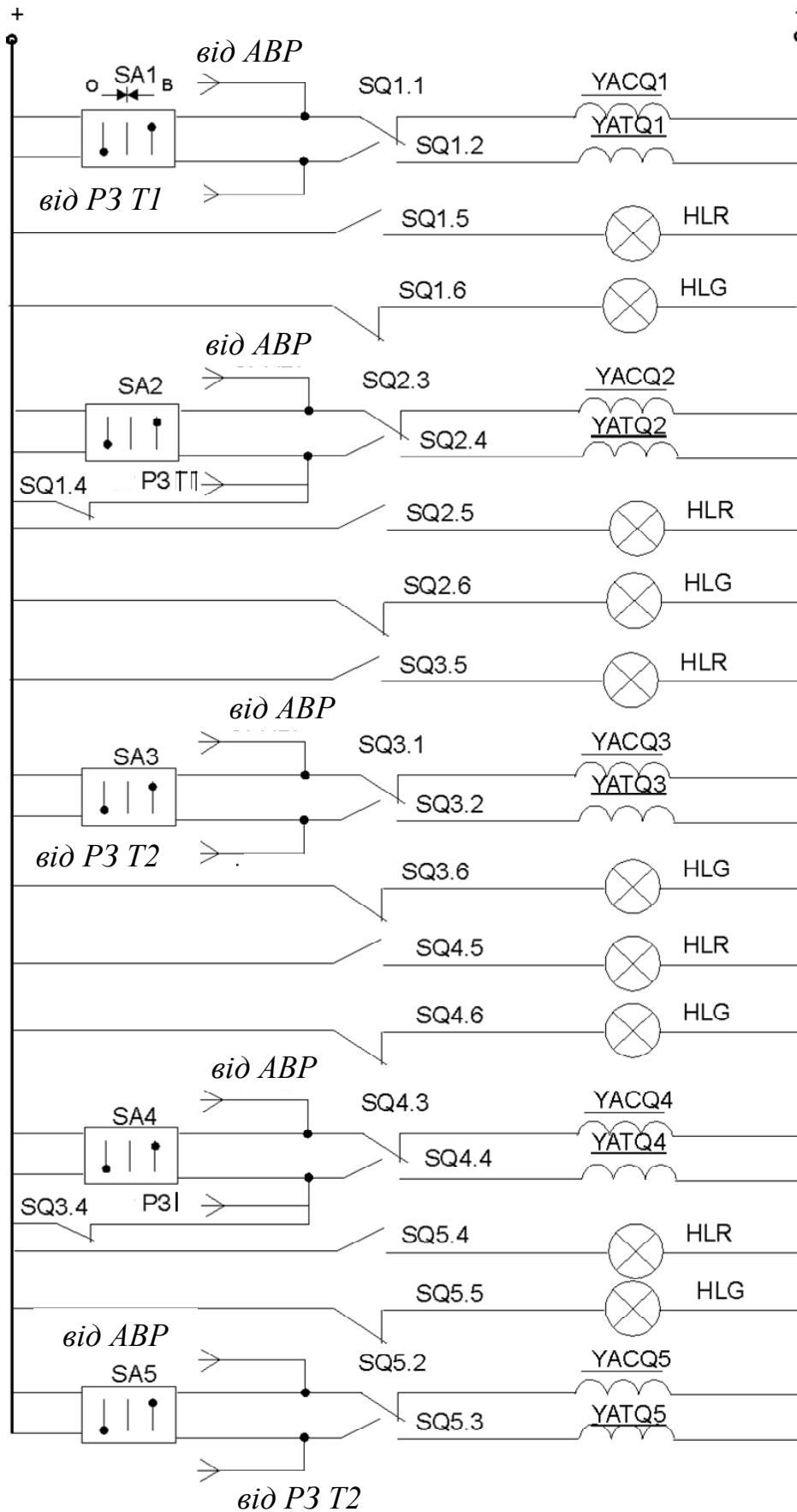


Рисунок 8.4 – Схема управління та сигналізації положення вимикачів

Тоді знову спрацьовує реле КА1 (МСЗ секційного вимикача Q5) і своїми контактами, через увімкнений тумблер SA2, подає живлення на обмотку реле часу КТ1, яке через свій миттєвий контакт КТ1.2, контакт КЛТ3, що розмикається з витримкою часу (оскільки обмотка реле КЛТ3 при включеному вимикачі Q5 не має живлення), і обмотку вказівного реле КН12 подає плюс оперативного струму на котушку вимкнення вимикача Q5 – УАТQ5.

В результаті таких дій вимикача Q5 вимикається без витримки часу. Сигналізація положення вимикачів здійснюється за допомогою сигнальних ламп (див. рис. 8.5), а про дії захистів та пристрою АВР сигналізують сигнальні реле.

8.4 Опис роботи лабораторного стенда

Живлення на стенд подається за допомогою кнопки «Пуск» магнітного пускача і тумблера «Мережа». Про наявність живлення свідчить засвічування ламп «= 220 В» і «~ 380 В». В центральній частині передньої панелі стенда показано схему понижувальної підстанції з двома силовими трансформаторами (див. рис. 8.1). На ній показано місця встановлення захистів трансформатора і секційного вимикача. Лівіше схеми встановлено тумблери SA1÷SA9, які призначені для введення в дію пристрою АВР і тумблери К1÷К4 для імітації к.з. в різних точках схеми. Також на стенді розташовано реле, ключі керування, сигнальні лампи, клеми та інше обладнання.

8.5 Алгоритм виконання лабораторної роботи

8.5.1 Ознайомтеся з лабораторним стендом.

8.5.2 Складіть схему, яка показана на рис. 8.4.

8.5.3 Подайте на стенд живлення і включіть тумблери SA1÷SA9.

8.5.4 Підніміть прапорці сигнальних реле КН1÷КН12.

8.5.5 Дослідіть роботу схеми в таких режимах:

1. Q1, Q2, Q5 увімкнені – вимикання Q1 ключем керування.
2. Q1, Q2, Q5 увімкнені – вимикання Q2 ключем керування.
3. Q3, Q4, Q5 увімкнені – вимикання Q3 ключем керування.
4. Q3, Q4, Q5 увімкнені – вимикання Q4 ключем керування.
5. Q1, Q2, Q3, Q4 увімкнені – вимикання Q1 ключем керування.
6. Q1, Q2, Q3, Q4 увімкнені – вимикання Q3 ключем керування.
7. Q1, Q2, Q3, Q4 увімкнені – к.з. в точці К1.
8. Q1, Q2, Q3, Q4 увімкнені – к.з. в точці К2.
9. Q1, Q2, Q3, Q4 увімкнені – к.з. в точці К3.
10. Q1÷Q5 увімкнені – к.з. в точці К1.
11. Q1÷Q5 увімкнені – к.з. в точці К2.
12. Q1÷Q5 увімкнені – к.з. в точці К3.

13. Q1÷Q5 увімкнені – к.з. в точці К4.
14. Q1, Q2, Q5 увімкнені – к.з. в точці К1.
15. Q1, Q2, Q5 увімкнені – к.з. в точці К3.
16. Q1, Q2, Q5 увімкнені – к.з. в точці К4.
17. Q3÷Q5 увімкнені – к.з. в точці К2.
18. Q3÷Q5 увімкнені – к.з. в точці К3.
19. Q3÷Q5 увімкнені – к.з. в точці К4.

При проведенні дослідів запишіть у звіт до лабораторної роботи, які вимикачі влючились або відключились і які вказівні реле спрацювали.

8.5.6 Вимкніть живлення лабораторного стенда.

8.5.7 Вимкніть тумблери SA1÷SA9.

8.5.8 Встановіть у початкове положення сигнальні реле КН1÷КН12.

8.5.9 Оформіть звіт про виконану лабораторну роботу та ознайомтесь з параметрами одного з сучасних мікропроцесорних пристроїв АПВ, наприклад, з мікропроцесорним реле струмового захисту IPR-A (рис. 8.5), яке може виконувати функції двократного АПВ.



Рисунок 8.5 – Мікропроцесорне реле струмового захисту IPR-A

9 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

АВТОМАТИЧНЕ ЧАСТОТНЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ

9.1 Мета роботи

Метою роботи є: ознайомлення з принципом дії, схемами, розрахунками уставок пристрою автоматичного частотного розвантаження (АЧР) в енергосистемі; ознайомлення з методами налаштування та перевірки функціонування АЧР; вивчення конструкції, принципу дії та схеми підключення реле частоти.

9.2 Підготовка до лабораторної роботи

9.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.;
3. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посібник / Голота А. Д. – К. : Вища школа, 2006. – 367 с.;
4. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.

9.2.2 Дайте відповіді на такі запитання.

1. Які вам відомі принципи виконання пристрою АЧР?
2. Яке призначення АЧР1 і АЧРІІ?
3. Як визначаються уставки спрацьовування АЧР?
4. В яких випадках і чому передбачається додаткове розвантаження?
5. Що вам відомо про принцип виконання додаткового розвантаження АЧР?
6. Що вам відомо про призначення ЧАПВ і вибір уставок?
7. Що вам відомо про конструкцію реле РЧ-1(або ИВЧ-0,11), принцип його дії, спосіб регулювання уставок?

9.2.3 Розрахуйте уставки пристрою АЧР при розвантаженні селективними чергами

Початкові дані для розрахунку уставок

Уставка спрацьовування першої черги $f_{ср.1} = 49,2$ Гц. Коефіцієнт ефекту регулювання $k_n = 1$. При спрацьовуванні останньої черги частота має збільшуватись до 49,2 Гц. Похибка спрацьовування реле частоти $\varepsilon_f = \pm 0,15$ Гц.

Результати розрахунку запишіть у таблицю. У таблиці запишіть: номер

черги, частоту спрацьовування, відключену потужність споживачів у відсотках, витримку часу між чергами.

Визначте кількість черг, які спрацьовують, і усталене значення частоти після розвантаження при різних дефіцитах потужності для таких даних: до АЧР-1 приєднано 60% споживачів, $\Delta P_i = 0,6 \cdot P_H$, $k_H = 1$.

Перша категорія призначена для зупинення зниження частоти і має уставки за частотою 49,2÷47,2 Гц. В цьому діапазоні частот вибрано 20 черг зі ступенем селективності – $\Delta f = 0,1$ Гц.

До цих черг належать: спеціальна черга (з уставкою спрацьовування реле частоти – 49,2 Гц та витримкою часу 0,5 с, 5% навантаження), захисна черга (з уставкою спрацьовування реле частоти – 49,0 Гц та витримкою часу 0,5 с, 5% навантаження). Кількість черг, що спрацьовують, дорівнює n . Усталене значення частоти до розвантаження – $f_{уст}$. Усталене значення частоти після розвантаження – f_n .

Визначте уставки спрацьовування АЧР при дефіциті потужності:

$$\alpha = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = 1,0; 0,8; 0,5; 0,2.$$

Результати розрахунку запишіть у таблицю. В таблиці запишіть значення: α , $f_{уст}$, n , f_n .

9.2.4 Підготуйте заготовку звіту, в якій наведіть програму виконання робіт в лабораторії, схеми АЧР та таблиці для внесення в них результатів випробувань реле.

9.3 Короткі теоретичні відомості

Розвантаження енергосистеми за частотою є аварійним заходом. Воно має застосовуватись лише тоді, коли всі внутрішні резерви системи використані, а частота продовжує знижуватись. Звідси випливає, що не можна відразу ж застосовувати завантаження енергосистеми, як тільки частота стане нижчою за номінальну. Вважають, що до тих пір, поки частота знаходиться на рівні 49,21 Гц і вище, відключати споживачів не потрібно. Враховуючи особливу відповідальність за вимикання споживачів і розуміючи, що це потрібно застосовувати у крайньому випадку, початкове значення частоти розвантаження беруть 49,2 Гц. При частоті, меншій 49,2 Гц, атомні станції автоматично зменшують своє навантаження на 10%. На Україні встановлена потужність АЕС в 2014 році становила 16,8 млн кВт. Тому 10% розвантаження АЕС – це втрата 1,68 млн кВт потужності (більше ніж зупинка одного блока на мільйон кіловат). Це призводить до ще більшого зростання дефіциту потужності в енергосистемі.

Розвантажити енергосистему – це, по-перше, припинити зниження частоти не нижче 45 Гц, щоб не виникла «лавина частоти», по-друге, за рахунок наступного розвантаження збільшити частоту системи до номінальної.

Як правило, призначають декілька черг розвантаження, забезпечуючи «витягування» частоти до номінальної при різноманітних аварійних ситуаціях. Існує два способи призначення черг аварійного розвантаження: розвантаження селективними чергами і з великою кількістю черг [5, 6, 7, 8, 9].

При розвантаженні селективними чергами беруть такі уставки за частотою. Для першої черги частота спрацьовування – $f_{cp.1} = 48,8$ Гц. Різниця частот між суміжними чергами відрізняється на ступінь селективності $\Delta f = 0,5$ Гц.

Це зроблено для забезпечення селективної дії черг. Уставка за частотою задається за допомогою реле частоти, яке має похибку спрацьовування $+0,15$ Гц. Для селективної дії черг необхідно враховувати подвійну похибку реле і мати деякий запас за частотою. Ці обставини і визначають ступінь між чергами на рівні $0,5$ Гц. У різних енергосистемах беруться дещо інші уставки спрацьовування частотного розвантаження, але принцип розвантаження такий самий.

До кожної черги частотного розвантаження приєднують певного споживача. При спрацьовуванні черги ці споживачі відключаються від енергосистеми і тим самим енергосистема розвантажується.

Потужність споживачів кожної черги вибирається з такого розрахунку, щоб після спрацьовування черги частота піднімалась до рівня $49,21 \div 49,5$ Гц. Усталена зміна частоти в системі викликана дефіцитом (або надлишком) потужності і визначається за виразом:

$$\Delta f = \frac{\Delta P^*}{k_H} \quad \text{або} \quad \Delta f_{(Гц)} = \frac{\Delta P\%}{2k_H}.$$

Звідси легко знайти потужність споживачів ΔP^* , які приєднані до відповідної черги. Так, при спрацьовуванні першої черги при частоті $f_{cp.1} = 48,8$ Гц і за необхідності підняти частоту до 50 Гц в системі з $k_H = 1,0$ потрібно зменшити навантаження споживачів. Для цього потрібно відключити споживачів потужністю, яка визначається за виразом:

$$\Delta P^* = \Delta f_* \cdot k_H = \frac{50 - 48,8}{50} \cdot 1 = 0,024$$

або

$$\Delta P\% = \Delta f_{(Гц)} \cdot 2k_H = (50 - 48,8) \cdot 2 \cdot 1 = 2,4\%.$$

Принципово автоматика АЧР має відключати споживачів без витримки часу, як тільки частота знизиться до значення уставки спрацьовування відповідної черги. Але застосовують невелику витримку часу, яка дорівнює $0,3 \div 0,5$ с. За рахунок такої витримки часу можливо відвернути

хибне спрацьовування розвантаження через неправильне спрацьовування реле частоти при різких змінах напруги в момент аварії.

Основні черги розвантаження можуть зупинити подальше зниження частоти в системі, але забезпечити повне відновлення частоти вдається не завжди. З цієї причини інколи призначається додаткова черга розвантаження. Її уставка спрацьовування дорівнює 47,0 Гц, а діє вона з витримкою часу 20÷30 с. Якщо за рахунок дії основних черг частота буде вищою за 47 Гц, то реле частоти додаткової черги повернеться у початковий стан і вимикання споживачів не відбудеться.

Перевагою такого способу частотного розвантаження ЕЕС є селективність відключення споживачів. До першої і другої черги приєднані маловідповідальні споживачі третьої категорії (рідко споживачі другої категорії).

До недоліку способу потрібно віднести розвантаження великими частинами за потужністю і зависання частоти на рівні вище 47 Гц. Цей недолік усувається при використанні способу розвантаження з більшою кількістю черг.

Розвантаження з більшою кількістю черг поділяють на першу (АЧР1 – вимикається до 60% всього навантаження) і другу (АЧРІІ) категорії.

Перша категорія призначена для зупинення зниження частоти і має уставки за частотою 49,2÷47,2 Гц (48,8÷47,2 Гц). У цьому діапазоні частот призначається більша кількість черг – приблизно 20 черг. Оскільки між суміжними чергами $\Delta f = 0,1$ Гц, то внаслідок похибки реле частоти можливе неселективне спрацьовування черг. Черги, що відрізняються одна від одної на ступінь селективності за частотою $\Delta f = (0,2 \div 0,3)$ Гц і більше, працюють між собою селективно.

До черг з уставками, близькими до верхньої межі 48,8 Гц (49,2 Гц), приєднують маловідповідальних споживачів. Відповідальні споживачі вимикаються при більших зменшеннях частоти. Сумарна потужність споживачів, які приєднані до АЧР1, розглядається за максимально можливим дефіцитом потужності, взятим з певним запасом. Розрахунковим значенням потужності може бути взята потужність найбільш потужного генератора, цілої електричної станції або дефіцит потужності, обумовлений вимкненням лінії зв'язку електричної станції з енергосистемою. У першому наближенні можна орієнтуватись на 25–30% електричної потужності відокремленого району, тобто

$$\Delta P_{I} = (0,25 - 0,3) \cdot P_n.$$

Потужність, яка призначена для розвантаження розподіляється порівну між чергами АЧР1. Так, при 20 чергах і сумарній потужності АЧР1 в 30% від $P_{ном.}$ до кожної черги приєднуються споживачі з потужністю, яка дорівнює 1,5% від $P_{ном.}$ Таким чином, за цим методом, розвантаження енерго-

системи відбувається невеликими частинами в 1,5% і менше. Для усунення хибної роботи реле частоти в перехідному режимі призначається невелика витримка часу $0,1 \div 0,2$ с.

Друга категорія АЧРІІ з єдиною уставкою за частотою 49,1 Гц для усіх несуміщених черг цієї категорії і різними уставками за часом (від 5 до 20 с) та з єдиною уставкою 48,8 Гц і часом від 21 до 90 с для суміщених черг – призначена для збільшення частоти в ЕЕС після дії АЧРІ до рівня $49,5 \div 50$ Гц. Розрахункова уставка за часом АЧРІІ вибирається 10 с. Потужність споживачів, які приєднані до АЧРІІ, орієнтовно призначається за умови $\Delta P_{II} = 0,4 \cdot \Delta P_I$.

Кількість черг АЧРІІ також вибирається більшою, наприклад $10 \div 20$ черг, з витримкою за часом між суміжними чергами в $\Delta t = 2 \div 3$ секунд. Таким чином, і АЧРІІ проводить розвантаження малими порціями.

Розглянемо детальніше роботу АЧРІ. Позначимо потужність споживачів, які приєднані до всіх черг АЧРІ, через ΔP_I . Будемо вважати, що N – кількість черг, а n – деяка проміжна черга. Нехай в енергосистемі з'явився дефіцит генераторної потужності ΔP_e , причому $\Delta P_e < \Delta P_I$. Можна вважати, що $\Delta P_e = \alpha \cdot \Delta P_I$, де $\alpha < 1,0$.

Одна черга відключає від енергосистеми споживачів потужністю:

$$\Delta P_{I,i} = \frac{\Delta P_I}{N} = \frac{\Delta P_e}{\alpha \cdot N}.$$

При дефіциті потужності ΔP_e частота системи буде змінюватись так:

$$f = 50 - \frac{\Delta P_e}{2k_H} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T'_{ен.сист.}}\right) \right],$$

де $T'_{ен.сист.}$ – стала часу енергосистеми з врахуванням ефекту регулювання навантаження і зміни моменту турбін в функції частоти при постійному відкритті регулятора.

В усталеному режимі частота ЕЕС:

$$f_{уст.} = 50 - \left(\frac{\Delta P_e}{2K_H} = 50 - \Delta f_{уст.} \right).$$

Після дії n черг дефіцит в системі зменшиться і частота в системі збільшиться

$$f_n = 50 - \left(\Delta P_e - \frac{\Delta P_{e,n}}{\alpha \times N} \right) \cdot \frac{1}{2 \times k_H}. \quad (9.1)$$

Частоту спрацьовування n -ї черги визначають за формулою:

$$f_n = 48,8 - (48,5 - 47,2) \cdot n/N, \quad (9.2)$$

де 48,8 і 47,2 Гц – відповідно початкове і кінцеве значення уставок за частотою АЧР1.

Прирівнюючи праві частини формул (9.1) і (9.2), знайдемо кількість черг, що спрацьовують:

$$n/N = n^* = \frac{\Delta f_{уст.} - 1.5}{0,5 \cdot \Delta f_{уст.} + 2}.$$

Деякі енергосистеми отримують значну потужність від ЕЕС по лінії зв'язку.

При відключенні лінії зв'язку енергосистема стає гостродефіцитною, а тому звичайне розвантаження може виявитись неефективним.

По-перше, АЧР починає діяти з затримкою, коли частота знизиться до 49,2 Гц, по-друге, черги АЧР мають затримки за часом, і по-третє, при гострому дефіциті активної потужності може відбутись зниження напруги і реле частоти буде працювати неправильно. Ці обставини примушують проводити розвантаження енергосистеми не лише за відхиленням частоти, а і за іншими параметрами: швидкістю відхилення частоти, зміною струму, зміною значення і напрямком потужності лінії зв'язку, за відключенням лінії зв'язку або потужного генератора.

Схеми частотного розвантаження досить прості. В їх основу покладено реле частоти, що фіксує зниження частоти, реле часу і проміжне реле. Якщо на підстанції є споживачі різних категорій, вимикання яких має здійснюватись при різних уставках за частотою, необхідно мати декілька розглянутих схем АЧР. Можливий і інший варіант, в якому з метою економії апаратури використовується одно реле частоти з переналагодженням його на різні частоти.

Для відновлення живлення споживачів, необґрунтовано відключених пристроями АЧР, застосовується частотне автоматичне повторне вмикання АПВЧ, яке виправляє дії АЧР і проводить зворотне вмикання споживачів після відновлення частоти в системі. Пристрій АПВЧ дозволяє скоротити час перерви електропостачання споживачів, неправильно відключених пристроями АЧР, внаслідок дефіциту потужності АПВЧ приходить в дію звичайно при відновленні частоти до 49,4 – 50 Гц (чергами через 0,1 Гц з витримкою часу від 10 до 90 с).

9.3.1 Опис лабораторного стенда

На стенді змонтовано модель енергосистеми, що містить джерело електроенергії – еквівалентну електростанцію, до якої через лінію підключена підстанція (рис. 9.1) з трьома лініями, які відходять від шин підстанції. Схеми моделі однолінійна.

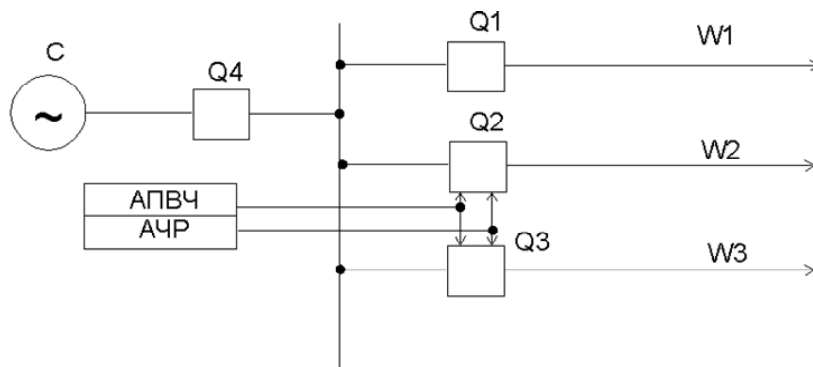


Рисунок 9.1 – Фрагмент схеми ЕЕС до лабораторної роботи № 9

Як еквівалентний генератор С в лабораторній роботі використовується синхронна машина, приводом якої є двигун постійного струму з паралельним збудженням. Зміна частоти в електросистемі здійснюється вимірюванням швидкості обертання приводного двигуна. Для цієї мети в коло якоря двигуна підключено реостат, що дозволяє плавно змінювати частоту струму в межах 42÷52 Гц. Для ручного вимірювання частоти струму в системі на передню панель стенда виведено ключ керування «менше – більше» і сигнальні лампочки. Для управління вимикачами ліній на стенді передбачено ключі управління 1КУ÷4КУ і відповідні сигнальні лампочки. До ліній, що відходять від підстанції, підключено активне навантаження.

На шинах підстанції встановлено АЧР і АПВЧ. АЧР має дві черги. Перша черга відключає лінію W2, а друга – W3, яка після відновлення частоти вмикається пристроєм автоматичного повторного вмикання після частотного розвантаження (АПВЧ).

Кнопка SB «Кн» призначена для штучного створення аварійного режиму (швидкого зростання навантаження), при якому частота знижується. Перемикач SA1 призначений для виведення з роботи пристрою АЧР; SA2 – для виведення з роботи пристрою АПВЧ; SA3 і SA4 – для виведення з роботи системи автоматичного регулювання частоти. Вмикання і вимикання генератора здійснюється за допомогою перемикача «В».

Підключення стенда до мережі здійснюється за допомогою кнопок «Пуск», «Стоп» кнопкової станції і перемикачів «Мережа = 220 В» та «Мережа 380 В».

Наявність напруги на стенді сигналізується лампочками. В правому нижньому куті стенда розташовано виводи котушок і контактів реле, що входять до схеми АЧР і АПВЧ. Самі реле змонтовано на передній панелі стенда. У верхній частині передньої панелі стенда розташовано контрольно-вимірювальні прилади для контролю напруги (U_2), струму (I_2) і частоти генератора (f), а також струму в якорі приводного двигуна ($I_{де}$). Принципову схему пристрою АЧР і АПВЧ показано на рис. 9.1.

Схема лабораторного стенда разом з пристроями АЧР та АПВЧ працює таким чином.

У початковому стані вимикачі Q1÷Q4 на лінії увімкнені. Перемикачі SA1÷SA4 знаходяться також в положенні «Увімкнено». На стенд подається

напруга, генератор вмикається і частота його ключем управління «менше – більше» встановлюється 50 Гц. Кнопкою SB «Кн» створюється збурення, при якому частота знижується. При зниженні частоти до уставки першої черги спрацьовує реле KF1 і запускає реле часу KT1, яке своїми контактами KT1.3 замикає коло котушки вимикання YATQ2 вимикача і лінія W2 відключається.

Сигнальне реле КН1 сигналізує про спрацьовування першої черги АЧР. Реле часу KT1 введено в схему для створення невеликої витримки часу першої черги з метою запобігання неправильній роботі АЧР при короткочасних зниженнях частоти. Якщо частота в системі продовжує знижуватись до уставки другої черги, спрацьовує реле KF2 і проводить пуск реле часу KT2, яке своїм контактом замикає коло живлення обмотки проміжного реле KL1.

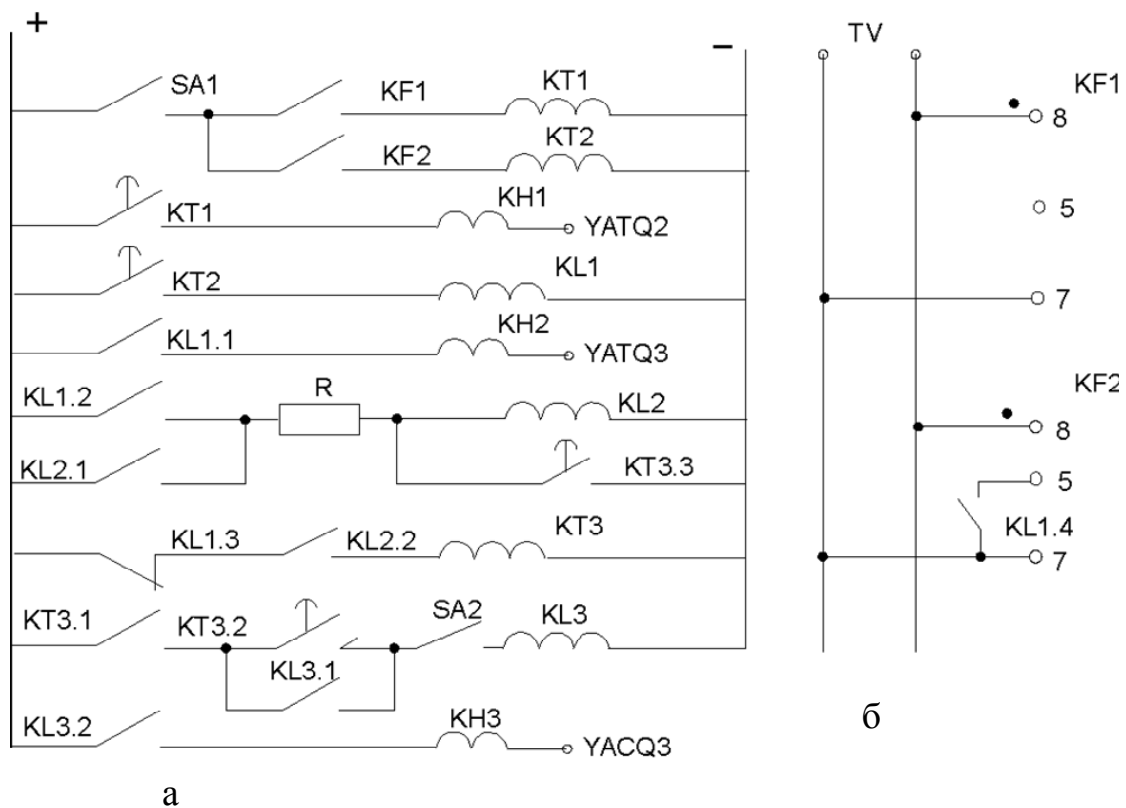


Рисунок 9.2 – Схема АЧР і АПВЧ:

а – схема логічної частини;

б – схема підключення реле частоти

Реле KL1 своїм контактом KL1.1 замикає коло котушки вимикання YATQ3 вимикача Q3: контактом KL1.4 проводить переналадження реле частоти KF2 на нову уставку для забезпечення роботи АПВЧ; контактом KL1.2 замикає коло живлення проміжного реле KL2, а KL1.3 розмикає коло живлення реле часу KT3. Реле KL2 контактом KL2.1 стає на саможивлення, а контактом KL2.2 готує коло для пуску реле часу KT3.

Якщо в результаті вимикання навантаження частота в електросистемі зростає до номінального значення, то реле KF2, КТ2 і KL1 відпускають свої якорі і замикається контакт реле KL1.3. При цьому створюється коло живлення обмотки КТ3.

При спрацьовуванні цього реле його контактами КТ3.1 і КТ3.2 через контакти перемикача SA2 подається живлення на обмотку проміжного реле KL3, яке здійснює своїм контактом KL3.1 саможивлення обмотки. Контактom KL3.2 реле KL3 здійснює повторне вмикання лінії W3, шляхом замикання кола живлення котушки увімкнення YACQ3 вимикача Q3.

Повернення схеми АПВЧ у початкове положення здійснюється упорним контактом КТ3.3 реле часу КТ3, який шунтує обмотку реле KL2. При цьому розриваються кола живлення реле KL3 і КТ3 і схема повертається у початкове положення. Про спрацьовування першої черги АЧР сигналізує реле КН1, другої черги – КН2, спрацьовування АПВЧ – КН3. Призначення інших елементів показано на схемі.

9.4 Алгоритм виконання лабораторної роботи

9.4.1 Ознайомтеся зі стендом для проведення лабораторної роботи: вивчіть елементи моделі системи, схеми АЧР і АПВЧ, конструкції реле частоти.

9.4.2 Складіть схему, зображену на рис. 9.1 а, б і покажіть викладачеві для перевірки.

9.4.3 Узгодьте з викладачем уставки реле частоти і часу.

9.4.4 У присутності викладача встановіть уставки АЧР і АПВЧ.

9.4.5 Подайте живлення на стенд при відключених вимикачах (ключі управління 1КУ-4КУ) і перемикачах SA1-SA4.

9.4.6 Увімкніть вимикачі Q1÷Q4, перемикачі SA3, SA4 і перемикач «Генератор».

9.4.7 За допомогою ключа керування частотою встановіть частоту генератора системи 50 Гц.

9.4.8 При виведеному автоматичному частотному розвантаженні (перемикач SA1 відключений) визначте дані, а потім нарисуйте у звіті графік залежності частоти системи від часу. Частоту визначте за допомогою частотоміра «f», а час – за показами секундоміра. Визначте частоту і час при зміні частоти через 1 Гц.

9.4.9 Натисніть кнопку «Кн». При цьому відбудеться зростання потужності навантаження ЕЕС.

9.4.10 Відновіть частоту в ЕЕС до 50 Гц.

9.4.11 Введіть АЧР за допомогою перемикача SA1.

9.4.12 Натисніть кнопку SB «Кн».

9.4.13 Запишіть в таблицю звіту зміну частоти в системі залежно від часу та нарисуйте у звіті графік залежності частоти в системі від часу.

9.4.14 Порівняйте отримані в пунктах 9.3.7 та 9.3.12 графіки залежностей частоти в системі від часу.

9.4.15 Відновіть частоту до номінальної частоти ($f=50$ Гц).

9.4.16 Перемикачем SA2 введіть в роботу АПВЧ.

9.4.17 Натисніть кнопку SB «Кн».

9.4.18 Спостерігайте за послідовністю вимкнення та увімкнення вимикачів.

9.4.19 Спостерігайте за зміною частоти в функції від часу.

9.4.20 Повторіть досліди пунктів 9.3.7, 9.3.12, 9.3.15 три рази. За усередненими даними нарисуйте у звіті графіки зміни частоти у трьох режимах.

9.4.21 Ознайомтесь з параметрами мікропроцесорного пристрою АЧР (рис. 9.2).

9.4.22 Зробіть висновки.



Рисунок 9.2 – Пристрій АЧР

10 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

АВТОМАТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ ТОЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ

10.1 Мета роботи

Метою роботи є: вивчення принципу дії, схеми виконання і методики вибору параметрів автоматичного синхронізатора зі сталим кутом випередження.

10.2 Підготовка до лабораторної роботи

10.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.;
3. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посібник / Голота А. Д. – К. : Вища шк., 2006. – 367 с.;
4. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.

10.2.2 Підготуйтеся відповідати на запитання п. 10.7.

10.2.3 Підготуйте заготовку звіту, в якій наведіть програму виконання робіт в лабораторії та таблиці для внесення в них результатів досліджень.

10.3 Завдання до лабораторної роботи № 10

10.3.1 Ознайомтеся зі стендом: з джерелом живлення, з апаратурою регулювання, з електровимірювальними приладами та з дослідними реле, вивчіть схему стенда.

10.3.2 Ознайомтеся зі схемою вузла випередження АСТ-4.

10.3.3 Вивчіть та поясніть роботу вузла випередження АСТ-4.

10.3.4 Ознайомтеся зі схемою вузла контролю різниці напруг АСТ-4.

10.3.5 Вивчіть та поясніть роботу вузла контролю різниці напруг АСТ-4.

10.3.6 Ознайомтеся зі схемою вузла контролю різниці частот АСТ-4.

10.3.7 Вивчіть та поясніть роботу вузла контролю різниці частот АСТ-4.

10.3.8 Ознайомтеся зі схемою вузла вирівнювання частот АСТ-4.

10.3.9 Вивчіть та поясніть роботу вузла вирівнювання частот АСТ-4.

10.3.10 Ознайомтеся зі схемою виконавчого органа АСТ-4.

10.3.11 Вивчіть та поясніть роботу виконавчого органа АСТ-4.

10.3.12 Дослідіть роботу автоматичного синхронізатора АСТ-4 під час синхронізації за умови попереднього відхилення частоти генератора станції від частоти ЕЕС спочатку на +5%, а потім – на -5%.

10.3.13 Дослідіть роботу автоматичного синхронізатора АСТ-4 під час синхронізації за умови попереднього відхилення частоти генератора станції від частоти ЕЕС спочатку на +10%, а потім – на -10%.

10.3.14 Дослідіть роботу автоматики припинення асинхронного ходу (АПАХ) та релейного захисту при виникненні асинхронний режиму в ЕЕС.

10.3.15 Дайте оцінку роботи автоматичного синхронізатора АСТ-4.

10.3.16 Поясніть, які явища спостерігаються в ЕЕС під час роботи синхронізатора АСТ-4 та під час виникнення асинхронного ходу в ЕЕС.

10.3.17 Поясніть, як результати теоретичних досліджень процесу синхронізації узгоджуються з результатами експерименту на моделі.

10.3.18 Складіть звіт про виконану роботу.

10.4 Опис лабораторного стенда

На рис. 10.1 показано функціональну схему фрагмента електроенергетичної системи (ЕЕС) з пристроями релейного захисту та системної автоматики.

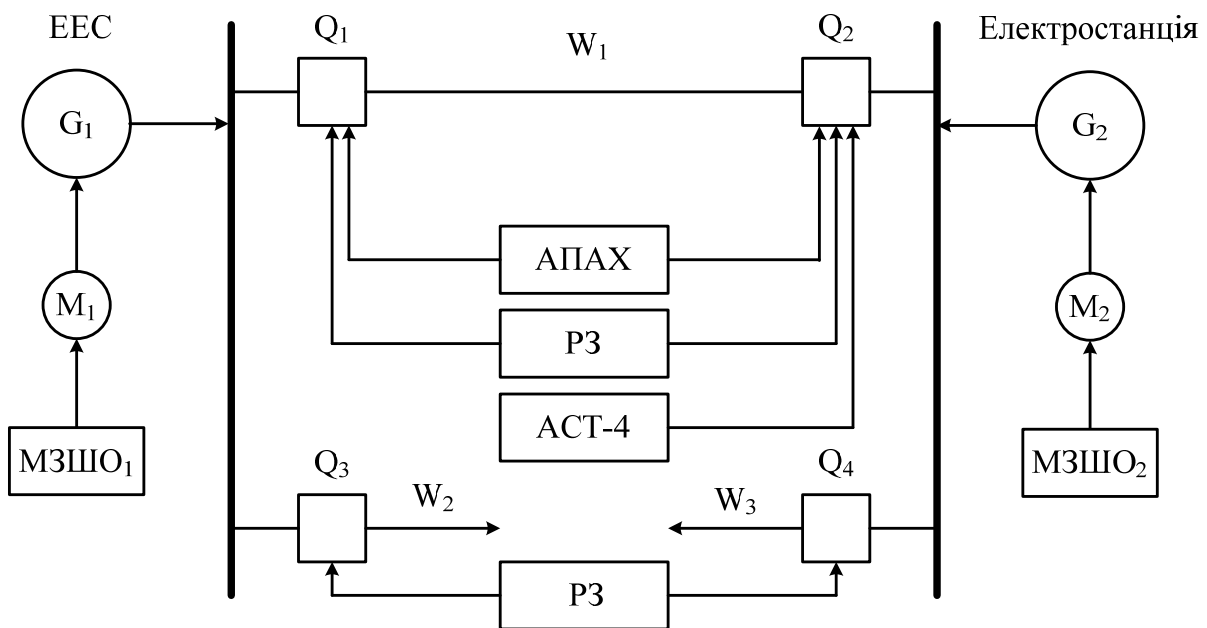


Рисунок 10.1 – Схема моделі електроенергетичної системи

Відповідно до схеми (рис. 10.1) складено лабораторний стенд лабораторної роботи № 10.

Основними елементами моделі ЕЕС є: генератор G_1 електроенергетичної системи ЕЕС, синхронізований генератор G_2 електричної станції, лінія їх зв'язку W_1 , лінії W_2 , W_3 , до яких підключено навантаження. На електричній станції встановлено автоматичний синхронізатор типу АСТ-4, який діє на схему управління вимикача Q_2 . На лінії W_1 встановлено релейний захист і автоматику припинення асинхронного ходу (АПАХ), які діють на схему управління вимикачів Q_1 , Q_2 .

Як джерела електроенергії ЕЕС і електричної станції використовуються синхронні машини, приводом яких є двигуни постійного струму з паралельним збудженням. Електричні двигуни (M_1 , M_2) мотор-генераторів розташовані під стійкою стенда. Увімкнення їх в роботу здійснюється за допомогою тумблерів SA1 та SA2 – «Генератор системи» і «Генератор станції», розташованих на передній панелі стенда. Схему живлення мотор-генератора станції і ЕЕС показано на рис. 10.2.

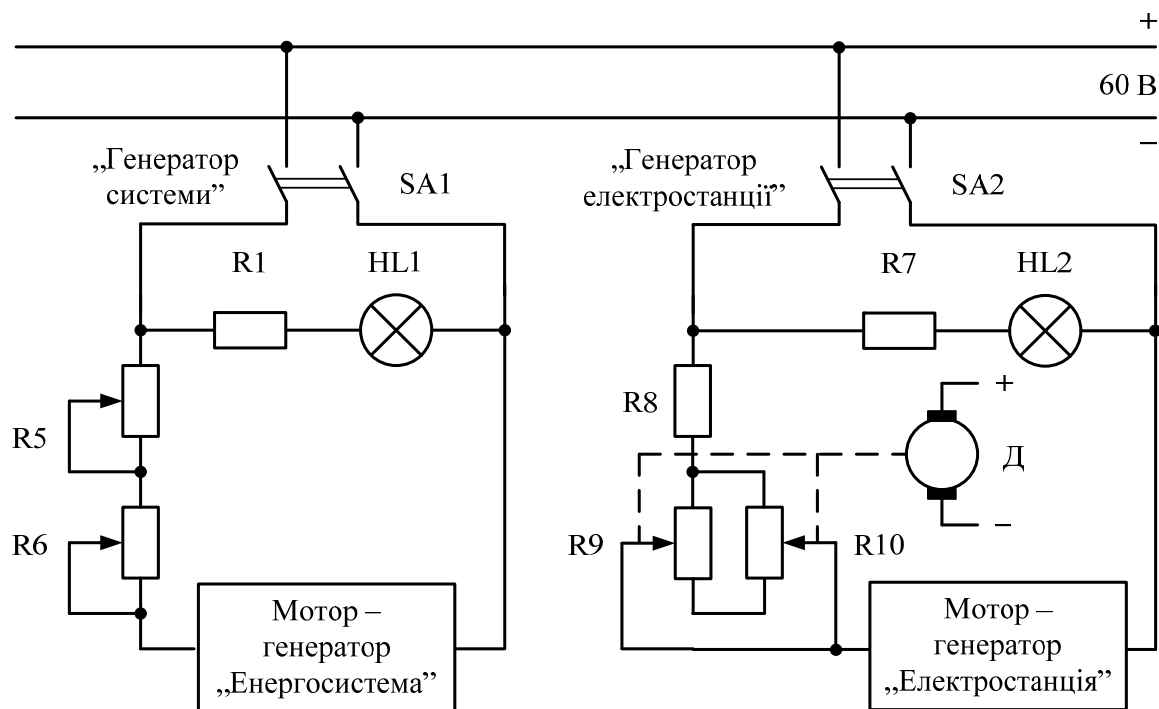


Рисунок 10.2 – Схема живлення генераторів постійним струмом

Генератор системи має фіксоване значення частоти f_c , яке контролюється частотоміром PF_1 . Для того випадку, коли має місце відхилення частоти від номінального значення ($f_{ном} = 50$ Гц), в моделі передбачено штук керування (для регулювання частоти ЕЕС). Цей штук виведено на передню панель стенда. Він використовується для керування електричним двигуном, який пересуває повзунок реостатів R5 та R6 «вище – нижче» (в подальшому по тексті – «менше – більше»). Частотомір PF_1 вимірює частоту f_c напруги в ЕЕС і розташований на передній панелі стенда.

Частота напруги на шинах станції може регулюватись як вручну, так і автоматично. В обох випадках зміна частоти досягається за допомогою механізмів зміни швидкості обертання моторів M_1 та M_2 (МЗШО₁, МЗШО₂). Як МЗШО₂ використовується електричний двигун постійного струму, що пересуває повзунки реостатів R9 і R10, які показано на схемі живлення електричного двигуна мотор-генератора (рис. 10.2). Підключення електричного двигуна (М) МЗШО до джерела живлення здійснюється тумблером ПЗ.

Для ручного регулювання частоти f_{cm} генератора станції використовується ключ керування SA5 «Вище – нижче» (в подальшому по тексту «менше – більше»), який розташований на передній панелі лабораторного стенда.

При автоматичному регулюванні частоти сигнал на двигун МЗШО надходить від автоматичного регулятора частоти. Контроль за частотою f_{cm} напруги на шинах генератора електричної станції можна здійснювати за допомогою частотоміра PF₂.

Управління вимикачами лінії W1, W2, W3 здійснюється за допомогою ключів управління SA1÷SA4, а про положення вимикачів сигналізується за допомогою відповідних лампочок. Схему управління вимикачами показано на рис. 10.3.

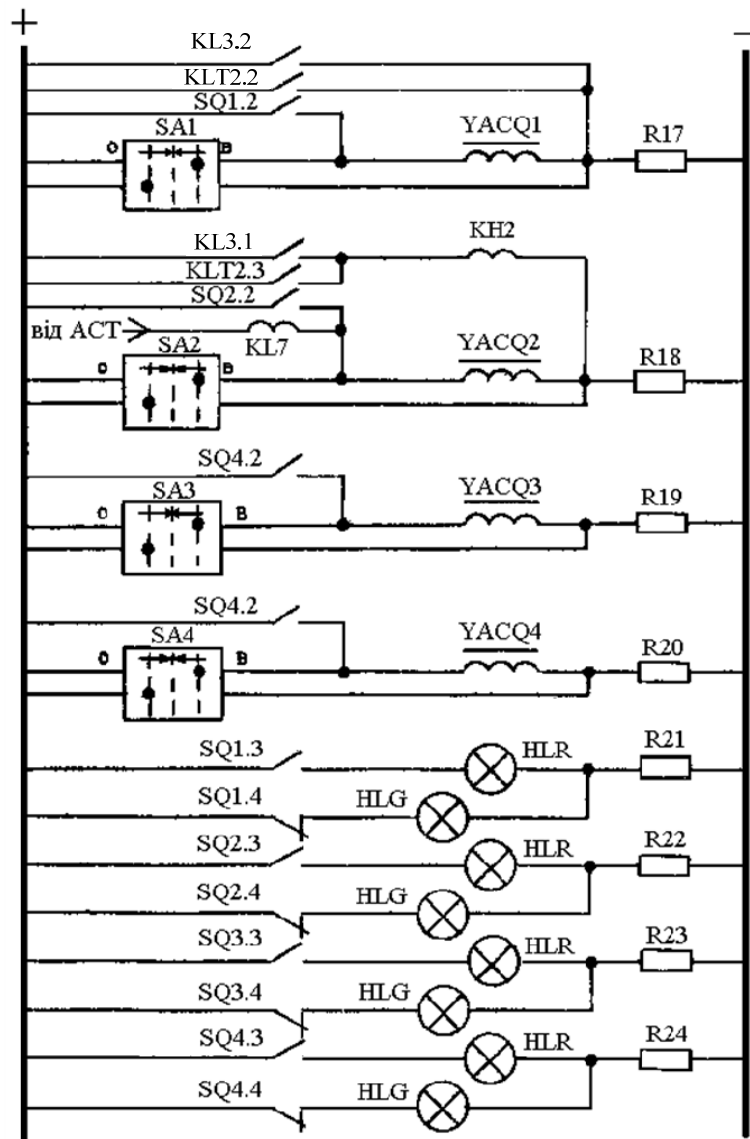


Рисунок 10.3 – Схема керування і сигналізації вимикачів Q1÷Q4

Наприклад, для увімкнення вимикача Q2 ключ управління SA2 переводять з фіксованого нейтрального положення в тимчасове положення «В»,

при цьому отримує живлення котушка увімкнення YAC вимикача $Q2$ і вимикач $Q2$ вмикається. Далі відбувається така послідовність дій:

- вимикач $Q2$ замикає свої блок-контакти $SQ2.3$ та $SQ2.2$;
- блок-контакт $SQ2.2$ шунтує контакт ключа керування $SA2$,
- блок-контакт $SQ2.3$ подає живлення в коло сигналізації;
- починає світити лампочка $HLR Q2$, яка сигналізує про увімкнене положення силових контактів вимикача $Q2$;
- блок-контакт $SQ2.4$ розмикається і розриває коло лампочки $HLG Q2$ сигналізації вимкненого положення вимикача $Q2$.

Якщо необхідно вимкнути вимикач $Q2$, то:

- ключ керування $SA2$ переводять в тимчасове положення «0»;
- другий контакт ключа $SA2$ шунтує коло електромагніту $YAC2$;
- вимикач $Q2$ вимикається.

Резистор $R18$ призначений для обмеження струму в колі котушки увімкнення YAC вимикача $Q2$. Увімкнення і відключення вимикача $Q2$ може здійснюватись автоматично (увімкнення – за сигналом, який надходить від АСТ-4, а вимкнення – за сигналом, який надходить від АПАХ або РЗ (АПАХ – автоматика припинення асинхронного ходу; РЗ – релейний захист).

В лабораторному стенді (в моделі ЕЕС) високовольтні вимикачі моделюються за допомогою проміжних реле (KL).

Для контролю струму і напруги генераторів ЕЕС та електричної станції на передній панелі лабораторного стенда встановлено вимірювальні прилади:

- амперметр (PA_c) для вимірювання струму генератора ЕЕС (I_c),
- вольтметр (PV_c) для вимірювання напруги на шинах підстанції з боку ЕЕС (U_c),
- амперметр (PA_{ct}) для вимірювання струму електричної станції (I_{cm}),
- вольтметр (PV_{ct}) для вимірювання напруги на шинах підстанції з боку електричної станції (U_{cm}),
- вольтметр (PV_6) для вимірювання різниці напруг на апаратних виводах вимикача $Q2$. Ця різниця напруг називається напругою биття (U_6) або напругою ковзання (U_s), де s – ковзання,
- амперметр (PA_{w1}) для вимірювання струму ЛЕП $W1$.

На стенді передбачено візуальне спостереження за формою кривої напруги биття за допомогою осцилографа. Живлення на осцилограф подається тумблером «Живлення», а вхідний сигнал на осцилограф подається тумблером «СИГН».

В лівій нижній частині передньої панелі лабораторного стенда встановлено блок автоматичного синхронізатора АСТ-4. Автоматичний синхронізатор складається з таких вузлів:

- **вузла випередження**, який створює умови для проходження сигналу на увімкнення вимикача зі сталим часом випередження моменту оптимуму;

- вузла контролю різниці напруг, який дозволяє увімкнення вимикача при допустимій різниці синхронізованих напруг;
- вузла контролю різниці частот, який дозволяє увімкнення лише при допустимих значеннях ковзання;
- вузла вирівнювання частот, який здійснює вирівнювання частоти генератора станції з частотою генераторів системи;
- виконавчого органа – органа, який залежно від сукупності сигналів, що надходять на його вхід та залежно від послідовності їх надходження, подає сигнал на відключення вимикача Q2.

Вузол випередження (рис. 10.4) складається з трансформатора Тр і реле випередження КЛ_{вип.}. Первинна обмотка трансформатора включається на випрямлену напругу ковзання, до вторинної підключається обмотка І поляризованого реле випередження КЛ_{вип.}.

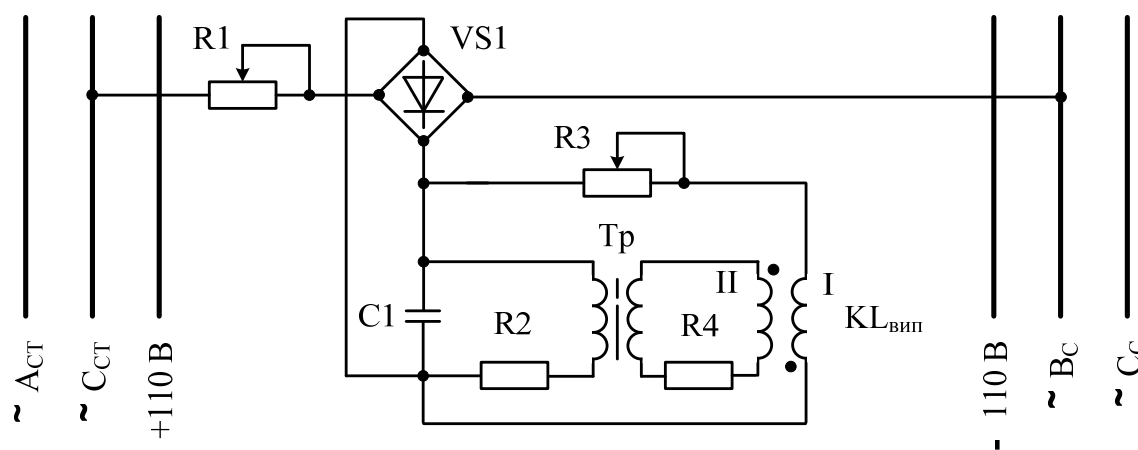


Рисунок 10.4 – Схема вузла випередження

Якщо значення напруги на шинах з боку електричної станції U_{EC} дорівнює напрузі на шинах з боку ЕЕС U_C , то напруга (напруга биття), яка прикладена до первинної обмотки трансформатора Тр, буде:

$$U_{\delta} = 2 \cdot U_m \cdot \sin\left(\frac{\omega_s \cdot t}{2}\right) = 2 \cdot U_m \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t}{2}\right) = 2 \cdot U_m \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right),$$

де δ – кут випередження;

$\omega_s = \omega_c - \omega_{ec}$ – кутова швидкість биття при ковзанні s ;

f_s – частота биття при ковзанні s ;

ω_c – кутова швидкість напруги ЕЕС;

ω_{ec} – кутова швидкість напруги електричної станції;

U_m – амплітудне значення напруги;

t – час.

Струм, що проходить протягом одного періоду ковзання по обмотці 1 реле $KL_{\text{вип}}$, якщо знехтувати її опором, дорівнює:

$$i_1 = \frac{U_6}{R_3} = \frac{2 \cdot U_m}{R_3} \cdot \sin\left(\frac{\omega_s}{2} \cdot t\right) = k_1 \cdot 2 \cdot U_m \cdot \sin\left(\frac{\omega_s}{2} \cdot t\right) = k_1 \cdot U_6, \quad (10.1)$$

де U_6 – напруга биття;

k_1 – коефіцієнт пропорційності.

По обмотці II реле $KL_{\text{вип}}$ проходить вторинний струм трансформатора Tr , пропорційний похідній випрямленої напруги биття (напругу биття ще називають напругою ковзання і позначають U_s):

$$i_2 = -k_2 \cdot \frac{\partial(U_6)}{\partial t} = -k_2 \cdot 2 \cdot U_m \cdot \frac{\omega_s}{2} \cdot \cos\left(\frac{\omega_s}{2} \cdot t\right), \quad (10.2)$$

де k_2 – коефіцієнт пропорційності.

Реле $KL_{\text{вип}}$ знаходиться в стані спрацьовування при $i_1 + i_2 > 0$. Умова повернення реле $KL_{\text{вип}}$ з врахуванням (10.1) і (10.2) запишеться:

$$k_1 \cdot 2 \cdot U_m \cdot \sin\left(\frac{\omega_s}{2} \cdot t\right) = -k_2 \cdot 2 \cdot U_m \cdot \frac{\omega_s}{2} \cdot \cos\left(\frac{\omega_s}{2} \cdot t\right),$$

звідки

$$\operatorname{tg} \frac{\omega_s \cdot t}{2} = \operatorname{tg} \frac{\omega_s \cdot t_{\text{вип}}}{2} = -\frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{\omega_s}{2},$$

де $t_{\text{вип}}$ – час випередження.

При малих кутах випередження $\delta_{\text{вип}} = \omega_s \cdot t_{\text{вип}}$ маємо

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\omega_s}{2} \cdot t_{\text{вип}}\right) \approx \frac{\omega_s}{2} \cdot t_{\text{вип}},$$

відповідно

$$t_{\text{вип}} \approx \frac{k_2}{k_1} = k. \quad (10.3)$$

Таким чином, реле $KL_{\text{вип}}$ буде повертатись в початковий стан на час $t_{\text{вип}}$ раніше проходження U_6 через нуль (рис. 10.5). На рис. 10.5 замість напруги биття U_6 показано струми першої та другої обмоток поляризованого реле випередження $KL_{\text{вип}}$.

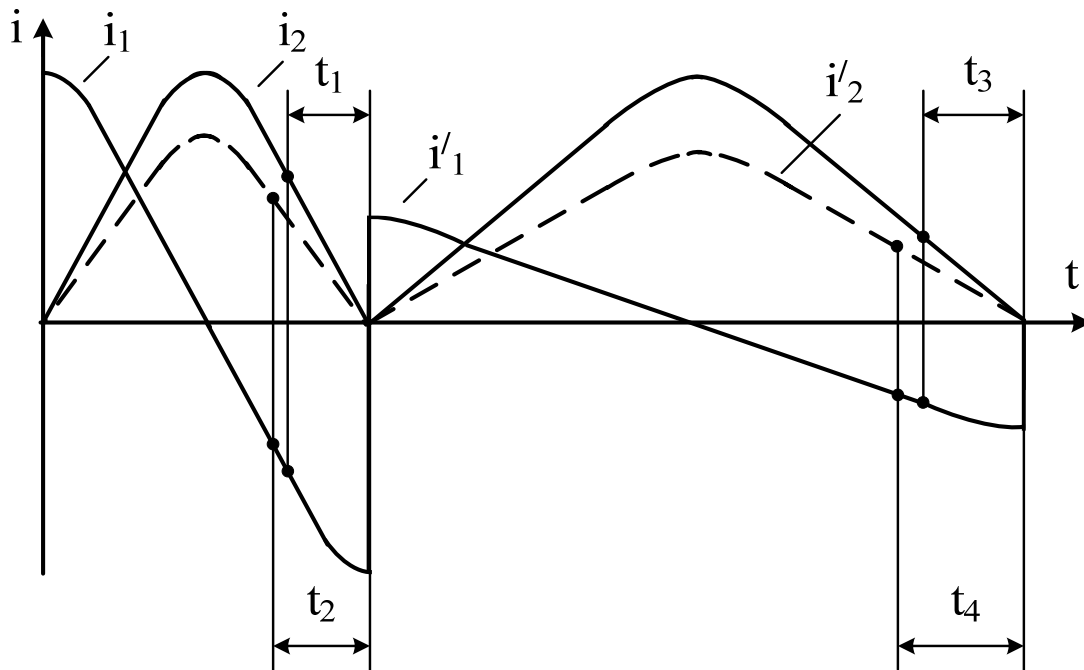


Рисунок 10.5 – Діаграма, яка пояснює роботу реле випередження

З рис. 10.5 можна зробити такі висновки: при струмах i_1 та i_2 час випередження t_1 ; при струмах i'_1 та i_2 час випередження t_2 ($t_2 > t_1$); при струмах i'_1 та i_2 час випередження t_3 ($t_3 > t_2$); при струмах i'_1 та i'_2 час випередження t_4 ($t_4 > t_3$). Отже є можливість регулювати (резистором R3) час випередження, змінюючи струми в обмотках реле $KL_{\text{вип.}}$.

Якщо час увімкнення вимикача $t_{\text{ув}} = k$, то синхронізатор забезпечує увімкнення генератора в момент оптимуму незалежно від значення ковзання. При збільшенні його опору зменшується струм i_1 в обмотці I реле $KL_{\text{вип.}}$, відповідно збільшується час випередження.

Отже, однією з умов, за яких забезпечується увімкнення вимикача Q2, є неспрацьований стан реле $KL_{\text{вип.}}$.

Вузол контролю різниці напруг (рис. 10.6) складається з реле KS2, приєднаного між фазою V_C , спільною для мережі і генератора, та середньою точкою потенціометра R7, приєднаного між фазами мережі і генератора.

Якщо напруги генератора і енергосистеми однакові, то напруга на реле KS2 буде змінюватись від максимального значення при $\delta = 0$ до нуля при $\delta = 180^\circ$ (рис. 10.7, а, в). Коли напруги не однакові між собою, реле буде знаходитись під напругою при всіх значеннях кута і його якір буде притягнутим (рис. 10.7, б, в).

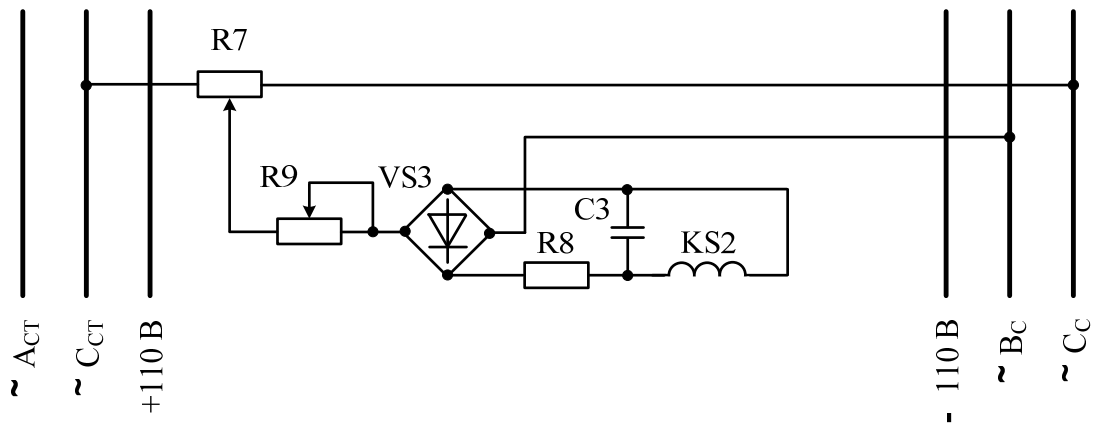


Рисунок 10.6 – Схема вузла різниці напруг

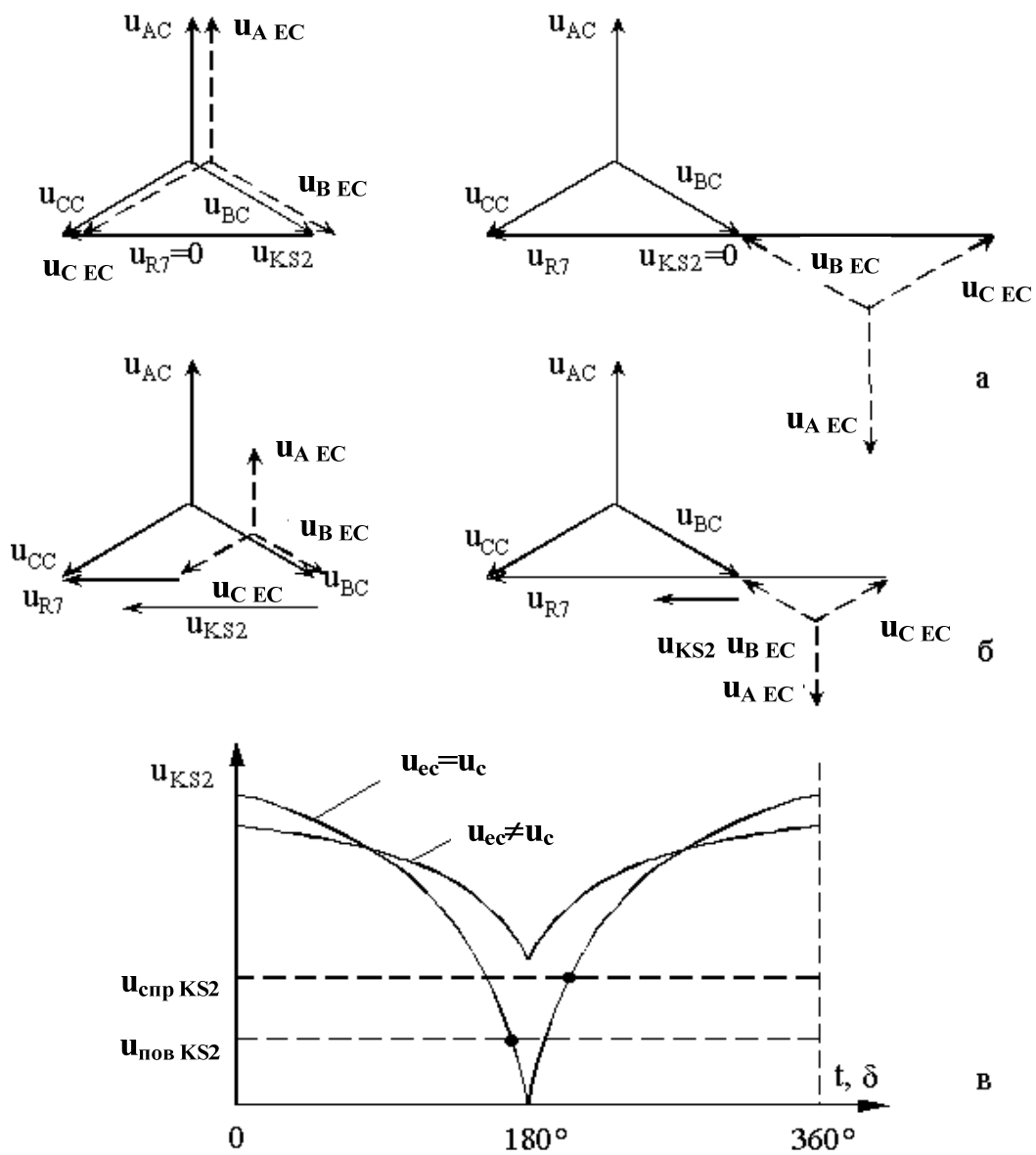


Рисунок 10.7 – Діаграми, які пояснюють роботу вузла контролю різниці напруг

Отже, якщо різниця напруг знаходиться в допустимих межах, то реле KS2 буде повертатись в початковий стан при проходженні напруги ковзання поблизу максимуму і тим самим буде готувати кола вихідних проміжних реле. Уставка реле KS2 регулюється резистором R9.

Векторні діаграми напруг на реле для кутів $\delta = 0$ і $\delta = 180^\circ$ при $U_{ec} = U_c$ і $U_{ec} < U_c$ показано на рис. 10.7, а і б.

Вузол контролю різниці частот (рис. 10.8) складається з реле контролю ковзання KS1, включеного на напругу ковзання.

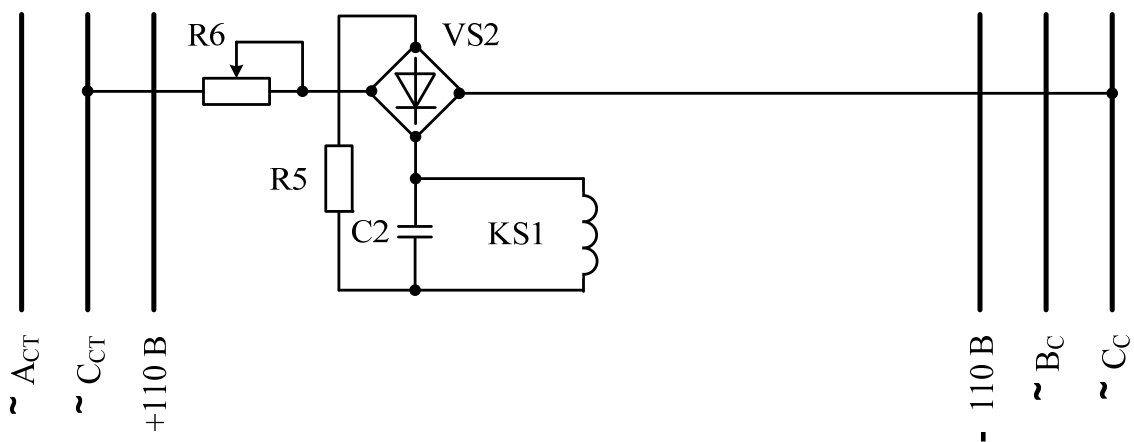


Рисунок 10.8 – Схема вузла контролю різниці частот

У тому випадку, коли напруга ковзання U_s максимальна ($U_{s \text{ макс}}$), якір реле притягнутий. Значення розрахункової напруги повернення реле KS1 $U_{\text{вин KS1}}$ залежить від максимально допустимого значення ковзання і від часу випередження:

$$U_{\text{нов KS1}} = 2 \cdot U_m \cdot \sin \frac{\omega_{s \text{ макс}} t_{\text{нов}}}{2} \quad (10.4)$$

та регулюється резистором R6.

Висновок про допустимість поточного значення напруги ковзання U_s робиться на підставі черговості повернення реле KS1 і KL_{вип} у початкове положення.

Так, при напругах ковзання U_s , менших максимально допустимих $U_{s \text{ макс}}$, спочатку повертається в початковий стан реле KS1, а потім повертається в початковий стан реле випередження KL_{вип} (рис. 10.9). Це і є ще однією з багатьох умов автоматичного увімкнення вимикача Q2. На рис. 10.9 жирні лінії відповідають спрацьованому стану реле.

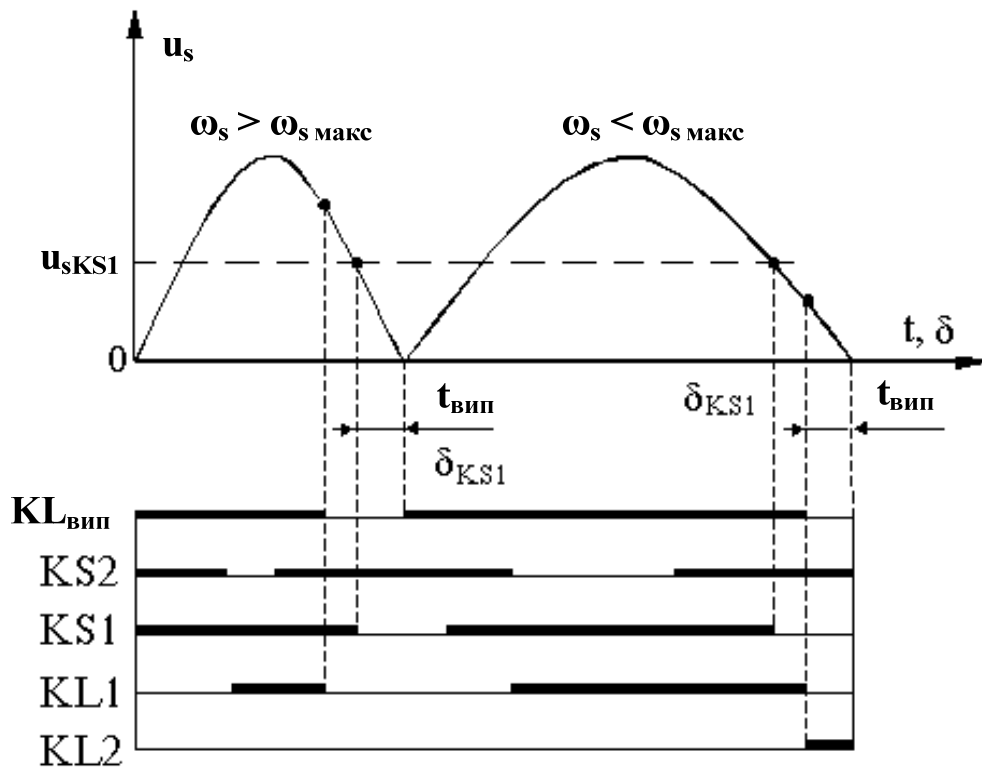


Рисунок 10.9 – Діаграми, які пояснюють роботу вузла контролю різниці частот

Для запобігання неправильній роботі синхронізатора при більшому ковзанні (значно більшому максимально допустимого) паралельно реле KS1 приєднується конденсатор С2. Його ємність вибирається з таким розрахунком, щоб при різниці частот, більшій 0,5–1 Гц, реле KS1 не встигало повернутись у початковий стан і блокувало роботу синхронізатора АСТ-4.

Виконавчий вузол вводить заборону на увімкнення вимикача Q2 при швидкому зменшенні періоду напруги биття U_{δ} . Виконавчий орган подає сигнал на увімкнення вимикача Q2 раніше, ніж напруга биття зменшиться до нуля. Це викликано тим, що вимикач Q2 спрацьовує не миттєво. Його силові контакти замикаються лише через час увімкнення вимикача $t_{yв}$. За цей час ($t_{yв}$) напруга биття може сильно зрости (якщо різниця частот велика), або не досягти нуля (якщо різниця частот не дорівнює нулю, але мала).

Виконавчий орган встановлює мінімально допустимий час випередження моменту часу, в який подається сигнал на увімкнення вимикача Q2. Якщо за цей час напруга биття не встигне зменшитись (KS2 – має спрацювати) або різниця частот не зменшиться до безпечного значення (KS1 – має втратити живлення), то увімкнення вимикача Q2 не буде.

Вузол вирівнювання частоти (рис. 10.10, 10.11, 10.14) містить реле «Збільшити» і «Зменшити» (KS4 і KS3) та реле часу КТ3 (рис. 10.14).

Реле KS3 (рис. 10.10) включено на різницю напруг фази С електричної станції ($U_{C EC}$) і ЕЕС ($U_{C C}$), реле KS4 – на різницю напруг фази А генерато-

ра (U_{AEC}) і фази С мережі (U_{CC}). Завдяки такому включенню напруги ковзання на обмотках двох реле зсунуті відносно одна одної на кут 60° .

Графік зміни напруги на обмотках реле залежно від абсолютного значення і знака кута δ показано на рис. 10.8

Уставки спрацьовування реле KS4 і KS3 вибираються однаковими і регулюються резисторами R10 і R11.

Тумблером ПЗ (до складу АСТ-4 не входить, але є частиною лабораторного стенда) створюється коло регулювання частоти генератора електричної станції.

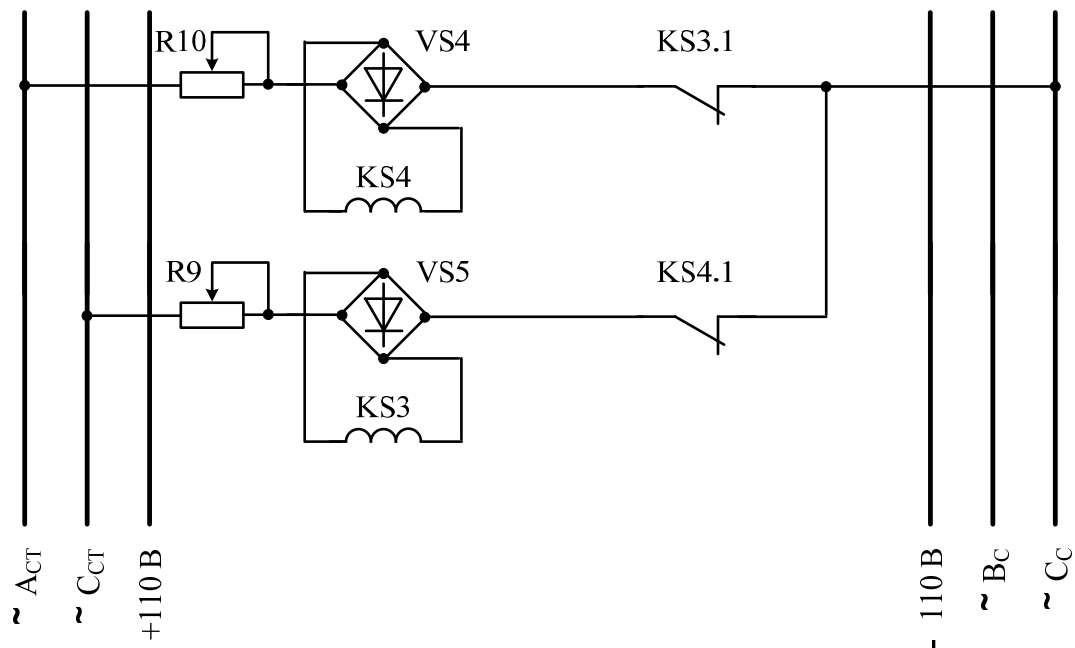


Рисунок 10.10 – Схема вузла вирівнювання частот АСТ-4

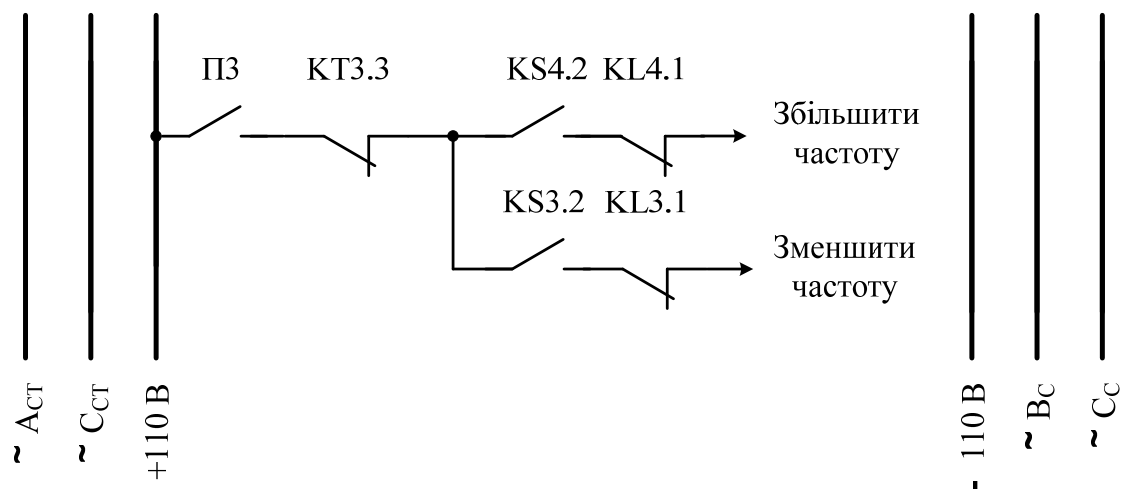


Рисунок 10.11 – Схема виконавчих кіл вузла вирівнювання частот

10.5 Опис роботи окремих вузлів лабораторного стенда

10.5.1 Опис роботи окремих вузлів синхронізатора

Якщо кут випередження $\delta = 180^\circ$, то контакти реле $KL_{\text{вип.2}}$, $KS1.2$ і $KS2.1$ замкнуті (див. рис. 10.10). Останнє має місце за умови $U_{ec} \approx U_c$.

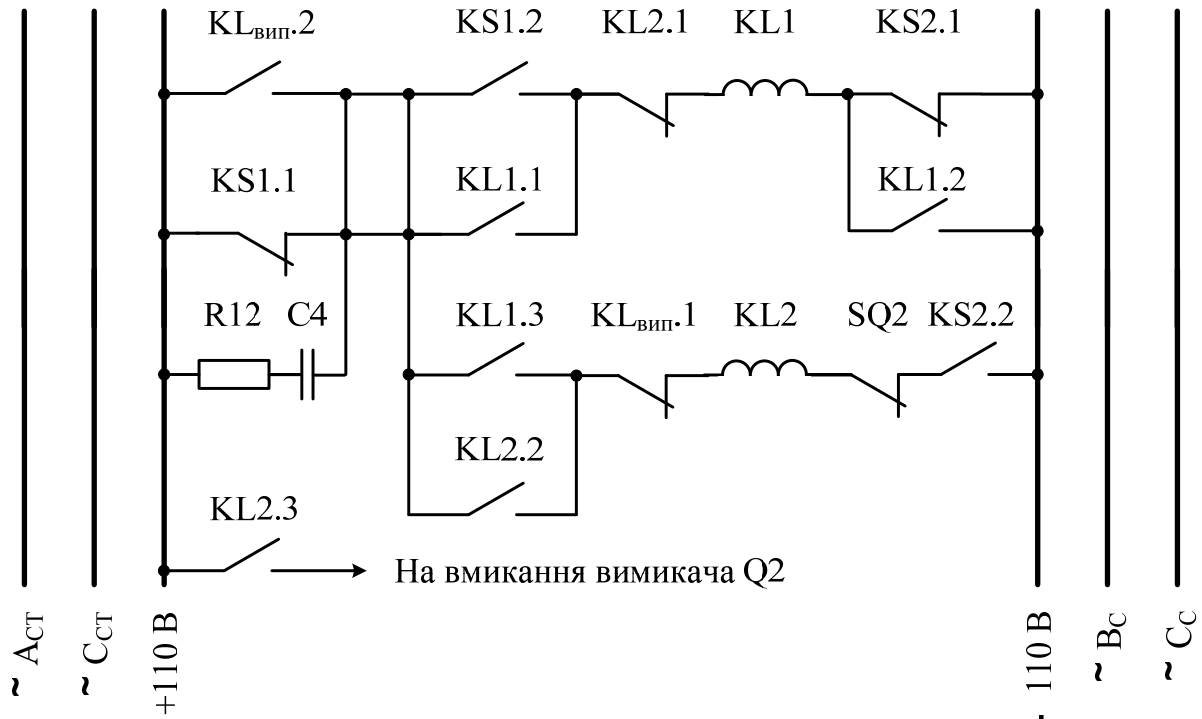


Рисунок 10.12 – Схема виконавчого органу АСТ-4

Реле $KL1$ знаходиться у спрацьованому стані і самоутримується за допомогою контактів $KL1.1$ і $KL1.2$.

Контактом $KL1.3$ готується коло живлення котушки реле $KL2$.

Зі збільшенням кута δ реле $KS2$ замикає свій контакт $KS2.2$ і розмикає $KS2.1$.

При допустимому ковзанні $\omega_s < \omega_{s \text{ макс доп}}$ першим повертається у початковий стан якорь реле $KS1$ і замикається контакт $KS1.1$.

Реле $KL1$ залишається з притягнутим якорем.

Вихідне реле $KL2$ спрацьовує, коли повертається у початкове положення реле випередження і замкне контакт $KL_{\text{вип.1}}$.

Контактом $KL2.3$ воно подає сигнал на увімкнення вимикача, а контактом $KL2.1$ – розриває коло обмотки $KL1$.

Реле $KL1$ повертається у початкове положення.

У тому випадку, коли ковзання велике ($\omega_s > \omega_{s \text{ макс доп}}$), спочатку повертається $KL_{\text{вип.}}$, розмикаючи контактом $KL_{\text{вип.2}}$ коло обмотки реле $KL1$.

Останнє розмикає свій контакт $KL1.3$ в колі реле $KL2$, тому сигнал на увімкнення вимикача не надходить.

Конденсатор $C4$ і резистор $R12$ передбачено в схемі для забезпечення умов роботи контактів.

Якщо частота обертання синхронізованого генератора електричної станції менша частоти обертання еквівалентного генератора ЕЕС, тобто вектор напруги генератора електричної станції відстає від вектора напруги ЕЕС, кут δ змінюється у протилежній півплощині (рис. 10.13, б).

Протягом кожного періоду напруги ковзання першим спрацьовує реле КС4 (точка *a*), подаючи сигнал на «збільшити» частоту.

У тому випадку, коли частота обертання синхронізованого генератора більша частоти обертання еквівалентного генератора ЕЕС, кут δ змінюється у від'ємній півплощині. Першим спрацьовує реле КС3 (точка *d*) і подає сигнал «зменшити» на зменшення частоти.

Схема побудована так, що при спрацьовуванні одного реле, друге блокується (рис. 10.10). Для блокування призначено контакти КС4.1 і КС3.1. Повернення реле КС4 і КС3 в початковий стан відбувається після зниження напруги на другому реле до значення, меншого напруги його спрацьовування (точки *c*, *b*, *f*, *e*, відповідно).

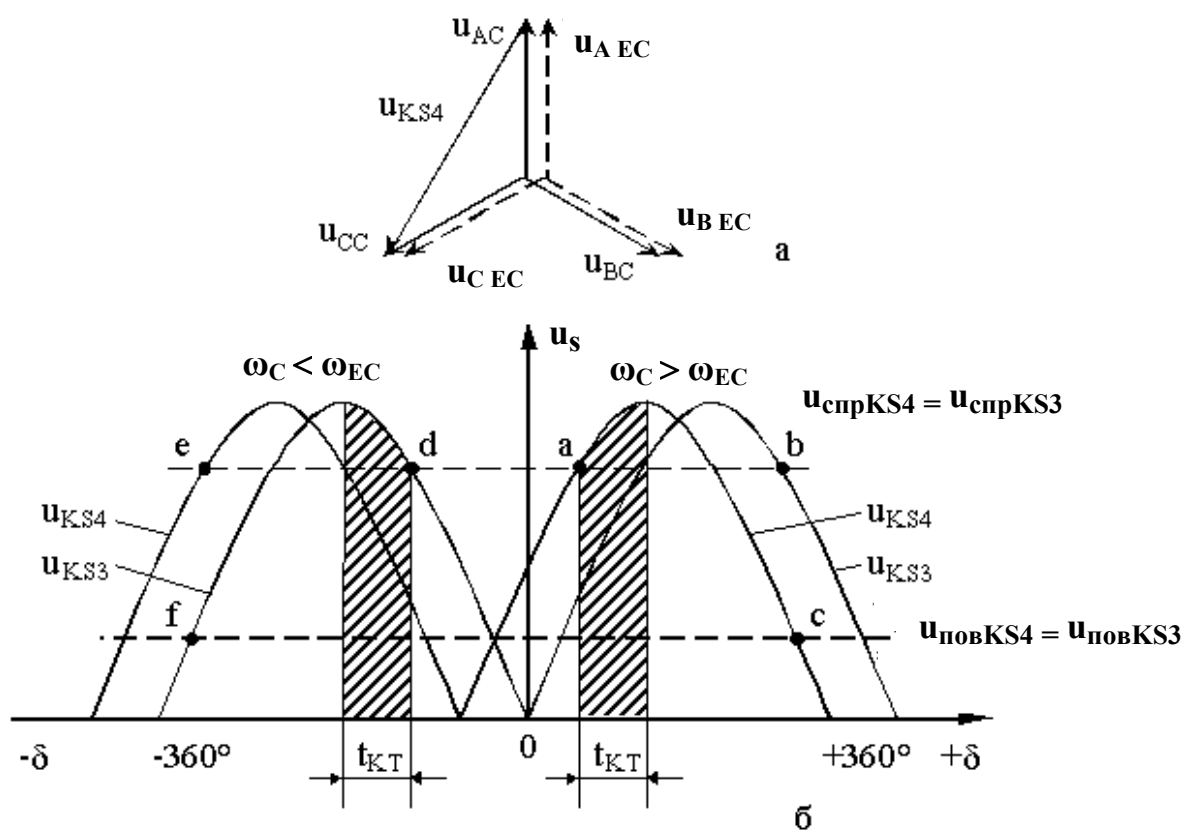


Рисунок 10.13 – Діаграми, які пояснюють роботу вузла вирівнювання частот

Таким чином, протягом одного періоду напруги ковзання подається один командний сигнал двигуну МЗШО (або командний сигнал «збільшити» частоту, або командний сигнал «зменшити» частоту).

Для обмеження тривалості сигналів «збільшити» і «зменшити» використовується вузол затримки часу, який складається з реле часу КТЗ, конденсатора С5 і резистора R13 (рис. 10.14).

При спрацьовуванні реле КS4 (або КS3) контактом КS4.2 (КS3.2) запускається реле часу КТЗ, контактом КS4.3 (КS3.3) подається сигнал на МЗШО (див. рис. 10.10; рис. 10.14). Після замикання контакта КS4.2 (КS3.2) напруга на конденсаторі С5, а відповідно, і на обмотці реле КТЗ зростає зі сталою часу заряду конденсатора С5 ($\tau = R13 \cdot C5$).

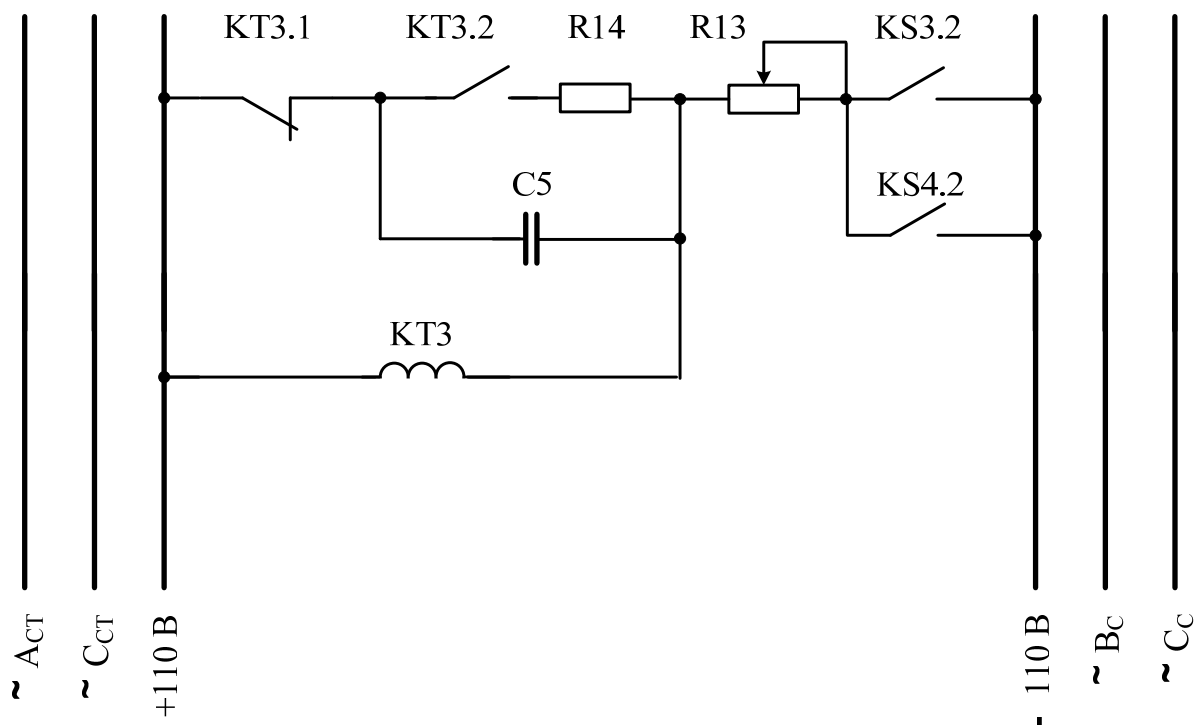


Рисунок 10.14 – Схема вузла затримки часу

При збільшенні напруги до уставки спрацьовування КТЗ, реле часу КТЗ спрацьовує. Витримка часу на спрацьовування реле КТЗ вибирається в межах $0,2 \div 0,3$ с і регулюється резистором R13. Контакт КТЗ.3 (див. рис. 10.11) реле КТЗ розмикає коло живлення МЗШО, контактом КТЗ.1 розмикає коло заряду конденсатора С5, а контактом КТЗ.2 підключає конденсатор С5 до розрядного резистора R14. Після розряду конденсатора С5 і повернення реле КS4 (КS3), вузол затримки часу знову буде готовий до повторної дії.

Для увімкнення живлення АСТ-4 на стенді перемикач П1 ставлять в положення «В» – «Увімкнено» і натискають кнопку П5 «Пуск АСТ».

10.5.2 Опис роботи АПАХ

Тумблер П2 на стенді призначений для введення в роботу АПАХ. За допомогою П3 вводять в роботу МЗШО. Тумблер П4, який знаходиться у

положенні «0» («вимкнено»), штучно створює збурення в ЕЕС – асинхронний хід. Асинхронний хід припиняється завдяки роботі АПАХ, яка подає сигнал на відключення вимикача Q2. Сигнал на відключення вимикачів Q1 та Q2 також може подаватись від релейного захисту.

Комплект АПАХ (рис. 10.15) і релейні захисти (РЗ) встановлено на лінії зв'язку W1 і при виникненні асинхронного режиму генератора електричної станції «Ес» і ЕЕС «С», який супроводжується періодичним зростанням струму в W1, відключають вимикачі Q1 і Q2.

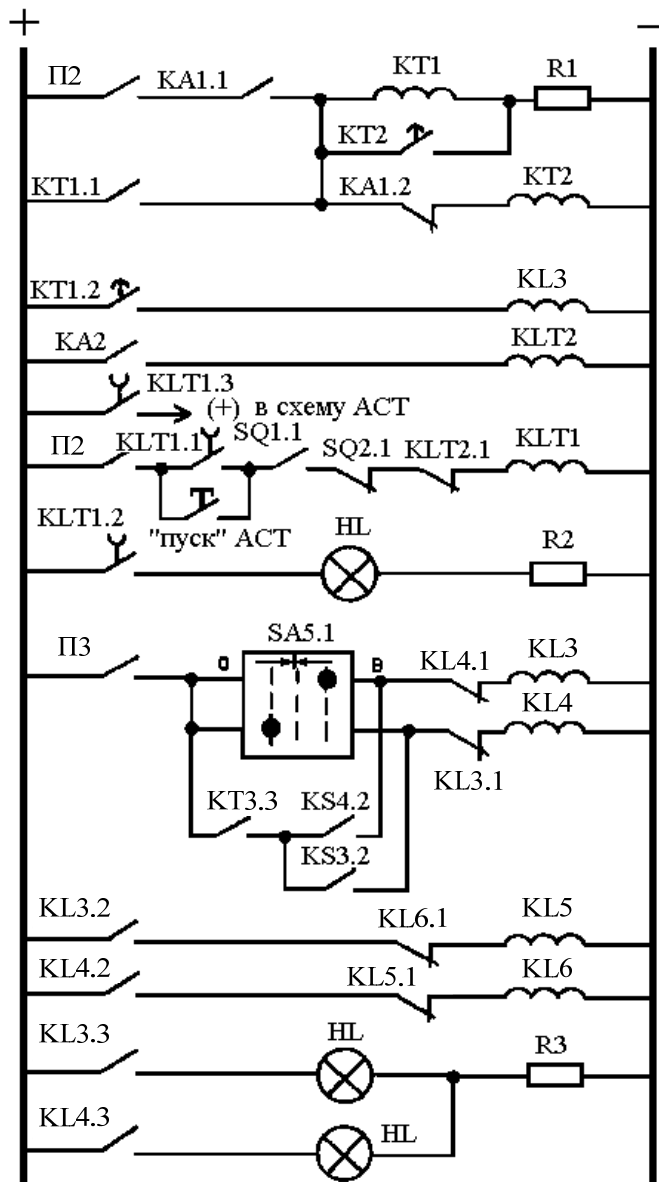


Рисунок 10.15 – Схеми оперативних кіл постійного струму АПАХ, РЗ, пуску АСТ-4 і вузла регулювання частоти, встановлених на станції

АПАХ виконано на двох реле часу КТ1 і КТ2, якими керують контакти КА1.1, КА1.2, реле струму КА1, включеного у вторинну обмотку трансформатора струму лінії W1 (схема підключення не показана).

АПАХ працює таким чином. Якщо струм в лінії W1 перевищує уставку КА1, його контакт КА1 запускає реле часу КТ1, яке своїми контактами КТ1.1 стає на саможивлення, а контактом КТ1.2 (з витримкою часу) подає живлення на обмотку проміжного реле КЛ3.

Проміжне реле КЛ3 своїми контактами КЛ3.1 і КЛ3.2 (див. рис. 10.3) подає сигнал на відключення вимикачів Q1 і Q2. **Увага!** Враховуючи те, що лабораторний стенд є лише фізичною моделлю фрагмента ЕЕС, то вимикачі Q1, Q2, Q3 і Q4 змодельовано проміжними реле. Тому увімкнене положення вимикачів відповідає притягнутому якорю цих реле. Це означає, що на обмотки цих реле подається напруга. Якщо обмотки цих реле зашунтувати контактами проміжних реле (наприклад, контактами КЛ3.1 і КЛ3.2), то напруга на котушках цих реле буде дорівнювати нулю і якір цих реле повертається у непритягнутий (початковий) стан.

Якщо реле КА1 встигає повернутись до початкового стану раніше, ніж замкнеться контакт КТ1.2, то запускається реле КТ2 і своїм контактом КТ2 шунтує обмотку реле часу КТ1, тим самим блокуючи дію АПАХ на відключення.

10.5.3 Опис роботи релейного захисту

Релейний захист лінії моделюється за допомогою реле КА2 і проміжного реле КЛТ2 (див. рис. 10.15). При спрацьовуванні захисту замикається контакт КА2, отримує живлення обмотка реле КЛТ2 і своїми контактами КЛТ2.2, КЛТ2.3 подає імпульс на відключення вимикачів Q1 і Q2.

10.5.4 Опис роботи кіл пуску АСТ-4

На схемі (див. рис. 10.15) показане коло пуску АСТ.

Початкові умови: тумблер П1 знаходиться в положенні «В», вимикач Q1 – увімкнений (контакт SQ1.1 – замкнений), а вимикач Q2 відключений (замкнений контакт SQ2.1 кола запуску АСТ-4).

При натисканні кнопки SB1 «Пуск АСТ» отримує живлення проміжне реле КЛТ1. Воно своїми контактами КЛТ1.1 шунтує кнопку SB1.

Контакт КЛТ1.2 замикається і подає напругу на лампочку НЛ «Пуск АСТ».

Контакт КЛТ1.3 подає живлення в схему живлення АСТ (див. рис. 10.15).

10.5.5 Опис роботи кіл ручного регулювання частоти генератора електричної станції

Для підготовки кіл регулювання частоти генератора станції необхідно тумблер П3 поставити в положення «увімкнено» «В».

При ручному регулюванні частоти ключ SA5 встановлюють в положення «Більше», або «Менше», при цьому отримують живлення обмотки реле КЛ3 або КЛ4 (див. рис. 10.15), залежно від положення ключа SA5.

Реле КЛ3 або КЛ4 своїми замикальними контактами КЛ3.2 або КЛ4.2 подають живлення на вихідні проміжні реле КЛ5 або КЛ6. Останні своїми контактами виконують перемикання в колі двигуна постійного струму М

(рис. 10.16), який змінює положення реостатів 9R, 10R механізму зміни швидкості обертання генератора (див. рис. 10.10).

Розмикаючи контакти проміжних реле KL3.1, KL4.1, KL5.1, KL6.1 (див. рис. 10.15) блокують одночасне надходження сигналу на зниження і підвищення частоти генератора електричної станції. Контакти KL3.3, KL4.3 подають живлення в коло сигналізації регулювання частоти.

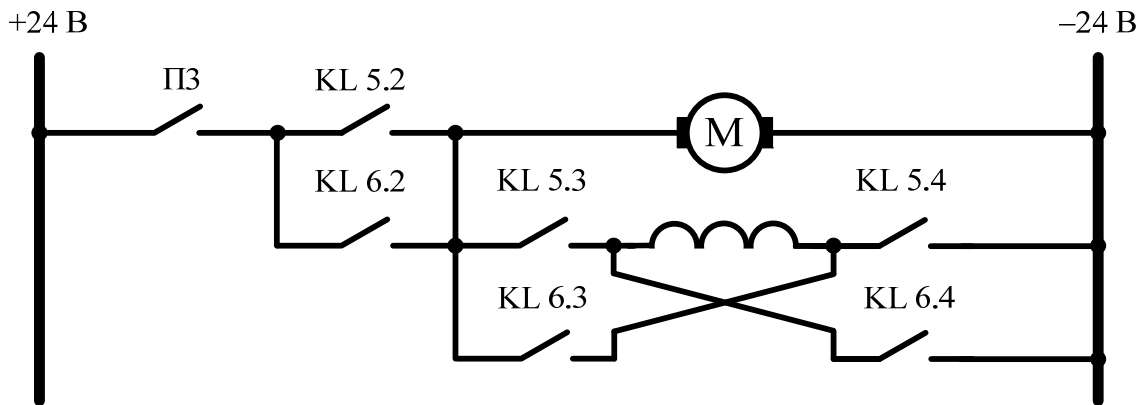


Рисунок 10.16 – Кола оперативного постійного струму схеми реверсування електричного двигуна регулювання частоти

Увімкнення стенда в роботу здійснюється кнопкою мережі «Пуск», а вимкнення – кнопкою «Стоп».

Постійна напруга (= 220 В) подається в схему стенда увімкненням ключа керування «= 220 В», а змінна – увімкненням ключа керування «~ 380». Увімкнення стенда і подання напруги сигналізується лампочками.

10.6 Алгоритм виконання лабораторної роботи

10.6.1 Включіть генератор станції на паралельну роботу з системою

Для цього:

- підготуйте стенд до роботи: всі тумблери і ключі керування поставте в положення «Відключено»;
- подайте напругу на стенд, натиснувши кнопку «Пуск» на передній панелі стенда;
- поверніть ручки ключів керування «= 220 В» і «~ 380 В», поставивши їх в положення «Увімкнено»;
- тумблерами «Генератор станції» і «Генератор системи» запусіть генератори моделі ЕЕС і електричної станції;
- увімкніть вимикачі навантаження Q3 і Q4 і вимикач Q1;
- подайте живлення на осцилограф і увімкніть тумблер «СИГН»;
- увімкніть тумблери П1, П2, П3 і П4;

- за допомогою регулятора частоти ЕЕС « f_c » («Вище – нижче») встановіть (за частотоміром) частоту в системі 50 Гц;
- за допомогою регулятора « f_{cm} » («Вище – нижче») підженіть частоту генератора станції таким чином, щоб вона відрізнялась від номінальної частоти на $\pm 0,5$ Гц;
- під час регулювання частоти спостерігайте по вольтметру і на екрані осцилографа напругу биття;
- натисніть кнопку SB1 «Пуск АСТ» (здійсніть пуск автоматичного синхронізатора);
- в момент синхронізації зафіксуйте кидок зрівнюваного струму (за показами амперметра I_{W1});

10.6.2 Після синхронізації (автоматичного увімкнення Q2) штучно створіть асинхронний хід:

- переведіть тумблер П4 в положення «0»;
- спостерігайте за розгойдуванням ЕЕС і за спрацьовуванням АПАХ;
- зверніть увагу на те, які вимикачі будуть відключатись.

10.6.3 Перевірте роботу автоматичного синхронізатора при відхиленні частоти станції більше ніж на (± 1 Гц, $\pm 1,5$ Гц, ± 2 Гц) від номінальної частоти:

- увімкніть лінію W1 з боку енергосистеми, а тумблер П4 поверніть у початкове положення – «вверх»;
- встановіть в ЕЕС частоту 50 Гц;
- встановіть на шинах електричної станції частоту меншу, а потім більшу на (± 1 Гц, $\pm 1,5$ Гц, ± 2 Гц) від номінальної частоти 50 Гц;
- натисніть кнопку SB1 «Пуск АСТ-4»
- при цьому спостерігайте:
 - за зміною кривої напруги биття,
 - за кидком струму в лінії в момент синхронізації,
 - за роботою автоматичного синхронізатора.

10.6.4 Перевірте роботу автоматичного синхронізатора при відключеному навантаженні та при відхиленні частоти станції на $\pm 0,5$ Гц від номінальної частоти:

- відключіть навантаження системи (вимкніть вимикачі Q3, Q4);
- встановіть відхилення частоти генератора електричної станції на $\pm 0,5$ Гц від частоти ЕЕС;
- виконайте синхронізацію;
- зверніть увагу на зміну частоти в системі при відключенні навантаження;
- дайте оцінку роботи синхронізатора.

10.6.5 Поясніть, які явища спостерігаються при синхронізації і при виникненні асинхронного ходу.

10.6.6 Поясніть, як результати теоретичних досліджень процесу синхронізації узгоджуються з результатами експерименту на моделі.

10.7 Питання для підготовки до захисту лабораторної роботи

10.7.1 Що вам відомо про синхронізацію, яка використовується на ЛЕП з двобічним живленням?

10.7.2 Які вам відомі способи синхронізації?

10.7.3 Перерахуйте та поясніть переваги і недоліки самосинхронізації та точної синхронізації синхронних генераторів.

10.7.4 В яких умовах застосовується самосинхронізація і точна синхронізація?

10.7.5 Які моменти діють в генераторі при самосинхронізації?

10.7.6 Чому необхідно подавати струм збудження відразу після увімкнення генератора в мережу?

10.7.7 Переваги і недоліки синхронізаторів зі сталим кутом випередження і зі сталим часом випередження.

10.7.8 Як створюється час випередження, контролюється різниця напруг і ковзання в автоматичному синхронізаторі типу АСТ-4?

10.8 Вимоги до захисту лабораторної роботи

При захисті лабораторної роботи:

- знати умовні позначення всіх елементів схем;
- вміти пояснити призначення всіх елементів в електричних схемах випробувань;
- знати порядок проведення випробувань;
- вміти пояснити взаємодію всіх елементів схем.
- вміти пояснити отримані результати.

11 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ ЛІНІЇ 6-35 кВ

11.1 Мета роботи

Метою роботи є: вивчення принципу дії, схеми виконання і методики вибору параметрів автоматичного синхронізатора зі сталим зі сталим кутом випередження.

11.2 Підготовка до лабораторної роботи

11.2.1 Ознайомтеся з такою літературою:

1. Методичні вказівки до лабораторної роботи;
2. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.;
3. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посібник / Голота А. Д. – К. : Вища школа, 2006. – 367 с.;
4. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.

11.2.2 Дайте відповідь на такі питання та розв'яжіть задачу.

1. Поясніть принцип дії струмового захисту та струмової відсічки. Як вибираються їхні параметри спрацьовування? Порівняйте їхні характеристики [14, 15, 16, 18, 20].

3. Перерахуйте особливості виконання струмових захистів від міжфазних к.з. на лініях з напругою 6–10 кВ та 35–110 кВ [5].

4. Задача. Розрахуйте значення уставок струмових захистів.

Початкові дані.

Від підстанції «**Південна**» напругою 110/10 кВ відходить повітряна лінія електропередач (фідер W1) напругою 10 кВ в напрямку підстанції «**Яблунове**» (рис. 11.1). Фрагмент схеми мережі наведено на рисунку 11.1, а початкові дані для розрахунку – в таблиці 11.1.

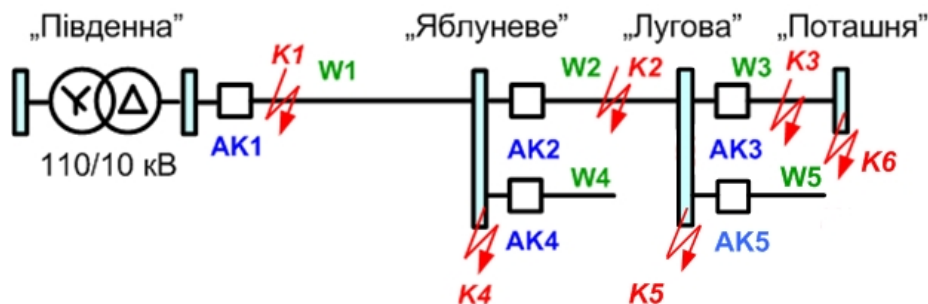


Рисунок 11.1 – Фрагмент схеми мережі ЕЕС

Таблиця 11.1 – Початкові дані для задачі.

Назва підстанції	Номер підстанції	Фідер				
		№ №	Позначення	Довжина, км	Марка проводу	Питомий опір: активний*, індуктивний**, повний*** Ом/км
Південна	4	1 1	W1	7	A70	0,4131 0,341 0,536
Яблунове	37	2 2	W2	5	A70	0,4131 0,341 0,536
		4 4 5	W4, W5	6	A70	0,4131 0,341 0,536
		3 3	W3	3	A50	0,5784 0,355 0,679
Поташня	29	-	-	-	-	-

* – при 20 °С

** – відстань між фазами – 1 метр

*** – розрахункове значення

Для мережі з напругою 6÷10 кВ з одностороннім живленням звичайно застосовують один ступінь захисту. Вибір уставки максимальних струмових захистів полягає у визначенні первинних та вторинних струмів спрацьовування, типів реле, мінімальних коефіцієнтів чутливості при металевих к.з. в кінці зон захисту, коли ці захисти діють як основні та резервні. Крім того, захисти двох та більше послідовно з'єднаних ділянок n та $n-1$ мають бути узгоджені за чутливістю та за часом. Вони мають діяти селективно: вимкнути місце пошкодження найближчими вимикачами.

5. Алгоритм розв'язування задачі п. 4.

Первинний струм спрацьовування максимального струмового захисту має бути відстроєним від струмів самозапуску повністю загальмованих електродвигунів. Крім того, захисти не мають починати діяти при максимально можливому струмі навантаження. Виходячи з цих умов, первинний

струм спрацьовування захисту в симетричному нормальному режимі обчислюється за формулою

$$I_{c.з.} = \frac{k_H \cdot k_3 \cdot I_{pmax}}{k_B} = k_{відл} \cdot I_{pmax},$$

де $k_H = 1,2 \div 1,3$; $k_{пов}$,

k_3 – коефіцієнти відповідно надійності, повернення реле та самозапуску навантаження. Для прикладу, який розглядається, коефіцієнт відлагодження $k_{відл} = 4$.

Струм спрацьовування реле (вторинний струм) обчислюється за формулою

$$I_{c.p.} = \frac{k_{cx}^{(3)} \cdot I_{c.з.}}{n_{m.c.}},$$

де $k_{cx}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми (відношення струмів в реле до вторинного струму трансформаторів струму в симетричному нормальному режимі та при трифазному к.з.);

$n_{m.c.}$ – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

В цьому прикладі трансформатори струму з'єднані за схемою неповної зірки, тому $k_{cx}^{(3)} = 1$, а значення $n_{m.c.}$ вказані на рис. 2.6. Узгодження суміжних захистів $n-1$ та n по струму спрацьовування відбувається за формулою:

$$I_{c.з n} = k_{н.у} \cdot I_{c.з n-1},$$

де $k_{н.у}$ – коефіцієнт надійності узгодження;

$k_{н.у} = 1,3 \div 1,4$ для схеми серії РТ-80 та РТ-85, встановлених на лініях 6–10 кВ.

Ступінь селективності за часом обчислюють за формулою

$$\Delta t = \Delta t_{n-1} + \Delta t_n + t_{від.в} + t_{зан} + t_{i.в.},$$

де $\Delta t_{n-1}, \Delta t_n$ – похибки часу спрацьовування реле суміжних захистів;

$$\Delta t_n = \Delta t_{n-1} = 0,1 \div 0,15 \text{ с для РТ-85/1};$$

$$t_{зан} = 0,1 \text{ с – час запасу};$$

$$t_{i.в.} = 0,15 \text{ с – час інерційного вибігу диска.}$$

Час спрацьовування захисту в незалежній частині

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t,$$

де t_n, t_{n-1} – часи спрацьовування суміжних захистів, працюючих в незалежній частині характеристики.

Для реле РТ-85/1 часто беруть мінімально можливу уставку в незалежній частині характеристики $t_y = 0,5$ с. Коефіцієнт чутливості захисту визначають за мінімальними струмами к.з., за формулою

$$k_u = \frac{I_p}{I_{c.p>>}} = \frac{k_{cx}^{(3)} \cdot I_{kmin} \cdot n_{m.c.}}{k_{cx}^{(3)} \cdot I_{c.з.>} \cdot n_{m.c.}} = \frac{I_{kmin}}{I_{c.з.>}}$$

В цьому прикладі для основного захисту $k_u \geq 1,5$; для резервного $k_u \geq 1,2$.

Використовуючи методичні вказівки, визначте первинний та вторинний струми, час спрацьовування та коефіцієнт чутливості захистів 2, 3, 4, починаючи з захисту 2. Накресліть схему захисту однієї з ліній, враховуючи те, що вона має бути дворелейною з дешунтуванням котушки вимкнення вимикача, з реле типу РТ-85/1.

6. Визначте первинні та вторинні струми спрацьовування, зони дії ступеневого захисту лінії з одностороннім живленням напругою 220 кВ (рис. 2.7, а). На ділянці АБ встановлено триступеневий струмовий захист: струмова відсічка без витримки часу, струмова відсічка з витримкою часу та максимальний струмовий захист, який виконує функції резервного. На лінії ВС встановлено двоступеневий струмовий захист: струмова відсічка без витримки часу та максимальний струмовий захист. Розподіл струмів к.з. в максимальному та мінімальному режимах вздовж лінії подано на рис. 2.7, б.

11.3 Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд отримує живлення від трифазної електричної мережі змінного струму з лінійною напругою 380 вольт. Живлення вмикається ключем керування S11 з обов'язковим подальшим натисканням на кнопку «Увім» (рис. 11.2).

Живлення стенду вимикається ключем керування S11 або натисканням на кнопку «Вимк» з обов'язковим подальшим вимиканням ключем керування S11.

Таке дублювання функцій кнопок і ключа керування потрібне з метою безпечної експлуатації стенда.

Увімкненим положенням ключа керування є таке положення, яке позначено «**I**», а вимкненим – «**0**».

В правому верхньому куті передньої панелі стенда розташовано лампу світлової сигналізації, яка світиться при увімкненні стенда і не світиться при вимкненні стенду.

На початку кожної з ЛЕП (АБ, БВ, ВГ) встановлено ключі керування, які вказують на місце розташування високовольтних вимикачів. Ці ключі керування дозволяють вмикати та вимикати вимикачі відповідних ЛЕП.

Лампи сигналізації, що розташовані над цими ключами керування, сигналізують про увімкнений (лампа світиться) або вимкнений (лампа не світиться) стан відповідних вимикачів.

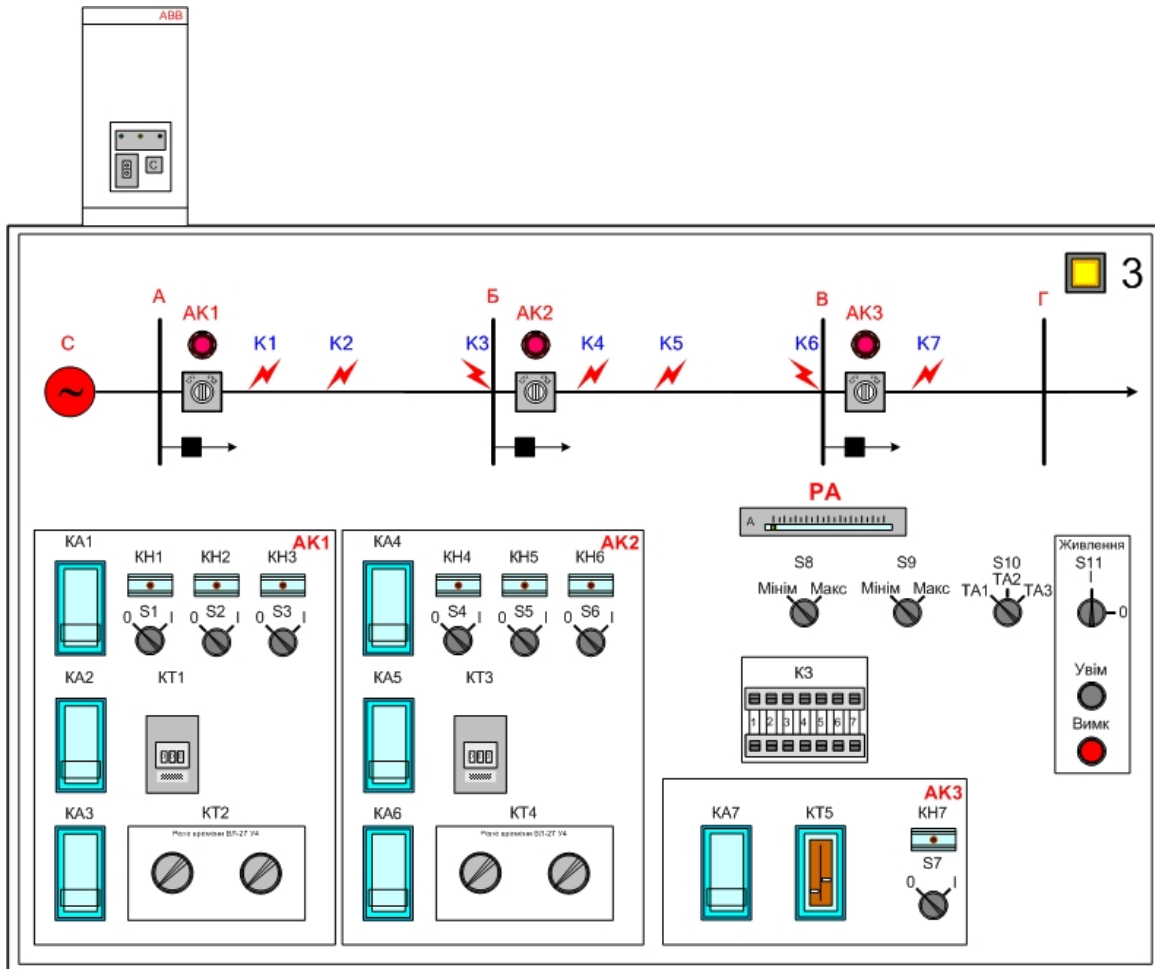


Рисунок 11.2 – Передня панель лабораторного стенда № 3

На передній панелі стенда літерами К1÷К7 позначено місця замикань на землю, а позначками АК1, АК2, АК3 – струмові захисти підстанцій «А», «Б», «В».

До струмового захисту АК1 (ЛЕП АБ) відносяться:

КА1 – струмове реле першого ступеня (струмової відсічки без витримки часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

КА2 – струмове реле другого ступеня (струмової відсічки з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

КА3 – струмове реле третього ступеня (максимального струмового захисту з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

КТ1 – реле часу другого ступеня (струмової відсічки з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

КТ2 – реле часу третього ступеня (максимального струмового захисту з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

КН1 – сигнальне реле першого ступеня (струмової відсічки без витримки часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

КН2 – сигнальне реле другого ступеня (струмової відсічки з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

КН3 – сигнальне реле третього ступеня (максимального струмового захисту з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «АБ»;

S1 – ключ керування, який виводить з дії перший ступінь (струмову відсічку без витримки часу) струмового триступеневого захисту ЛЕП «АБ»;

S2 – ключ керування, який виводить з дії другий ступінь (струмову відсічку з витримкою часу) струмового триступеневого захисту ЛЕП «БВ»;

S3 – ключ керування, який виводить з дії третій ступінь (струмову відсічку без витримки часу) струмового триступеневого захисту ЛЕП «АБ»;

АВВ – мікропроцесорне реле типу REJ 515 А, яке знаходиться зліва зверху на лабораторному стенді, і є захистом АК1.

До струмового захисту АК2 (ЛЕП БВ) відносяться:

КА4 – струмове реле першого ступеня (струмової відсічки без витримки часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

КА5 – струмове реле другого ступеня (струмової відсічки з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

КА6 – струмове реле третього ступеня (максимального струмового захисту з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

КТ3 – реле часу другого ступеня (струмової відсічки з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

КТ4 – реле часу третього ступеня (максимального струмового захисту з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

КН4 – сигнальне реле першого ступеня (струмової відсічки без витримки часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

КН5 – сигнальне реле другого ступеня (струмової відсічки з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

КН6 – сигнальне реле третього ступеня (максимального струмового захисту з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «БВ»;

S4 – ключ керування, який виводить з дії перший ступінь (струмову відсічку без витримки часу) струмового триступеневого захисту ЛЕП «БВ»;

S5 – ключ керування, який виводить з дії другий ступінь (струмову відсічку з витримкою часу) струмового триступеневого захисту ЛЕП «БВ»;

S6 – ключ керування, який виводить з дії третій ступінь (струмову відсічку без витримки часу) струмового триступеневого захисту ЛЕП «БВ».

До струмового захисту АК3 (ЛЕП ВГ) відносяться:

КА7 – струмове реле одноступеневого максимального струмового захисту з витримкою часу ЛЕП «ВГ»;

КТ5 – реле часу максимального струмового захисту з витримкою часу ЛЕП «ВГ»;

КН7 – сигнальне реле третього ступеня (максимального струмового захисту з витримкою часу) триступеневого струмового захисту ЛЕП «ВГ»;

S7 – ключ керування, який виводить з дії максимальний струмовий захист з витримкою часу ЛЕП «ВГ».

Амперметр РА призначений для вимірювань струмів навантаження і струмів замикань на землю. Амперметр РА приєднується до вторинних обмоток трансформаторів струму (почергово) залежно від положення ключів керування S9 та S10.

Ключ керування S10 в положенні «ТА3» приєднує амперметр до вторинної обмотки трансформатора струму ТА3 для вимірювань струмів максимальних і мінімальних навантажень, які протікають по ЛЕП «ВГ».

Ключ керування S10 в положенні «ТА2» приєднує амперметр до вторинної обмотки трансформатора струму ТА2 для вимірювань струмів максимальних і мінімальних навантажень, які протікають по ЛЕП «БВ».

Ключ керування S10 в положенні «ТА1» приєднує амперметр до вторинної обмотки трансформатора струму ТА1 для вимірювань струмів максимальних і мінімальних навантажень, які протікають по ЛЕП «АБ».

Ключ керування S9 приєднує амперметр до вторинної обмотки трансформатора струму ТА4 замість вторинної обмотки трансформатора ТА2 та до вторинної обмотки трансформатора трансформатору струму ТА5 замість вторинної обмотки трансформатора ТА3 з метою зміни величини струму, який протікає через амперметр при незмінному струмі в ЛЕП.

Кнопки «КЗ» призначені для створення штучних замикань на землю в точках К1–К7.

Верхній ряд кнопок – це кнопки з фіксацією положення.

Нижній ряд кнопок – це кнопки з самостійним поверненням кнопки в початковий стан.

11.3.1 Виберіть уставки спрацьовування захистів, розташованих на підстанціях А, Б, В.

Для цього отримайте криву розподілу струму к.з. вздовж ліній.

11.4 Алгоритм виконання лабораторної роботи

Виконайте такі дії.

11.4.1 Виведіть з роботи ступені захисту за допомогою перемикачів SA1÷6.

11.4.2 Увімкніть стенд та подайте живлення на модель мережі за допомогою кнопкової станції та перемикача «В».

11.4.3 За допомогою ключів управління SA1÷3 увімкніть вимикачі на лініях.

11.4.4 За показами амперметра отримайте дані для графіка залежності струму к.з. від відстані до місця замикання шляхом послідовного увімкнення та вимкнення перемикачів К1÷К7 в максимальному та мінімальному режимах роботи системи. Режим роботи системи задається за допомогою перемикача «Режим», а точки к.з. вибрані через 0,25 довжини ЛЕП.

Таблиця 11.2 – Початкові умови та результати дослідів*

№ досліду	Положення перемикачів							Спрацьовування реле та захистів																				
	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	КА1	КА2	КА3	КА4	КА5	КА6	КТ1	КТ2	КТ3	КТ4	КА7	КТ5	КН1	КН2	КН3	КН4	КН5	КН6	КН7	АВВ	

* – позначте символом «+», якщо стан вимикача «увімкнений», або «-» – «вимкнений»

11.4.5 Нарисуйте у звіті до лабораторної роботи (в вибраному масштабі) графік залежності струму к.з. від відстані до місця замикання;

11.4.6 Довжину лінії виберіть у відносних одиницях. Використовуючи криву розподілу струмів, визначте струми спрацьовування та витримки часу, зони дії ступенів захисту та коефіцієнти їх чутливості. При розрахунках використовуйте такі дані: $n_{mc} = 1$, $k_{cx} = 1$, а $I_{p\ max\ B-G} = 0,5 \cdot I_{K3\ 7}$, де $I_{K3\ 7}$ – струм к.з. на лінії ВГ, $I_{p\ max\ A-B} = 0,5 \cdot I_{K3\ B}$, де $I_{K3\ B}$ – струм к.з. на шинах підстанції Б, $I_{p\ max\ B-B} = 0,5 \cdot I_{K3\ B}$, де $I_{K3\ B}$ – струм к.з. на шинах підстанції В.

11.4.7 Вимкніть стенд, зніміть кришки струмових реле та реле часу і виставте уставки захисту, отримані за розрахунковими даними. Уставки виставляйте після перегляду їх значень викладачем.

11.4.8 Перевірте порядок функціонування захисту. Для цього перемикачами SA1÷6 введіть їх в дію, закрийте кришками струмові реле та реле часу, подайте живлення та стенд та в схему.

11.4.9 Селективність дії захисту визначте шляхом створення штучного к.з. перемикачами К1÷К7. Послідовно вмикайте перемикачі К7, К6, К5, К4, К3, К2, К1. Простежте за вказівними реле, які ступені і якого захисту спрацьовують. Перед перевіркою блінкер всіх сигнальних реле має бути піднятий, а вимикачі вимкнені, тобто після кожного спрацьовування захисту необхідно схему приводити в початковий стан. При виявленні хибного спрацьовування або неспрацьовування захисту узгодьте наступну зміну уставки з викладачем.

11.4.10 За завданням викладача виведіть із дії визначені викладачем ступені захисту та визначте порядок роботи релейного захисту.

11.4.11 Зробіть висновки, оцініть струмовий ступеневий захист з точки зору тих вимог, які висуваються до захисту, вкажіть область його застосування та шляхи подальшого удосконалення струмового ступеневого захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Костерин В. А. Комплектные устройства защиты и автоматики SPAC 800 : учебное пособие / Костерин В. А., Шевелев В. С., Калачев Ю. Н. – Чебоксары : ЗАО «Реон-Техно», Учебный центр «Лидер», 2001. – 112 с.
2. Шабад М. А. Изучение цифровых реле на персональном компьютере : учебное пособие / М. А. Шабад, Е. В. Левуш. – Санкт-Петербург, 1997. – 98 с.
3. Шабад М. А. Выбор характеристик и уставок цифровых токовых защит серии SPACOM : методические указания с примерами / Шабад М. А. – Санкт-Петербург, 1996. – 120 с.
4. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації / Гобрей Р. М., Рубаненко О. Є., Таловерья В. Л. – Київ : Науково-технічний учбово-консультаційний центр Ас-ЕлЕнерго, 2008. – 528 с.
5. Беркович М. А. Основы техники релейной защиты / Беркович М. А., Молчанов В. В., Семенов В. А. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
6. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посібник / Голота А. Д. – К. : Вища школа, 2006. – 367 с.
7. Овчаренко Н. И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем : учебник для вузов / [под ред. А. Ф. Дьякова]. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 504 с.
8. Кузнецов Ф. Д. Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей: электроавтоматика / Ф. Д. Кузнецов, А. К. Белотелов ; под ред. Б. А. Алексеева.– М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 72 с.
9. Букович Н. В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем : навч. посібник / Букович Н. В. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 224 с.
10. Андреев В. А. Быстродействующее микропроцессорное устройство АВР / В. А. Андреев, Н. К. Овчаренко // Промышленная энергетика. – 2000. – № 2. – С. 5–8.
11. Пономарев И. В. Рекомендации по выбору устройств защиты электрического оборудования с использованием микропроцессорных устройств фирмы GE Multilin / Пономарев И. В. – М. : ЕМУ СБ «Энергомашвин», 2004. – 67 с.
12. Главацкий В. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики электрических сетей / В. Г. Главацкий, И. В. Пономарев. – М. : ЕМУ СЭ «Энергомашвин», 2004. – 147 с.

13. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.
14. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов / Андреев В. А. – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с.
15. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей : монография / Шабад М. А. – СПб. : ПЭИПК, 2003. – 350 с.
16. Гельфанд Я. С. Релейная защита распределительных сетей / Гельфанд Я. С. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
17. Рубаненко О. Є. Програмно-логічні моделі мікропроцесорного пристрою захисту SPAS 801 : лабораторний практикум / Рубаненко О. Є., Лесько В. О., Рубаненко О. О. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 132 с.
18. Кутін В. М. Релейний захист електричних станцій : навчальний посібник / Кутін В. М., Рубаненко О. Є., Лагутін В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 110 с.
19. Рубаненко О. Є. Релейний захист та автоматика двотрансформаторної підстанції : навчальний посібник / О. Є. Рубаненко, В. М. Лагутін. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 124 с.
20. Лабораторний практикум з дисципліни «Основи релейного захисту» : навч. посібник / [В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, О. Я. Попов та ін.]. – Вінниця : ВДТУ, 2000. – 110 с.

ДОДАТОК А

ПРИЗНАЧЕННЯ ПРИЛАДУ ВАФ-85 ТА РОБОТА З НИМ

Вольтамперфазометром ВАФ-85 можна виміряти:

- значення та фазу напруг (межі вимірювання 1, 5, 25, 125, 250 В);
- значення та фазу струму без розриву кола струму, використавши струмовимірювальні кліщі (межі вимірювання 1, 5 та 10 А);
- струм в межах 10, 20, 250 мА при вхідному опорі пристрою відповідно 5; 0,3; 0,04 Ом.

За допомогою пристрою ВАФ-85 можна визначити послідовність фаз в трифазній мережі, а також напрямок та значення магнітної індукції.

Похибка вимірювань не перевищує $\pm 5\%$. Для вимірювання струму в межах 1, 5, 10 А або напруги в межах 1–250 В перемикач «П2» встановлюється в положення «Величина»; перемикач меж вимірювань «АБ» – на відповідну (або максимальну) межу за струмом або за напругою; перемикач «П4» – в положення «I», «U». Напруга, що вимірюється, подається до затискачів «К10» («*») та «КВ» («V»). При вимірюванні струму провід з вимірюваним струмом затискається струмовимірювальними кліщами, від яких гнучкий шнур з вилкою на кінці вмикається в гнізда «К10» («*») та «К9» («I»); маркування біля штирів має відповідати маркуванню, яке вказано на панелі приладу.

Якщо вимірюваний струм менший за нижчу межу вимірювання, можна охопити магнітопровід кліщів декілька разів провідником, по якому тече вимірюваний струм, і отриманий результат вимірювань розділити на кількість витків (для підготовки такого вимірювання звичайно доводиться залишати без струму вимірюване коло).

Для вимірювання малих струмів використовується проміжний трансформатор ТЛ1, який вмикається в розрив вимірюваного кола затискачами «К4» та «К10» («50», «250 мА»), «К5», «К6», «К7». Перемикач SA1 ставиться в положення «Т2». При цьому вхідний опір виявляється настільки малим, що пристрій може використовуватись для вимірювання струму небалансу в схемах релейного захисту.

Для вимірювання фази струму або напруги перемикач SA2 ставиться в положення «Фаза»; перемикач SA1 – в положення «I», «U». До затискачів А, В, С підводиться напруга від трифазного кола 110 – 220 В, 50 Гц. Послідовність фаз визначається за напрямом обертання фазорегулятора, який починає працювати при вивільненні кнопки-стопора. Обертання диска за годинниковою стрілкою є свідченням правильної (прямої – А, В, С) послідовності фаз. Перед підготовкою вимірювань для визначення фази струму або напруги зверніть увагу на правильність приєднання кіл – при визначенні фази струму сторона магнітопроводу струмовимірювальних кліщів, позначена «*», має бути повернена до генераторного кінця струмопроводу;

напругу підводити так, щоб до застискача «*» приєднувався генераторний кінець або кінець, який відповідає прийнятому початку вектора напруги.

В пристрої, який розглядається, нульове положення диска відповідає умовно подачі до затискачів «K10», «*» та «K8», «V» напруги U_{AB} . Тому за вихідний вибирається вектор напруги U_{AB} . Для вимірювання кута диск завжди обертається за годинниковою стрілкою до тих пір, поки стрілка вимірювального приладу не стане на нуль. Після цього виконують відлік за поділками, нанесеними на диск (в градусах). Кут буде визначений правильно, якщо при незначному зрушенні диска стрілка приладу буде пересуватися в той самій бік, що й лімб. Стрілки на диску, позначені літерами «L», «C», вказують при цьому, в який бік відносно вектора напруги U_{AB} буде зсунутий вектор вимірюваного струму або напруги: «L» – в бік відставання, «C» – в бік випередження. При вимірюванні кута зсуву між векторами двох величин спочатку визначаються кути між кожною з вимірюваних величин відносно вектора напруги U_{AB} , а потім знаходять різницю цих кутів.

ДОДАТОК Б

ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

Звіт по лабораторній роботі оформляється згідно з вимогами до оформлення технічних текстів. Тобто, виконується на одній стороні листів формату А4 (210×297) або на розгорнутих аркушах з шкільного зошита, обрізаних до стандартних форматів. На кожному аркуші обкреслюється рамка (знизу, зверху і справа – 5 мм, з лівого боку – 20 мм). Звіт починається з титульного листа, на якому має бути відповідна рамка (рис. Б.1, а):

На титульному аркуші вказуються відповідні відомості: номер групи, номер лабораторної роботи та її назва, прізвище студента, прізвище викладача та ряд інших факторів. Наступні аркуші звіту оформляються згідно з прикладом, наведеним на рис. Б.1, б.

Звіт містить:

1. Короткі загальні теоретичні положення та опис досліджуваних реле, захистів, галузь їх застосування, технічні характеристики, особливості основних конструктивних вузлів, електричні схеми.

2. Програму експериментальних досліджень з наведеними електричними схемами підключення приладів та обладнання.

3. Таблиці з даними експериментальних досліджень та побудованих на їх основі графіків.

4. Результати обробки експериментальних даних з наведеними формулами.

5. Короткі висновки з критичною оцінкою отриманих результатів.

6. Перелік використаної літератури.

Текст звіту має бути надрукований або акуратно написаний. Розрахунки записуються в такій послідовності: найменування величини, яка розраховується, розрахункова формула, формула з підставленими цифровими величинами та результат обчислень. Всі розрахунки виконуються в одиницях СІ.

Ілюстрації та схеми виконуються олівцем або чорною пастою згідно з чинним стандартом на одному аркуші з текстом, або на окремих аркушах чи міліметровці. Всі схеми та інші рисунки нумеруються арабськими цифрами (наприклад, рис. 1, рис. 2 і т. д.) і відповідним чином підписуються.

При побудові графіків на всіх координатних осях мають бути вказані вимірювані величини та їх розмірність. Побудову кривих необхідно виконувати з допомогою лекал, обов'язково відмічаючи на площині отримані точки.

У висновках має бути наведено аналіз отриманих результатів окремо з кожного з проведених експериментів.

Навчальне видання

**Кутін Василь Михайлович
Рубаненко Олександр Євгенійович**

Релейний захист та системна автоматика

Лабораторний практикум

Рукопис оформлено О. Рубаненком

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет виготовлено О. Ткачуком

Підписано до друку 26.02.2018
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,48.
Наклад 50 (1-й запуск 1-20) пр. Зам. № 2018-049.

Видавець та виготовлювач
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.