

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра "Автоматизовані системи електричного транспорту"

Лабораторний практикум  
з дисципліни  
"Тягові та трансформаторні підстанції"

Харків 2015

Лабораторний практикум розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри "Автоматизовані системи електричного транспорту" 8 грудня 2014 р., протокол № 5.

Рекомендується для студентів спеціальності "Електричні системи та комплекси транспортних засобів" усіх форм навчання.

Укладачі:

доц. О.Д. Супрун,  
асист. Ю.О. Семененко

Рецензент

проф. А.П. Фалендиш

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
Лабораторна робота 1. Дослідження кіл і елементів системної автоматики .....	7
Лабораторна робота 2. Дослідження вимірювальних трансформаторів струму .....	23
Лабораторна робота 3. Дослідження ефективності компенсації реактивної потужності .....	39
Лабораторна робота 4. Дослідження схем випрямлення перетворювальних агрегатів .....	47
Лабораторна робота 5. Дослідження схем вмикання трифазних лічильників .....	61
Лабораторна робота 6. Дослідження експлуатаційних методів контролю вологості ізоляції .....	68
Список літератури .....	76

## ВСТУП

Мета лабораторних робіт - закріплення знань, здобутих на лекціях, практичних заняттях, і набуття навичок проведення експериментальних досліджень.

Перед виконанням циклу лабораторних робіт студенти повинні вивчити правила й заходи безпеки, що діють у лабораторії, потім розписатися у відповідній графі журналу лабораторних робіт.

Виконанню кожної лабораторної роботи має передувати ретельне опрацювання навчального матеріалу, з'ясування мети й змісту роботи. Після виконання цих вимог студенти допускаються до проведення лабораторних робіт.

Під час підготовки до робіт, крім іншого навчального матеріалу, студенти повинні використовувати матеріал, що міститься в загальних відомостях кожної роботи.

Результати експериментальних досліджень у вигляді таблиць, графіків і розрахунків заносяться в бланк звіту з лабораторної роботи. Звіт повинен бути виконаний акуратно, грамотно й мати короткі висновки по роботі.

При підготовці до захисту лабораторної роботи студенти повинні оформити бланк звіту й відповіді на контрольні питання, викладені наприкінці опису кожної лабораторної роботи.

Лабораторні роботи за своїм змістом базуються на основних положеннях теоретичної частини курсу "Тягові та трансформаторні підстанції".

Опис лабораторних робіт здійснено з урахуванням використання обладнання лабораторії тягових і трансформаторних підстанцій.

Вказівки з заходів безпеки при роботі з електроустаткуванням у лабораторії «Тягові та трансформаторні підстанції». **Дотримання правил безпеки при проведенні лабораторних робіт** має особливо важливе значення, тому що доводиться користуватися напругою 380 В:

1 Перед початком робіт необхідно вивчити правила й заходи безпеки.

2 Перед початком роботи слід перевірити наявність і справність діелектричних засобів захисту, правильність дії блокувальних пристроїв, справність сигнальних ламп і наявність плакатів з заходів безпеки.

3 Прибори, апарати й інші пристрої, на які буде подаватися напруга, необхідно, розміщати один від одного й від заземлених частин на відстанях, обумовлених ПУЕ, щоб виключити пробій повітряного проміжку або замикання на землю, а також сторонні впливи, здатні спотворити результати вимірів.

4 З'єднання, передбачені схемою, слід виконати з проводів достатнього перетину, щоб попередити обрив їх під час роботи.

5 На кожному робочому місці необхідно мати справні діелектричні засоби захисту: гумові боти, рукавички, килими й інші засоби.

6 Забороняється вмикати без дозволу викладача схеми, прилади, апарати, агрегати й машини.

7 Студент, що вмикає напругу, повинен голосно попередити працюючих з ним словами "Подаю високу напругу". Інші студенти повинні бути на своїх робочих місцях і після вмикання апаратури не переміщатися по приміщенню.

8 З моменту вмикання напруги забороняється торкатися до струмоведучої частини схеми, у тому числі до ізольованих проводів.

9 Під час проведення роботи забороняється відходити від приладів, апаратів, що перебувають під напругою.

10 Всі зміни у схемі перемикавання, необхідні по ходу роботи, перехід на нові межі виміру приладів, вмикання або вимикання елементів досліджуваної схеми тощо дозволяється робити тільки після відключення схеми від джерела напруги. Наступне вмикання може бути виконано тільки з дозволу викладача.

11 При виявленні несправностей або яких-небудь ненормальностей у режимі роботи приладів, апаратів і схеми або при зникненні напруги в живильній мережі треба їх негайно відключити від джерел напруги й повідомити про це викладачеві. Наступне вмикання може бути зроблене тільки з дозволу викладача.

12 Студентам категорично забороняється робити які-небудь вмикання й перемикавання на розподільному щитку, зміну запобіжників, вимір і перевірку напруги на загальних шинах лабораторних щитів.

**Слід завжди пам'ятати, що недотримання правил і заходів безпеки може призвести до ураження електричним струмом, псування приладів і апаратури.**

## **Лабораторна робота 1**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ І ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМНОЇ АВТОМАТИКИ**

#### **1.1 Мета роботи:**

- ознайомитися та вивчити принцип дії однократного та двократного АПВ на реле типу РПВ - 58; РПВ - 258;
- дослідити час спрацьовування та готовності до чергової дії, а також простежити на практиці працездатність кола неспіввідношення ключа управління та контактів комутаційного апарата, по якому здійснюється запуск роботи АПВ;
- вивчити і простежити працездатність різних видів сигналізації (світлової, звукової та механічної).

#### **1.2 Загальні відомості і призначення пристроїв автоматичного повторного вмикання та автоматичного вмикання резерву**

Перерви в живленні споживачів електричною енергією в більшості випадків відбуваються через пошкодження на повітряних лініях передачі, на частку яких припадає більше 80 % загальної кількості пошкоджень в електричних системах.

Експлуатаційний досвід показує, що більшість аварій на повітряних лініях відбувається через грози і не викликає стійких пошкоджень ізоляції.

Аварії на лініях у більшості випадків легко ліквідуються, якщо пошкоджену ділянку на малий проміжок часу відключити від джерела живлення. При цьому електрична міцність пошкодженого елемента ізоляції швидко відновлюється, і лінія знов може бути введена в експлуатацію без яких-небудь додаткових заходів.

Автоматичне повторне вмикання (АПВ), що забезпечує автоматичне відключення пошкодженої ділянки, а потім і зворотне її вмикання, знайшло широке застосування в енергетичних системах.

Завдяки АПВ кількість перерв у живленні споживачів електричною енергією значно знизилася. Це підтверджується рядом статистичних відомостей з експлуатації ліній, обладнаних пристроями АПВ, де до 80 % загальної кількості відключень повторно вмикалися в експлуатацію автоматично.

Автоматичне повторне вмикання може бути виконане не тільки однократним, але дво- і трикратним.

Відсоток успішних однократних АПВ складає 60-80 % загальної кількості відключень ліній. При двократному АПВ відсоток успішних вмикань підвищується лише на 10-12 %, а при трикратному АПВ - на 5 %. Пристрої дво- і трикратних АПВ значно складніше за однократні, а тому їх застосування може бути виправдане лише на відповідальних установках. Багатократні АПВ застосовують також, коли є можливість здійснювати відносно простий пристрій, як, наприклад, у вантажному приводі з автоматичним підніманням вантажу.

Найбільшого поширення набули пристрої АПВ однократної дії, рідше застосовуються АПВ двократної дії.

При незначній вартості пристрою АПВ порівняно з вартістю основного електроустаткування в експлуатації воно забезпечує значний економічний ефект.

Основною вимогою, що висувається до пристроїв АПВ, є швидкість дії для забезпечення мінімальної можливої перерви живлення споживачів. Чим менше тривалість перерви, тим менше встигають загальмуватися двигуни і тим легше і швидше вони зможуть повернутися до нормальної роботи при усуненні пошкоджень і відновленні напруги.

Тривалість циклу АПВ залежить від схеми АПВ, типу вимикача і конструкції привода.

При забезпеченні АПВ з часом повного циклу, що не перевищує 0,5-2,0 с, ефективність його вважається цілком задовільною для пристроїв СЦБ з часом 1,3 с. При більшому часі ефективність АПВ може значною мірою знизитися.

Відповідно до Правил пристроїв електротехнічних установок перший імпульс на АПВ вимикача після його відключення зазвичай подається через 0,3-2 с. Час подачі імпульсу для другого АПВ складає 10-15 с, а час третього автоматичного вмикання в пристроях АПВ трикратної дії –



60-120 с. Ці інтервали часу необхідні для відновлення вимикаючої здатності вимикачів.

Час від моменту пуску пристрою АПВ до моменту подачі імпульсу на вмикання вимикача називається часом дії АПВ.

Пристрої АПВ повинні:

- забезпечити встановлену кратність автоматичного повторного вмикання;

- виключити можливість АПВ після відключення персоналом вимикача вручну, дистанційно або за допомогою телекерування;

- уникнути можливість АПВ при автоматичному відключенні вимикача релейним захистом відразу після того, як персонал здійснив вмикання вимикача дистанційно або за допомогою пристроїв телекерування.

Пристрої АПВ, як правило, повинні виконуватися з автоматичним поверненням у початковий стан після циклу АПВ, тобто забезпечувати можливість подальшої роботи пристрою без втручання персоналу. Пристрої АПВ повинні приходити в дію при виникненні невідповідності між положенням ключа управління і положенням вимикача, а також при будь-якому відключенні вимикача відповідним захистом. Повинне бути передбачене блокування дії пристрою АПВ при будь-якому відключенні вимикача персоналом або пристроями телемеханіки, а також при дії релейного захисту, після якого не допускається повторне вмикання. При пуску пристроїв АПВ релейним захистом повинна бути забезпечена надійна дія пристрою АПВ в умовах короткочасної роботи захисту.

Основою схеми є реле РПВ-58 (рисунок 1.1). Блок-контакти комутаційних апаратів імітуються контактами проміжного реле. Кола сигналізації виконали у вигляді сигнальної лампочки, електричного дзвінка та блінкера вказівного реле Г-21.

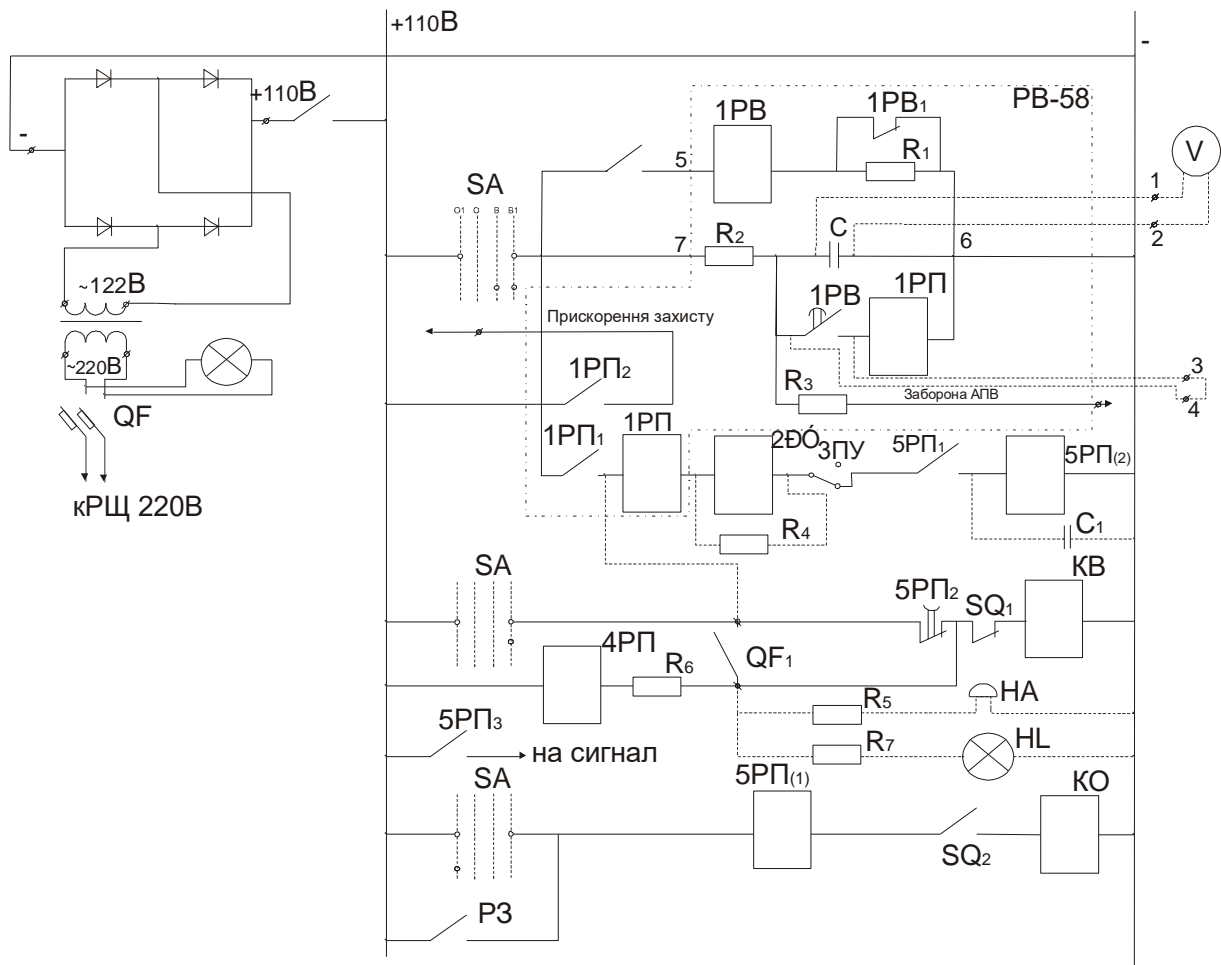


Рисунок 1.1 - Електрична схема однократного АПВ з реле типу РПВ-58

Кола невідповідності здійснюються за допомогою штатного ключа управління КУ і контактами проміжного реле 1РП1.

Живлення схеми здійснюється від перетворювального агрегата, виконаного на однофазному трансформаторі та мостовій однофазній схемі випрямлення.

При ввімкненому вимикачі затискачі або замкнуті ключем управління КУ. При виникненні в лінії пошкоджень релейним захистом РЗ відключається вимикач, блоком-контактами якого вмикається проміжне реле 4РП. При цьому виникає невідповідність між положенням вимикача і положенням ключа управління. Внаслідок цієї невідповідності спрацьовує реле часу 1РВ, яке контактом 1РВ1 підключає в коло реле 1РВ струмообмежувальний опір  $1r_1$ . Друга пара контактів 1РВ з витримкою часу замикає коло розряду конденсатора С

на паралельну обмотку проміжного реле 1РП. Реле 1РП спрацьовує, вмикає котушку вмикання вимикача КБ і стає на самоутримання до моменту розмикання блок-контактів В-1. Після вмикання вимикача проміжне реле 4РП, а потім реле часу 1РВ повертаються в початковий стан, оскільки розімкнено контакти РЗ.

Однократність дії пристрою АПВ створюється конденсатором С, який, розрядившись на обмотку реле 1РП, знов заряджатиметься лише через певний час після вмикання вимикача.

Час заряджання визначається величиною опору  $1r_2$ , а час дії пристрою АПВ регулюється уставкою реле часу 1РВ.

Реле 5РП усуває багатократні вмикання на коротке замикання (к. з.) при несправності у схемі (наприклад, приварювання контактів 1РП1) шляхом розмикання контактом 1РП2 кола КВ. У цьому випадку струмова котушка 5РП обтікається струмом при спрацьовуванні РЗ (коло КО). Самоутримання реле 5РП забезпечується тільки після АПВ іншою котушкою 5РП (у колі 1РП1).

При оперативному відключенні вимикача ключем КУ пристрій РПВ відключається, а конденсатор розряджається на  $1r_2$ . Тому при подальшому вмиканні пристрій АПВ буде виведений з дії на певний час і відмовить при вмиканні на к. з.

Заборона дії АПВ при вмиканні вимикача, наприклад за допомогою телемеханіки, здійснюється шляхом схемного підключення затискача 8 до мінуса. В цьому випадку конденсатор розряджається на опір  $1r_3$ . Сигналізація роботи АПВ здійснюється вказівним реле 2РУ.

### *Автоматичне введення резерву*

Перерва в живленні навантаження споживача при порушенні електропостачання від одного з джерел допускається тільки на час автоматичного перемикавання на резервне живлення з подальшим повним автоматичним відновленням схеми до аварійного режиму живлення.

Після відключення робочого джерела енергії автоматичне перемикавання на резерви повинне виконуватися за мінімально

можливий час. У випадку наявності в мережі потужних навантажень повинна бути введена затримка за часом щоб уникнути помилкових спрацьовувань при просіданнях напруги під час пуску (звичайно затримка встановлюється в межах 0,1-30 с).

Загальні вимоги до АВР:

- АВР повинен спрацьовувати за мінімальний час після відключення робочого джерела енергії;

- АВР повинен спрацьовувати завжди у випадку зникнення напруги на шинах споживачів, незалежно від причини. У випадку роботи схеми дугового захисту АВР може бути блокований, щоб зменшити пошкодження від короткого замикання. У деяких випадках потрібна затримка перемикачів АВР;

- АВР повинен спрацьовувати однократно. Ця вимога обумовлена неприпустимістю багаторазового вмикання резервних джерел у систему з неусунутим коротким замиканням.

Класифікація АВР:

- АВР односторонньої дії. У таких схемах присутня одна робоча секція живильної мережі і одна резервна. У випадку втрати живлення робочої секції АВР підключить резервну секцію;

- АВР двосторонньої дії. У цій схемі кожна з двох ліній може бути як робочою, так і резервною;

- АВР із відновленням. Якщо на відключеному вводі знову з'являється напруга, то з витримкою часу він вмикається, а секційний вимикач відключається. Якщо короткочасна паралельна робота двох джерел не припустима, то спочатку відключається секційний вимикач, а потім вмикається ввідний. Схеми повернулися у вихідний стан;

- АВР без відновлення.

### *Принцип дії АВР*

Як вимірювальний орган для АВР у високовольтних мережах служать реле мінімальної напруги, підключені для захисту ділянок через трансформатори напруги. У випадку зниження напруги для захисту ділянок електричної мережі реле дає сигнал

у схему АВР. Однак відсутність напруги не є достатнім для того, щоб пристрій АВР почав свою роботу. Як правило, мають бути дотримані ще деякі умови:

1 На ділянці, що захищається, немає неусунутого короткого замикання. Оскільки зниження напруги може бути пов'язане з коротким замиканням, включення додаткових джерел живлення в цей ланцюг є недоцільним й неприпустимим.

2 Ввідний вимикач ввімкнено. Ця умова перевіряється, щоб АВР не спрацювало, коли напруга зникла через те, що ввідний вимикач був відключений навмисно.

3 На сусідній ділянці, від якого передбачається отримувати живлення після дії АВР, напруга присутня. Якщо обидві живильні лінії перебувають не під напругою, то перемикання не має сенсу.

Після перевірки виконання всіх цих умов логічна частина АВР дає сигнал на відключення ввідного вимикача знеструмленої частини електричної мережі й на вмикання міжлінійної (або секційного) вимикача. Причому міжлінійний вимикач вмикається тільки після того, як ввідний вимикач відключився.

У низьковольтних мережах одночасно в якості вимірювального й пускового органу можуть служити магнітні пускачі або модуль АВР-3/3, або призначений для управління схемами АВР мікропроцесорний контролер АВР.

Робота виконується за допомогою лабораторної установки (рисунок 1.1) до складу якої входять такі елементи.

Стенд №2: КУ (ключ управління), який керує схемою РПВ-58, у трьох положеннях О – відключено; В – ввімкнено; В<sub>1</sub> – ввімкнено з використанням повторного вмикання РПВ-58; реле повторного вмикання РПВ-58; секундомір; вказівне реле РУ; дзвоник; лампа контролю стану МВ (масляного вимикача); вимикач імітування к. з. (короткого замикання) на лінії.

Стенд №1:

- автомат подачі живлення на стенд QF1;
- автомат вмикання живлення на схему QF2;

- вольтметр контролю напруги фаз «V»; перемикач контролю напруги на фазах; вимикач імітування обриву фаз;
- вимикач секундоміра; вимикач додаткового конденсатора С1.

Порядок виконання роботи:

Дослідження роботи реле РПВ-58 у схемах АПВ ліній СЦБ.  
Для подачі напруги на стенд №1 необхідно поставити:

QF1 та QF2 в положення «викл»;  
перемикач контролю фаз – у положення фаза «А»;  
вимикачі імітування обриву фаз у положенні «вкл» - це означає, що немає обриву в лінії на жодній з фаз.

Для подачі напруги на стенд №2 необхідно поставити:

КУ в положення «О» - відключено;  
вимикач секундоміра в положення «О»;  
вимикач додаткової ємності в положення «О»;  
вимикач імітування короткого замикання в положення «нормальний режим».

Доповісти керівнику занять про те, що схема лабораторної роботи підготовлена для проведення дослідів.

Реле РПВ-58 вмикається за допомогою ключа SA. Готовність його до роботи здійснюється зарядженням конденсатора С. Закінчення зарядження конденсатора С визначаємо за допомогою вольтметра V. Замиканням вимикача QF1 імітується робота струмового захисту. Спрацьовування проміжного реле від реле РПВ-58, що подає команду на схему повторного вмикання комутаційного апарата імітується за допомогою контактів реле.

### **1.3 Дослідження АПВ без використання РПВ-58**

Для виконання експерименту необхідно:

- ввімкнути автомат подачі живлення на стенд QF1;
- ввімкнути живлення схеми автоматом QF2;

- ввімкнути КУ в положення «В», засвітиться лампа контролю вмикання масляного вимикача, напругу в лінію СЦБ подано;
- вимикач імітації короткого замикання поставити в положення «КЗ», це означає, що на лінії відбулося коротке замикання, і привести знову до нормального режиму, ніби коротке замикання пропало (причиною короткого замикання могла бути гілка, яка впала і спричинила коротке замикання);
- лампа контролю масляного вимикача не горить, це означає що лінія СЦБ відключена;
- ввімкнути «КУ» в положення «О».

#### **1.4 Дослідження АПВ з РПВ-58 при короткому замиканню, що самовідновлюється**

Для виконання експерименту необхідно:

- ввімкнути «КУ» в положення «В<sub>1</sub>», засвітиться лампа контролю вмикання масляного вимикача (масляний вимикач ввімкнено – напругу в лінію СЦБ подано);
- не раніше ніж через одну хвилину спочатку поставити вимикач імітації короткого замикання в положення «КЗ», а потім з витримкою в 1,3 с в положення «нормальний режим», якщо коротке замикання в лінії відсутнє, то на стенді засвітиться лампа контролю вмикання масляного вимикача, це означає що масляний вимикач ввімкнувся і схема АПВ приведена в режим готовності;
- ввімкнути «КУ» в положення «О»;
- у звіті зробити висновки щодо використання РПВ-58 у схемах АПВ ліній СЦБ при односторонньому живленні.

#### **1.5 Дослідження АПВ з РПВ-58 при короткому замиканні що не відновлюється**

Для виконання експерименту необхідно:

- ввімкнути «КУ» в положення «В<sub>1</sub>» та зачекати дві хвилини;
- вимикач імітації короткого замикання вмикаємо в положення «КЗ», це означає що коротке замикання в лінії не самовідновилось;

- при спрацьовуванні РПВ- 58 лампа контролю вмикання масляного вимикача засвітиться один раз і згасне;
- задзвонить дзвоник, це означає, що відбулась аварія, у лінії СЦБ відсутнє живлення;
- ввімкнути вимикач імітації короткого замикання в положення «нормальний режим»;
- ввімкнути «КУ» в положення «О»;
- у звіті зробити висновки щодо використання РПВ-58 у схемах АПВ ліній СЦБ при двох сторонньому живленні.

### **1.6 Дослідження АПВ з РПВ-58 при обриві однієї або двох фаз**

Для виконання експерименту необхідно:

- перемикачем контролю фаз перемикати послідовно фази «А», «В», «С» та записати напруги до таблиці 1.1
- провести всі дії досліду АПВ з РПВ-58 при короткому замиканні, що не відновлюється;
- провести імітацію обриву фаз, при цьому кожен раз перемикачем контролю фаз вимірювати напругу кожної фази та записувати до таблиці 1.1;
- ввімкнути всі вимикачі фаз;
- ввімкнути «КУ» в положення «О».

### **1.7 Дослідження часу спрацьовування АПВ з РПВ-58**

Для виконання експерименту необхідно:

- ввімкнути «КУ» в положення «В<sub>1</sub>»;
- ввімкнути секундомір і виміряти час заряджання С;
- напруга спрацьовування реле повинна бути 60 В;
- записати час;
- вимкнути вимикач секундоміра;
- ввімкнути вимикач імітації короткого замикання в положення «КЗ» та залишити в такому положенні;



- після спрацьовування реле РПВ-58 та розрядження конденсатора С ввімкнути «КУ» в положення «О» ;
- ввімкнути вимикач імітації короткого замикання в положення «нормальний режим»;
- ввімкнути додатковий конденсатор С1 ємністю 30 мкФ клавiшею вмикання додаткового конденсатора;
- ввімкнути «КУ» в положення «В<sub>1</sub>» і відразу ввімкнути секундомір, виміряти час зарядання С при ввімкненій ємності до 60 В – напруга спрацьовування реле, записати виміряний час;
- ввімкнути «КУ» в положення «О»;
- QF2 поставити в положення «О»;
- QF1 поставити в положення «О»;
- вимкнути вимикач додаткового конденсатора С1.

## 1.8 Завдання

Таблиця 1.1 - Напруги фаз

Положення перемикачів фаз	А	В	С
Всі включені	110В	110В	110В
Фаза «А» обрив	0	220В	220В
Фаза «В» обрив	220В	0	220В
Фаза «С» обрив	220В	220В	0
Фази «А» та «В» обрив	0	0	220В
Фази «А» та «С» обрив	0	220В	0
Фази «С» та «В» обрив	220В	0	0

### Порядок виконання:

- при стандартному резисторі, вмонтованому в АПВ, виміряти час зарядання конденсатора до 60 В і розрядити його спрацьовуванням АПВ;
- при додатковому резисторі 1 МОм виміряти час зарядання до 60 В і розрядити його спрацьовуванням АПВ;

- при додатковому резисторі 2 МОм виміряти час заряджання до 60 В і розрядити його спрацьовуванням АПВ;
- співставити час спрацьовування при різних номіналах резисторів.

Розрахувати час зарядання при С та С+С1 та порівняти з виміряними.

$$t_{зар} = r_3 \cdot C \cdot \ln \cdot U_n / (U_n - U_{сп}). \quad (1.1)$$

У звіті зробити висновки, як залежить час готовності до спрацьовування РПВ-58 від ємності конденсатора різних значень опорів.

### *Дослідження роботи пристрою АПВ на базі РПВ-258*

Стенд для демонстрації роботи пристрою АПВ на базі РПВ-258 призначено для демонстрації принципу роботи фідерної автоматики масляного (вакуумного) вимикача напругою 6-10 кВ, а також роботи пристроїв загальної підстанційної сигналізації аварійного сигналу й миготливої сигналізації.

## **1.9 Опис лабораторної установки**

Стенд складається з 5 основних блоків (рисунок 1.2):

- тригер положення вимикача, зібраного на елементах D1.1, D1.2;
- тригер фіксації команди управління, зібраного на елементах D1.3, D1.4;
- генератор формування миготливої сигналізації, зібраного на елементах D2.1, D2.2;
- генератор звукового сигналу аварійної сигналізації мікросхеми D3;
- схема невідповідності положення вимикача командам управління, зібраного на елементах D2.3, D2.4.

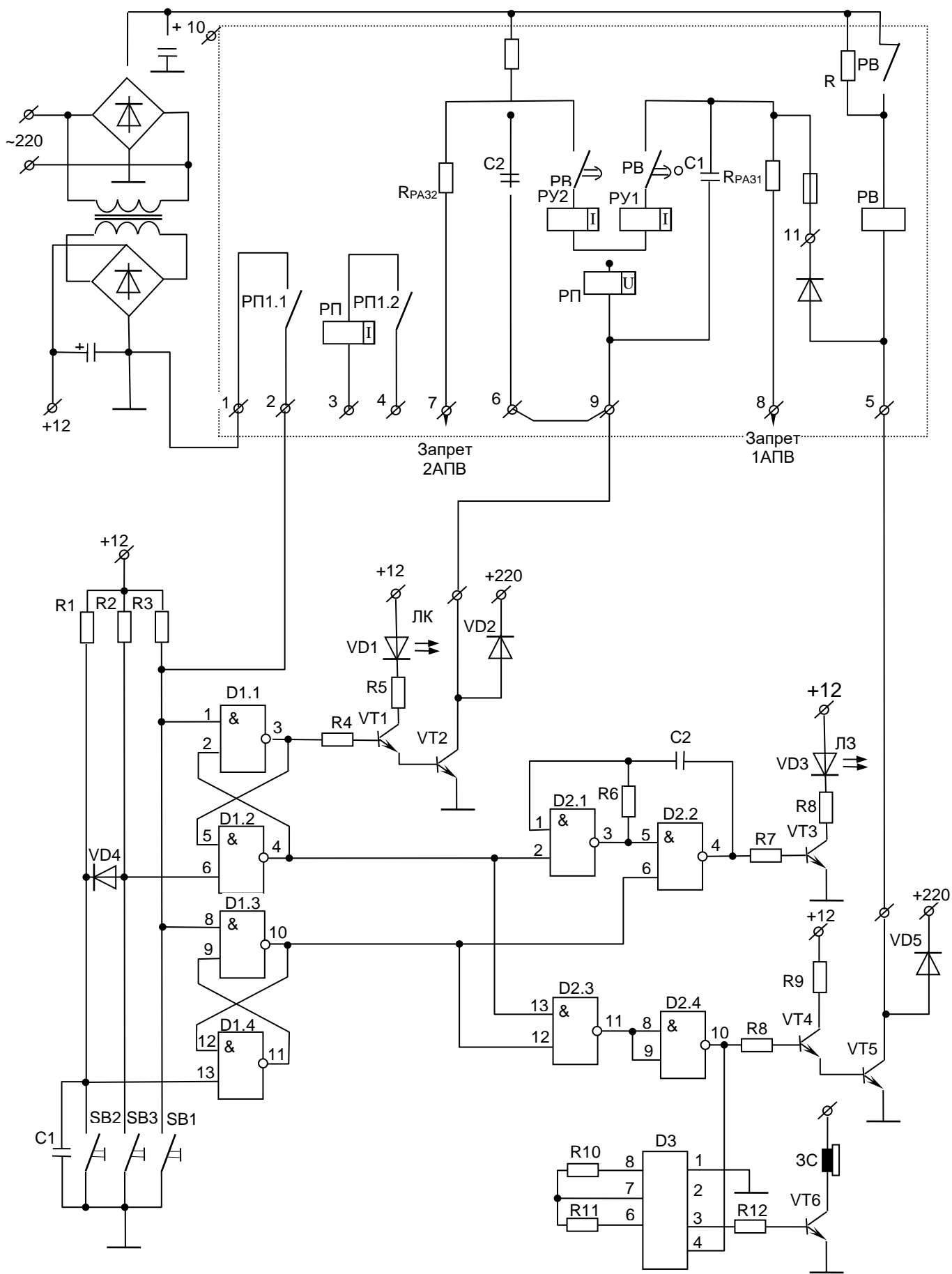


Рисунок 1.2 – Схема лабораторного стенда РПВ-258

## 1.10 Дослідження часу спрацьовування АПВ з РПВ-58

При подачі живлення на стенд конденсатор С1 установлює тригери положення вимикача й фіксації команди я у вихідний стан, при цьому на елементах D1.2, D1.4 установлюється логічна «1», а на елементах D1.1, D1.3 логічний «0». З виводу 4 D1.2 логічна «1» надходить на вивід 2 елемента D2.1, при цьому на виводі 4 елемента D2.2 логічна «1», яка відкриває транзистор VT3, світлодіод VD3 світиться безперервним зеленим кольором. На виводі D2.4 логічний «0» - звуковий генератор не працює, тому що на вивід 4 мікросхеми D3 подано замикаючий сигнал (логічний «0»). Транзистори VT1, VT2, VT4, VT5 закриті.

Для виконання експерименту необхідно:

1 Для імітації вмикання вимикача необхідно натиснути кнопку SB1 (червоного кольору), при цьому тригери положення вимикача й фіксації команди перемикаються, на виводах 3 і 10 D1.1 і D1.3 установлюється логічна «1», транзистор VT3 закривається, зелений світлодіод гасне, а транзистори VT1, VT2 відкриваються, загоряється червоний світлодіод і конденсатори С1 і С2 через зарядні резистори R1, R2 відкривають транзистор VT2.

2 Для імітації аварійного вмикання служить кнопка SB3 (білий колір). При замиканні зазначеної кнопки тригер положення вимикача перемикається у вихідний стан на виводі 4 D1.2 (логічна «1»), що призводить до запуску генератора миготливої сигналізації, при цьому світлодіод зеленого кольору мигає з частотою 1 Гц, а світло діод червоного кольору гасне.

На виводі 10 елемента D2.4 схеми невідповідності положення вимикача командою управління логічної «1» відкривають транзистори VT4, VT5, запускається реле часу РВ РПВ-258, якщо конденсатори встигли зарядитися, то пристрій готовий для здійснення повторного вмикання.

Якщо при вмиканні оперативним персоналом реле часу спрацює швидше, ніж зарядиться конденсатор, то реле РП не увімкнеться й АПВ не піде. Через час підготовки, протягом якого конденсатор встигне зарядитися до напруги джерела, реле РП увімкнеться при замиканні контакту, що прослизає, реле часу, а

потім буде втримуватися у ввімкненому положенні незалежно від напруги на конденсаторі доти, поки не завершиться операція вмикання. Одночасно з подачею команди на вмикання передається сигнал на прискорення дії релейного захисту. Заборона АПВ, що передбачається для окремих видів релейних захистів і необхідний при оперативному відключенні, забезпечується завдяки штучному розряджанню конденсатора через резистор  $R_{раз}$ . Штучне розряджання конденсатора виключає роботу АПВ.

Другий цикл аналогічний першому з тією лише різницею, що ввімкнення виконується нормально розімкнутим контактом реле часу.

### **1.11 Дослідження роботи пристроїв автоматичного вмикання резерву**

Для виконання експерименту необхідно:

- ввімкнути основний автоматичний вимикач подачі живлення;

- ввімкнути автоматичні вимикачі QF1 та QF2, це означає - напругу подано в обидві лінії, ввімкнено індикатори напруги у фідері;

- вимикач SB1 ставимо в положення «0»;

- відключаємо по черзі QF1 та QF2 (індикатори фідерів гаснуть), тобто АВР не працює.

- вимикач SB1 ставимо в положенні «I» - АВР ввімкнено. Почергово вмикаючи QF1 та QF2, бачимо, що напруга живлення залишається, тому що АВР вмикає подачу напруги з діючого фідера живлення на той, на якому напруга відсутня.

## 1.12 Контрольні питання

- 1 У яких випадках передбачається застосування пристроїв АПВ згідно з "Правилами влаштування електроустановок"?
- 2 Чим пояснюється поширеність АПВ однократної дії?
- 3 Які функції виконує конденсатор у схемі конденсаторного АПВ?
- 4 Які функції виконує реле РПВ58 у схемі АПВ?
- 5 Яким способом досягається зміна витримки часу релейних захистів при їхній спільній дії з АПВ?
- 6 Призначення витримки часу в пристроях АВР. Чим визначаються уставки за часом і напругою?

## Лабораторна робота №2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

#### 2.1 Погрішності трансформаторів струму й способи їхнього зменшення

В установках до 1000 В основне призначення трансформаторів струму складається в зниженні струму первинного кола до величини, найбільш зручної для вимірювальних приладів. Величина вторинного струму таких трансформаторів струму дорівнює 5 А. В установках вище 1000 В трансформатори струму необхідні не тільки для зниження первинного струму, але й для відділення вторинних фотополяриметрів кіл вимірювальних приладів і реле від кола первинної напруги, що забезпечує безпеку обслуговуючого персоналу й спрощення конструкцій щитів керування й релейного захисту.

Вторинний струм трансформаторів струму в установках до 110 кВ прийнятий також рівним 5 А, а в установках 110 кВ і вище трансформатори струму виготовляються на вторинний струм як 5 А, так і 1 А. Це пояснюється тим, що при більших розмірах розподільних пристроїв при вторинному струмі 5 А відбувається більша втрата напруги в проводах, що з'єднують трансформатор струму зі щитом керування, і потрібні контрольні проводи великого перерізу.

Перетворення струму вимірювальними трансформаторами характеризується номінальним коефіцієнтом трансформації  $K_{\text{НОМ}}$

$$K_{\text{НОМ}} = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{I_{2\text{НОМ}}} \approx \frac{W_2}{W_1} \quad (2.1)$$

де  $I_{1\text{НОМ}}$  і  $I_{2\text{НОМ}}$  - номінальні струми первинного й вторинного кіл;  
 $W_1$  і  $W_2$  - кількість витків первинної й вторинної обмоток трансформатора струму.

З виразу (2.1) одержуємо такі залежності:

$$I_{1\text{НОМ}} = K_{\text{НОМ}} \cdot I_2 \quad (2.2)$$

або

$$I_{1\text{НОМ}} \cdot W_1 = I_{2\text{НОМ}} \cdot W_2 \theta_1 = \theta_2, \quad (2.3)$$

де  $\theta$  - сили, що намагнічують (н.с.) первинну та вторичну обмотки.

Рівність сил, що намагнічують, можлива тільки в ідеальних трансформаторах струму, які не вносять похибок у виміри струму.

У звичайних технічних трансформаторах струму є така залежність між силами, що намагнічують, первинної й вторинної обмоток:

$$I_0 \cdot W_1 = \dot{I}_1 \cdot W_1 + I_2 \cdot W_2$$

або

$$\dot{\theta}_0 = \dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2, \quad (2.4)$$

де  $\dot{\theta}_0$  - результуюча сила, що намагнічує, обмоток трансформатора струму.

З виразу (2.4) одержуємо

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \cdot \frac{W_2}{W_1} = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \cdot K_{\text{НОМ}}, \quad (2.5)$$

де  $\dot{I}_0$  - струм намагнічування трансформатора.

З виразів (2.2) і (2.5) видно, що діючий струм, що протікає в первинному колі (2.2), відрізняється від обмірюваного струму (2.5) на величину струму намагнічування  $\dot{I}_0$ .

Різниця між обмірюваним і діючим струмом, що протікає в первинному колі, називається струмовою похибкою трансформатора струму.



Трансформатори струму вносять у виміри дві похибки:

- а) похибка у величині струму  $I$ ;
- б) похибка кутова, що являє собою кут між векторами первинного й вторинного струмів.

Ці похибки можна визначити, користуючись векторною діаграмою (рисунок 2.1). За вихідну величину прийнято вектор струму вторинної обмотки  $I_2$ . На цій діаграмі позначено:

- е.р.с. вторинної обмотки, що наводиться потоком  $\Phi$  і відстає від нього на кут  $90^\circ$ ;
- кут між н.с. і е.р.с.  $E_2$ , що залежить від навантаження вторинного кола;
- $I_0$  струм намагнічування трансформатора;
- результуюча н.с., що визначає потік  $\Phi$  і випереджає його на кут втрат;
- складова сили, що намагнічує, що створює потік  $\Phi$ ;
- складова сили, що намагнічує, що йде на покриття втрат;
- н.с. первинної й вторинної обмоток.

Похибку у величині струму звичайно виражають у відсотках обмірюваного струму

$$\Delta I\% = \frac{I_2 \cdot K_{\text{ном}} - I_1}{I_1} \cdot 100. \quad (2.6)$$

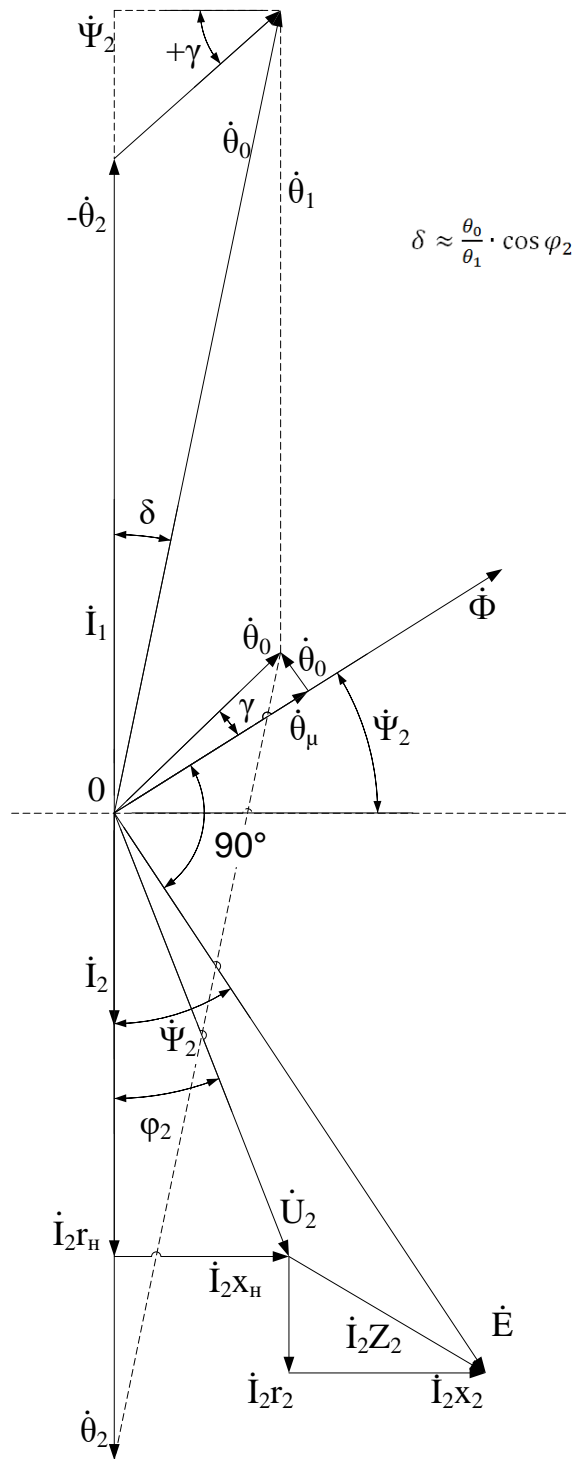
Підставляючи в цей вираз значення  $K_{\text{ном}}$ , після перетворення одержимо

$$\Delta I\% = \frac{I_2 \cdot W_2 - I_1 \cdot W_1}{I_1 \cdot W_1} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_1} \cdot 100. \quad (2.7)$$

З огляду на невелике значення кута можна прийняти на векторній діаграмі (рисунок 2.1) відрізок  $\theta_0$ .

Тоді

$$\theta_2 - \theta_1 = -\theta_0 \cdot \sin(\varphi_2 + \gamma).$$



$L$  - середня довжина магнітного кола;  
 $S$  - площа поперечного перерізу сердечника трансформатора  
 струму;  
 $\mu$  - магнітна проникність матеріалу сердечника

Рисунок 2.1- Векторна діаграма

Нехтуючи кутом (оскільки він дуже малий), одержимо

$$\theta_2 - \theta_1 = -\theta_0 \cdot \sin \varphi_2. \quad (2.8)$$

Підставивши отримане значення у виз (2.7), одержимо

$$\Delta I\% = -\frac{\theta_0}{\theta_1} \cdot \sin \varphi_2 \quad (2.9)$$

Кутова похибка трансформатора струму може бути виражена такою залежністю, отриманою з векторної діаграми (рисунок 2.1):

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\theta_0 \cdot \cos \varphi_2}{\theta_1}.$$

Внаслідок дуже малої величини кута, можна прийняти  $\theta = \delta$  (у радіанах).

Тоді

$$\delta \approx \frac{\theta_0}{\theta_1} \cdot \cos \varphi_2. \quad (2.10)$$

З виразів (2.9) і (2.10) видно, що обидві похибки трансформатора струму залежать від результуючої н.с. Чим більше кутова похибка, тим більше похибка трансформатора струму.

Отже, для зменшення похибок трансформатора струму необхідно зменшити кутову похибку, що досягається зменшенням магнітного опору  $\rho$  сердечника трансформатора.

Відомо, що

$$\rho = \frac{l}{\mu \cdot S}, \quad (2.11)$$

З виразу (2.11) видно, що магнітний опір сердечника можна зменшити шляхом скорочення довжини магнітного кола, збільшенням площі поперечного перерізу сердечника й застосуванням електротехнічної сталі з високою магнітною проникністю (пермалой).

Крім конструктивних факторів, похибка трансформаторів струму значною мірою залежить і від умов їхньої експлуатації (величини первинного струму, величини й характеру опору навантаження  $Z_H$  та інших факторів).

З виразів (2.9) і (2.10) видно, що зі збільшенням н.с. первинної обмотки обидві похибки будуть зменшуватися. Трансформатори струму мають мінімальні похибки при значеннях первинного струму  $I_1 = 100 \pm 120 \% I_{1ном}$ . При подальшому збільшенні первинного струму похибки починають збільшуватися внаслідок насичення магнітної системи трансформатора струму.

Погрішності трансформатора струму залежать також і від навантаження вторинного ланцюга  $Z_H$ , під якою розуміється повний опір у вторинному колі трансформатора струму, рівний сумі опорів всіх послідовно включених котушок вимірювальних приладів і реле ( $r_{приб}$ ), а також сполучних проводів ( $r_{пров}$ ) і контактів ( $r_{конт}$ );

$$z_H = \sqrt{(\sum r_{приб} + r_{пров} + r_{конт})^2 + (\sum x_{приб})^2}$$

Індуктивний опір проводів не враховується.

Збільшення навантаження вторинного кола  $E_H$  при незмінному первинному струмі  $I_2$  (незмінній величині) приводить до деякого зменшення  $I_2$ , а отже, і збільшенню й погрішностей трансформатора струму.

Потужність вторинного кола трансформатора струму визначається по виразу

$$S_2 = I_2^2 \cdot Z_H, \text{ ВА} \quad (2.12)$$

З вираження (2.12) видно, що при номінальному вторинному струмі трансформатора струму, рівному 1А, втрати потужності в сполучних проводах і контактах у 25 разів менше порівняно з втратами при номінальному вторинному струмі 5 А.

Трансформатори струму поділяють на класи точності, які характеризуються найбільшими припустимими похибками, зазначеними в таблиці 2.1.

Кожному класу точності трансформатора струму відповідає певне номінальне вторинне навантаження  $Z_{н ном}$  чи потужність  $S_{2 ном}$

$$S_{2 ном} = I_{2 ном}^2 \cdot Z_{н ном}.$$

Таблиця 2.1 - Граничні значення похибок трансформаторів струму для різних класів точності

Клас точності	Первинний струм, % номінального	Граничне значення			Межі вторинного навантаження, % номінальної, при $\cos = 0,8$
		струмових похибок, %	кутової похибки		
			хв	Рад	
	10	+0,50	+20	$\pm 0,6$	
0,2	20	+0,35	+15	+0,45	25 - 100
	100 - 120	+0,20	+10	про+0,3	
	10	+1,0	+60	+1,8	
0,5	20	+0,75	+45	$\pm 1,35$	25 - 100
	100 - 120	+0,5	+30	$\pm 0,9$	
	10	+2,0	+120	+3,6	
I	20	$\pm 1,5$	+90	$\pm 2,7$	25 - 100
	100 - 120	$\pm 1,0$	+60	+1,8-	
3	50 - 120	+3,0	не нормується		50 - 100
10	50 - 120	+10	не нормується		50 - 100

Важливою характеристикою трансформаторів струму є крива намагнічування (вольт-амперна характеристика), за і проти якої можна судити про справність трансформатора. Зокрема за видом характеристики намагнічування можна визначити наявність виткових замикань у вторинній обмотці; несправності магнітопроводу; можливість спільного використання трансформаторів у схемах диференціальних захистів (оскільки при майже співпадаючих характеристиках трансформаторів струму небалансу будуть мінімальними).

Вольт-амперна характеристика являє собою залежність напруги, підведеної до вторинної обмотки, від струму, що намагнічує, який пропускається через неї, при розімкнутій первинній обмотці трансформатора струму (рисунок 2.2). При

першому вмиканні трансформатора струму визначається 10-12 точок і за ними будується крива залежності  $U_2=f(I_2)$ , що і порівнюється з типовою характеристикою. За наявності в трансформаторі короткозамкнених витків характеристика намагнічування різко знижується, як показано на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 - Характеристики намагнічування

Нормальним режимом роботи трансформатора струму є режим короткого замикання. Робота трансформатора струму при розімкнутому вторинному колі не допускається. У цьому випадку вторинний струм  $I_2$ , а отже, і н.с. вторинної обмотки дорівнюють нулю. Як видно з виразу (2.4), результуюча н.с. стає рівною н.с. первинної обмотки, тобто

$$\dot{\theta}_0 = \dot{\theta}_1 \quad \text{або} \quad \dot{I}_0 \cdot W_1 = \dot{I}_1 \cdot W_1$$

Це викликає різке збільшення магнітного потоку  $\Phi$  у сердечнику, у результаті чого, з одного боку, відбувається сильне нагрівання сердечника через магнітну індукцію, що збільшилася, з іншого - підвищений магнітний потік наводить у вторинній обмотці більшу е.р.с.  $E_2$ . В окремих випадках амплітуда цієї е.р.с. може досягати декількох кіловольтів, що дуже небезпечно для

обслуговуючого персоналу. Таке збільшення вторинної е.р.с. при розмиканні вторинного кола пояснюється трапецеїдальною формою кривої зміни магнітного потоку залежно від часу (рисунок 2.3). Оскільки сталь сердечника має велику магнітну проникність, наростання потоку відбувається по крутій прямій, потім іде полого частина кривої, обумовлена насиченням, і круте спадіння.

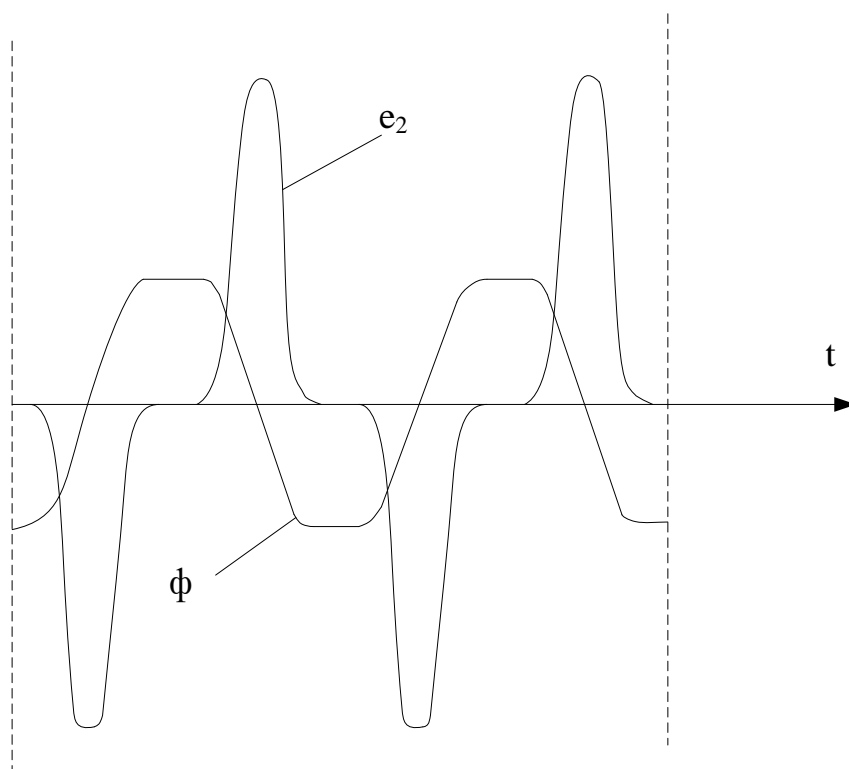


Рисунок 2.3 – Графіки зміни магнітного потоку та е.р.с. залежно від часу

Природно, що різка зміна потоку  $\Phi$  тягне наведення більших амплітуд е.р.с.  $E_2$  у вторинній обмотці трансформатора струму.

## 2.2 Завдання й вказівки на проведення лабораторної роботи

У процесі підготовки й проведення лабораторної роботи студенти (слухачі) повинні:

1) вивчити основні відомості про принцип роботи трансформатора струму в його похибка;

2) ознайомитися з устаткуванням лабораторної установки й контрольно-вимірювальних приладів, які використовуються при виконанні роботи;

3) зняти характеристику намагнічування сердечника трансформатора струму й порівняти її з характеристикою намагнічування справного трансформатора (рисунок 2.2);

4) визначити струмові й кутові похибки трансформатора струму типу ТПЛ-10 при значеннях первинного струму 10, 20, 50, 100 і 120 %  $I_{ном}$ . Отримані похибки порівняти із граничними значеннями для даного класу точності (таблиця 2.1);

5) зняти характеристику  $I_2 = f(I_1)$  трансформатора струму ТПЛ-10;

при різних опорах вторинного кола. Визначити клас точності трансформатора при різному навантаженні вторинного кола;

б) оформити звіт.

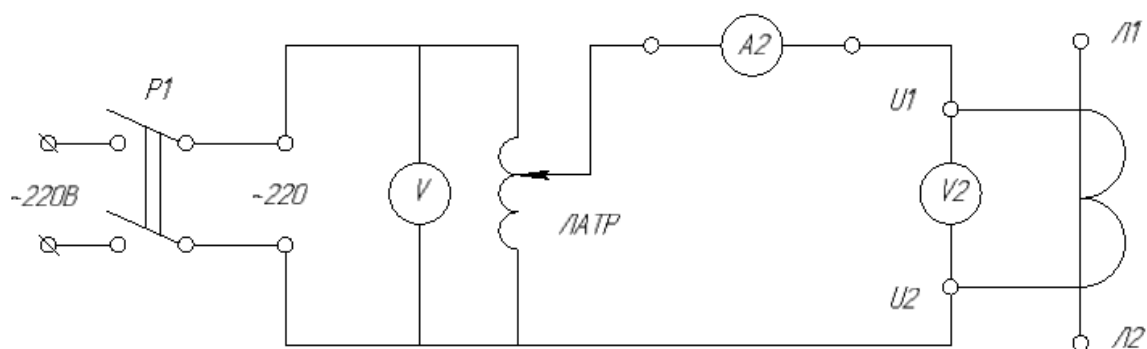


Рисунок 2.4 – Схеми для зняття вольт – амперної характеристики

### 2.3 Опис лабораторної установки

У комплект лабораторної установки входять лабораторний стіл; живильний трансформатор Тр; еталонний трансформатор струму типу И56; випробувальні трансформатори струму типу ТПЛТ-10 і ТПФУ-150/5; контрольно-вимірювальні прилади.

На вертикальній панелі лабораторного стола змонтовані пакетний вимикач Р для подачі напруги на установку; пакетний вимикач Р2 для управління пристроєм перемикачів переминок й



амперметра, що вимірює струм у вторинній обмотці трансформаторів струму (еталонною і випробуваною); пакетний вимикач Рр клема "~220 В" і вольтметр типу Ц330 для підключення й контролю напруги на вході ЛАТРа; амперметр А1 типу Э378 (0-30 А) для контролю струму ЛАТРа; клема реле комутаційного пристрою (К1-К8), опори (R1, R<sub>2</sub> і R<sub>3</sub> ) і перемички (3-4).

На горизонтальній панелі лабораторного стола розміщені контрольні-вимірювальні прилади: амперметр А<sub>2</sub> типу Э59; апарат для перевірки трансформаторів типу АТТ, застосований зі спеціальним амперметром типу Э59/101 і вібраційним гальванометром типу М501; вольтметр V<sub>2</sub>.

## 2.4 Порядок виконання робіт

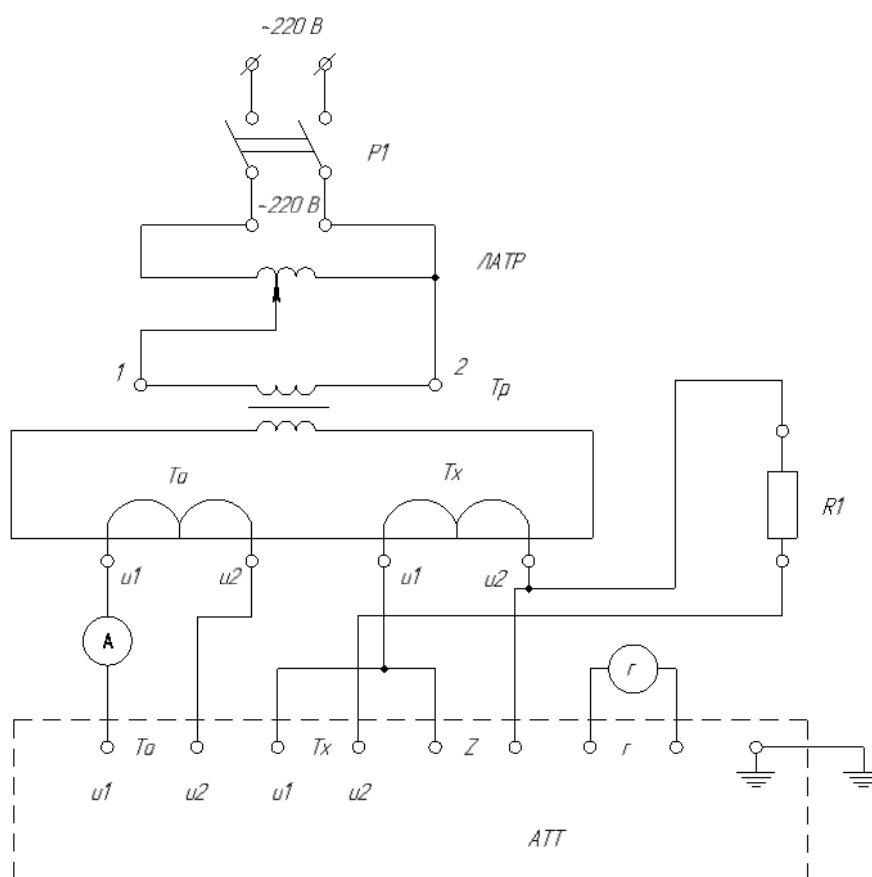
Перед зняттям характеристик намагнічування й після цього провадиться розмагнічування сердечника шляхом дво- або трикратних плавних підвищення і знижень напруги до нуля у вторинній обмотці.

Для зняття характеристики намагнічування сердечника трансформатора необхідно:

- 1) зібрати схему, зображену на рисунку 2.4;
- 2) ввімкнути вимикачі Р і Р1 і розмагнітити сердечник трансформатора;
- 3) збільшуючи струм у вторинній обмотці від 1 до 10 А, зняти показання вольтметра V<sub>2</sub>;
- 4) розмагнітити сердечник, вимкнути вимикачі Р1 і Р;
- 5) побудувати характеристику намагнічування й порівняти її з характеристикою намагнічування сердечника справного трансформатора струму (рисунок 2.2).

## 2.5 Визначення струмових і кутових похибок вимірювального трансформатора струму типу ТПЛТ-10 при різних первинних струмах

Визначення струмових і кутових похибок трансформатора струму зробити за допомогою апарата АТТ, вібраційного гальванометра й спеціального амперметра при значеннях первинного струму 10, 20, 50, 100 і 120 %  $I_{\text{НОМ}}$  і вторинного навантаження трансформатора перевіряється  $Z_2 = R_1 = 0,32 \text{ Ом}$ . Для визначення похибок необхідно зібрати схему, зображену на рисунку 2.5.



$T_0$  - трансформатор струму зразковий (еталонний);  $T_x$  - трансформатор струму випробувальний;  $T_r$  - трансформатор живильний;  $\Gamma$  - гальванометр вібраційний;  $A$  - амперметр до апарата АТТ для перевірки трансформаторів струму класу 1,0;  $R_1 = 0,32 \text{ Ом}$ . - навантаження у вторинному колі трансформатора струму

Рисунок 2.5 - Схема для визначення похибок

## 2.6 Підготовка до вимірів

1 Перевірити рівність величин первинних і вторинних струмів випробувального й зразкового трансформаторів.

2 Перевірити надійність контактних з'єднань у схемі.

3 Регулюючий пристрій (ЛАТР-1) установити в нульове положення.

4 Регулятором чутливості гальванометра встановити мінімальну чутливість.

5 Ввімкнути освітлення гальванометра.

6 Перевірити правильність вмикання зразкового й випробувального трансформатора. При неправильному вмиканні засвітиться неонові лампа в апараті АТТ при поступовому підвищенні струму регулюючим пристроєм. У цьому випадку необхідно, виключивши напругу, змінити підключення вторинних обмоток одного з трансформаторів.

7 Перед випробуванням розмагнітити трансформатори. Для цього при розімкнутій вторинній обмотці встановити в первинній обмотці струм  $10\% I_{ном}$  і плавно знизити його до нуля.

Вимірювання похибок трансформатора:

1 На апараті АТТ установити перемикач меж вимірювання в положення "0,5".

2 Ввімкнути вимикачі Р, Р1, установити первинний струм  $10\% I_{ном}$ .

3 Перемикач полярності гальванометра встановити в положення "Г".

4 Настроїти гальванометр у резонанс, обертаючи ручку "настроювання" до одержання максимальної ширини світлової смуги.

5 Обертаючи по черзі рукоятки реохордів АТТ, домогтися мінімальної ширини світлової смуги гальванометра при його максимальній чутливості.

## 2.7 Розрахункові формули для визначення похибок

Величина похибок  $I\%$  і випробувального трансформатора визначається за формулами

$$\Delta I = \Delta I_0 + n \cdot \Delta I_1,$$

$$\delta = \delta_0 + n \cdot \delta_1 \cdot \frac{f}{60},$$

де  $\Delta I, \delta$  - похибки зразкового трансформатора у відсотках, % і хвилинах, хв, відповідно;

$\Delta I_0$  - відлік на шкалах апарата АТХ;

$n$  - множник, що залежить від установки перемикача (0,5; I; 3);

$f$  - частота мережі, Гц.

При розрахунку похибок необхідно брати до уваги знаки похибок зразкового трансформатора й відліків по шкалі апарата АТТ.

Отримані похибки порівняти з граничними значеннями похибок для даного класу точності, які наведені в таблиці 2.1.

*Визначення класу точності трансформатора ТПЛТ-10 при різному навантаженні у вторинному колі.*

1 Зібрати схему (рисунок 2.6), дотримуючись рівності опорів сполучних проводів.

2 Зняти характеристики  $I_2 = f(I_1)$  для трансформатора струму ТПЛТ-10 при навантаженні у вторинному колі  $R_2 = 5 \text{ Ом}$  і  $R_2 + R_3 = 10 \text{ Ом}$ .

*Примітка.* При положенні вимикача Р2 "О" встановлюється первинний струм еталонного трансформатора, при положенні "В" вимірюється вторинний струм випробуваного трансформатора.

Характеристики зняти для значень первинних струмів від 20 до 140 А, результати занести в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Характеристики для трансформатора струму ТПЛТ-10

$I_{20}, A$		1	2	3	4	5	6	7
$I_{10}, A$		20	40	60	80	100	120	140
$I_{2x}$ при $R_2=5 \text{ Ом}$	A							
$I_{2x}$ при $R_2+R_3=10 \text{ Ом}$	A							

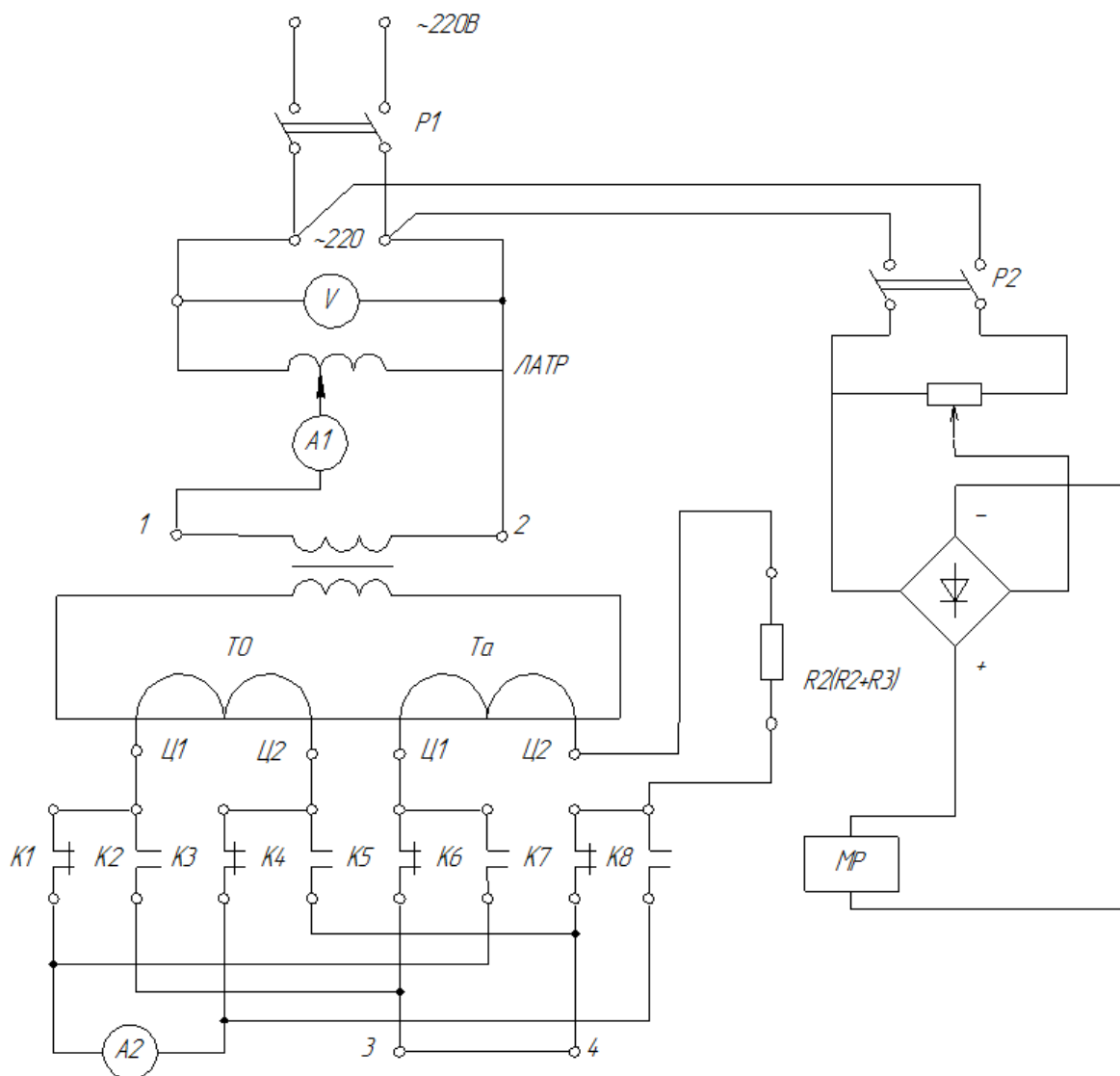


Рисунок 2.6 – Схема експериментальної установки

Побудувати криві  $I_{20} = f(I_{10})$  і визначити клас точності трансформатора струму ТПЛТ-10, користуючись таблицею 2.1 і вважаючи зразковий трансформатор струму ідеальним, тобто характеристика  $I_{20} = f(I_{10})$  – пряма лінія. Наприклад, при  $I_{10} = 100 \text{ A}/100 \% I_{\text{ном}}$ ;  $I_{2\text{про}} = 5 \text{ A}$ ,  $I_{2x} = 4,62 \text{ A}$  (при  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ );

Отже, за таблицею 2.1 трансформатор струму при навантаженні у вторинному колі 5 Ом і первинному струмі 100 %  $I_{ном}$  відповідає класу точності 10.

## 2.8 Зміст звіту

Звіт по роботі повинен містити:

- 1) дані досліджуваних трансформаторів і використовуваних приладів;
- 2) схеми (рисунок 2.5, 2.6);
- 3) дані всіх вимірів;
- 4) характеристику намагнічування сердечника трансформатора струму типу ТПФУ-150/5;
- 5) характеристики  $I_2 = f(I_1)$  для зразкового трансформатора й трансформатора ТПЛТ-10 для  $R_2 = 5$  Ом і  $R_2 + R_3 = 10$  Ом;
- 6) короткі висновки по роботі.

## 2.9 Контрольні питання

- 1 Що таке коефіцієнт трансформації трансформаторів струму?
- 2 Що таке струмова похибка трансформаторів струму й від яких факторів вона залежить?
- 3 Що таке кутлова похибка трансформаторів струму й від яких факторів вона залежить?
- 4 Якими способами зменшуються похибки трансформаторів струму?
- 5 Чому не можна розмикати вторинну обмотку працюючого трансформатора струму?
- 6 Накреслити векторну діаграму трансформатора струму й проаналізувати, як впливає збільшення сили, що намагнічує, на похибки трансформаторів струму?
- 7 Від яких факторів змінюється клас точності трансформаторів струму в експлуатації?
- 8 Яких заходів безпеки необхідно дотримувати при виконанні даної лабораторної роботи.

## Лабораторна робота 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

**3.1 Мета роботи:** дослідити ефективність повздовжньої та поперечної ємнісної компенсації реактивної потужності.

#### 3.2 Загальні відомості

Джерела реактивної потужності. Відхилення основних показників якості електричної енергії в системах електропостачання залізниць змінного і постійного струму змушує вживати заходів для підтримання цих показників у допустимих межах. Ці заходи можна поділити на дві групи - пасивні та активні.

До пасивних заходів належать відома схема симетруючого приєднання тягових підстанцій змінного струму до живлячої мережі: збільшення площі перерізу проводів контактної мережі постійного струму для зниження втрат напруги в тяговій мережі і т. д.

До активних заходів належать застосування синхронних компенсаторів (СК), синхронних двигунів, установок повздовжньої (УПРК) і поперечної регульованої (УРППК) і нерегульованої (УППК) компенсації, пристроїв регулювання напруги на трансформаторах під навантаженням (РПН), фільтро-симетруючих пристроїв, перехід на системи живлення поїздів на підвищеній напрузі та ін.

Синхронні компенсатори і двигуни належать до машинних джерел реактивної потужності (ДРП). СК вітчизняної промисловості випускаються в трифазному виконанні і звичайно використовуються в симетричних трифазних мережах для регулювання перетікань реактивної потужності за законами  $Q = \text{const}$  або  $U = \text{const}$ . СК не знайшли застосування на залізницях змінного струму. Унаслідок несиметрії тягових навантажень застосування трифазних СК є недоцільно. У мережах залізниць постійного струму у зв'язку з досить високим

коефіцієнтом потужності тягового навантаження на боці змінного струму застосування СК також є недоцільним. Використання СК вимагає підвищених капітальних витрат і експлуатація витрат. Синхронні двигуни, які можуть працювати з випереджаючим коефіцієнтом потужності (з генеруванням ємкісної потужності), знаходять застосування в низьковольтних розподільних пристроях окремих об'єктів, одержують живлення від мереж 25 кВ системи ДПР. Через обмеженість сфери застосування машинних перетворювачів вони як засіб підвищення якості електроенергії в системах електропостачання залізниць не розглядаються.

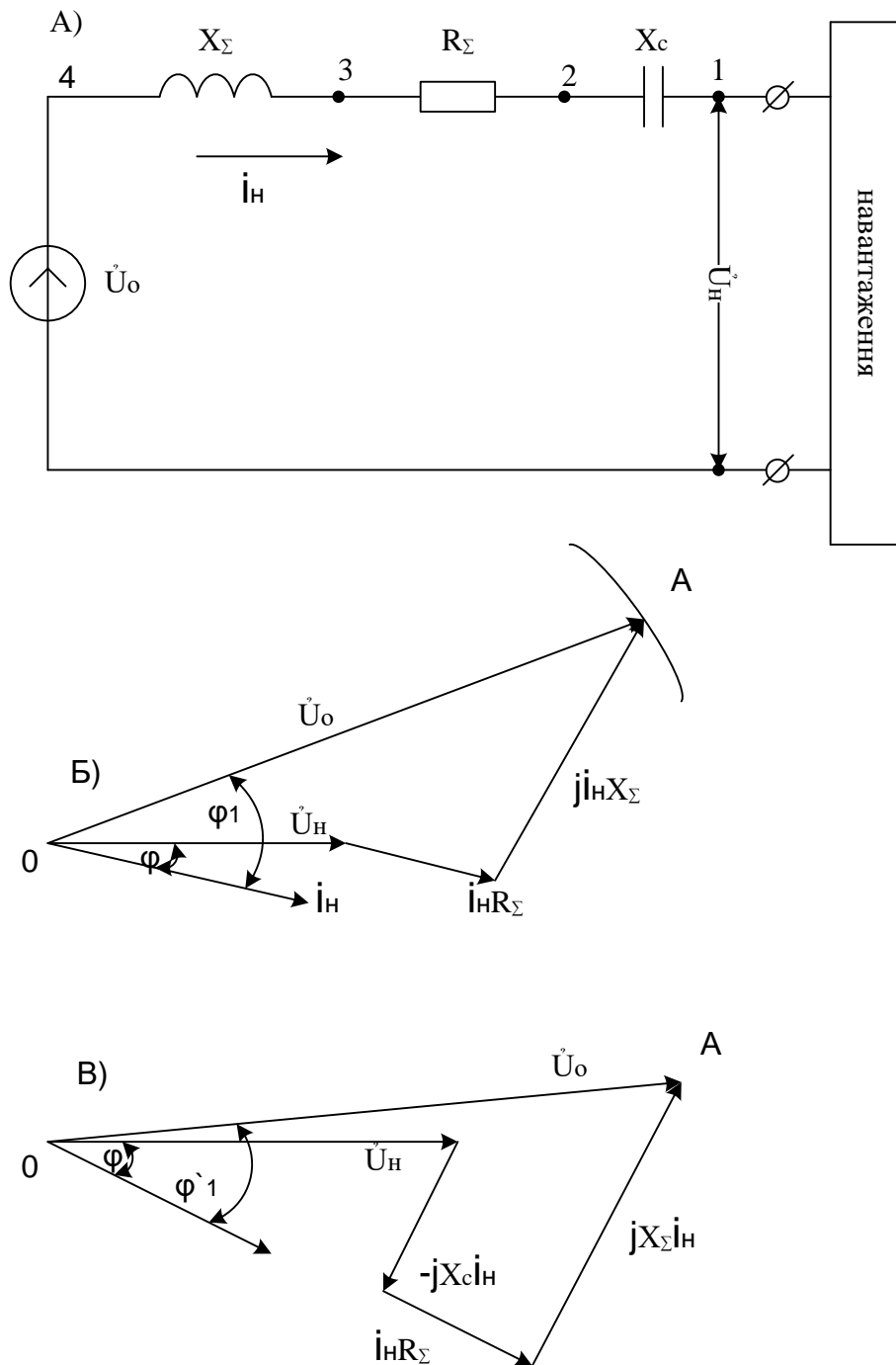
Найбільшого поширення знайшли статичні нерегульовані, авторегульовані і регульовані ДРП. Такі ДРП виконуються на електричних конденсаторах, що вмикаються залежно від призначення паралельно або послідовно до основного навантаження і використовуються як статистичні джерела реактивної потужності. Доцільність застосування ДРП полягає в тому, що більша кількість споживачів (особливо електроємних) рядом з корисно реалізованою активною потужністю  $P$  споживає значну реактивну індуктивну потужність  $Q$ . Джерелом активної потужності є генератори електричної енергії на електростанціях. Якщо ДРП не застосовують, то генератори повинні разом з активною генерувати і через всі елементи електричних мереж передавати споживачам реактивну потужність.

*Повздовжня ємнісна компенсація.* Установка повздовжньої ємнісної компенсації (УПРК) є авторегулюючим ДРП, ввімкненим у розрив мережі електропостачання послідовно з навантаженням. У результаті струм навантаження протікає через ємнісний опір УПРК, падіння напруги на якому частково або повністю компенсує падіння напруги на індуктивних опорах ланцюга.

При цьому підвищується не тільки напруга за УПРК, а й коефіцієнт потужності навантаження відносно джерела живлення. Розглянемо вплив УПРК на ці фактори на прикладі однофазного навантаження (рисунок 3.1). Нехай у якості вихідних задано (рисунок 3.1, а) значення струму  $I_n$  і напруги  $U_n$  навантаження і кут зсуву фаз між ними у вузлі 1 схеми. За відсутності УПРК різниці потенціалів між вузлами 1 і 2 схеми



немає і напруга джерела живлення тоді  $\dot{U}_0 = \dot{U}_H + \dot{R}_\Sigma \dot{I}_H + jX_\Sigma \dot{I}_H$  (тут  $R_\Sigma$  і  $X_\Sigma$  - сумарні активний і індуктивний опори живлячого ланцюга).



- а) векторні діаграми струмів і наруг без УПРК;  
 б) векторні діаграми струмів і наруг з УПРК

Рисунок 3.1 - Схема вмикання УПРК

Розглянемо векторну діаграму для цього випадку (див. рисунок 3.1, а). Кут  $\varphi_1$  між струмом навантаження і напругою джерела живлення  $U_0$  істотно більше кута  $\varphi$  між  $I_n$  і  $U_n$ .

За наявності УПРК наочніше векторну діаграму будувати також за даними кінця ( $U_n$ ,  $I_n$ ,  $\varphi$ ), пам'ятаючи при цьому, що значення  $\dot{U}_0$  залишається таким самим. Для цього вектор  $\dot{U}_0$  за модулем, дугою з радіусом  $OA$  переносимо з векторної діаграми рисунок 3.1, б у векторну діаграму на рисунку 3.1, в. У цьому випадку напруга джерела живлення

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_n - jx_c I_n + R_\Sigma I_n + jX_\Sigma I_n. \quad (3.1)$$

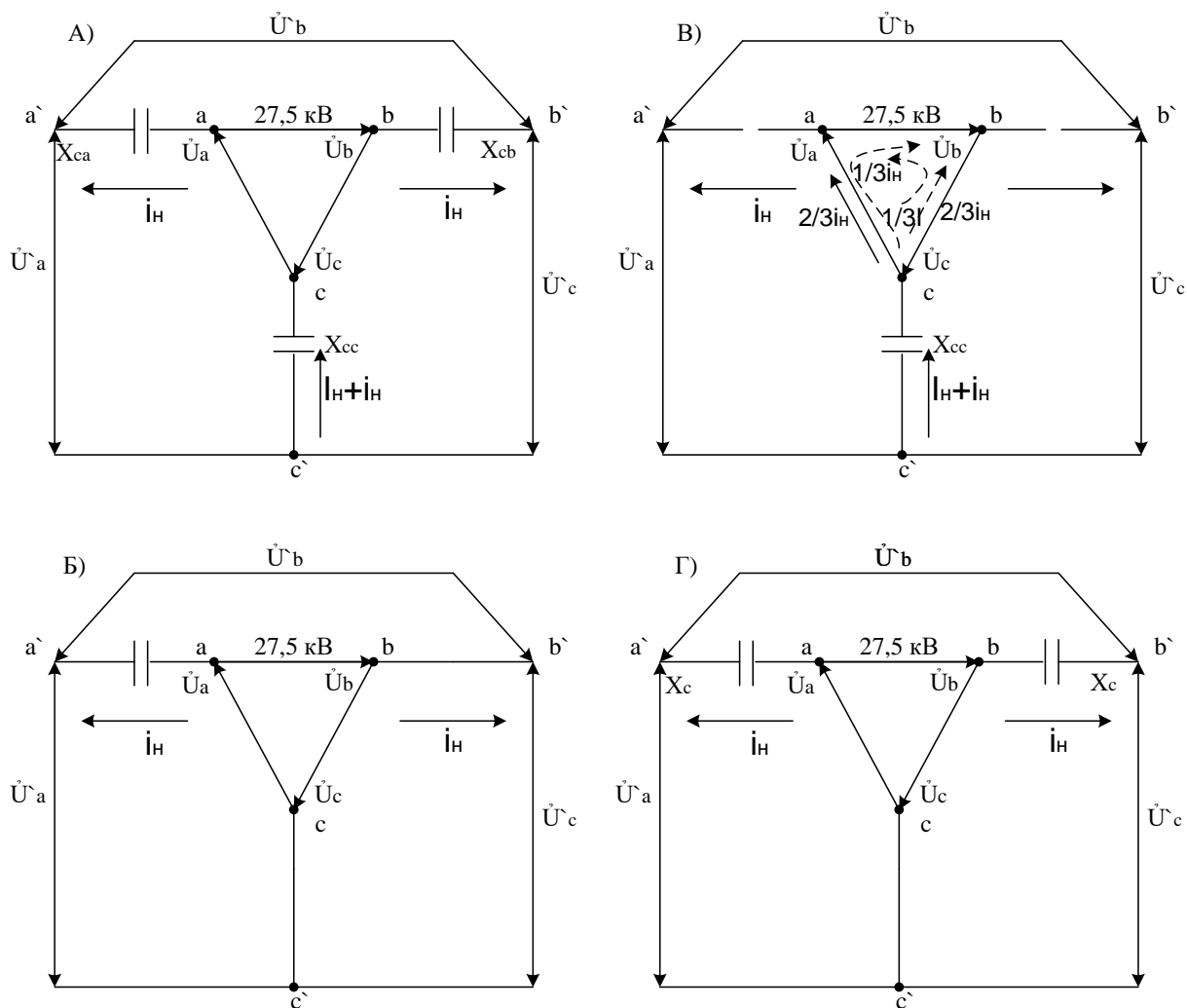
Векторна діаграма на рисунку 3.1, в побудована відповідно до формули (3.1). Неважко переконатися в тому, що кут  $\varphi_1$  між  $\dot{U}_0$  і  $I_n$  при УПРК виявляється меншим, ніж без УПРК. Напруга навантаження збільшується при УПРК. Це наочніше видно, якщо розрахувати формулу (3.1) відносно напруги  $\dot{U}_n = \dot{U}_0 - j(X_\Sigma - x_c)I_n - R_\Sigma I_n$ . Збільшення  $\dot{U}_n$  відбувається за рахунок компенсації частини індуктивного падіння напруги ємнісним.

У мережах із симетричним навантаженням всіх трьох фаз саме ці завдання ставляться перед УПРК: підвищення напруги і деяке зниження кута зрушення між живленням напругою і навантаженням. Для вирішення таких завдань УПРК виконують симетричними, з реактивною потужністю, рівномірно розподіленою по фазах. У мережах з несиметричним навантаженням (у нашому випадку в тягових мережах змінного струму) УПРК може виконувати функції приладу симетруючої напруги. Враховуючи той факт, що всі ці функції УПРК виконують без будь-яких засобів автоматики тільки за рахунок струму навантаження, що протікає через них, вони є простими пристроями.

Вибір місця вмикання УПРК і їх параметрів неминує пов'язаний з бажанням використовувати УПРК для найбільшого можливого підвищення якості електроенергії не тільки в тяговій мережі, а й у системі ДПР.

З огляду на вагомість реактансу розсіювання тягового трансформатора в загальному індуктивному опорі  $X_n$  найбільш

доцільними місцем розташування УПРК є шини 27,5 кВ тягових підстанцій (рисуюнок 3.2).



Рисуюнок 3.2 - Схеми включення УПРК на стороні 27,5 кВ підстанції

Установки повздожньої компенсації збирають з паралельно і послідовно з'єднаних один з одним конденсаторів. Промисловіть освоїла спеціальні конденсатори типу КСП-0, 66-40 (на 0,66 кВ, 40 кВАр), що задовольняють умови роботи у схемах УПРК. Кількість послідовних конденсаторів у схемі УПРК становить від 2 до 6, а паралельних гілок від 6 до 18. Якщо необхідна УПРК більшої потужності, то установку ділять на паралельні гілки, кожен з яких збирають із відповідної кількості паралельно-послідовного з'єднання конденсаторів

(рисунок 3.3). У нормальних умовах схема УПРК працює так. Роз'єднувач P2 вимкнтий, а P1 - ввімкнений. Шунтуючий масляний вимикач B вимкнений і струм тягового навантаження від вузла a схеми змушений протікати у двох паралельних секціях конденсаторів C1 і C2 до вузла б.

Напрямок струму через УПРК показано стрілками.

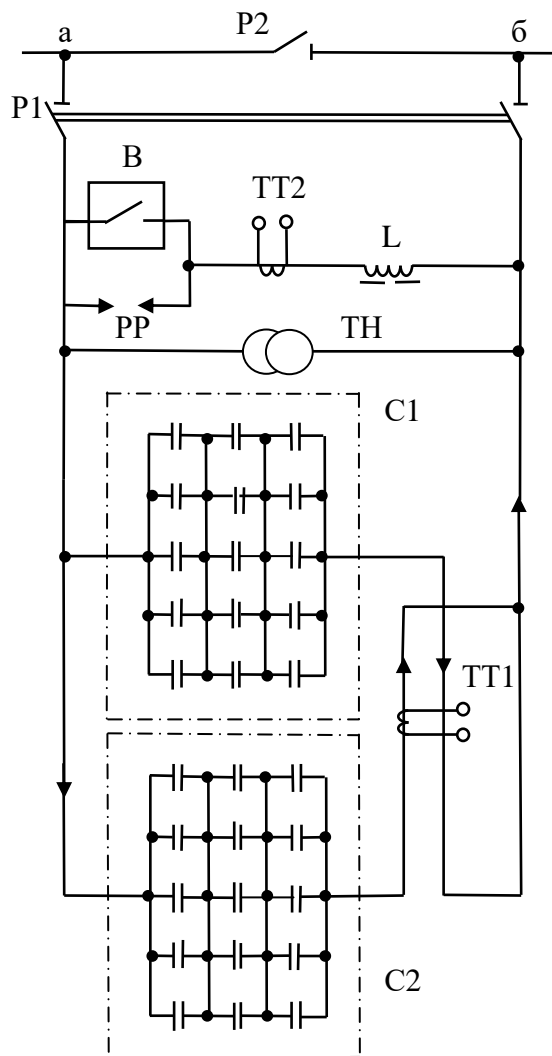


Рисунок 3.3 – Схема з'єднання однофазного УПРК

Для захисту від перенавантаження (комутаційних і при коротких замиканнях) у схемі передбачено рокові розрядники PP, які налаштовуються на 2,5-2,9  $U_n$ . Якщо PP спрацьовують, то струм розряду конденсаторів проходить через трансформатор струму TT2 і котушку індуктивності L. TT2 через струмове реле впливає на вимикач B, вмикання якого шунтують конденсатори секцій C1 і C2 і розрядники PP.

Тепер струм навантаження протікає від вузла *a* до вузла *b* через *B*. Котушка індуктивності *L* потрібна для обмеження струму розряду конденсаторів при спрацюванні РР. Роз'єднувач Р2 потрібен для забезпечення безперебійної роботи тягової мережі при вимиканні УПРК. Спочатку вмикається *B*, потім Р2, потім вмикається Р1 - і УПРК виведена з ланцюга тягового струму. Трансформатори ТТ1 вмикаються на різницю струмів і служать для живлення непостійного захисту (захисту від пробоя конденсаторів у паралельних гілках УПРК). Трансформатор напруги ТН є датчиком напруги. Кожну гілку монтують звичайно в металевій касеті (штрихова лінія).

### **3.3 Поперечна ємнісна компенсація**

На відміну від УПРК, установку поперечної ємності компенсації (УППК) вмикають паралельно навантаженню. У трифазних симетричних мережах УППК виконують трифазними і їх ємнісну потужність рівномірно розподіляють по всіх трьох фазах, компенсуючи (знижуючи) передачу реактивної потужності від джерела до споживача. У тягових мережах змінного струму перед УППК ставлять завдання не лише компенсації реактивної потужності (прямої послідовності), але і симетрування тягового навантаження (компенсації потужності зворотної послідовності).

Для компенсації реактивної потужності прямої послідовності не має ніякого значення, у яку фазу (фази) ввімкнена ємнісна потужність УППК. Генерується УППК реактивної потужності прямої послідовності, що залежить тільки від потужності УППК.

### **3.4 Опис установки**

Робота виконується за допомогою установки, до складу якої входять прилади, наведені в таблиці 3.1.

Слід ознайомитися з інструкцією та правильно зібрати схему. Подати живлення до стенду через головний рубильник *Q*.

Таблиця 3.1 – Перелік використаного обладнання і приладів

Позначення на схемі	Найменування устаткування	Тип	Основні паспортні дані	Кількість
САЗУ	Лічильник активної енергії трьохелементний	САЗУ-И670М	$U_n=3 \times 100$ В; $I_n=3 \times 5$ А; $f=50$ Гц	1
СР4У	Лічильник реактивної енергії чотирьохелементний	СР4У-И673М	$U_n=3 \times 100$ В; $I_n=3 \times 5$ А; $f=50$ Гц	1
А	Амперметр	Э378	$I_n=10$ А	1
V	Вольтметр	Э378	$U_n=250$ В	1
cosφ	Cosφ-метр	P200	$P_{\text{макс.посл}}=51$ ВА $P_{\text{макс.парал}}=8$ ВА	1
ТН1, ТН2, ТН3	Трансформатори напруги	GGL -200	$U_n=220/127$ В; $S=50$ ВА	3
Q1	Пакетний перемикач	ВП-10	$U_n=220/380$ В; $I_n=6$ А	1
Q2	Пакетний перемикач		$U_n=220$ В; $I_n=6$ А	1
Q3	Пакетний перемикач	ПВ3- 25	25 А/220 В; 15А/380 В	1
Q	Головний рубильник	ВА4729	$U_n=220/380$ В; $I_n=6$ А	1
С1, С2, С3	Конденсатори	СМ	$U_n=650$ В; 5 мкФ $\pm 20$ %; $f=50$ Гц	3

### 3.5 Контрольні питання

1 З якою метою послідовно з конденсаторною батареєю в ППК вмикають реактор?

2 Де можуть розташовуватися установки повздовжньої компенсації?

3 Як компенсуються втрати напруги, викликані струмами обох суміжних фаз?

4 У яких випадках у конденсаторних батареях можна не встановлювати розрядні пристрої?

5 Які елементи від реактивної потужності розвантажуються при централізованій компенсації в випадку підключення КУ до шин тягової підстанції 6; 10 кВ?

6 Від яких характеристик залежить час роботи компенсуючих пристроїв при індивідуальній компенсації?

## Лабораторна робота 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ВИПРЯМЛЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

#### 4.1 Мета роботи:

вивчити принципи побудови і роботи, призначення та особливості з'єднання схем випрямлення;

дослідити головні параметри схем випрямлення перетворювальних агрегатів тягових підстанцій постійного струму.

#### 4.2 Загальні відомості

Для електричної тяги постійного струму застосовують перетворювальні агрегати, які зібрані з силових напівпровідникових приладів. Перевагами таких агрегатів є високий коефіцієнт корисної дії (близько 98 %); невеликі витрати потужності на допоміжну апаратуру; проста система керування, контролю та автоматизації; велика надійність; простота і зручність обслуговування та ремонту; простота охолодження (повітряне); досить великий строк служби.

На тягових підстанціях залізничного транспорту використовують агрегати з нульовими та мостовими схемами випрямлення. У нульових схемах діоди вмикають на фазну напругу між фазою та нулем через приймач енергії. У мостових схемах – на міжфазну напругу. Нульові та мостові схеми бувають простими та складними. Складні утворюються з простих шляхом послідовного або паралельного їх з'єднання.

*Трифазна схема випрямлення з нульовим виводом обмотки трансформатора*

Багатофазні схеми випрямлення живляться від мережі трифазної змінної напруги і застосовуються в основному в установках середньої та великої потужності.

Принципова схема випрямляча наведена на рисунку 4.1.

Первинні обмотки трансформатора можуть бути з'єднані в зірку або в трикутник, оскільки спільна точка вторинної обмотки служить одним із полюсів кола постійного струму. До вільних кінців вторинних обмоток підключаються вентиля, катоди яких (або аноди) з'єднані і створюють інший полюс вихідної напруги.

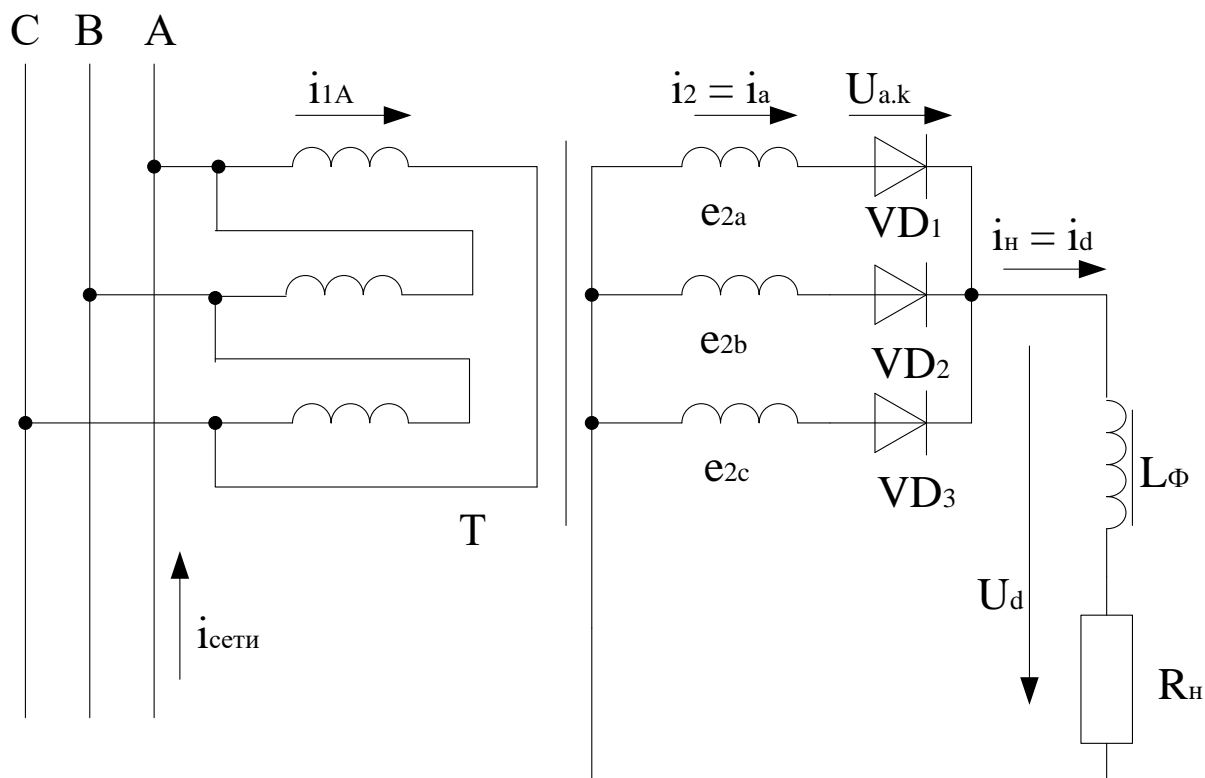


Рисунок 4.1 – Трифазна схема випрямлення з нульовим виводом

Напрямок вмикання вентилів визначає полярність вихідної напруги. Коефіцієнт пульсації у трифазному випрямлячі дорівнює  $q = 0,25$ . У цьому випадку навіть при невеликих індуктивностях, що маємо в колі навантаження, струм навантаження буде досить добре згладжений.

### 4.3 Трифазна шестипульсова мостова схема випрямлення

Трифазна шестипульсова мостова схема випрямлення (рисунок 4.2) характеризується вмикненням приймачів у кожний



момент часу двома діодами на міжфазну напругу. З цією метою приймач (електровоз) з одного боку приєднаний до трьох загальних катодів (діодів катодної групи), а з другого – до трьох загальних анодів (діодів анодної групи). Для приймача катод є плюсом, а анод – мінусом. При цій схемі в кожний момент часу працюють одночасно два діоди: один з трьох діодів катодної групи тієї фази, напруга якої є найбільш позитивною, та один з трьох діодів анодної групи тієї фази, напруга якої є найбільш негативною.

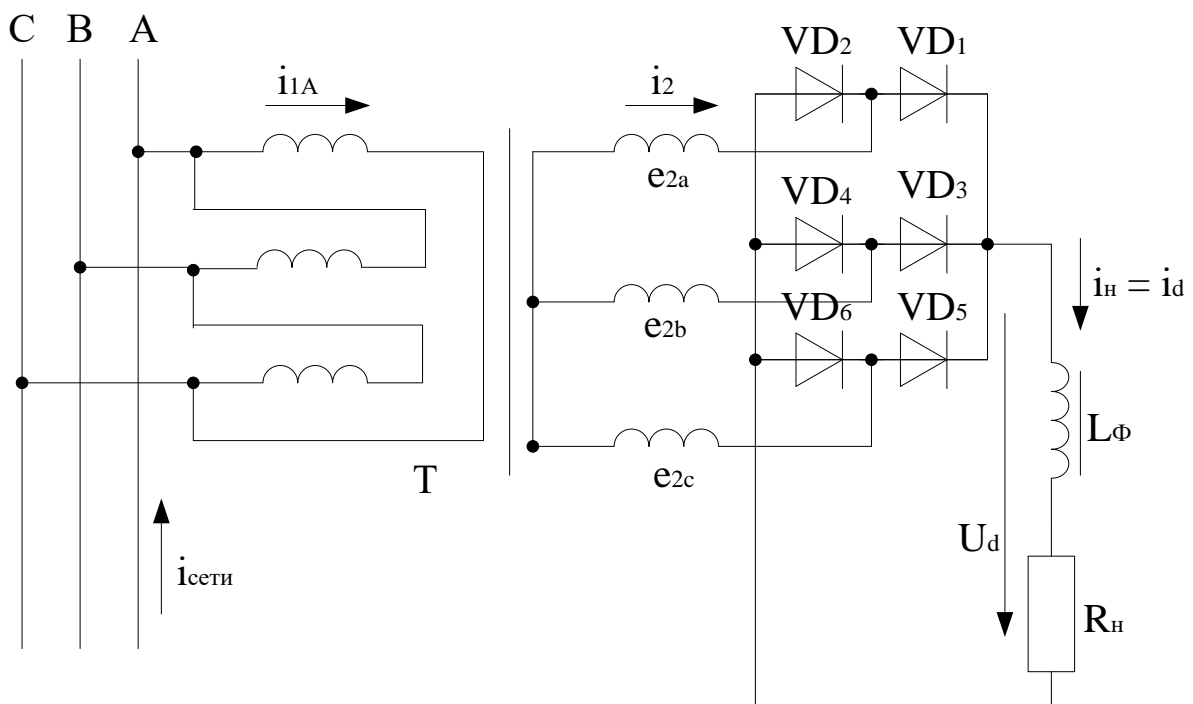


Рисунок 4.2 - Трифазна мостова схема випрямлення (схема Ларіонова)

При порівнянні трифазної мостової схеми випрямлення з нульовою видно, що перша простіша, оскільки, забезпечуючи шестикратну пульсацію випрямленої напруги, не потребує додатково зрівняльного реактора: при одному і тому самому значенні випрямленої напруги величина напруги, що повторюється, у мостовій схемі удвічі менше. За витратою діодів на випрямляч обидві схеми не мають переваг одна перед одною. Мостова схема випрямлення має переваги перед нульовою за енергетичними показниками трансформатора. Обидві схеми застосовні. Однак бажано застосовувати мостову схему.

#### 4.4 Схема випрямлення «дві зворотні зірки із зрівняльним реактором»

Схема випрямлення «дві зворотні зірки зі зрівняльним реактором» (рисунок 4.3) також має назву «нульова», досить складна, тому що складається з двох простих трифазних схем шляхом паралельного з'єднання. На кожному стержні трансформатора розташовано дві вторинні обмотки, у яких електрорухома сила має зрушення по фазі на 180 градусів. Нульові точки обох «зірок» вторинних обмоток з'єднані через зрівняльний реактор, який є великим індуктивним опором і має середню точку, що є мінусом для зовнішнього кола.

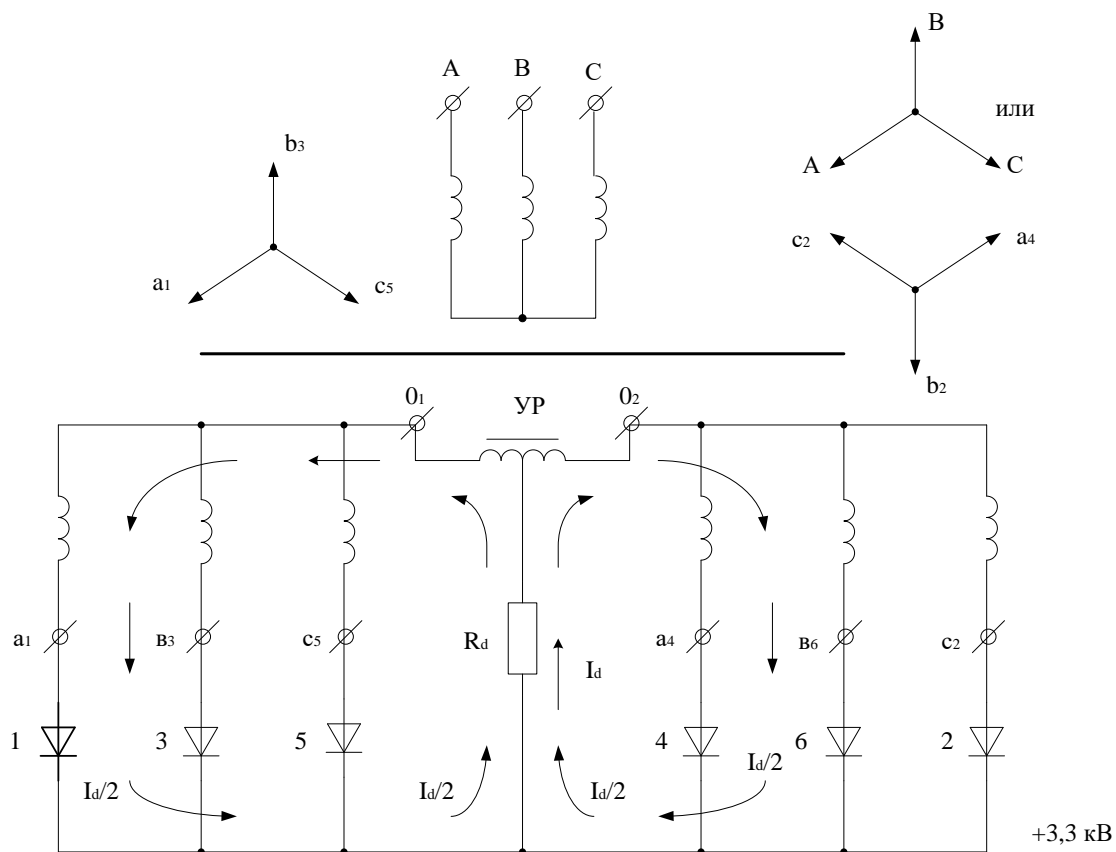


Рисунок 4.3 – Випрямляч за схемою випрямлення «дві зворотні зірки зі згладжувальним реактором»

#### 4.5 Трифазна дванадцятипульсова схема випрямлення

Трифазна дванадцятипульсова схема випрямлення (рисунок 4.4) утворюється з двох трифазних шестипульсових мостових схем випрямлення, з'єднаних паралельно або послідовно, у яких

амплітуди випрямленої напруги зрушені по фазі на кут  $\pi/6$ . Дванадцятипульсова схема випрямлення дозволяє зменшити пульсацію (змінну складову) напруги, що випрямляється, порівняно з шестипульсовими схемами випрямлення, що є дуже важливим для електричної тяги на постійному струмі: краще згладжуються пульсації випрямленої напруги, чим знижується вплив дії електричної тяги на продольні лінії зв'язку, а також зростає коефіцієнт потужності підстанції.

При паралельному з'єднанні трифазних мостових шестипульсових схем необхідно застосовувати зрівняльний реактор, що ускладнює перетворювальну установку. Крім того, при такому з'єднанні мостів може виникнути «пік» напруги при зниженні випрямленої напруги до нуля.

Схема випрямлення з послідовним з'єднанням двох шестипульсових мостових схем не потребує зрівняльного реактора і тому вона прийнятніше. Одна з вторинних обмоток перетворювального трансформатора з'єднана в «зірку», друга – у «трикутник». У кожному мості працюють одночасно два діоди: один з катодної, другий з анодної групи. Напруга, що випрямляється, за період кожного мосту – шестипульсова. При спільній роботі мостів працюють одночасно чотири діоди. Напруга одного мосту накладається на напругу другого мосту, внаслідок чого на навантаження подається дванадцятипульсова випрямлена напруга з меншою амплітудою змінної складової.

Напруга, яка виходить з перетворювальних агрегатів, є не постійною, а пульсуючою. Періодичність пульсації складає 300 Гц. Випрямлену пульсуючу напругу можна представити як суму двох складових – постійної та змінної. Чим більша змінна складова по відношенню до постійної, тим більше пульсація. Якість випрямленої напруги характеризується коефіцієнтом пульсації, який дорівнює відношенню змінної складової до постійної. Синусоїдальні напруги з частотою 300, 600, 900, 1200 Гц і т. д., з яких складається змінна складова, називають вищими гармонійними складовими або гармоніками. Змінна складова випрямленої напруги, яка дорівнює сумі вказаних гармонік, створює в контактній мережі змінний струм, коло якого замикається через тягові двигуни та рейки. Цей змінний струм викликає негативну електромагнітну дію на лінії зв'язку.

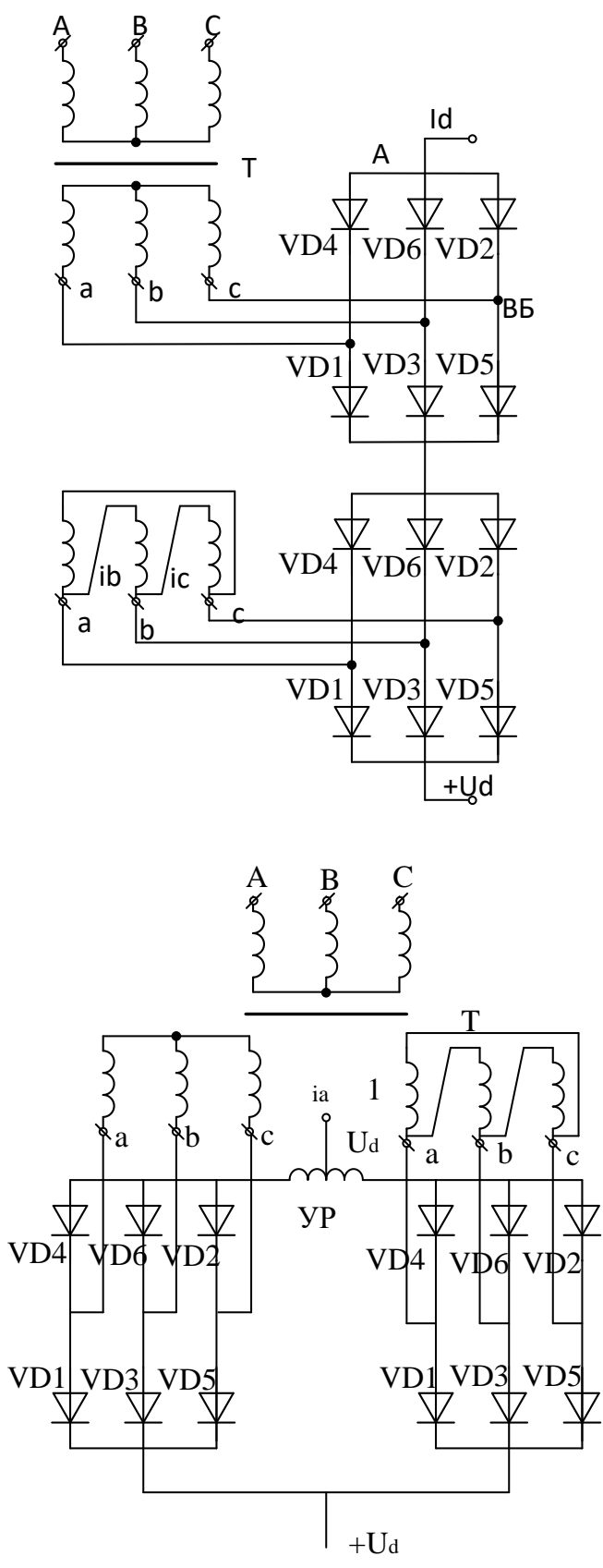


Рисунок 4.4 - Трифазні дванадцятипульсові схеми випрямлення

## 4.6 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка дозволяє робити дослідження п'яти основних схем випрямлення при роботі їх на активне навантаження й при включенні елементів згладжувального фільтра.

На вертикальних панелях стенда розміщено елементи досліджуваних схем, комутаційну апаратуру, затискачі, гнізда. Всі ці елементи мають пояснювальні написи та позначення.

## 4.7 Вимірювальні прилади й навантаження, розташовані на столі стенда

На рисунку 4.5 зображена функціональна схема лабораторної установки, за допомогою якої можна усвідомити призначення основних елементів лабораторної установки й підключення вимірювальних приладів. Вимикач В1 підключає трифазний трансформатор Тр1 до живильної мережі при дослідженні трифазних схем випрямлення. Первинна й вторинна обмотки Тр1 з'єднані в «зірку».

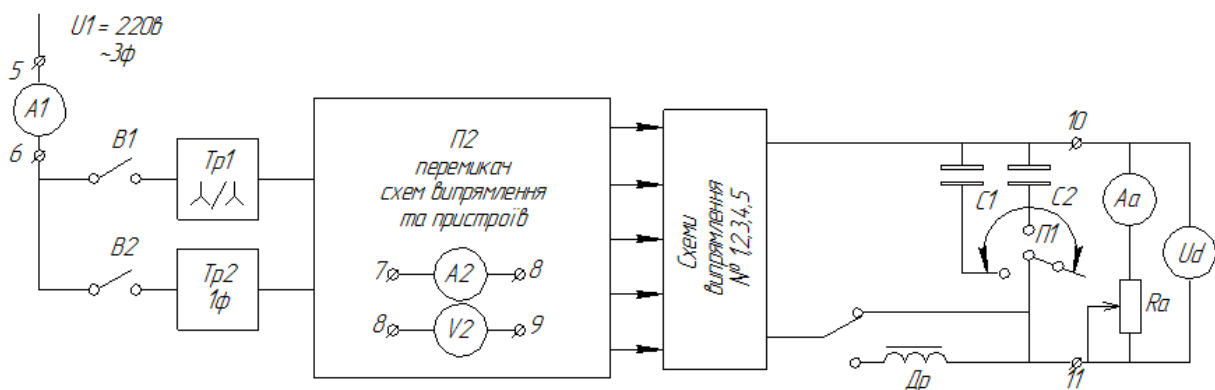


Рисунок 4.5 - Функціональна схема лабораторної установки

Вимикач В2 підключає однофазний трансформатор Тр2 до живильної мережі при дослідженні однофазних схем випрямлення. Вторинна обмотка трансформатора Тр2 має вивід середньої точки. Обидві половини вторинної обмотки використовуються тільки у випадку дослідження двонапівперіодної схеми випрямлення з середньою точкою

трансформатора. При дослідженні інших однофазних схем випрямлення використовується одна половина вторинної обмотки трансформатора  $Tr2$ .

Підключення елементів згладжувального фільтра відбувається вимикачем  $B3$  (підключає дросель  $Dp$ ) і перемикачем  $\Pi1$  (підключає конденсатори  $C1$  або  $C2$ ).

За допомогою перемикача  $\Pi2$  відбувається вибір кожної з двох схем випрямлення; підключення обраної схеми до відповідного трансформатора ( $Tr1$  або  $Tr2$ ); підключення приладів  $A_2, V_2$  до вторинних обмоток трансформатора  $Tr1$  або  $Tr2$ . При цьому опір навантаження  $R_D$ , елементи фільтра ( $Dp, C1, C2$ ) і прилади ( $A_D, V_D$ ) у колі навантаження виявляються підключеними до виходу схеми випрямлення, обраної за допомогою перемикача  $\Pi2$ . Перемикач  $\Pi2$  має шість положень: 0 (вимкнено), 1, 2, 3, 4, 5.

У положенні 4 перемикачі  $\Pi2$  і ввімкненні вимикача  $B_1$  відбувається дослідження трифазної однонапівперіодної схеми випрямлення (рисунок 4.6).

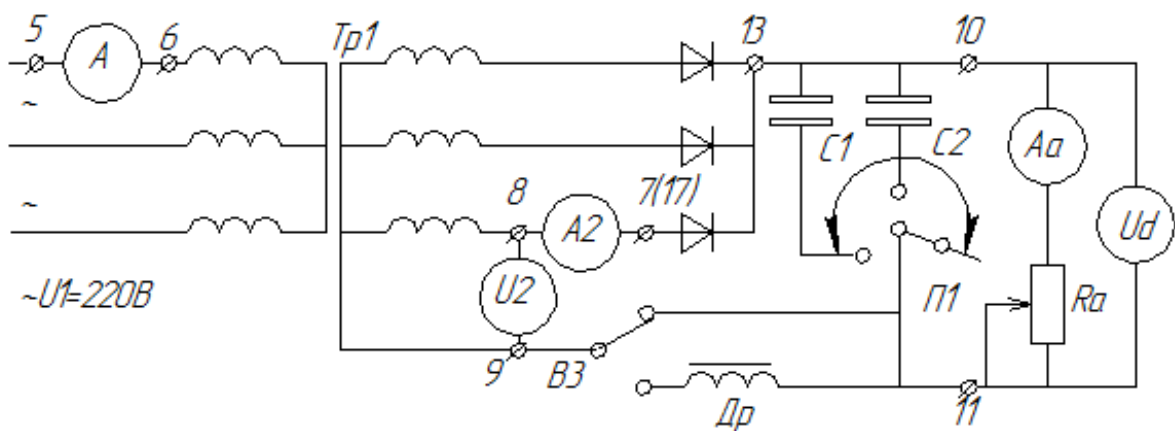


Рисунок 4.6 – Схема для дослідження трифазної однонапівперіодної схеми випрямлення

У положенні 5 перемикача  $\Pi2$  і вмиканні вимикача  $B_1$  відбувається дослідження трифазної мостової схеми випрямлення Ларіонова (рисунок 4.7).

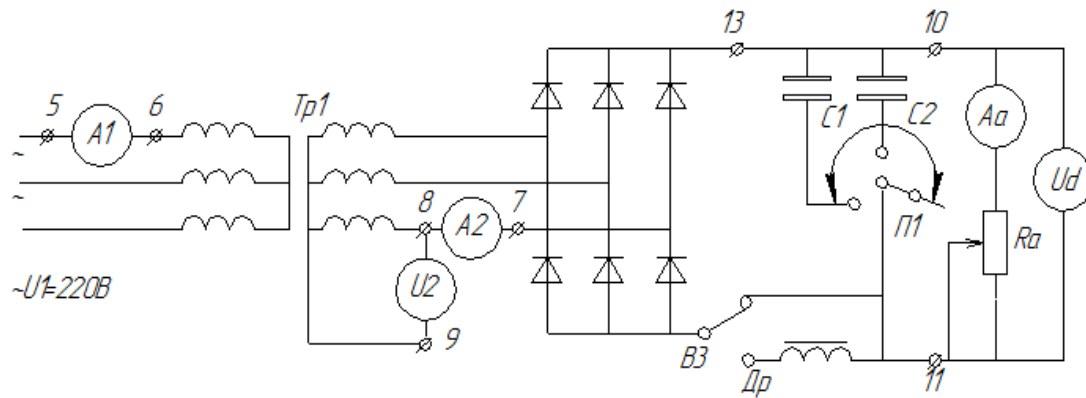


Рисунок 4.7 – Схема для дослідження трифазної мостової схеми випрямлення Ларіонова

При дослідженні схем випрямлення використовуються прилади, що мають таке призначення:

- амперметр  $A_1$  вимірює діюче значення фазного струму первинної обмотки трансформатора  $Tr1$  або  $Tr2$ ;
- амперметр  $A_2$  вимірює діюче значення фазного струму вторинної обмотки трансформатора  $Tr1$  або  $Tr2$ ;
- амперметр  $A_d$  вимірює середнє значення струму навантаження  $I_A$ ;
- вольтметр  $V_2$  вимірює діюче значення фазної напруги  $U_2$ , вторинної обмотки трансформатора  $Tr1$  або  $Tr2$ ;
- вольтметр  $V_d$  вимірює середнє значення напруги  $U_d$ , на навантаженні.

Діюче значення фазної напруги первинної обмотки трансформаторів  $Tr1$  і  $Tr2$  дорівнює 220 В.

Осцилографування кривих струмів і напруг провадиться за допомогою осцилографа, що підключається в процесі роботи до відповідних точок досліджуваної схеми випрямлення.

## 4.8 Порядок проведення роботи

### *Дослідження схем випрямлення при роботі їх на активне навантаження*

Перед проведенням роботи всі вимикачі стенда повинні знаходитися у вимкненому положенні. Після цього перевіряється правильність підключення всіх вимірювальних приладів і реостата навантаження  $R_D$  до відповідних виводів. Реостат  $R_D$  повинен мати максимальний опір. Вилка живлення осцилографа повинна бути вставлена в гнізда панелі живлення.

Робота починається з проведення калібрування осцилографа. Із цією метою вхід осцилографа підключається до ввідів 10-11 панелі стенда, перемикач осцилографа "МВ/ММ" встановлюється в положення "300", перемикач стенда П2 переводиться в положення 1 (однофазна однонапівперіодна схема випрямлення). Операції підготовки закінчуються подачею живлення на стенд за допомогою вимикача "220 В" на панелі живлення стенда й вмиканням осцилографа, що повинен бути прогрітий протягом 10-15 хв.

Після прогріву осцилографа вмикають вимикач В2, добиваються чіткого зображення кривої випрямленої напруги (для схеми I) на екрані й сполучають лінію розгорнення з середньою горизонтальною лінією вимірювальної сітки. Реостатом  $R_D$  і за допомогою вольтметра  $V_D$  встановлюють напругу  $U_D = 10$  В. За допомогою ручки осцилографа "РЕГУЛЮВАННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПЛАВНО" слід встановити амплітуду розгорнення на екрані 31,4 мм і надалі цієї ручки не торкатися.

Слід зазначити, що від старанності калібрування буде залежати точність всіх вимірів за допомогою осцилографа.

Дослідження всіх схем випрямлення відбувається при однаковому струмі навантаження  $I_D$ , що задає викладач, у межах від 0,5 до 2,5 А.

Програма досліджень для кожної схеми випрямлення полягає в такому:

- перемикачем П2 обирається необхідна схема випрямлення. Залежно від вибраної схеми випрямлення вмикається В1 (рисунки 4.6, 4.7). Переведення перемикача П2 у



нове положення має відбуватися при виключених вимикачах В1 або В2;

- за допомогою реостата  $R_D$  і амперметра  $A_D$  встановлюється заданий струм навантаження  $I_D$ , після чого записуються у звіт показання всіх приладів;

- за допомогою осцилографа визначаються значення:

а) різниці  $U_D=(U_D)_{\text{МАКС}} - (U_D)_{\text{МИН}}$  (вхід осцилографа підключений до вводів 10-11);

б) амплітуди зворотної напруги  $U$ , для чого вхід осцилографа перемикається на вводи 13-17. При здійсненні цього пункту дослідження з екрана осцилографа зарисовуються у звіт криві випрямленої напруги  $U$ . Результати вимірів зводяться в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Схема	$I_D$	$U_D$	$I_2$	$U_2$	$I_1$	$U_{\text{ВМАКС}}$	$U_D$

*Примітка.*  $U_1= 220$  В. За даними таблиці 4.1 розраховуються значення коефіцієнтів  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_T$ ,  $K_B$ ,  $K_{\Pi}$ , які заносяться в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Схеми	$K_1$	$K_2$	$K_T$	$K_B$	$K_{\Pi}$

#### 4.9 Дослідження впливу елементів фільтра

Дослідження проводяться для заданих викладачем схем випрямлення й з використанням відкаліброваного в попередніх експериментах осцилографа.

Програма досліджень полягає в такому:

- за допомогою реостата  $R_D$  і амперметра  $A_D$  без елементів фільтра встановити те саме значення струму навантаження  $I_D$ , що й у попередніх дослідженнях;

- вмикаючи окремі елементи фільтра вимикачем ВЗ і перемикачем ПІ (дросель, конденсатори, спільно дросель із конденсатором), зняти показання всіх приладів і визначити за допомогою осцилографа  $U_D$ ;

- за результатами виміру обчислити значення коефіцієнта використання трансформатора  $K_T$ , коефіцієнтів пульсацій з елементами фільтра  $K'_П$  і відповідні значення коефіцієнтів згладжування. В останньому випадку використовується значення коефіцієнта пульсацій з попереднього експерименту (для тієї самої схеми випрямлення). Результати вимірів і обчислень звести в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3

Схема з елементами фільтра	$I_D, A$	$U_D, B$	$I_2, A$	$U_2, B$	$I_1, A$	$U_D, B$	$K_T$	$K'_П$	$K_{СГЛ}$
		-		-					

#### 4.10 Зняття зовнішніх характеристик

Для заданих викладачем схем випрямлення зняти залежності при таких умовах:

- а) для схеми випрямлення без елементів фільтрів;
- б) для схеми випрямлення з елементами (L, C1, C2) і комбінаціями (L, C1, LC2) елементів фільтрів. Струм навантаження змінювати від 0 до 2,5А.

Результати вимірів звести в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4

$I_D, A$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Схема (фільтра),					

За даними таблиці 4.4 на одному графіку побудувати зовнішні характеристики.

## 4.11 Зняття осцилограм струмів

Дослідження проводяться для зазначених викладачем схем випрямлення без елементів згладжувального фільтра.

Для осцилографування кривих миттєвих значень первинного  $I_1$ , вторичного  $I_2$  і випрямленого  $I_D$  струмів перемикач осцилографа "МВ/ММ" установити в положення «3».

За допомогою реостата  $R_D$  і амперметра  $A_D$  установити струм  $I_D$ , прийнятий при проведенні попередніх експериментів. Потенціометром осцилографа "РЕГУЛЮВАННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПЛАВНО" домогтися максимальної амплітуди зображення.

Для одержання необхідних осцилограм вхід осцилографа підключається до наступних виводів панелі стенда:

- а) до виводів 5-6 для струму  $I_1$ ;
- б) до виводів 7-8 для струму  $I_2$ ;
- в) до виводів 10-13 для струму  $I_D$ .

Криві зазначених струмів зарисувати у звіт.

## 4.12 Дослідження схем перетворювальних агрегатів

Зміст звіту

- 1 Перелік використаних у роботі приладів.
- 2 Таблиці 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 і графіки даних таблиці 4.4.
- 3 Рисунки осцилограм.
- 4 Короткі висновки, у яких дати порівняльну оцінку схем випрямлення й указати вплив фільтрів на параметри схем.

## 4.13 Контрольні питання

1 Назвіть основні показники схем випрямлення й наведіть їхній математичний вираз.

2 Поясніть, які зі схем випрямлення доцільно застосовувати:

а) у колах управління;

б) у силових колах.

3 У яких схемах випрямлення струм первинної обмотки трансформатора має синусоїдальну форму?

4 У яких схемах випрямлення має місце постійна складова струму вторинної обмотки трансформатора?

5 Як впливає постійна складова струму вторинної обмотки трансформатора на його розрахункову потужність?

6 Напишіть формули для розрахункової потужності трансформатора і його обмоток, а також розмірності, у яких ці потужності виражаються.

7 Поясніть, якими приладами варто користуватися при вимірюванні діючих і середніх значень напруг і струмів у схемах випрямлення і як ці прилади повинні бути ввімкнені?

8 Дайте визначення коефіцієнта пульсацій і наведіть формулу для його визначення.

9 Покажіть вплив L-C фільтрів на основні характеристики схем випрямлення.

10 За якою схемою з'єднуються напівпровідникові елементи у випрямляючих пристроях тягових підстанціях?

11 Поясніть недоліки 6 – пульсових схем і переваги 12–пульсових схем випрямлення перетворювачів тягових підстанцій.

12 Поясніть, яку функцію виконує двоплечий реактор у випрямлячах зі схемою випрямлення “дві обернені зірки зі зрівнювальним реактором”?

13 Поясніть, застосування якої зі схем випрямлення не призведе до підмагнічування осердя трансформатора?

14 Поясніть, з якою метою у схемах випрямлення застосовуються згладжувальні фільтри?

## Лабораторна робота 5

### ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ВМИКАННЯ ТРИФАЗНИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ

**5.1 Мета роботи:** вивчити схеми вмикання приладів обліку електричної енергії та практично освоїти методика перевірки правильності вмикання трифазних лічильників електричної енергії.

#### 5.2 Загальні вказівки

Правильність вмикання будь-якого лічильника електроенергії може бути перевірена шляхом зовнішнього огляду схеми з продзвонюванням кіл від вимірювальних трансформаторів до клем лічильника й перевірки полярності вимірювальних трансформаторів.

Однак не завжди є можливість перевірити схему вмикання лічильника на знеструмленому обладнанні. Часто в процесі експлуатації виникає необхідність перевірки правильності вмикання лічильника, на діючій електроустановці.

Найбільш точним способом перевірки схеми вмикання лічильника, що дає повну впевненість у результаті, є зняття й побудова векторної діаграми. Цей спосіб полягає у визначенні положення векторів струмів, що протікають через послідовні обмотки лічильника. Побудувавши ці вектори, визначають правильність вмикання лічильника за кутом між векторами струму й напруги відповідної фази.

При індуктивному характері навантаження вектор струму відстає від вектора напруги на деякий кут, що лежить у межах від 0 до 90°. При ємнісному характері навантаження вектор струму випереджає вектор напруги на кут, що лежить у тих самих межах.

Перш ніж приступити до зняття векторної діаграми, необхідно перевірити лінійні й фазні напруги на клемі лічильника й порядок чергування фаз відповідно до маркування клем лічильника. Порядок чергування фаз повинен бути прямим.

Для визначення положення векторів струму використовується ваттметр. Як відомо, ваттметр, включений у

коло навантаження однополярними генераторними затискачами у бік живлення, покаже потужність

$$P = U I \cos\varphi. \quad (5.1)$$

Добуток  $I \cos(U I)$  можна представити як проекцію вектора струму  $I$  на вектор напруги  $U$ . Таким чином, якщо напруга, підведена до ваттметра, залишається незмінною, то він у певному масштабі покаже проекцію вектора струму, що протікає через його послідовну обмотку, на вектор підведеної до нього напруги. Показання ваттметра при цьому відповідають негативній проекції вектора струму, тобто позитивній проекції, поверненій на  $180^\circ$ . Знаючи проекції вектора струму на осі, якими є вектори лінійних напруг, можна побудувати й сам вектор струму.

Порядок зняття векторної діаграми такий. На діаграмі фазних напруг  $U_A$ ,  $U_B$  і  $U_C$  будуються вектори лінійних напруг 1-2 ( $U_{AB}$ ), 2-3 ( $U_{BC}$ ), 3-1 ( $U_{CA}$ ) і зворотні їм вектори  $U_{BA}$ ,  $U_{CB}$ ,  $U_{AC}$  (рисунок 5.1). Струмове коло ваттметра включається в розсічку струмового кола першого елемента лічильника (фаза А) так, щоб струм входив у генераторний затискач ваттметра, позначений зірочкою.

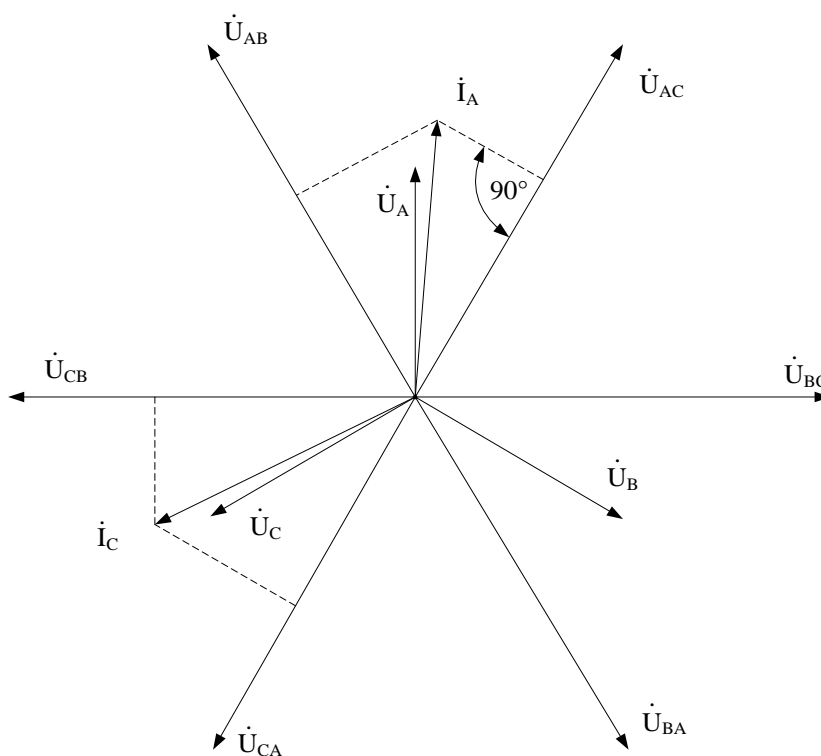


Рисунок 5.1 – Векторні діаграми

Далі на затискачі паралельної обмотки ватметра з затискачів паралельних обмоток лічильника по черзі подаються напруги 1-2, 2-3, 3-1. Затискач, позначений першою цифрою, підключається до генераторного затискача паралельної обмотки ватметра. Показання ватметра в діленнях із зазначенням знака записуються в бланк векторної діаграми. Проведені виміри вважаються правильними, якщо алгебраїчна сума трьох показань ватметра дорівнює нулю (або близька до нуля).

Результати показань ватметра в обраному масштабі відкладають на лінії вектора відповідної лінійної напруги. При цьому показання відкладають на векторі, зворотному вектору лінійної напруги. З кінців отриманих відрізків відновлюють перпендикуляри. Точка перетинання двох перпендикулярів визначає на векторній діаграмі положення вектора струму фази А (рисунок 5.1). Третій перпендикуляр повинен перетнутися з першими двома в тій самій точці або поблизу від неї. Аналогічно визначається положення вектора струму фази С. Отримана векторна діаграма повинна відповідати діаграмі правильного вмикання лічильника, наведеній на рисунку 5.1.

Необхідно зазначити, що для побудови векторів струму використовуються вектори лінійних напруг, а правильність вмикання визначається за кутом, утвореним вектором струму з вектором відповідної йому фазної напруги. Якщо векторна діаграма покаже, що лічильник ввімкнений неправильно, то схему вмикання необхідно виправити. Виправлення здійснюють на затискачах лічильника, після чого векторна діаграма знімається знову.

### **5.3 Завдання й вказівки до виконання лабораторної роботи**

При підготовці й у процесі виконання лабораторної роботи студенти повинні:

- 1) вивчити загальні відомості про облік активної електроенергії й правильність вмикання лічильників;
- 2) ознайомитися з устаткуванням лабораторної установки й записати дані вимірювальних приладів і трансформаторів;

- 3) зібрати схеми вмикання двохелементного й трьохелементного лічильників активної енергії;
- 4) перевірити правильність вмикання двохелементного лічильника зняттям векторної діаграма струмів;
- 5) визначити електричну енергію, спожиту за час проведення досліду;
- б) за трьохелементним лічильником активної енергії визначити потужність, споживану лабораторною установкою, і оцінити похибку лічильника;
- 7) оформити звіт по роботі.

#### **5.4 Опис лабораторної установки**

Лабораторна установка дозволяє зібрати дві схеми:

- а) схему для перевірки правильності вмикання трифазних двохелементних лічильників активної енергії;
- б) схему для визначення споживаної потужності електроприймача й оцінки похибки трьохелементного лічильника активної енергії.

До комплекту лабораторної установки входять лабораторний стіл; активне навантаження; трансформатор напруги ТН1 і ТН2 напругою 380/100 В; трансформатори струму (15/5 А); трансформатори струму (20/5 А); ваттметри; вольтметр; фазопоказчик.

На вертикальній панелі лабораторної установки змонтовані лічильник активної енергії типу САЗУ-І670Т; лічильник активної енергії типу СА4У-І45; екундомір; амперметр (для контролю величини струму в лінії); кіловаттметр ДЗ41/2; пакетний вимикач Р, що подає трифазну напругу на установку; перемикач навантаження "Навантаження"; вимикач В1 для вмикання двигуна секундоміра; кнопки "Пуск", "уст. О" для перевірки роботи секундоміра й повернення стрілок у вихідне положення; клеми трансформаторів струму й напруг; клеми Г і Н - виводи обмоток котушок лічильника; 1, 2, 3 - виводи обмоток напруги.



## 5.5 Порядок виконання робіт

Перевірка правильності вмикання трифазного лічильника активної енергії в мережу з ізолюваною нейтраллю:

1 Зібрати схему, зображену на рисунок 5.2.

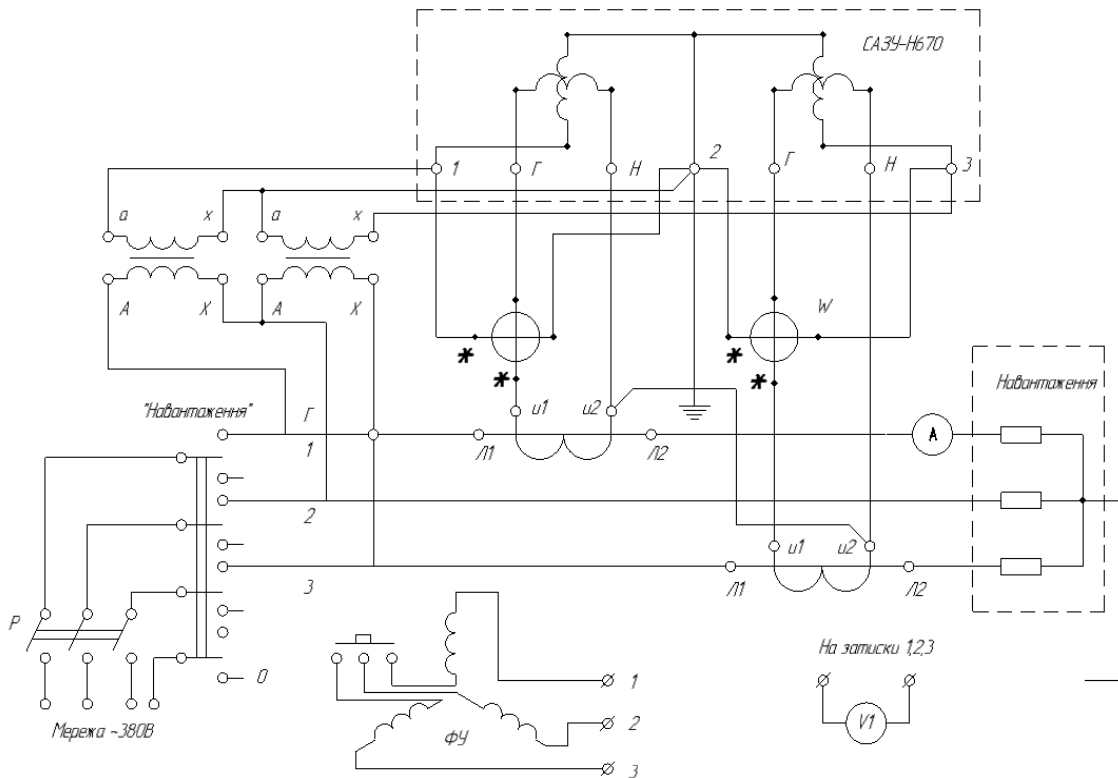


Рисунок 5.2 – Схема перевірки правильності вмикання трифазного лічильника активної енергії в мережу з ізолюваною нейтраллю

- 2 Ввімкнути вимикач P. Зняти показання лічильника.
- 3 Перемикач "Навантаження" установити в ліве положення.
- 4 Вольтметром виміряти напругу, підведену до лічильника (на клеммах 1-2-3) і занести в бланк (таблиця 5.1).
- 5 Фазопоказчиком перевірити порядок чергування фаз. Повинен бути прямий порядок чергування фаз.
- 6 Підключаючи паралельне коло ваттметра на лінійні напруги, підведені до лічильника, зняти показання ваттметрів і занести їх у бланк векторної діаграми.
- 7 Перемикач "Навантаження" установити в нейтральне положення. Вимкнути вимикач P. Зняти показання лічильника.

8 Побудувати векторну діаграму фазних і лінійних напруг, струмів  $I_d$ ,  $I_c$ . Отримана векторна діаграма повинна відповідати діаграмі правильного вмикання лічильника.

9 Визначити електричну енергію, спожиту за час проведення досліду (за показниками лічильника).

Таблиця 5.1

Напруга на затискачах лічильника	Показання ватметра			Напруга, В		
	A	B	C	1-2	2-3	3-1
1-2		X				
2-3		X		Струм, А		
				A	B	C
3-1		X			X	

### 5.6 Визначення потужності, споживаної лабораторною установкою, і оцінка похибки лічильника САУ 4У-И45

1 Зібрати схему, зображену на рисунку 5.3.

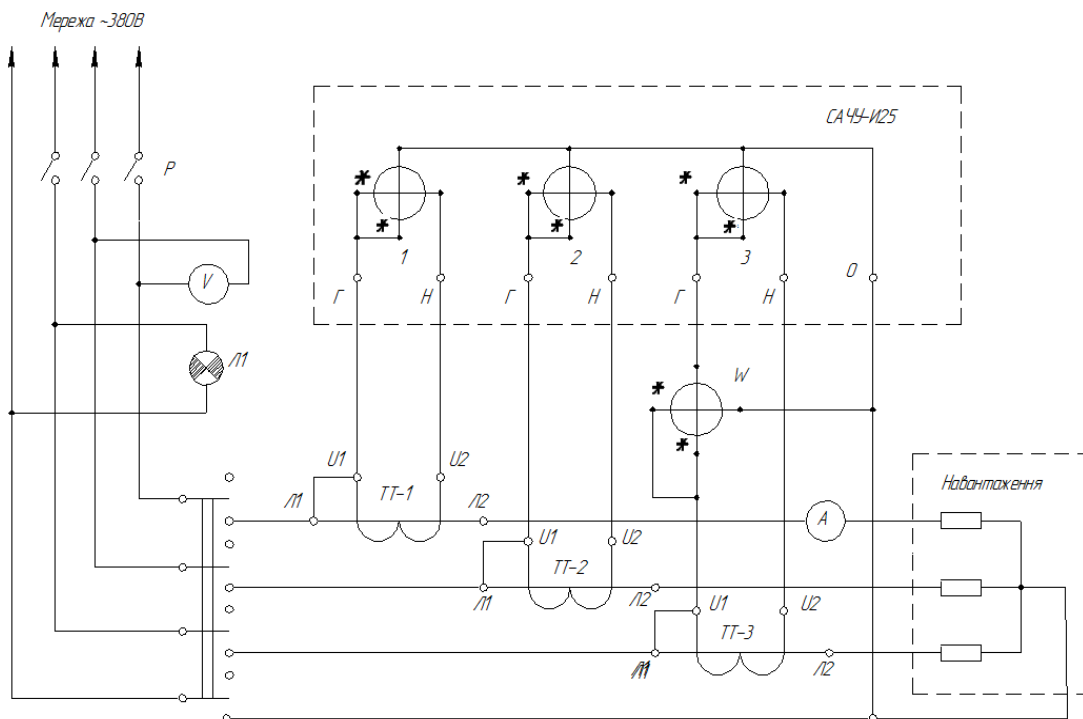


Рисунок 5.3 – Схема визначення похибки підключення індукційного лічильника

2 Ввімкнути вимикач Р. Ввімкнути вимикач В1. Установити стрілку секундоміра на нуль (кнопка "уст. 0").

3 Перемикач "Навантаження" установити в праве положення. Зробити відлік кількості обертів диска лічильника за час 30-60 с.

4 Зняти показання кіловатметра.

5 Перемикач "Навантаження" установити в нейтральне положення. Зняти показання секундоміра.

6 Установити секундомір на нуль. Вимкнути вимикачі В1 і Р.

7 Визначити потужність приєднання й оцінити похибку лічильника ( $K_{\text{т}} = 4$ ).

## 5.7 Зміст звіту

1 Основні дані досліджуваних лічильників, використовуваних приладів контролю потужності.

2 Схеми рисунків 5.2; 5.3.

3 Бланк векторної діаграми.

4 Векторна діаграма фазних і лінійних напруг, струмів, підведених до лічильника САЗУ-І670Т.

5 Дані всіх вимірів, результати розрахунків.

6 Короткі висновки по роботі.

## 5.8 Контрольні питання

1 На чому заснований принцип дії лічильників індукційного типу?

2 Які існують схеми вмикання трифазних лічильників активної енергії?

3 Як перевіряється правильність вмикання двохелементного лічильника активної енергії?

4 Назвіть основні характеристики лічильників, умовні позначки.

5 Який порядок побудови векторної діаграми струмів?

6 Як визначається потужність приєднання за допомогою лічильника активної енергії?

## **Лабораторна робота 6**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ**

#### **6.1 Мета роботи**

1 Усвідомити фізичний зміст ємнісних методів контролю вологості й електричних процесів, що відбуваються в ізоляції, при вмиканні її на постійну напругу.

2 Дослідити експлуатаційні методи контролю технічного стану ізоляції трансформатора за величиною опору коефіцієнта абсорбції і ємності ізоляції.

3 Отримати уявлення про порядок вимірюваних величин і їхньої залежності від технічного стану ізоляції трансформатора й умов виміру, навчитися користуватися приладами ПЕКІ-1 і мегаомметром.

#### **6.2 Загальні положення**

З погляду електроізоляційної техніки й експлуатаційних методів контролю технічного стану ізоляції в одну групу випробуваного встаткування можуть бути зведені електричні машини, трансформатори (силові й вимірювальні) і котушки реакторів із залізними сердечниками. У їхніх конструкціях витки обмоток ізольовані один від одного твердим ізоляційним матеріалом, а від землі (корпусу) - твердим, рідким або газоподібним діелектриком. Особливою частиною ізоляційних конструкцій є високовольні вводи.

Пошкодження ізоляції частіше виникає внаслідок механічних впливів, впливу навколишнього середовища й старіння.

Під старінням ізоляції розуміється погіршення її діелектричних властивостей під впливом напруженості електричного поля, теплової дії електричного струму, зовнішніх і внутрішніх фізико-хімічних і температурно-вологісних процесів і забруднення.

У результаті старіння або порушення нормальних умов експлуатації часто спостерігається явище, пов'язане зі збільшенням об'ємної або поверхневої провідності ізоляції (або тієї й іншої одночасно), зниженням величини її опору. У цьому зв'язку важливого значення набуває контроль стану ізоляції в процесі експлуатації електроустаткування.

В експлуатаційній практиці широке поширення отримали метод контролю стану ізоляції за величиною її опору й метод визначення коефіцієнта абсорбції. Виміри проводяться на постійній напрузі з метою виключення впливу ємностей ізоляційних конструкцій (форми і їхніх розмірів) на результати вимірів. Хоча названі вище характеристики вимірюються на постійній напрузі, вони залежать від часу реєстрації, відлічуваного з моменту вмикання ізоляції під напругою. Ця залежність від часу виміру обумовлена протіканням в ізоляції швидких і повільних поляризаційних процесів, що супроводжуються відповідними цим процесам швидкостями зменшення складових струму в схемі виміру.

### **6.3 Опис лабораторної установки**

Лабораторні дослідження й випробування проводяться на трансформаторах. Один із трансформаторів залитий мастилом, а виймальна частина іншого (без мастила) перебуває на підставці. Для вимірювання опору ізоляції й коефіцієнта абсорбції використовується мегаомметр М4100/5 на 2500 В. Виміри вологості ізоляції трансформаторів проводяться за допомогою переносного приладу ПЕКІ-1, що підключається до мережі 220 В за допомогою шнура живлення зі штепсельною вилкою. Мегаомметр М4100/5 і прилад ПЕКІ-1 постачені укомплектовані сполучними проводами.

На лабораторному столі для вивчення є технічні описи й інструкції для експлуатації мегаомметра М4100/5 і приладу ПЕКІ-1.

## 6.4 Програма роботи й вказівки до її виконання

### *Програма роботи з вимірювання опору й коефіцієнта абсорбції*

1 Усвідомити мету роботи й основні положення про опір ізоляції й коефіцієнт абсорбції як характеристики стану ізоляції електроустаткування.

2 Ознайомитися з пристроєм лабораторної установки, вивчити попередньо при самопідготовці пристрій і правила користування мегаомметром.

3 Підготувати трансформатори до вимірів, очистити їх від пилу і бруду.

4 Підготувати мегаомметр до роботи:

закоротити клеми "Л" і "З" обертанням ручки, переконатися в тому, що стрілка стає на нуль;

розімкнути клеми "Л" і "З" і, продовжуючи обертати ручку мегаомметра, переконатися в тому, що стрілка стає на позначку

5 Зробити виміри коефіцієнта абсорбції, приєднуючи проводи від мегаомметра до обмотки високої напруги (ВН) і низької напруги (НН), потім до обмотки ВН і корпусу, обмотки НН і корпусу. При цьому ручку мегаомметра обертати зі швидкістю 120 об/хв, роблячи заміри опору ізоляції через 15 і 60 с. Визначити коефіцієнт абсорбції за формулою

$$K_{abc} = R_{60} / R_{15}.$$

Опір ізоляції, відлічений через 60 с буде правдивим значенням опору ізоляції.

6 Порівняти отримані результати  $R_{из}$  і  $K_{abc}$  із табличними даними [1], за необхідності зробити перерахування з виправленням на температуру виміру й зробити висновки про придатність ізоляції трансформатора. Виміри  $R_{из}$  і  $K_{abc}$  зробити як для трансформатора, залитого мастилом, так і для сухого.

7 Отримані дані занести в журнал лабораторних робіт (протокол випробувань і вимірів трансформатора).

## 6.5 Програма роботи з виміру вологості ізоляції й вказівки до її виконання

1 Усвідомити мету роботи й основні положення контролю вологості ізоляції обмоток трансформатора методами "ємність-час" і "ємність-частота".

2 Вивчити за технічними описами і інструкціями загальні характеристики приладів контролю, застосовуваних у роботі, і порядок роботи з ними.

3 Ознайомитися з об'єктами контролю (об'єктами випробувань) і записати їх основні технічні дані до протоколу перевірки й випробувань, підготувати об'єкт контролю до випробувань:

- відключити трансформатор від інших кіл;
- очистити ізолятори від бруду й вологи;
- зробити з'єднання виводів кожної з обмоток між собою й всіх неконтрольованих обмоток з корпусом;
- виміряти опір ізоляції контрольованої обмотки за допомогою мегаомметра з метою обліку можливої похибки у вимірах  $R_{\text{вим}} < 100 \text{ мОм}$ .

4 Підготувати прилад ємнісного контролю ізоляції до роботи:

- розташувати прилад поблизу об'єкта випробувань і заземлити його корпус;
- з'єднати клему приладу "Об'єкт" з одним з виводів контрольованої обмотки трансформатора (виводиконтрольованої обмотки повинні бути з'єднані між собою за допомогою перемички);
- перевірити напругу живлення приладу (220 В);
- підключити шнур живлення приладу до мережі, ввімкнути тумблер МЕРЕЖА і дати можливість приладу прогрітися протягом 2-3 хв, попередньо переконавшись у тому, що всі органи керування ним стоять у вихідному положенні.

5 Зробити виміри у відповідності з порядком вимірів, викладеним нижче.

6 Результати вимірів занести до протоколу випробувань і вимірів трансформатора.

7 Оформити звіт по роботі з записом висновків, зроблених на підставі проведених вимірів.

## **6.6 Прилад ємнісного контролю ізоляції типу ПЕКІ-1**

1 Призначення. Прилад ПЕКІ-1 призначений для виміру ємності ізоляції трансформаторів, залитих і не залитих мастилом, що мають номінальну напругу від 35 до 750 кВ і потужність від 6,3 до 1000 МВ•А.

Прилад може застосовуватися також для контролю зміни стану ізоляції інших об'єктів.

2 Технічні дані. Прилад здійснює вимір ємності  $C_{50}$  різниці ємностей  $C_2 - C_{50}$ , приросту ємності  $C$ . Під  $C_2$  і  $C_{50}$  розуміються ємності, еквівалентні обмірюваним на частотах 2 і 50 Гц відповідно.

Прилад має п'ять діапазонів виміру: 0 + I; 0+2; 0 + 10; 0-20; 0+100 пФ. Межа основної наведеної похибки приладу не перевищує +5% значення, що нормує, вимірюваної величини.

3 Принцип дії приладу. В основу роботи приладу покладено вимірювання ємнісних характеристик ізоляції силових трансформаторів.

Оцінка стану ізоляції трансформаторів, залитих мастилом, виробляється шляхом вимірювання величин  $C_2 - C_{50}$  і  $C_{50}$ . З результатів вимірювання визначається величина  $C_2/C_{50}$  за формулою.

Оцінка стану ізоляції трансформаторів, не залитих мастилом, здійснюється шляхом зміни приросту ємності.

Величини порівнюються з нормами випробувань електрообладнання.

### **4 Підготовка до роботи:**

- розташуйте прилад у безпосередній близькості до вимірюваного об'єкта;



- заземліть корпус приладу;
- підключіть шнур приладу до мережі змінного струму 220 В (при живленні приладу від мережі);
- установіть перемикач S2 у положення "ЗАРЯД";
- установіть ручку перемикача роду роботи S1 у положення  $U_{зар}$  і ручкою УСТ.  $U_{зар}$  зробіть з'єднання стрілки мікроамперметра з позначкою 25;
- витримайте прилад ввімкненим протягом 2-3 хв для прогрівання. Після прогрівання прилад готовий до роботи.

#### Підготовка об'єкта вимірювання:

- відключіть трансформатор, що перевіряється від інших кіл;
- очистіть ізолятори від бруду й вологи;
- заземліть корпус трансформатора, що перевіряється;
- з'єднайте з корпусом всі обмотки, крім випробуваної;
- закоротіть між собою окремі виводи кожної обмотки;
- виміряйте опір ізоляції трансформатора.

#### 5 Порядок роботи.

Приєднайте об'єкт виміру якомога найкоротшим проводом до затискача ОБ'ЄКТ приладу.

Перевірте зарядну напругу в положенні ручки перемикача роду роботи  $U_{зар}$  і за необхідності додатково відрегулюйте ручкою УСТ  $U_{зар}$ .

Установіть ручку перемикача діапазонів у положення 100 пФ.

Установіть ручку перемикача роду роботи в положення C50, C2-C50 або C (залежно від необхідного роду виміру).

Витримайте прилад у цьому положенні органів управління протягом необхідного часу заряду об'єкта (20-30 с при вимірі C50 не менш 60 с при вимірі C2-C50).

У період заряджання об'єкта установіть стрілку мікроамперметра на нульову позначку шкали ручкою УСТ 0.

Поставте перемикач S2 у положення "ВИМІР" і зніміть відлік показань за шкалою приладу.

Якщо при вимірюванні виявиться, що обраний діапазон не відповідає величині вимірюваної ємності (показання приладу становлять менше 20 поділок шкали), то установіть ручку

перемикача діапазонів у необхідне положення й після цього зробіть повторне вимірювання ємності об'єкта. Поставте перемикач S2 у положення "ЗАРЯД".

### *Обробка результатів виміру*

Після вимірювання ємності  $C_{50}$  і різниці ємностей  $C_2-C_{50}$  визначається відношення  $C_2/C_{50}$  за формулою

$$C_2/C_{50}=(C_2-C_{50})/C_{50}+1.$$

Після виміру  $C_2-C_{50}$  величина  $\Delta C$  визначається відношенням  $(\Delta C_2/C_{50})100\%$ .

### *Особливі випадки вимірювання*

Вимір ємності до 1000 пФ.

При вимірюванні невеликих ємностей необхідно враховувати вплив ємності сполучних проводів.

Для цього виміряйте величину  $C_{50}$ ,  $C_2-C_{50}$  і  $\Delta C$  у проводі, що приєднує обмотку трансформатора до затискача ОБ'ЄКТ.

У результаті основного вимірювання вносить виправлення вирахуванням відповідного значення  $C_{50}$ ,  $C_2-C_{50}$  або  $\Delta C$ , виміряного для з'єднувального проводу при відключеній обмотці.

При проведенні порівняльних вимірів на монтажі об'єкта (до і після ревізії) варто враховувати ємнісні характеристики ( $C_{50}$  і  $\Delta C$ ) високовольтних ввідів.

Для малозволожених об'єктів з величиною ємності  $C_{50}$  більше 20 тис. пФ варто враховувати появу похибки при вимірюванні величини  $C_{50}$ ,  $C_2-C_{50}$  і  $\Delta C$  на діапазоні 1 тис. пФ.

## 6.7 Контрольні питання

- 1 Поясніть фізичний зміст коефіцієнта абсорбції. Значення коефіцієнта для сухої й вологої ізоляції.
- 2 Якими процесами обумовлені струми геометричної ємності й абсорбції у схемі заміщення діелектрика?
- 3 Як змінюється постійна часу абсорбції при зволоженні ізоляції? Чому?
- 4 Як змінюється час релаксації поляризаційного процесу й поляризованості при зволоженні ізоляції? Чому?
- 5 Як улаштований мегаомметр? Порядок підготовки й проведення вимірів опору ізоляції мегаомметра.
- 6 Який метод контролю вологості застосовується для ізоляції, залитої мастилами?
- 7 Як змінюється співвідношення при зволоженні ізоляції?
- 8 Як змінюється ємність ізоляції при зміні тривалості її заряджання (частоти прикладеної напруги)?
- 9 Принцип роботи приладу контролю вологості ПЕКІ-1.
- 10 Порядок вимірювання волгості ізоляції приладом ПЕКІ-1.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Почаевец, В.С. Электрические подстанции [Текст] / В.С. Почаевец – М.: Желдориздат, 2001. 508 с.
- 2 Камишинский, О.М., Електричні станції та підстанції залізниць [Текст] / О.М. Камишинский, В.Є. Овчинников. - К., 2008. – 270 с.
- 3 Мизинцев А.В., Тяговые подстанции нового поколения [Текст] / А.В. Мизинцев, С.Е. Павлюк, Б.В. Комов, А.М. Антоневиц. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 180 с.
- 4 ЦЕ-0024. Інструкція з технічного обслуговування та ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення та секціонування електрифікованих залізниць [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці від 21.12.2007 р. № 618-Ц. - 56 с.
- 5 ЦЕ-0009. Правила улаштування системи тягового електропостачання [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці від 24.12.2004 р. № 1010-ЦЗ. – К., 2004. – 80 с.



