

Міністерство освіти і науки України

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

Факультет енергетики і комп'ютерних технологій

Кафедра «Електроенергетика і автоматизація»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ І ПІДСТАНЦІЙ

для здобувачів освітнього ступеню вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Факультет енергетики і комп'ютерних технологій

Мелітополь – 2019 р.

УДК 631.171:621.311(075.8)

Методичні вказівки розробили: к.т.н., доцент О.В. Лисенко, асистент С.В. Адамова, асистент С.В. Дубініна

Методичні вказівки розглянуті на засіданні кафедри ЕіА.
Протокол №4 від " 04 " листопада 2019 р.

Методичні вказівки рекомендовані методичною комісією факультету енергетики і комп'ютерних технологій.

Протокол № 4 від " 27 " листопада 2019 р.

Рецензент к.т.н., доц. кафедри ЕТТП Постола Ю.О.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електрична частина станцій і підстанцій» О.В. Лисенко, С.В. Адамова, С.В. Дубініна.

Мелітополь, 2019 р. – 68 с. 30 іл. 2 таб. 10 бібл.

ЗМІСТ

Правила безпеки для студентів, що працюють у лабораторії	4
Загальні вказівки до виконання лабораторних робіт	5
<u>Лабораторна робота 1.</u> Розрядники та нелінійні обмежувачі перенапруги.	6
<u>Лабораторна робота 2.</u> Плавкі запобіжники	15
<u>Лабораторна робота 3.</u> Вивчення будови високовольтних вимикачів і приводів до них	25
<u>Лабораторна робота 4.</u> Вивчення будови роз'єднувачів, вимикачів навантаження, віддільників, короткозамикачів і приводів до них	35
<u>Лабораторна робота 5.</u> Вимірювальні трансформатори струму і напруги	45
<u>Лабораторна робота 6.</u> Вивчення конструкції та компоновки знижуючих і підвищуючих трансформаторних підстанцій	59
Список літератури	66

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ У ЛАБОРАТОРІЇ

Відповідальність за виконання правил техніки безпеки покладається на викладача, що проводить заняття в лабораторії. До роботи допускаються викладачі, лаборанти та студенти після проведення інструктажу з техніки безпеки і вивчення інструкцій з відміткою в журналі інструктажу під розпис.

У лабораторії необхідно виконувати наступні правила:

- працювати тільки за спеціально обладнаними стендами;
- не торкатися одночасно опалювальних батарей і приладів, які можуть опинитися під напругою;
- струмоведучі частини та проводи установок ізолювати від можливого дотикання при роботі.

При проведенні лабораторних робіт забороняється:

- виконувати вмикання, відключення, приєднання в електричних схемах під напругою;
- працювати без попередньо складеної схеми й підготовки до неї проводів;
- користуватися несправним інструментом та устаткуванням;
- залишати схеми включеними після закінчення роботи;
- знімати й перевішувати попереджуючі або заборонні плакати і знаки;
- захищувати робоче місце сторонніми предметами;
- вмикати під напругу схему без попередньої перевірки та дозволу викладача (лаборанта);
- залишати без нагляду схему, що знаходиться під напругою;
- ходити по лабораторії й відволікати від роботи товаришів.

Якщо стався нещасний випадок, необхідно:

- зняти напругу зі схеми;
- надати першу допомогу потерпілому;
- повідомити про випадок викладачеві;
- при необхідності викликати швидку допомогу.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно у позаурочний час провести попередню підготовку, для чого необхідно:

- ознайомитися зі змістом лабораторної роботи, усвідомити її мету;
- повторити теоретичний матеріал за літературою, що рекомендується, відповісти на контрольні запитання, зазначені наприкінці роботи;
- продумати план проведення роботи;
- скласти попередній звіт роботи зі схемами та таблицями.

При виконанні роботи й монтажі схеми рекомендується:

- спочатку виконувати головне коло, а потім паралельні включення;
- складання схеми вести від одного затискача джерела живлення й закінчувати на іншому його затискачі;
- перевірку схеми виконувати спочатку в головному контурі кола, а потім в паралельних колах;
- перевірити правильність встановлення повзунків реостатів і положення стрілок вимірювальних приладів на нульовій точці шкали.

Зібрану й перевірену схему пред'явити керівникові лабораторних робіт і тільки після його дозволу включати установку під напругу.

При включенні схеми під напругу треба уважно стежити за показами приладів, при різких ударах стрілок приладів схема повинна бути негайно відключена від джерела живлення.

По закінченні роботи й візуванню в керівника протоколу випробувань схема повинна бути розібрана після дозволу викладача.

Звіт з лабораторної роботи складається індивідуально кожним студентом у позаурочний час відповідно до вимог кафедри й пред'являється керівникові перед початком наступного лабораторного заняття. При ненаданні звіту студент не допускається до чергової роботи й виконує її в дні, призначені кафедрою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

РОЗРЯДНИКИ ТА НЕЛІНІЙНІ ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГИ

1 Мета роботи

Вивчити принцип дії і конструкцію розрядників та нелінійних обмежувачів перенапруги як засобу захисту електрообладнання від перенапруги.

2 Програма роботи

2.1 Вивчити конструкції та принцип дії розрядників.

2.2 Вивчити конструкцію, принцип дії та особливості використання нелінійних обмежувачів перенапруг.

2.3 Ознайомитися із областю застосування розрядників та обмежувачів перенапруги.

2.4 Ознайомитися з методикою вибору пристроїв захисту від наведених і комутаційних перенапруг.

3 Основні теоретичні відомості

Для захисту електроустановок від індукованої перенапруги використовують **іскрові проміжки, розрядники та обмежувачі перенапруги.**

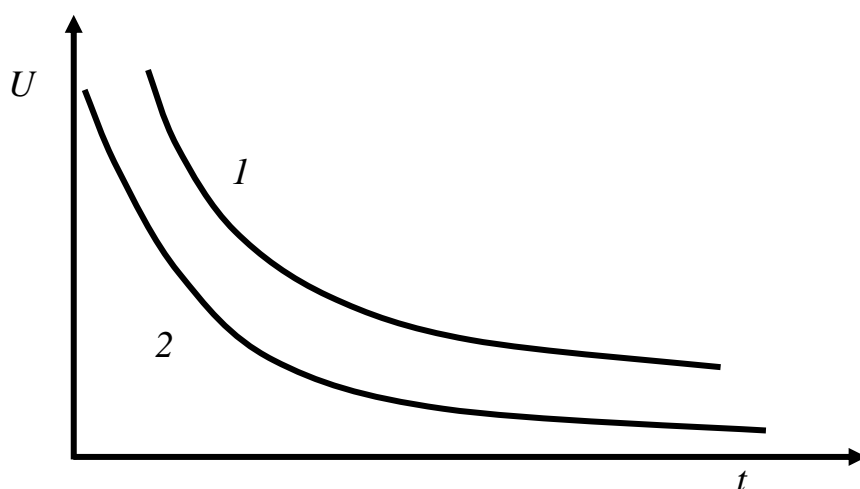
На повітряних лініях застосовують **іскрові проміжки і трубчасті розрядники**, а електричну апаратуру підстанцій та трансформатори захищають **вентильними розрядниками та обмежувачами перенапруги.**

При грозових розрядах у провідниках, розміщених близько від місця удару блискавки, індукуються імпульси атмосферної перенапруги, які дуже швидко поширюються по лініях електропередачі, проходячи значні відстані.

Електрична стійкість ізоляції залежить від тривалості дії напруги. При короткочасній дії ізоляція витримує значно більшу напругу, ніж при тривалій дії. В довідниках наводяться вольт-секундні характеристики ізоляції, які показують, протягом якого часу конструкція здатна витримувати без пробою ім-

пульс перенапруги заданої амплітуди. Рівень ізоляції повітряних ліній вищий від рівня ізоляції трансформаторів, електричних машин тощо. Тому ізоляцію трансформаторів та апаратури підстанцій треба захищати від імпульсів перенапруги, що набігають.

Оскільки грозозахисний апарат відводить імпульс перенапруги в землю, він повинен мати меншу імпульсну пробивну напругу, ніж електричний апарат, що захищається. Вольт-секундні характеристики розрядника (2) та об'єкту що захищається (1) представлені на рисунку 1.1.



1 – об'єкту що захищається; 2 – розрядника
Рисунок 1.1 – Вольт-секундні характеристики

Дія грозозахисного апарата повинна бути короткочасною, щоб імпульс перенапруги відводився в землю раніше, ніж він досягне небезпечної амплітуди на ізоляції електричної апаратури. Після спрацювання грозозахисту залишкова напруга повинна бути незначною, щоб не виникло коротке замикання (навіть при силі струму блискавки в десятки кілоампер), а електрична дуга, що супроводжується струмом промислової частоти, повинна гаситись раніше, ніж спрацює релейний захист на вимикання апаратури.

При внутрішніх перенапругах і підвищенні напруги промислової частоти грозозахист не повинен спрацювати. Найпростішим грозозахисним апаратом є **іскровий проміжок** (рисунок 1.2), який використовують для захисту повітряних ліній від атмосферних перенапруг.

Він має вигляд двох стержнів (рогів), розміщених на певній відстані. Один з них приєднують через додатковий проміжок до фазного проводу, а другий – до контуру заземлення. При виникненні атмосферної перенапруги проміжки пробиваються і перенапруга відводиться в землю. Супровідний струм промислової частоти спричинює дугу, яка на «рогах» розтягується і роздмухується, внаслідок чого відбувається самогасіння дуги.

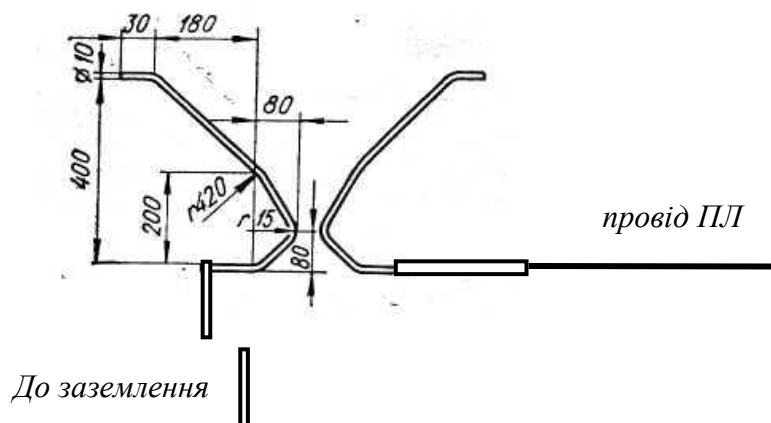


Рисунок 1.2 – Роговий захисний іскровий проміжок

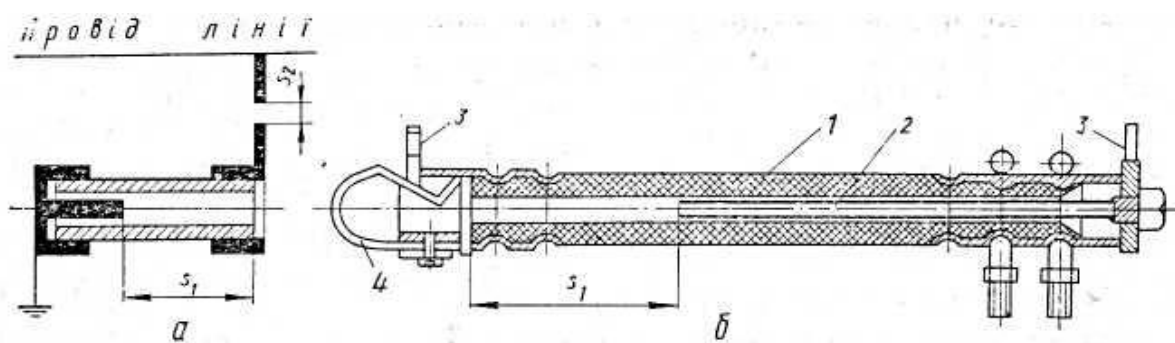
Окрім основного іскрового проміжку (рисунок 1.2) передбачено додатковий іскровий проміжок, який значно менший від основного. Він призначений для запобігання замикання на землю при перекритті основного проміжку.

При значних супровідних струмах використовують більш досконалі апарати – **трубчасті розрядники** (рисунок 1.3).

Всередині трубки 1 розміщений стержневий електрод 2 з іскровим проміжком S_1 . Зовні плоский електрод 3 за допомогою електродотримача з'єднується через зовнішній іскровий проміжок S_2 з проводом електричної лінії. Зовнішній іскровий проміжок S_2 призначений для того щоб захистити корпус розрядника від руйнування струмами витоку.

Оскільки трубку розрядника виготовляють із газогенеруючого діелектрика (фібра у розрядників РТФ і вініпласт у розрядників РТВ), після пробою проміжків під дією високої температури виділяється велика кількість газу, у трубці створюється високий тиск і відбувається інтенсивний викид іонізованих

газів. Поздовжнє дуття сприяє гасінню дуги. При вихлопі покажчик 4 викидається, сигналізуючи про спрацювання розрядника.



а – схема внутрішнього та зовнішнього іскрових проміжків;

б – будова розрядника

Рисунок 1.3 – Трубчастий розрядник

Вибирають трубчасті розрядники за напругою лінії електропередачі, нижнім і верхнім граничними струмами к.з. при яких розрядник може працювати. Якщо супровідний струм менший за нижній граничний струм розрядника, то інтенсивність газовиділення буде недостатньою, недостатнім буде і тиск у трубці, гасіння дуги затягуватиметься, що може призвести до перегорання розрядника. При надмірному супровідному струмі (більшому від верхнього граничного струму) газовиділення може бути настільки інтенсивним, що тиск у трубці розрядника перевищить її механічну міцність і вона розірветься.

В сільських електричних мережах перевірку здійснюють лише за нижнім граничним струмом. При монтажі розрядники треба розміщувати так, щоб внаслідок вихлопів іонізованих газів не виникали міжфазні короткі замикання і замикання на землю.

Після певної кількості спрацювань збільшується внутрішній діаметр трубки розрядника. При збільшенні його на 20...25 відсотків застосовувати розрядник забороняється.

Захист трансформаторів від атмосферної перенапруги здійснюють **вентильними розрядниками та нелінійними обмежувачами перенапруги.**

Колонка вентиляних дисків 4 (рисунок 1.4) розрядника разом з блоком іскрових проміжків 3, що виконані фігурними шайбами з прокладкою із міканіту, розміщується всередині фарфорового корпусу 5. Шайби і диски притискаються між собою пружиною 2. Розрядник до струмопроводу приєднується виводом 1, а до заземлення – затискачем 6. Для збереження стабільності характеристики розрядника його корпус герметизований.

Основним елементом вентиляного розрядника (рисунок 1.4) є влітові диски 4 із карборунду (карбід кремнію – SiC). Диски мають нелінійну характеристику. При підвищеній напрузі їх опір малий і напруга спрацювання розрядника визначається лише електричною міцністю іскрових проміжків. Після пробою проміжків при значній напрузі опір дисків не перешкоджає стіканню індукованого заряду. Потім напруга зменшується до номінальної, опір дисків значно зростає і відсікає супроводжуючий струм. Дуга гасне.

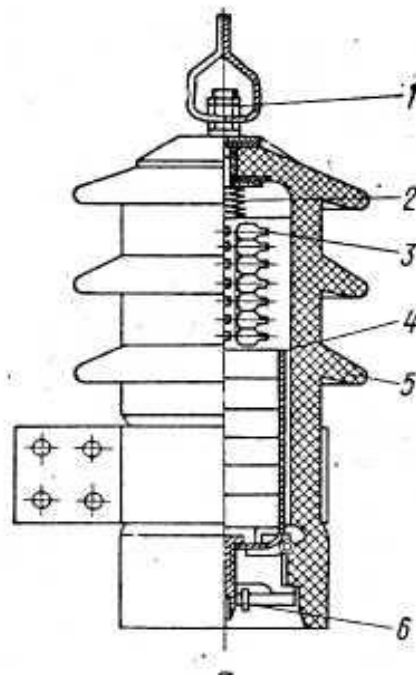


Рисунок 1.4 – Вентильний розрядник

Перенапруга відводиться в землю, але внаслідок нелінійності опору імпульс перенапруги не зрізується і не створюються круті спади потенціалів.

Опір пристрою заземлення розрядників всіх типів не повинен перевищувати 10 Ом при питомому опорі ґрунту $\rho \leq 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, 15 Ом при $\rho = 100 \dots 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ та 20 Ом при $\rho = 500 \dots 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

До недоліків вентиляних розрядників можна віднести:

– наявність іскрових проміжків визначає високу імпульсну пробивну напругу, що не дозволяє використовувати вентильні розрядники для захисту обладнання від комутаційних перенапруг;

– присутність супроводжуючого струму промислової частоти при затуханні хвилі перенапруги викликає необхідність застосування резисторів із високим опором для гасіння цього струму;

– наявність повітряних пустот всередині фарфорового корпусу не виключає перекриття внутрішньої ізоляції і розривання розрядника.

Вентильні розрядники допустимо застосовувати лише для захисту обладнання від атмосферних наведених перенапруг.

Сучасним апаратом для захисту електрообладнання від внутрішніх і зовнішніх перенапруг є обмежувач перенапруги (рисунок 1.5).

Обмежувачі перенапруги мають наступні переваги у порівнянні із вентильними розрядниками:

- глибокий рівень обмеження усіх видів імпульсних перенапруг;
- відсутність супроводжуючого струму;
- безперервне підключення до мережі що захищається;
- простота конструкції та надійність експлуатації;
- малі габарити та вага.

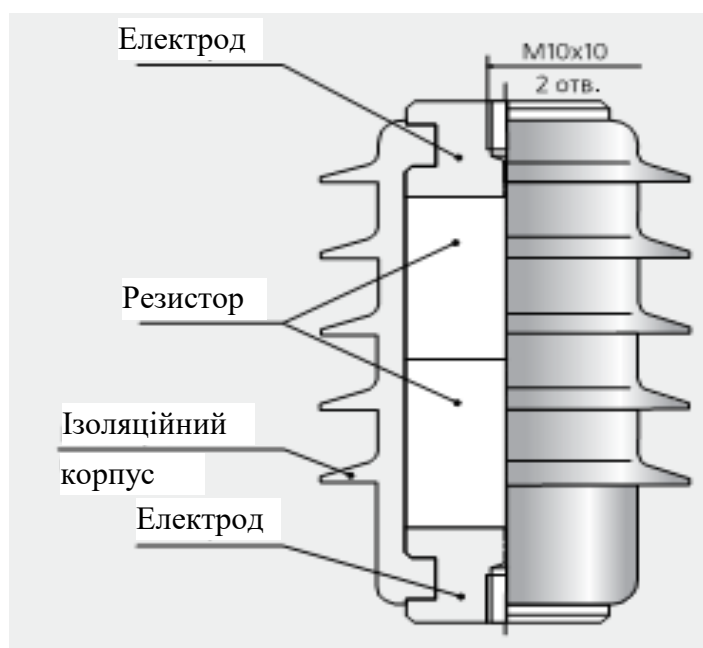


Рисунок 1.5 – Конструкція обмежувачів типу ОПН/TEL

Внутрішні перенапруги виникають при перемиканнях у мережах (комутаційні перенапруги), при однофазних дугових замиканнях на землю у мережах з ізолюваною нейтраллю, а також при резонансних явищах, що виникають у довгих лініях та в несиметричних режимах при ферорезонансі.

Універсальна серія нелінійних обмежувачів перенапруги типу ОПН/TEL призначена для забезпечення надійного захисту ізоляції електрообладнання підстанцій та промислових підприємств від наведених грозових та комутаційних перенапруг у повітряних лініях електропередачі та кабельних мережах класів напруги 3-10 кВ змінного струму промислової частоти з ізолюваною або компенсованою нейтраллю. Конструкція обмежувачів типу ОПН/TEL наведена на рисунку 1.5.

Активна частина обмежувача перенапруги складається із метало окисних нелінійних варисторів, виготовлених по керамічній технології з окису цинку із незначним додаванням окислів інших металів.

Колонка із набору варисторів розміщується поміж двома електродами і запресована в оболонку із спеціального атмосферостійкого полімеру.

В нормальному режимі роботи струм через обмежувач має ємнісний характер і становить десятки частки міліампера. При виникненні хвилі перенапруги варистори обмежувача переходять у провідний стан і обмежують подальше зростання напруги на виводах. При зниженні перенапруги обмежувач повертається у непровідний стан.

У порівнянні з вентильними розрядниками ОПН мають ряд переваг:

- більш глибоке обмеження перенапруг при рівних розмірах активної частини;
- простота конструкції і велика надійність;
- стійкість до зовнішніх забруднень ізоляційного корпусу;
- здатність обмежувати внутрішні перенапруги;
- при використанні полімерного корпусу – більша вибухобезпечність;
- менші габарити і маса.

4 Вказівки до підготовки до лабораторної роботи

4.1 Вивчити теоретичний матеріал по темі «Перенапруга в електричних установках» 1 С.49-77,152, 188, 291; 2 С.200-224; 3. С. 200-223; 4 С. 209-232; 5 С. 308-325; 6. С. 284-300; 7 С.424-462; 8 С.154-158; 9 С.303-322.

4.2 Вивчити конструкцію і правила вибору трубчатих і вентильних розрядників.

4.3 Вивчити схеми захисту сільських підстанцій від перенапруг.

4.4 Вивчити конструкцію вентильних розрядників.

4.5 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

5 Вказівки до виконання лабораторної роботи

5.1 Вивчити призначення і основні технічні характеристики розрядників та обмежувачів перенапруги.

5.2 Вивчити конструкцію трубчатих розрядників.

5.3 Вивчити конструкцію вентильних розрядників.

5.4 Вивчити конструкцію обмежувачів перенапруги.

5.5 Вивчити схеми захисту сільських електроустановок від хвиль перенапруги, що набігають.

5.6 Навести ескіз конструкції вентильного розрядника та нелінійного обмежувача перенапруг.

5.7 Приклад вибору обмежувачів перенапруги.

6 Вказівки із оформлення звіту

Звіт повинен містити:

6.1 Основні технічні характеристики трубчатих і вентильних розрядників, обмежувачів перенапруги.

6.2 Ескіз конструкції вентильного розрядника та нелінійного обмежувача перенапруги.

6.3 Опис основних конструктивних особливостей вентильного розрядника та нелінійного обмежувача перенапруги.

6.4 Приклад вибору обмежувачів перенапруги.

7 Контрольні запитання

- 7.1 У чому полягає небезпека перенапруги для електричного обладнання?
- 7.2 Що таке іскровий проміжок та де його застосовують?
- 7.3 Чим обмежується застосування іскрових проміжків?
- 7.4 Яке призначення розрядників та нелінійних обмежувачів перенапруги?
- 7.5 Чим визначаються захисні властивості розрядників?
- 7.6 Конструкція і принцип дії трубчатого розрядника.
- 7.7 Для чого застосовують зовнішній іскровий проміжок у трубчастих розрядниках?
- 7.8 Від чого залежить дугогасильна здатність трубчатого розрядника?
- 7.9 Назвіть марки розрядників, що застосовуються в сільських електроустановках.
- 7.10 Конструкція і принцип дії вентиляного розрядника.
- 7.11 Яке призначення нелінійного опору у вентиляному розряднику?
- 7.12 Чому вентиляні розрядники є основним засобом захисту від наведених атмосферних перенапруг?
- 7.13 Поясніть схеми захисту сільських підстанцій від перенапруги?
- 7.14 Конструкція і принцип дії нелінійних обмежувачів перенапруги.
- 7.15 Які переваги мають обмежувачі перенапруги у порівнянні із вентиляними розрядниками?
- 7.16 Як за допомогою обмежувачів перенапруги виконується захист від перенапруг силових трансформаторів?
- 7.17 Особливості захисту від перенапруг електрообладнання у колах із вакуумними вимикачами.
- 7.18 Як проводиться підготовка до експлуатації обмежувачів типу ОПН/TEL?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ПЛАВКІ ЗАПОБІЖНИКИ

1 Мета роботи

Вивчити конструкцію плавких запобіжників і процес гасіння дуги в запобіжниках різних типів

2 Програма роботи

2.1 Вивчити конструктивні особливості запобіжників різних типів.

2.2 Вивчити основні технічні характеристики запобіжників.

2.3 Вивчити принцип гасіння дуги в запобіжниках різних типів.

3 Основні теоретичні положення

Плавкі запобіжники (ПЗ) – найпростіші апарати захисту та комутації, які призначені для автоматичного однократного відключення електричних кіл при короткому замиканні (к.з.) або при тривалих перевантаженнях шляхом розплавлення нагрітої струмом **плавкої вставки**.

Запобіжник включається послідовно в електричне коло, що захищається і складається із наступних частин: контактний стояк, патрон (корпус) із плавкою вставкою і системою для гасіння дуги.

До основних переваг запобіжників можна віднести:

- простота конструкції;
- низька вартість;
- швидке відключення електричного кола при к.з.;
- здатність до обмеження струму к.з. (деякі типи запобіжників).

Завдяки наведеним перевагам, в електричній мережі до 1000 В запобіжник є основним засобом захисту, а в мережі вище 1000 В застосовуються запобіжники напругою до 110 кВ.

До основних недоліків плавких запобіжників, які обмежують їх використання можна віднести:

- значний розкид характеристик, що утруднює узгодження розташованих послідовно апаратів;
- можливість виникнення неповнофазних режимів роботи обладнання при перегорянні плавкої вставки в одній фазі;

- нечітка робота при перевантаженнях мережі;
- забезпечують селективність дії лише в радіальних мережах із одностороннім живленням.

Плавкі запобіжники характеризуються: номінальною напругою $U_{н.зан}$ та номінальним струмом запобіжника $I_{н.зан}$, номінальним струмом плавкої вставки $I_в$, номінальним (граничним) струмом відключення $I_{н.відкл}$.

В один і той же корпус ПЗ можна вставити ряд плавких вставок на різні струми. При цьому необхідно, щоб виконувалася умова:

$$I_в \leq I_{н.зан} \quad (2.1)$$

Відключення запобіжником струмів, більших за допустимі, може привести до руйнування корпусу та контактної системи і навіть до перекриття між фазами.

Основним елементом запобіжника є **плавка вставка** – штучно послаблена ділянка електричного кола, яка перегоряє при перевищенні заданого значення струму. Після спрацювання запобіжника необхідно вручну замінити плавку вставку.

Плавкі вставки виготовляють із свинцю, сплаву свинцю та олова, цинку, алюмінію, міді, срібла, константану та інших матеріалів.

Щоб знизити температуру плавлення вставки використовують матеріали з низькою температурою плавлення та високою теплоємністю (**свинець** (327°C), **свинець із оловом** ($240\dots320^{\circ}\text{C}$) та **цинк** (419°C)).

Плавкі вставки з цих матеріалів мають порівняно великий переріз із-за високого питомого опору матеріалу ($\rho = (0,06 \dots 0,2) \cdot 10^{-6}$ Ом·м), забезпечують значні витримки часу спрацювання при перевантаженнях і легко витримують короткочасні перевантаження.

При їх перегорянні утворюється велика кількість парів металу, що утруднює процес гасіння дуги.

Срібло і мідь мають менший питомий опір ($\rho = (0,016 \dots 0,018) \cdot 10^{-6}$ Ом·м) і більшу температуру плавлення (961 та 1083°C відповідно), що дозволяє значно знизити переріз вставки та час її перегорання. Але малий переріз вставки веде до перегріву корпусу при малих перевантаженнях.

Для зниження температури плавлення вставки з тугоплавких матеріалів (міді і срібла) на вставку наплавляють олов'яні кулі, які плавляться

при значно нижчій температурі, розчиняють основний метал і ведуть до його інтенсивного руйнування (“металургійний ефект”) (рисунок 2.1). Плавка вставка перегоряє при температурі, що наближається до температури плавлення олова.

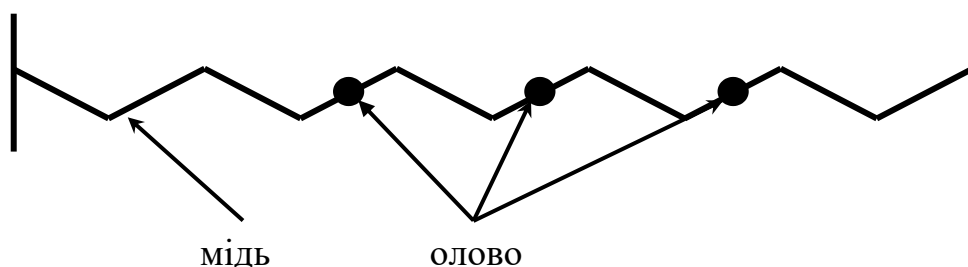


Рисунок 2.1 – Використання металургійного ефекту в запобіжнику

За умовами гасіння електричної дуги запобіжники ділять на дві групи:

1. запобіжники, що забезпечують ефект обмеження струму к.з.;
2. запобіжники, що не забезпечують ефект обмеження струму к.з.

Друга група запобіжників не впливає на значення струму к.з., а лише відключає його через певний час.

В запобіжниках, що забезпечують ефект обмеження струму к.з. розплавлення вставки та гасіння дуги відбувається раніше ніж струм к.з. досягне свого максимального значення (ударний струм).

Швидке гасіння дуги забезпечується за рахунок:

- високого тиску газів, що виділяються із корпусу запобіжника (фібра, вініпласт та ін.) під впливом температури дуги;
- гасіння дуги у вузьких щілинах і каналах;
- за рахунок інтенсивного відведення теплоти від дуги дрібнозернистим наповнювачем (кварцовий пісок).

При к.з. на затискачах запобіжників із ефектом обмеження струму к.з., в момент перегорання вставки можуть виникати комутаційні перенапруги. Для обмеження цих перенапруг застосовують ряд заходів, наприклад, використовують вставки ступеневого перерізу (до 250 В – два звуження, до 500 В – чотири звуження) (рисунок 2.3).

При великих струмах к.з. вставка перегоряє одночасно в кількох звужених місцях, а при малих перевантаженнях нагрівається звужена частина і

тепло віддається через розширену частину в контактну систему без зайвого перегріву. В цьому випадку вставка перегоряє в місці переходу від її вузької частини до широкої.

При великих струмах к.з. вставка плавиться одразу по всій довжині. Струм у колі миттєво зникає і тому виникає перенапруга, яка пробиває міжконтактний проміжок, після чого загоряється дуга. В електромережі вище 1000 В перенапруги можуть бути до $4,5 U_H$.

Для обмеження перенапруги також застосовують плавкі вставки з кількох спірально завитих дротів різного перерізу. Спочатку перегоряє вставка меншого перерізу, а потім більшого (рисунок 2.5).

Для цієї ж мети використовують іскровий проміжок. Спочатку плавиться неперервна вставка, а потім від невеликої перенапруги пробивається іскровий проміжок і плавиться наступна (паралельна) плавка вставка із проміжком.

Час спрацювання плавкої вставки в основному визначається часом її нагрівання до температури плавлення. Очевидно, що чим більший струм, що протікає через вставку, тим менше час плавлення вставки.

Вставка запобіжника характеризується захисною або часо-струмовою (ампер-секундною) характеристикою (рисунок 2.2).

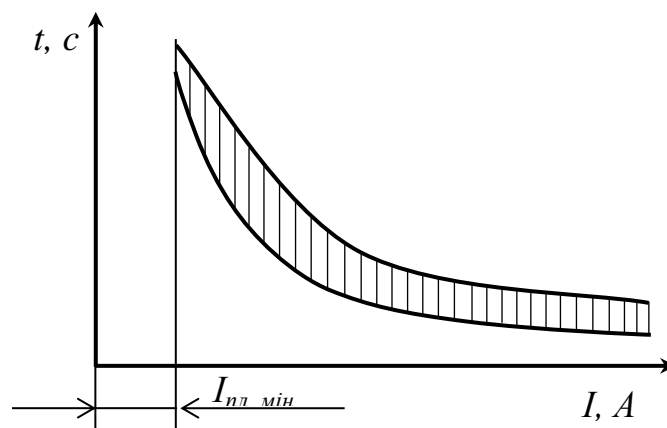


Рисунок 2.2 – Захисна характеристика запобіжника

Окрім величини струму к.з., на процес і на час перегорання плавкої вставки впливають також інші фактори: температура навколишнього середовища, значення струму режиму, що передував к.з., старіння (зношення) вставки запобіжника та ін. У зв'язку із цим характеристики запобіжників мають значний розкид характеристик, і їх необхідно зображувати у вигляді певної зони (рисунок 2.2).

До 1 кВ застосовуються наступні типи запобіжників:

- запобіжники із фібровими трубками: ПР 1 (до 250В); ПР 2 (до 500В).
- запобіжники із кварцовим наповнювачем (піском): ПН2 (насипний, розбірний, до 1000 В); НПН2 (насипний, нерозбірний, до 1000 В).

Запобіжники типу ПР виготовляють на напругу 220 та 500 В і на струм патрону 15...1000А. Патрон 2 запобіжника (рисунок 2.3) виготовляють із фібрової трубки з латунними обоймами 5 (із різьбою) на кінцях. Латунні обойми притискають контактні ножі 1 до яких гвинтами приєднана ступенева плавка вставка 3.

Ці запобіжники забезпечують ефект обмеження струму к.з. (дуга гаситься високим тиском газів, що генеруються фібровою трубкою).

Перевагою запобіжників ПР в порівнянні із насипними є простота заміни вставки.

Недолік – дещо більші габарити.

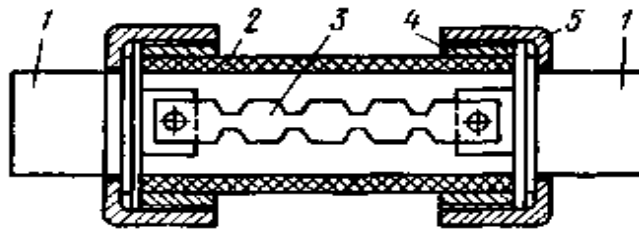


Рисунок 2.3 – Плавкий запобіжник типу ПР2

Запобіжники типу ПН2 (рисунок 2.4) мають кварцовий наповнювач 5, який заповнює фарфоровий патрон 2. Плавка вставка 6 запобіжника ПН2 виготовляється із однієї або декількох мідних стрічок які мають прорізи. На мідь напаюються кульки із олова.

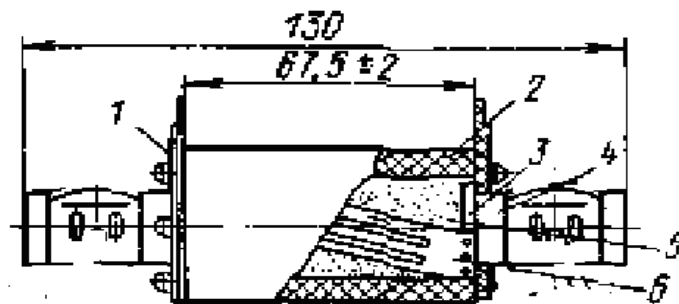


Рисунок 2.4 – Плавкий запобіжник типу ПН2

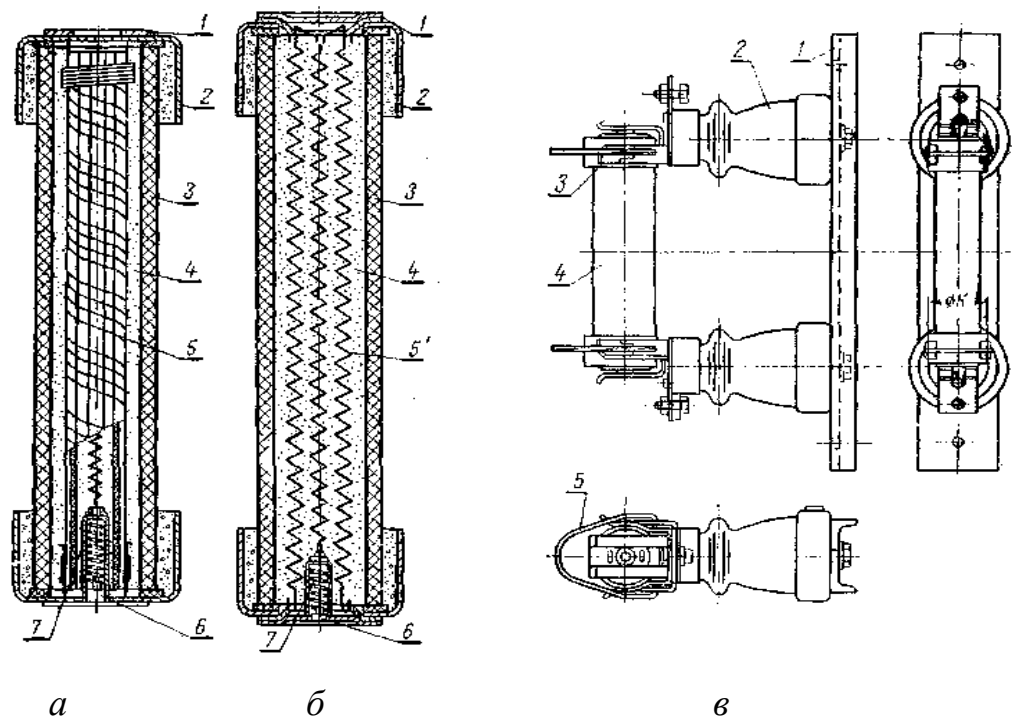
Запобіжник ПН2 також забезпечує ефект обмеження струму к.з. за рахунок розділення дуги (перегоряє декілька пластинок) і охолодження її кварцовим піском.

Принцип дії запобіжника НПН2 такий же, як і в запобіжника ПН2. Його корпус (патрон) виготовляють із скляної труби із латунними ковпачками. Трубка заповнена кварцовим піском, в якому розташована плавка вставка із декількох мідних дротів на які посередині напаяні олов'яні кульки. Цей запобіжник також забезпечує обмеження струму к.з.

Промисловість випускає насипні нерозбірні запобіжники ПП 31 на струм 32...1000 А і напругу 660В. Всі струмоведучі частини і плавка вставка запобіжника ПП 31 виготовлені із алюмінію.

В сільських електричних мережах на напругу вище 1 кВ застосовують запобіжники ПКТ (ПК), ПКН (ПКТ), ПКНУ, ПВТ (ПС, ПСН) та ін. (в дужках вказано застаріле маркування).

Найбільш поширені запобіжники **ПКТ-10 (ПК-10)** на напругу 10 кВ (рисунок 2.5), які встановлюють на стороні вищої напруги сільських трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ.



a – на струм до 7,5А; *б* – на струм 10...400 А; *в* – запобіжник ПКТ у зібраному вигляді

Рисунок 2.5 – Плавкий запобіжник типу ПКТ (ПК)

Патрон 3 запобіжника виготовляють із фарфорової трубки із латунними ковпачками 2 та кришками 1, яка заповнена кварцовим піском 5. Плавкі вставки виготовляють із посрібленого мідного дроту, які намотані на ребристе керамічне осердя (на струм до 7,5 А). При струмах 10...400 А встановлюють паралельно декілька спіральних вставок. На плавких вставках застосовують металургійний ефект.

Про спрацювання сигналізує покажчик 6, який викидається пружиною 7. В нормальному стані покажчик утримується сталлюю вставкою, яка перегоряє слідом за робочими.

Для захисту вимірювальних трансформаторів напруги застосовують запобіжники типу **ПКН (ПКТ)**. На відміну від запобіжника ПКТ (ПК) їх плавка вставка виготовляється із константанового дроту, який намотаний на керамічне осердя.

Завдяки високому опору і малому перерізу плавкої вставки забезпечується значний ефект обмеження струму к.з.

Запобіжники ПКН мають менші габарити в порівнянні із ПКТ і не мають покажчика спрацювання.

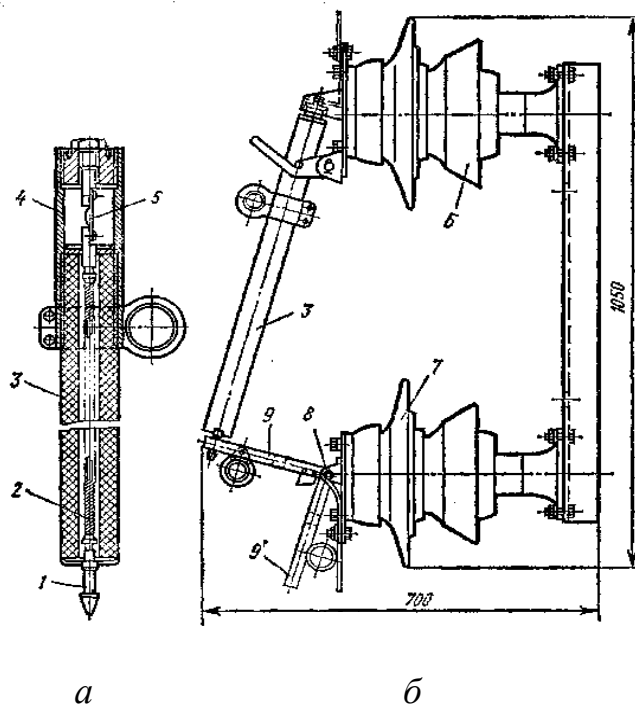
ПКНУ – теж саме що і ПКН, але посилений, розрахований на відключення к.з. необмеженої потужності.

Запобіжники типу **ПВТ (ПС, ПСН)** (рисунок 2.6), вихлопні (стріляючі), виготовляють на напругу 10...110 кВ. Вони призначені для встановлення у відкритих розподільчих пристроях.

В сільських електричних мережах широко застосовуються запобіжники **ПВТ-35 (ПС-35)** для захисту трансформаторів напругою 35/10 кВ.

Патрон запобіжника має металевий патрубок 4, у металевий патрубок встановлена трубка 3 із газогенеруючого матеріалу (вініпласт). Плавка вставка 5 виготовляється із посрібленого мідного дроту із олов'яною кулькою. Паралельно до основної вставки розміщена сталляна вставка. Одним кінцем вставка закріплена до металевого патрубку, а іншим – до гнучкого зв'язку 2. При перегорянні плавкої вставки (мідної і сталлюю) поводок витягується із трубки підпружиненим важелем 9 за наконечник 1. В трубці створюється високий тиск газів, які створюють після виходу гнучкого зв'язку із каналу потужне поздовжнє дугтя яке деформує і гасить дугу.

В модернізованих запобіжниках **ПВТ-35 МУ** в металевий патрубкок встановлено мідний клапан, що закриває поперечний отвір для дуття. При гасінні великих струмів к.з. тиск газу достатній для спрацювання клапану і створення поперечного дуття. При гасінні дуги із незначними струмами клапан не спрацьовує і гасіння дуги відбувається за рахунок високого тиску в патроні. Запобіжник ПВТ не забезпечує ефект обмеження струму к.з.



a – патрон запобіжника; *б* – запобіжник ПВТ у зібраному вигляді
Рисунок 2.6 – Плавкий запобіжник типу ПВТ (ПС)

На базі запобіжників ПВТ розроблені керовані запобіжники на напругу 35 та 110 кВ, наприклад запобіжник **УПС-35**.

Гнучкий зв'язок 2 запобіжника УПС-35 з'єднаний із плавкою вставкою 5 не жорстко, а через контактну систему, яка забезпечує механічне розривання кола плавкої вставки під впливом привода при спрацюванні релейного захисту. При значних струмах к.з. плавка вставка запобіжника перегорить раніше, ніж спрацює релейний захист. Існують також варіанти керованих запобіжників без плавкої вставки.

4 Вказівки до підготовки до лабораторної роботи

4.1 За літературою ознайомитися з конструктивними особливостями запобіжників різних типів [1 гл. 1.8; 2 с.87-89, 243- 251; 3 с.87-90; 254-

264; 4 с.29-31, 171-172; 5 с.29-32, 133-134; 7 с.137-141; 8 с. 26-32, 206-211].

4.2 Вивчити процеси гасіння дуги в запобіжниках різних типів.

4.3 Вивчити правила вибору запобіжників.

4.4 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

5 Вказівки до виконання лабораторної роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

5.1 За стендами вивчити конструкцію плавких запобіжників типу ПР2. Звернути увагу на форму плавкої вставки, матеріал трубки й особливість роботи при різних струмах.

5.2 За стендами вивчити конструкцію запобіжників типу ПН2 та НПН2. Звернути увагу на наявність декількох паралельних вставок.

5.3 За стендом вивчити конструкцію запобіжника типу ПКТ. Звернути увагу на забезпечення герметичності, розташування плавких вставок, наявності покажчика спрацьовування, олов'яних кульок і різні перетини по довжині вставок.

5.4. За стендом вивчити конструкцію та принцип роботи запобіжника типу ПВТ. Звернути увагу на правила його установки.

5.5 Вивчити процес гасіння дуги в досліджуваних запобіжниках. Звернути увагу на ефект обмеження струму та перенапруги.

5.6 Ознайомитися з порядком вибору запобіжників.

6 Вказівки з оформлення звіту

У звіті необхідно представити:

6.1 Ескізи різних типів запобіжників.

6.2 Технічні характеристики запобіжників, що розглядаються.

6.3 Принцип дії та гасіння дуги у запобіжниках різних типів.

6.4 Відповіді на контрольні запитання.

7 Контрольні запитання

7.1 Яке призначення запобіжників?

7.2 Які основні елементи конструкції будь-якого запобіжника?

7.3 Що таке номінальний струм запобіжника?

7.4 Що таке номінальний струм плавкої вставки?

7.5 Які матеріали використовують для виготовлення плавких вста-

вок, їх переваги та недоліки?

7.6 Яке призначення плавких вставок запобіжників?

7.7 Поясніть конструкцію запобіжника типу ПР2 і процес гасіння дуги в ньому.

7.8 Поясніть конструкцію запобіжників типу ПН2 та НПН2 і процес гасіння дуги в них.

7.9 Поясніть конструкцію запобіжників типу ПКТ і процес гасіння дуги в них.

7.10 Як працює показчик спрацьовування запобіжника типу ПКТ?

7.11 Поясніть конструкцію вихлопних (стріляючих запобіжників) типу ПВТ і процес гасіння дуги в них.

7.12 Чому у низьковольтних запобіжниках ПР2 плавка вставка виконується із звуженими місцями?

7.13 З якою метою у запобіжниках типу ПКТ використовують плавкі вставки різного перерізу та довжини?

7.14 Чим відрізняються запобіжники типу ПКТ від запобіжників ПКН?

7.15 Який принцип дії керованого запобіжника?

7.16 Які якості запобіжника типу ПР2 залежать від форми його плавкої вставки?

7.17 Чим забезпечується ефект обмеження струму у запобіжниках типу ПН2 та НПН2?

7.18 Яке призначення олов'яних кульок на плавких вставках запобіжника типу ПКТ?

7.19 Які конструктивні відмінності між запобіжниками ПКТ на 7,5А та н 10...400 А?

7.20 За якими параметрами виконують вибір плавких запобіжників?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ І ПРИВОДІВ ДО НИХ

1 Мета роботи

Вивчити призначення, конструкцію і принцип дії високовольтних вимикачів і приводів до них.

2 Програма роботи

2.1 Вивчити на моделях конструктивні особливості високовольтних вимикачів та їх модифікації.

2.2 Вивчити та записати основні технічні характеристики вимикачів.

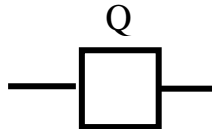
2.3 Вивчити принцип гасіння дуги в дугогасній камері при великих і малих струмах короткого замикання.

2.4 Вивчити основні переваги вакуумних та елегазових вимикачів.

3 Основні теоретичні відомості

Високовольтні вимикачі – основний комутаційний апарат у високовольтних установках, їх використовують у високовольтних розподільних установках для вмикання і вимикання електричних кіл в усіх режимах (без навантаження, з номінальним струмом і струмом к.з.). Найбільш тяжким режимом роботи високовольтних вимикачів є відключення струмів к.з.

Позначення в схемах:



Основні конструктивні елементи високовольтного вимикача: корпус, контактна система із пристроєм гасіння дуги, струмоведучі частини, ізоляційна конструкція та механізм приводу контактів.

Високовольтні вимикачі розділяють на: **масляні (багатооб'ємні та малооб'ємні)** та **безмасляні (повітряні, електромагнітні, елегазові та вакуумні)**.

Масляні багатооб'ємні вимикачі (бакові).

Контакти масляного вимикача занурені у трансформаторне масло (рисунок 3.1). Останнє під дією високої температури електричної дуги розкладається, виділяючи газ, в якому дуга швидко гасне.

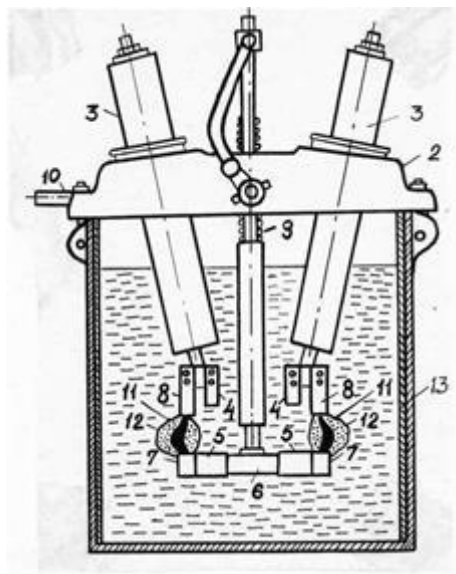


Рисунок 3.1 – Масляний баковий вимикач

На рисунку 3.1 схематично показаний баковий масляний вимикач типу ВМЭ-6-200 на номінальну напругу 6 кВ, номінальний струм 200 А і номінальний струм відключення 1,25 кА. Сталевий бак 1 вимикача підвішений до литої чавунної кришки 2 за допомогою болтів. На стінках бака 1 є ізоляційні покриття 13. Через кришку 2 проходять 6 порцелянових ізоляторів 3, на нижніх кінцях яких закріплені нерухливі робочі контакти 4 у вигляді мідних скоб. Рухливі робочі контакти 5 перебувають на контактному мосту (траверсі) 6. Дугогасильними рухливими контактами є латунні косинці 7, розташовані на траверсі 6, дугогасильними нерухливими - мідні пластинки 8 з латунними наконечниками. Рух рухливим контактам передається за допомогою ізолюючої тяги від приводного механізму, розташованого під кришкою 2 вимикача. У включеному положенні масляного вимикача траверса піднята і контактний міст 6 замикає коло між нерухливими контактами. При цьому пружина, що відключає, 9 стисла. Масляний вимикач у включеному положенні втримується засувкою привода, з яким він зв'язаний валом 10. При відключенні автоматично або вручну звільняється за-

сувка й під дією пружини 9 траверса 6 швидко опускається, при цьому спочатку розмикаються робочі контакти 4 і 5, потім дугогасильні контакти 7 і 8. При цьому утворюються розриви у двох крапках на кожному полюсі масляного вимикача. Виниклі дуги 11 випаровують і розкладають масло. Тиск усередині міхурів 12 досягає 0,5-1 МПа, що підвищує деіонізуючу здатність газів. Дуги гаснуть через 0,08 - 0,1 с. Після гасіння дуг, міхури 12 піднімаються нагору, під кришку 2, де в баку 1 залишається повітряна подушка (приблизно 20-30 % обсягу). Повітряна подушка зменшує силу удару в кришку масляного вимикача, обумовленого високим тиском у процесі гасіння дуги. Збільшення обсягу повітряної подушки є неприпустимим, оскільки при низькому рівні масла газу потраплять під кришку 2 неохолодженими, що може викликати вибух суміші водню з повітрям. Вимикачі серії ВМЭ управляються ручними приводами типу ПМ.

У багатооб'ємних вимикачах напругою 6...10 кВ усі три фази розміщені в одному баці, а у вимикачах на 35 кВ і вище для кожної фази відведено окремий бак. Масло в бакових вимикачах призначене для гасіння дуги та для ізоляції струмопровідних частин.

Бакові вимикачі напругою 35 кВ мають додатково в кожній фазі, вмонтовані послідовно із нерухомими контактами 5, трансформатори струму 9. Контактна система вимикача розташована у рухомій дугогасильній камері 6 із поперечним дуттям.

Переваги бакових вимикачів: низька вартість та проста конструкція.

Недоліки: бакові вимикачі пожежо- та вибухонебезпечні, їх необхідно розміщувати в окремих, повністю ізольованих від інших апаратів, камерах з дверима; великий об'єм масла (десятки літрів); значні експлуатаційні витрати; незручні у монтажі; необхідність контролювати рівень та якість масла та ін.

Масляні малооб'ємні вимикачі (горшкові)

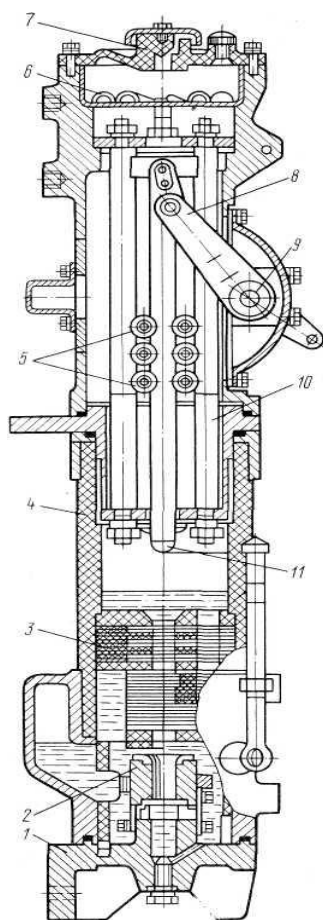
В малооб'ємних вимикачах масло є лише середовищем для гасіння дуги. Об'єм масла в них у десятки і навіть сотні разів менший, ніж у бакових (3...7 л). Такі вимикачі можуть витримувати значний тиск і тому вони менш пожежо-

і вибухобезпечні ніж бакові, їх розміщують поряд з іншим устаткуванням, вони мають менші габарити. Гасіння дуги в горшкових вимикачах відбувається в спеціальних дугогасних камерах із діелектричного матеріалу.

В сільських РП експлуатують горшкові вимикачі таких марок: ВПМ-10-20/1000 (ВМГ – 10); ВМ – 10-630 (ВММ – 10); ВМПЭ – 10 -1600-31,5; ВК-10-1600-31,5 (колонковий); ВКЭ-10-3165/1600 та ін.

В таких вимикачах кожна фаза вмикається і вимикається окремо. Горшкові баки закріплені на фарфорових ізоляторах, розміщених на рамі. Таким чином усі три полюси вимикача ізолювані один від одного і від землі. Конструкція вимикача ВМП-10 представлена на рисунку 3.2.

Вимикач **ВПМ-10 (ВМГ-10)** виготовляють на струм 630 і 1000 А. Для керування ним використовують електромагнітний привід постійного струму ПЭ-11 або пружинний привід ПП-67.



Рухомий і нерухомий контакти

- 1 – нижня металева частина баку;
- 2 – розетковий контакт (нерухомий);
- 3 – дугогасний пристрій;
- 4 – корпус баку із склопластику;
- 5 – роликові контакти;
- 6 – масловіддільник;
- 7 – кришка;
- 8 – система важелів;
- 9 – вал;
- 10 – направляючі;
- 11 – рухомі контакти.

Рисунок 3.2 – Розріз полюса вимикача ВМП-10

ВМП-10 і ВМП-10К, розраховані на струм 400 А і потужність вимикання 200 МВА. **ВМ-10** має вмонтований пружинний привід з повним комплектом захисту на оперативному змінному струмі. Розповсюджені на ПС 35/6-10 кВ.

На напругу 35 кВ малооб'ємні вимикачі виготовляють у фарфоровому корпусі: ВМКЭ-35А-16/1000; ВМУЭ-35Б-25/1000; ВМП-35ТС.

Повітряні вимикачі – ВВН-35Б-40/3150; ВВУ-35А-40/2000, дуга гаситься стисненим повітрям. Використовують на напругу від 35кВ і вище.

Переваги: пожежо- і вибухобезпечні, швидкодіючі.

Недоліки: складна конструкція, необхідна компресорна установка, висока вартість.

Вакуумні вимикачі

Останнім часом поширились **вакуумні** вимикачі. Гасіння дуги здійснюється в глибокому вакуумі (приблизно 10^{-5} - 10^{-7} Па). Електрична міцність вакууму досить висока, що забезпечує надійне гасіння протягом часу не більше 0,04 с.

Вакуумні вимикачі призначені для дистанційного керування електричними навантаженнями трьохфазних електричних кіл і використовуються в РП – 10 кВ. Хід контактів вимикача ВВВ-10 становить всього 10...15 мм, тому у них малі габарити, але невелика потужність вимикання. На сьогодні ці вимикачі є уже застарілими.

Поширення набули сучасні вакуумні вимикачі ВВ/TEL-10 (рисунок 3.3), які мають малопотужний вбудований електромагнітний привід на кожному полюсі.

Вакуумні високовольтні вимикачі в порівняння із багато- та малооб'ємними масляними вимикачами мають ряд суттєвих переваг, які і визначають їх широке застосування на сучасному етапі:

– відключення струму при першому проході його через куль, після розімкнення контактів, відсутність повторного замикання;

– швидке відновлення діелектричної міцності іскрового проміжку після відключення струму при незначному зазорі між контактами (декілька міліметрів);

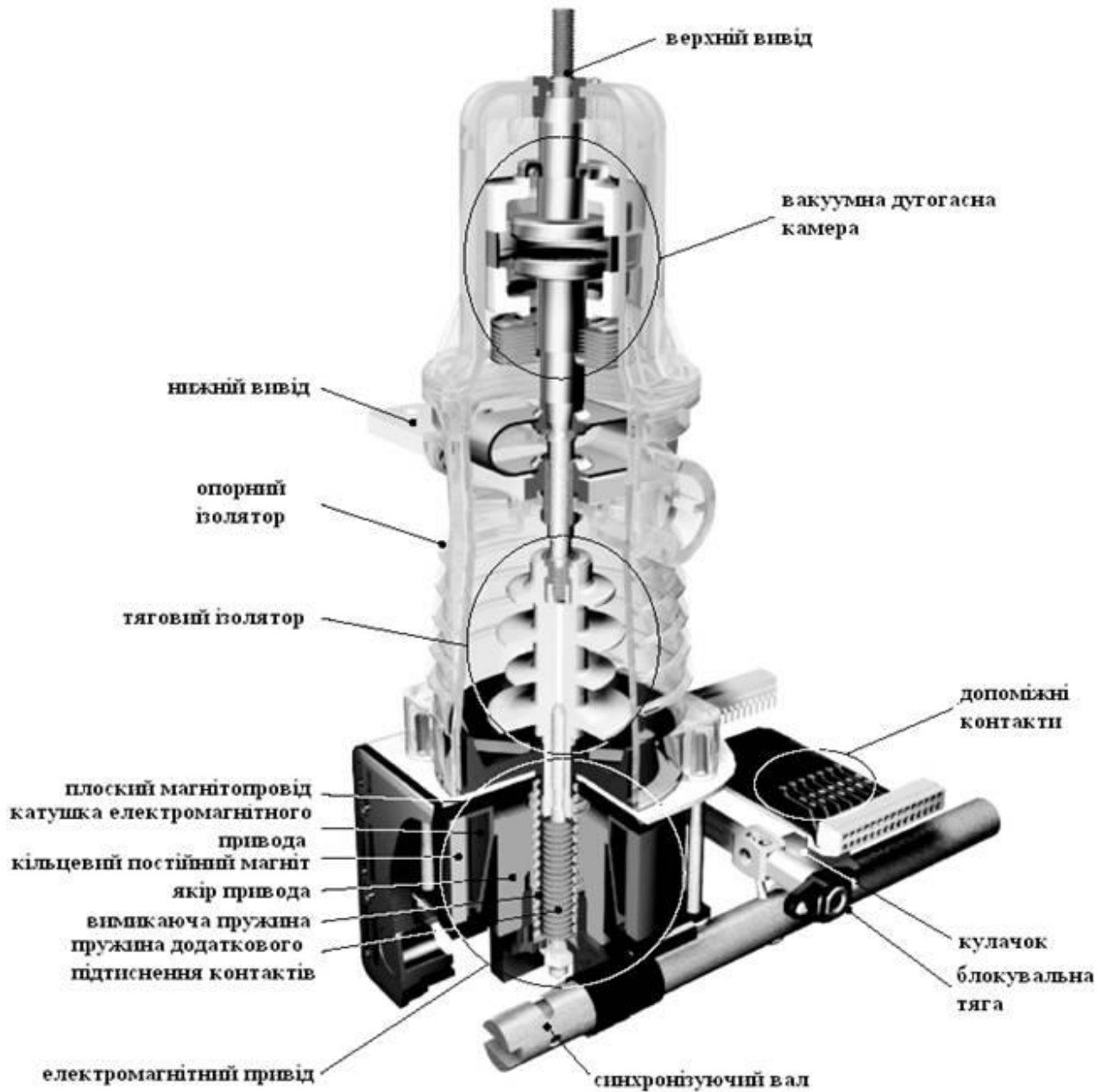


Рисунок 3.3 – Полос вакуумного вимикача серії ВВ/TEL

- горіння електричної дуги в камері вимикача не більше 0,5 періоду;
- невеликі витрати потужності на включення і відключення, а також невеликий час на спрацьовування вимикача;
- повна пожежо- та вибухобезпека на підстанції;

- великий строк служби;
- низькі експлуатаційні витрати на обслуговування і відсутність необхідності в частому обслуговуванні;
- можливість роботи без підігріву при низьких температурах.

На напругу 35 кВ застосовують наступні вакуумні вимикачі: ВБЗП- 35-40,5/1000; ВБЗЕ-35-40,5/1600 (механічний ресурс – 3000 циклів.); ВР-35-40,5/1250; ВР35НС-40,5/1600; (Рівне); ВВН-СЭЩ-35-25/1600; ВВЕ-СЭЩ-35-20/1600; ВВН-35-25/1600; ВБСК-10-20/630; ВВТЭ-М-10-20/1000 (Росія).

На напругу 10 кВ застосовують наступні вакуумні вимикачі: ВВ/TEL - 10-12,5/1000; ВВ/TEL-10-25/1600; ВВ/TEL-20-16/800 (на 20 кВ) (Севастополь); ВВПК-В-10 (Мінськ); ВР1-10-20/1000; ВР2-10-31,5/2000 (Рівне); ВВ/АЭ-10-20/1000; ВВУ-СЭЩЭ-10-20/1600 (Росія).

Елегазові вимикачі – для гасіння дуги застосовується спеціальний пристрій, який забезпечує обертання дуги (від взаємодії її струму з магнітним полем постійних магнітів) в елегазі (SF₆ – шестифториста сірка). Елегаз має велику електричну міцність не горить і не підтримує горіння.

ВЭМ-6; ВЭ-6; ВЭС-6 – вимикачі застарілих серій.

$I_1=1600; 2000 \text{ A}; I_{\text{відкл}} = 40 \text{ кА};$

LF1-10; HD4-12 – сучасні елегазові вимикачі на напругу 10 кВ.\

ВГТ-35 – на напругу 35 кВ.

Повітряні, електромагнітні, елегазові вимикачі практично не використовують в сільських електричних мережах.

Приводи високовольтних вимикачів необхідні для їх вмикання, утримування в цьому положенні та вмикання високовольтного вимикача.

Незалежно від конструкції привод має механізм вмикання, заскочку (для фіксації положення “ввімкнено”) і механізм вимикання.

Найскладнішою операцією є вмикання вимикача, бо при цьому потрібно подолати тертя, опір пружин вмикання. Для цього привод повинен мати запас кінетичної енергії. Це може бути енергія піднятого вантажу (вантажний привід) або заведена пружина (пружинний привід).

– **Вантажні приводи** ПГ і ПГМ набули широкого застосування в сільських електроустановках, але вони мають ряд істотних недоліків і тому їх виробництво тепер припинено.

Найбільш поширеними в сучасній практиці для керування масляними і безмасляними вимикачами є автоматичні пружинні та електромагнітні приводи.

Пружинні приводи ПП-67; ППМ-10; ПП-74 та ін. – вмикання вимикача здійснюється попередньо стиснутою (заведеною) вимикаючою пружиною, яку можна заводити від руки або автоматичним моторним редуктором (АМР). Ці приводи можуть автоматично або дистанційно вмикатись багаторазово. Застосовуються для вимикачів напругою 10...35 кВ, забезпечують ручне або дистанційне (за рахунок вмонтованих електромагнітів) включення та відключення.

Основним недоліком пружинних приводів є складна механічна конструкція, через яку вони часто відмовляють.

Електромагнітні (соленоїдні) приводи вмикають апарати потужним електромагнітом. Вони використовуються для керування потужними вимикачами. Надійні в експлуатації, прості за конструкцією, але споживають значну потужність від мережі постійного струму. Найбільш легкий сучасний привод ПЭ-11. Для вакуумних вимикачів серії ВВ/TEL застосовують вмонтовані електромагнітні приводи малої потужності (один на кожний полюс вимикача).

Пневматичні приводи призначені для повітряних вимикачів, працюють на стисненому повітрі. Вони конструктивно прості, мають невеликі розміри, високу швидкість вмикання, а енергія легко накопичується в простих повітряних резервуарах. Останнім часом їх використовують навіть в тих електроустановках, в яких немає повітряних вимикачів.

4 Вказівки до підготовки до лабораторної роботи

4.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Комутаційні апарати напругою понад 1000 В та приводи до них». [2 с.253-277; 3 с. 251-271; 4 с. 264-285; 5 с. 166-176; 6 с. 126-140; 7 с.229-236; 8 с. 133-148; 9 с. 200-206; 10 с.98-112.]

4.2 Вивчити конструкцію масляних, вакуумних, повітряних та елегазових вимикачів.

4.3 Вивчити процес гасіння дуги у вимикачах.

4.4 Вивчити принцип дії приводів, що використовуються для керування вимикачами.

4.5 Підготувати таблицю 3.1.

4.6 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики високовольтних вимикачів

Но- мер по- зиції	Тип вими- кача	Номі- нальна напру- га, кВ	Номіна- льний струм, А	Номі- нальн. струм відклю- чення, кА	Максим. струм терміч- ної стій- кості, кА/с	Час від- ключен- ня (із приво- дом), с	Час вклю- чення (із при- водом), с	Тип при- вода

5 Вказівки до виконання лабораторної роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

5.1 На стендах і за плакатами вивчити конструкцію та принцип дії високовольтних вимикачів та приводів до них.

5.2 Вивчити область застосування вимикачів та їх характеристики.

5.4 Виписати основні технічні характеристики різних типів високовольтних вимикачів.

6 Вказівки із оформлення звіту

Звіт повинен містити:

6.1 Ескізи конструкції масляних вимикачів.

6.2 Ескізи конструкції вакуумних вимикачів.

6.3 Таблицю із основними технічними характеристиками вимикачів.

7 Контрольні запитання

- 7.1 Яке призначення високовольтних вимикачів?
- 7.2 У чому переваги малооб'ємних масляних вимикачів у порівнянні із багатооб'ємними?
- 7.3 Як відбувається гасіння дуги в малооб'ємних масляних вимикачах?
- 7.4 Які типи вимикачів ви знаєте, де їх застосовують?
- 7.5 Як здійснюється керування вимикачем?
- 7.6 Яка частина конструкції вимикача заземлена, а яка перебуває під напругою?
- 7.7 Назвіть основні частини конструкції масляного малооб'ємного вимикача?
- 7.8 Назвіть основні частини конструкції вакуумного вимикача?
- 7.9 Поясніть конструкцію дугогасильної камери у малооб'ємному вимикачі?
- 7.10 Яке призначення масла у масляних вимикачах різного типу?
- 7.11 Які умови гасіння дуги?
- 7.12 Який принцип дії вакуумного вимикача?
- 7.13 Назвіть основні переваги вакуумних вимикачів у порівнянні з іншими типами вимикачів?
- 7.14 Як відбувається гасіння дуги у вакуумних вимикачах?
- 7.15 Опишіть принцип дії повітряного вимикача?
- 7.16 Назвіть переваги та недоліки повітряного вимикача?
- 7.17 Опишіть принцип дії електромагнітного вимикача?
- 7.18 Назвіть переваги та недоліки електромагнітного вимикача?
- 7.19 Опишіть принцип дії элегазового вимикача?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ РОЗ'ЄДНУВАЧІВ, ВИМИКАЧІВ НАВАНТАЖЕННЯ, ВІДДІЛЬНИКІВ, КОРОТКОЗАМИКАЧІВ І ПРИВОДІВ ДО НИХ

1 Мета роботи

Вивчити конструкцію та призначення роз'єднувачів, вимикачів навантаження, віддільників, короткозамикачів і приводів до них.

2 Програма роботи

2.1 Вивчити елементи конструкції, принцип дії, призначення й технічні характеристики комутаційних апаратів і приводів до них:

- РВ–10/400 із приводом ПР–2;
- РЛНД–10/400 із приводом ПРН–10М;
- РНД–35/1000В1 із приводом С1;
- вимикач навантаження ВНП–16 і ВНП–17 із приводом ПР–17
- віддільник ОД-110;
- короткозамикач КЗ-110.

3 Основні теоретичні відомості

Роз'єднувачами називають комутаційні апарати, які використовують для вмикання і вимикання електричних кіл напругою вище 1000 В без струму і для створення видимого розриву кола у повітрі. За умовами техніки безпеки, при ремонті обладнання розподільчих пристроїв, в струмопровідних частинах електроустановки з усіх боків, звідки може бути подана напруга, повинен бути видимий розрив. Ця вимога здійснюється роз'єднувачем.

Контактна система роз'єднувачів не має дугогасильного пристрою і тому в разі помилкового відключення їх під струмом навантаження виникає стійка дуга, що може привести до аварії в розподільчому пристрої.

Роз'єднувачі повинні забезпечувати електродинамічну та термічну стійкість при протіканні струмів к.з., чітке включення та відключення при най-

гірших умовах роботи, необхідну механічну міцність, повинні включати можливість довільного відключення.

В роз'єднувачах серії РВ (внутрішнього встановлення) (рисунок 4.1) на загальній металевій рамі 4 скомплектовані три однополюсні роз'єднувачі з загальним валом і приводним важелем 3 для трьох полюсів.

Нерухомі контакти представляють собою зігнуті під кутом 90° мідні шини. Ножі кожної фази (рухомі контакти) виготовлені із двох пластин, які при замиканні охоплюють нерухомі контакти. Тиск в контактах забезпечується за рахунок пластинчатих фігурних пружин.

Для забезпечення довільного відключення роз'єднувача внаслідок електродинамічної дії струмів к.з. використовують **магнітний замок** – дві сталеві пластини закріплені ззовні на кінцях ножа. Роз'єднувачі типу РВ здебільшого мають ручний привод типу ПР.

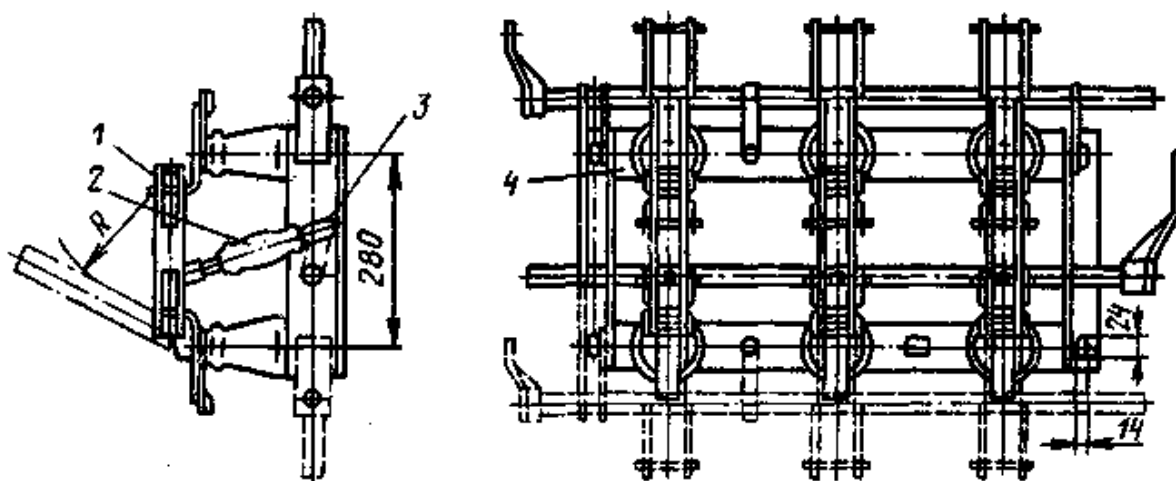


Рисунок 4.1 – Роз'єднувач внутрішнього встановлення РВ3-10/400

Роз'єднувачі зовнішнього встановлення повинні мати підвищену механічну міцність, щоб забезпечити без великих зусиль приводу руйнування ожеледі в місцях розходження контактів і рухомих частин роз'єднувача. Ізоляція цих роз'єднувачів повинна також відповідати умовам роботи на відкритому повітрі в несприятливих умовах (розвинена ребриста поверхня ізоляторів).

РЛНД-10/400 (рисунок 4.2) – роз'єднувач лінійний, зовнішнього встановлення, двоколонковий із мідними ножами: $I_n = 400$ А; $U_n = 10$ кВ;

РЛНДА-10 – теж саме, але із алюмінієвими ножами на 200;400; 630А;

Ножі вказаних роз'єднувачів закріплені на нерухомих ізоляторах і при повороті входять між ламелей нерухомого контакту.

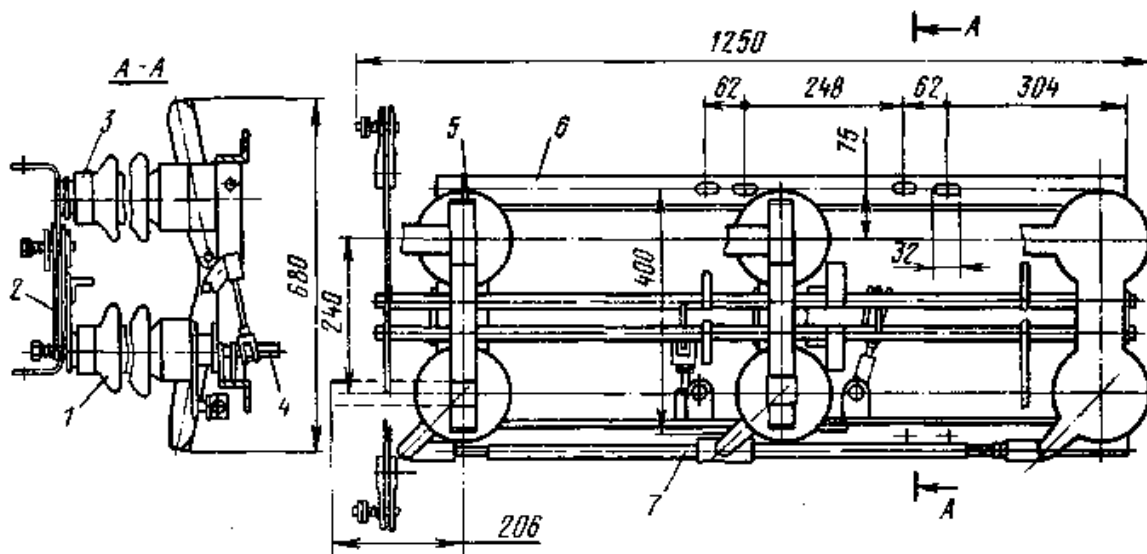


Рисунок 4.2 – Роз'єднувач зовнішнього встановлення РЛНД-10

На сьогодні відомі також роз'єднувачі типу РЛНТ-10 – роз'єднувач лінійний, зовнішнього встановлення із трьома опорними колонками (ізоляторами). Він забезпечує два розриви на фазу. Може забезпечуватися одним або двома заземлюючими ножами.

У відкритих електроустановках напругою 35...500 кВ використовують роз'єднувачі типу **РНД** або **РНДЗ** (із заземлюючими ножами) наприклад РНД-35/1000; РНДЗ-110/1000. Ці роз'єднувачі мають по два рухомі ізолятори на фазу і відповідно два рухомих напівножі, що спрощує розмикання мережі.

Вимикачі навантаження представляють собою прості **автогазові вимикачі**. Їх використовують в електричних установках невеликої потужності із струмом к.з. до 400...630 А для вмикання і вимикання струму навантаження і не призначені для комутації струмів к.з. Ці функції, в деяких вимикачах навантаження, можуть виконувати запобіжники. Іноді ці вимикачі також називають **роз'єднувачами потужності**.

Найбільш поширені вимикачі навантаження типу **ВН-16 (ВН-17)** на напругу 10 кВ. При вимиканні дуга гаситься в дугогасильній камері з газогенеруючою речовиною (органічне скло). Ці вимикачі виготовляють на базі роз'єднувача типу РВ-10/400. У них додатково встановлюють дугогасні контакти, дугогасну

камеру 5, пружини вимикання 9 і буфер 10. Силкові кола від струму к.з. захищаються запобіжниками 3 – **вимикачі ВВП-16 та ВВП-17** (рисунок 4.3). Вимикачі навантаження можуть комплектуватися заземлюючими ножами.

Необхідна швидкість розмикання контактів забезпечується двома пружинами відключення 9.

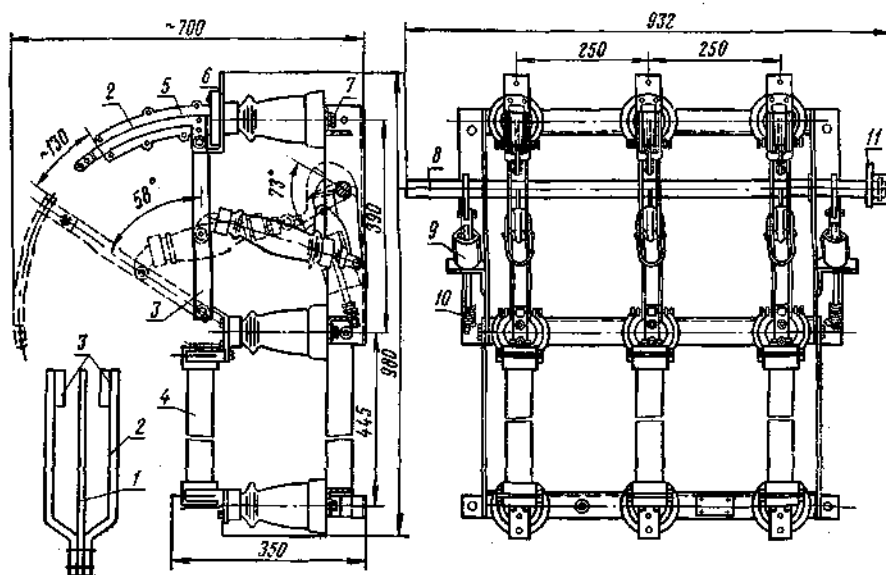


Рисунок 4.3 – Вимикач навантаження ВВП-16 (ВВП-17)

При перегоранні вставки одного запобіжника живлення споживачів, приєднаних за вимикачем навантаження, буде неповнофазним. Цей недолік усунуто у вимикачі ВВП-17 (ВНТ-17), який вимикається спеціальним автоматичним пристроєм після перегорання хоча б одного запобіжника.

Для керування вимикачами навантаження можна використати електромагнітний привід ПЭ-11С, а керування ножами заземлення здійснюють приводом ПР-10.

ВНВ-10/320 – вакуумний вимикач навантаження.

На даний час використовують вимикачі навантаження ВНА-Л-10/630, ВНР-10/400, ВНР-10/630, ВВП-Д-10/630, ВВП-10/400, ВВП-М1-10/630. Більшість із них має вмонтований пружинний привод, що дозволяє їх використовувати для автоматики мереж.

До сучасних вимикачів навантаження відносяться вимикачі ВНТЭ із елегазовою ізоляцією (рисунок 4.4) на струм 630 та 1000А.

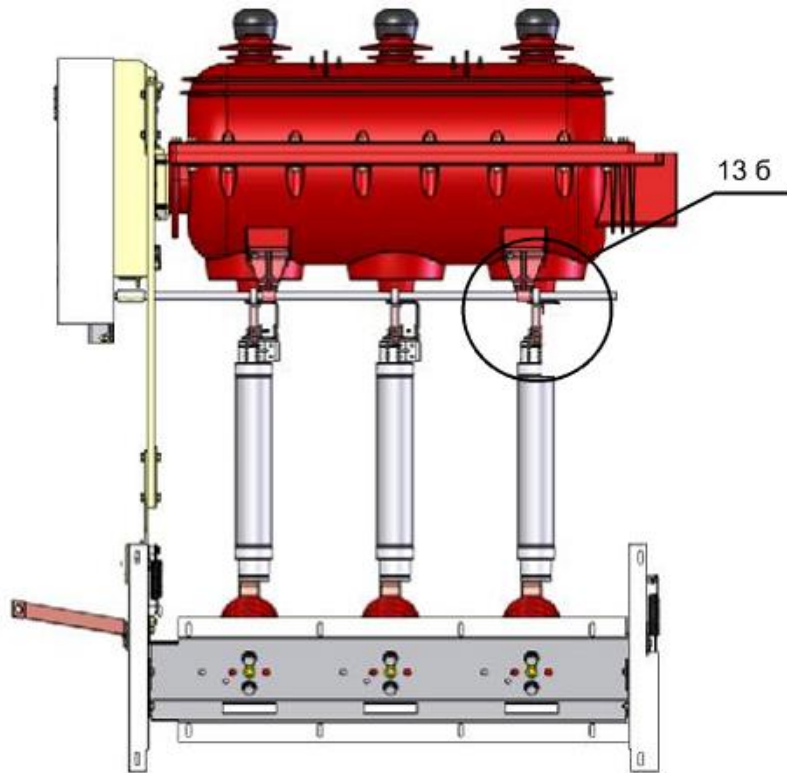


Рисунок 4.4 – Трипозиційний вимикач навантаження ВНТЭ із елегазовою ізоляцією

Для спрощення системи захисту та зменшення вартості електропостачання на підстанціях, що живляться від магістральних ліній 35...220 кВ, замість високовольтних вимикачів часто встановлюють комплект із **короткозамикачів та віддільників** (рисунок 4.5).

Конструкція віддільників напругою 35, 110 кВ (рисунок 4.5, б) подібна до конструкції двоколодкових роз'єднувачів зовнішнього встановлення. **Замикається віддільник** ручним приводом. **Відключатися** може ручним приводом або автоматично за допомогою електромагніту, який звільняє заскочку, що втримує заведену пружину відключення. Віддільник може комплектуватися заземлюючими ножами.

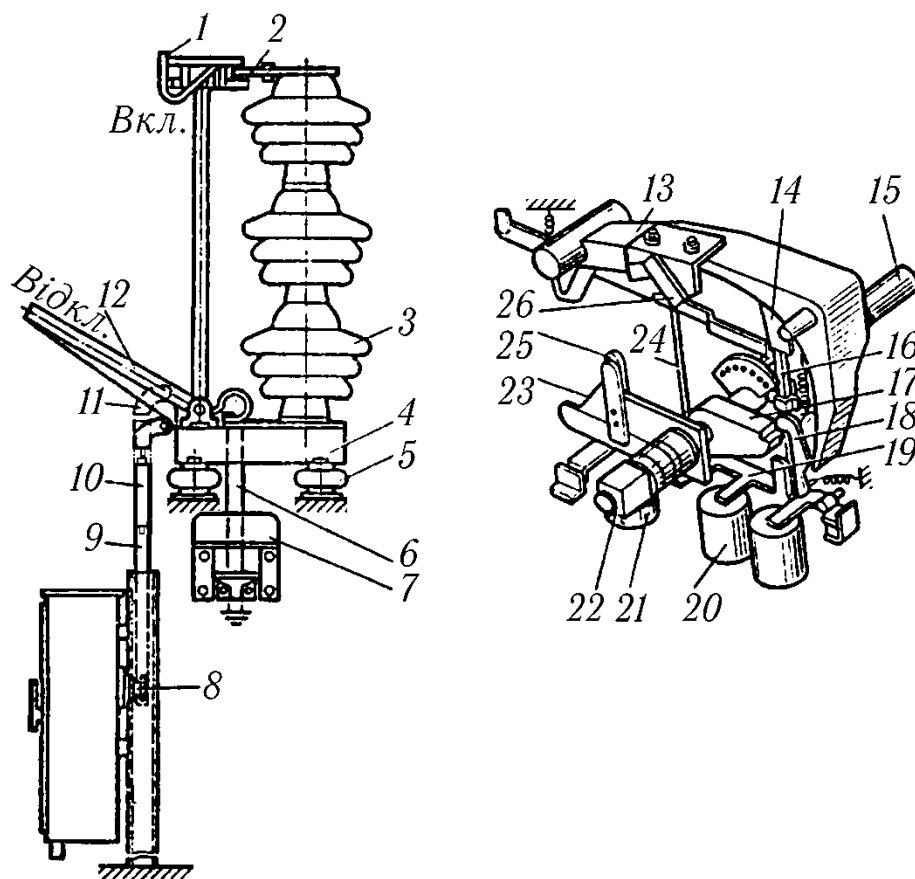


Рисунок 4.5 – Короткозамикач КЗ–110 (а) та його привод (б)

Короткозамикач КЗ–110 (рис. 4.5 а) складається зі зварної рами 4, на якій встановлена колонка з трьох ізоляторів 3 з нерухомим контактом 2 та екрануючим кільцем 1. Ніж 12 короткозамикача виготовлений з сталеві труби, в верхній частині передбачений мідний контакт. Рама та ніж електрично з'єднані за допомогою гнучкого зв'язку. Ніж закріплений на валу, який з'єднаний двоплечим важелем 11 з приводом 8, тягою 9 з ізолюючою вставкою 10. Короткозамикач встановлений на ізоляторах 5, його ніж з'єднаний із заземлюючим пристроєм шиною 6, яка пропущена через спеціальний трансформатор струму 7 (ТШЛ–0,5).

Для включення короткозамикача комутують коло електромагніту відключення миттєвої дії через пристрої релейного захисту чи контакти ключа керування. Привод (рис. 4.5 б) короткозамикача оснащений пружиною, яка забезпечує включення ножа на нерухомий контакт, що знаходиться під напругою. Відключають короткозамикач вручну.

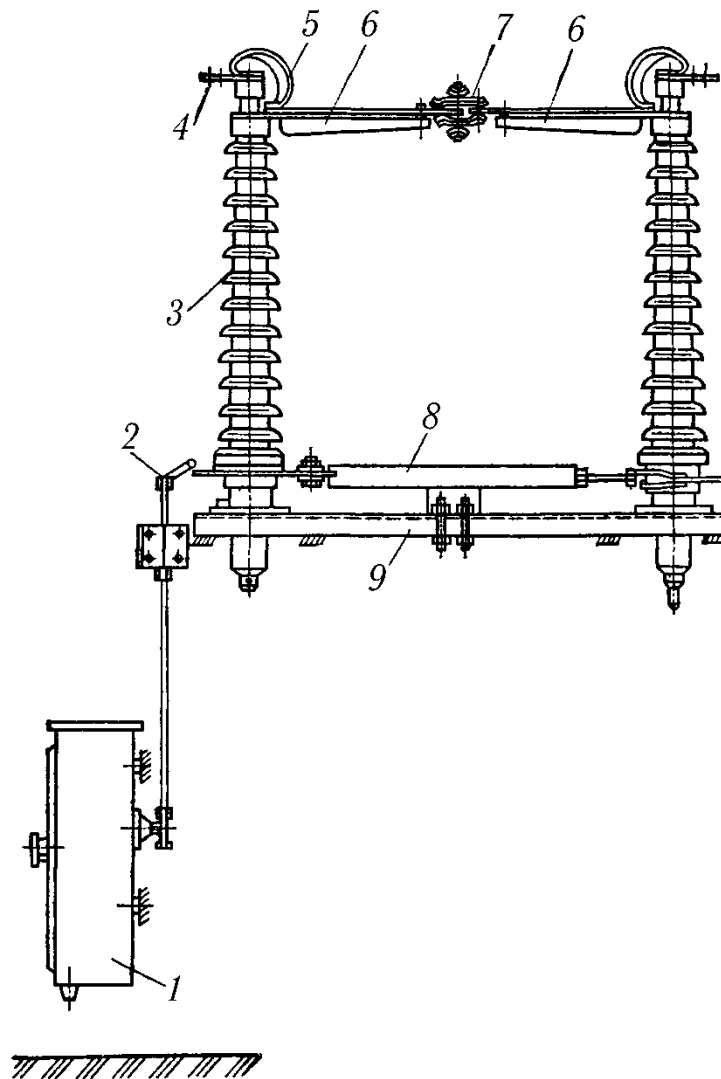


Рисунок 4.6. - Віддільник ОД–110/600

Віддільник ОД–110/600 (рис. 4.6) виконаний у вигляді двоколонкового апарата з обертанням ножів в горизонтальній площині. Ізоляційні колонки 3 встановлені на підшипниках, які вбудовані в цоколь 9. До верхньої частини ізоляційних колонок прикріплені головні контактні ножі 6, на одному з яких встановлені контактні ламелі 7. Контактні виводи 4 з'єднані з головними контактними ножами 6 за допомогою гнучких зв'язків 5 із стрічкової міді. Відключення віддільника відбувається за рахунок енергії, що накопичується одночасно з включенням віддільника в двох пружинах стиснення, які встановлені на міжколонковій тязі та закритих зверху захисним кожухом 8. Зусилля від приводу 1 на включення віддільника передається через систему важелів 2. Віддільник включають вручну, а відключають дистанційно та автоматично.

Короткозамикач на напругу 35, 110 кВ представляє собою роз'єднувач із розташованими вертикально ножами. На напругу 35 кВ застосовують два полюси короткозамикача, а на напругу 110 кВ і вище – один. **Відключають короткозамикач** за допомогою ручного приводу. **Вмикання короткозамикача** відбувається автоматично за допомогою електромагніту, який звільняє заскочку, що утримує заведену пружину включення.

Виготовляють віддільники: ОД-35/630; ОДЗ-1-35/630; ОД-110/1000; ОДЗ-1-110/1000.

Виготовляють короткозамикачі: КЗ-35Т1; КРН-35; КЗ-110; КЗ-110Б.

Для включення та відключення комутаційних апаратів використовують спеціальні пристрої – **приводи**.

Приводи до апаратів можуть бути: **ручні, вантажні, пружинні, електродвигунні, електромагнітні і пневматичні**. За дією вони можуть бути **автоматичними, напівавтоматичними і неавтоматичними**.

Для керування роз'єднувачем, як правило, використовують ручний важільний або черв'ячний привод. Однополюсні роз'єднувачі приводять у дію також за допомогою ізольованої штанги.

Наявність приводу дає можливість виконувати механічне або електричне блокування роз'єднувача і вимикача для запобігання помилкових операцій з цими комутаційними апаратами.

В сільській енергетиці найбільш поширені ручні важільні приводи ПР-10; ПРБА і ПРА. Вони прості, надійні, зручні в експлуатації. Істотним їх недоліком є неможливість дистанційного вмикання.

Короткозамикачами і віддільниками керують за допомогою приводів типу: ПГ-10-К і ПГ-10-О або ШПК і ШПО.

Вимикачі навантаження комплектуються приводом ПР-17 (з ручним вмиканням та вимиканням) або ПРА-17 (з ручним вмиканням і ручним або автоматичним вимиканням), ПЭ-11 (з дистанційним або автоматичним включенням та відключенням).

4 Вказівки до підготовки до лабораторної роботи

4.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Комутаційні апарати на-

пругою понад 1000 в та приводи до них». [2 с.253-277; 3 с. 251-271; 4 с. 264-285; 5 с. 166-176; 6 с. 126-140; 7 с.229-236; 8 с. 133-148; 9 с. 200-206; 10 с.98-112.]

4.2 Розглянути конструкцію роз'єднувача РВ-10/400 та РЛНД-10.

4.3 Розглянути конструкцію вимикачів навантаження, віддільників та короткозамикачів.

5 Вказівки до виконання лабораторної роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

5.1 На стенді і за плакатами вивчити конструкцію та принцип дії роз'єднувачів і приводів до них РВ–10/400 із приводом ПР–2, РЛНД–10/400 із приводом ПРН–10М, РНД–35/1000В1 із приводом С1, вимикачів навантаження ВНП–16 і ВНП–17 із приводом ПР–17, віддільником ОД-110 і короткозамикачем КЗ-110.

5.2 Вивчити область застосування комутаційних апаратів.

5.4 Виписати в таблицю основні технічні характеристики різних типів роз'єднувачів, вимикачів навантаження, віддільників і короткозамикачів.

6 Вказівки із оформлення звіту

Звіт повинен містити:

6.1 Ескіз основних складових частин роз'єднувачів і вимикачів навантаження.

6.2 Ескіз основних складових частин віддільників і короткозамикачів.

6.3 Ескіз приводів до роз'єднувачів і вимикачів навантаження.

6.4 Ескіз приводів до віддільників і короткозамикачів.

6.5 Таблиці з технічними характеристиками комутаційних апаратів.

7 Контрольні запитання

7.1 Призначення роз'єднувачів.

7.2 Де застосовують роз'єднувачі РВ-10/400 та РЛНД-35/1000?

7.3 Як здійснюється керування роз'єднувачем?

7.4 Які групи роз'єднувачів існують за місцем встановлення, кількості полюсів, конструкції та способу встановлення?

- 7.5 Яке призначення магнітного замка роз'єднувача?
- 7.6 Як виконано блокування основних і заземлюючих ножів роз'єднувача?
- 7.7 Чому роз'єднувачами не можна відключати струми навантаження й короткого замикання?
- 7.8 Призначення вимикачів навантаження.
- 7.9 Чи можливе вимикання струмів короткого замикання вимикачем навантаження?
- 7.10 Чим відрізняються вимикачі навантаження від роз'єднувачів?
- 7.11 Чому для мереж напругою 35 кВ використовують двополюсні короткозамикачі, а для мереж 110 кВ та вище – однополюсні?
- 7.12 Які типи приводів використовують для керування роз'єднувачами, віддільниками, короткозамикачами та вимикачами навантаження?
- 7.13 З якою метою з вимикачем навантаження встановлюють запобіжник?
- 7.14 Призначення короткозамикачів і віддільників.
- 7.15 Особливості керування короткозамикачами та віддільниками?
- 7.16 Чим відрізняються віддільники й короткозамикачів від роз'єднувачів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ І НАПРУГИ

1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією, принципом дії і схемами включення приладів для трансформаторів струму і напруги.

2 Програма роботи

2.1. Вивчити конструкцію та принцип дії трансформаторів струму.

2.2. Розробити схему для перевірки величини коефіцієнта трансформації трансформатора струму.

2.3. Визначити призначення обмоток і виводів трансформатора напруги.

2.4. Розібратися зі схемою підключення лічильника в мережі 380 В.

2.5. Вивчити схему підключення вимірювальних приладів в комірці 10 кВ.

3 Основні теоретичні відомості

3.1 Принцип дії трансформаторів струму

Трансформатори струму (ТС) служать для пропорційного зниження первинного струму у вторинний і для ізоляції вторинних кіл від первинних. Зниження первинного струму необхідно для зниження габаритів вимірювальних приладів. Всі ТС повинні мати маркування первинних і вторинних кіл. Початок і кінець первинної обмотки позначаються відповідно Л1 і Л2, а вторинної - И1 і И2. В умовному позначенні ТС відбивається наявність двох обмоток.

На відміну від силових трансформаторів і трансформаторів напруги для трансформаторів струму номінальною є режим короткого замикання вторинної обмотки, а небезпечним – режим холостого ходу, коли порушується цілісність вторинного кола. Це обумовлюється принципом дії трансформатора струму (рисунок 5.1). Струм навантаження споживачів I_1 протікає по первинній обмотці з числом витків W_1 . Цей струм створює МДС $I_1 W_1$.

Під дією цієї МДС через магнітопровід замикається магнітний потік Φ_1 .

Магнітний потік Φ_1 індукуює у вторинній обмотці з числом витків W_2 ЕРС E_2 .

При замиканні вторинної обмотки на опір у вторинному колі протікає струм I_2 , цей струм створює свою МДС $I_2 W_2$ і свій магнітний потік Φ_2 , який за правилом Ленца спрямований назустріч потоку Φ_1 .

Сумарний магнітний потік $\Phi_{\text{сум}}$, що проходить через магнітопровід, дорівнює різниці магнітних потоків Φ_1 і Φ_2 .

$$\Phi_{\text{сум}} = \Phi_1 - \Phi_2. \quad (5.1)$$

$\Phi_{\text{сум}}$, на який розраховується магнітопровід, за величиною набагато менше потоку Φ_1 , і амплітуда синусоїди вторинної ЕРС має невелике значення. Відповідно невелика напруга буде на навантаженні у вторинному колі. Так при $Z_{2\text{доп}} = 0,6$ Ома при номінальному навантаженні в первинному колі

$$U_{2\text{ном}} = I_{2\text{ном}} Z_{2\text{доп}}, \quad (5.2)$$

$$U_{2\text{ном}} = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ В.}$$

Така напруга не представляє небезпеки для обслуговуючого персоналу, навіть якщо він торкається одночасно до двох виводів вторинного кола трансформатора струму. Якщо розривається вторинне коло трансформатора струму, коли по первинному колу протікає номінальний струм споживачів, то зникає потік, створюваний вторинною обмоткою Φ_2 , а через магнітопровід намагається пройти потік Φ_1 .

Оскільки перетин магнітопроводу не розрахований на пропускання такого великого магнітного потоку, то магнітопровід насичується і нагрівається. Зовні це проявляється в почорнінні магнітопроводу через обвуглювання меж-листової ізоляції. Від магнітопроводу нагріваються обмотки, їх ізоляція обвуглюється.

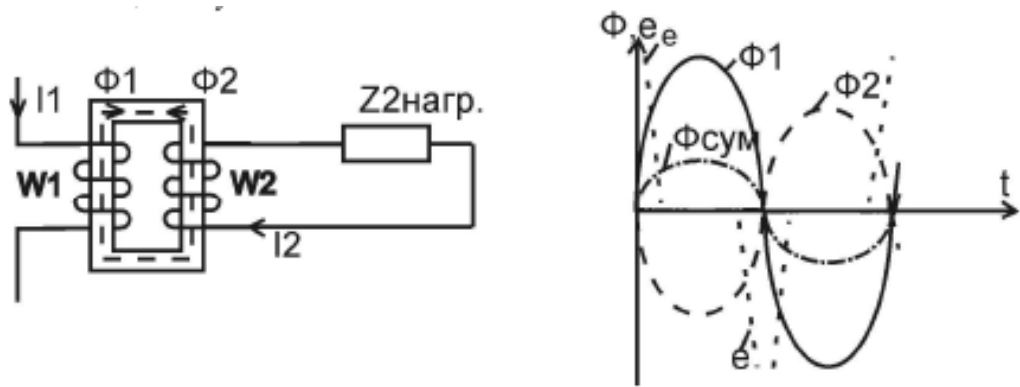


Рисунок 5.1 - Принцип дії трансформатора струму

Крім цього, при розриві вторинної обмотки в місці розриву з'являється висока напруга, що досягає за амплітудою декількох кВ. Це викликається тим, що в момент переходу магнітного потоку Φ_1 через нульове значення швидкість зміни магнітного потоку різко збільшується в порівнянні з $\Phi_{\text{сум}}$. Тоді на вторинній обмотці наводиться ЕРС

$$e_2 = -W_2 (d\Phi_1 / dt) \quad (5.3)$$

Трансформатор струму перетворюється на своєрідний пік-трансформатор. ЕРС наводиться тільки в моменти переходу магнітного потоку через нульове значення. Піки ЕРС досягають величини декількох кВ. Включення людини в коло розірваної вторинної обмотки призводить до ураження електричним струмом.

Більшість щитових приладів для підстанцій і електростанцій виготовляються на номінальний струм 5 А, тому і номінальний вторинний струм ТС складає 5 А. Важливою характеристикою ТС є коефіцієнт трансформації, який показує відношення первинного струму до вторинного, наприклад, 100/5 (вимовляють 100 на 5). Цей коефіцієнт трансформації вказується на амперметрі, тоді шкала амперметра градується в первинних токах, хоча по обмотці амперметра протікає вторинний струм.

100/5 означає, що при протіканні первинного струму 100 А по вторинному колі буде циркулювати струм 5 А, зміна первинного струму призведе до пропорційної зміни вторинного струму. Якщо до ТС підключається декілька

приладів, то вони з'єднуються послідовно. У тих випадках, коли опір (навантаження) вторинного кола перевищує допустимий, ТС виходить з класу точності. Розрізняють струмову і кутову похибки, на її величину вказує клас точності осердя. По класу напруги ТС діляться на низьковольтні і високовольтні.

3.2 Низьковольтні трансформатори струму

У мережах 0,38 кВ застосовують низьковольтні ТС з класом ізоляції до 1000 В. До вторинних кіл трансформаторів струму підключають амперметри, струмові обмотки лічильників активної та реактивної енергії. Промисловість випускає низьковольтні ТС трьох типів:

- котушкові ТС з шихтованим магнітопроводом типу ТК-20, ТК-40, де 20 і 40 - гранично допустимі опори вторинного навантаження, збільшені в 100 разів;
- з крученим магнітопроводом типу Т-0,66-УЗ. Ці ТС допускають навантаження на вторинне коло 5 ВА.
- малогабаритні ТС вбудовують в амперметри з межами вимірювання змінного струму понад 10 А.

У колах 380 В, що працюють з глухозаземленою нейтраллю ТС встановлюють в кожному з трьох фаз. При необхідності вимірювання струмів у вторинну обмотку підключають амперметри, вимірювання кількості енергії, переданої споживачам здійснюється лічильниками активної енергії. Індукційні трифазні лічильники активної енергії мають три вимірювальні системи, кожна з яких включена на фазний струм і на фазну напругу. Вимірювальні системи діють на два диска, що обертаються в підшипниках і механічно пов'язаних зі шкалою відліку. Потужність, яка проходить через лічильник, в трифазному режимі дорівнює

$$P^{(3)} = P_A + P_B + P_{AC} = I_A U_A \cos \varphi_A + I_B U_B \cos \varphi_B + I_C U_C \cos \varphi_C, \quad (5.4)$$

де $\cos \varphi_A, \cos \varphi_B, \cos \varphi_C$ - кут між струмом і відповідною напругою.

Існують особливості підключення лічильників активної енергії до ТТ в мережах 380 В (рисунок 5.2). Особливість підключення лічильників в мережах

0,4 кВ полягає в тому, що по одним і тим же проводам передається струм від трансформаторів струму в струмові обмотки лічильників і напруга від силового кола до обмоток напруги лічильників. Таке рішення можливе тільки в тому випадку, якщо об'єднати первинні і вторинні обмотки трансформаторів струму. Це збільшує надійність роботи трансформаторів струму, так як виключається пошкодження ізоляції між первинною і вторинною обмотками через рівності їх потенціалів. Але при цьому неприпустимо заземлення вторинної обмотки трансформаторів струму.

За лічильниками здійснюються розрахунки з абонентами за спожиту електроенергію. Для визначення переданої енергії, наприклад, за місяць різниця показань лічильника за певний період часу множать на коефіцієнт трансформації трансформаторів струму $k_{ТА}$.

$$A = (N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}})k_{ТА} \quad (5.5)$$

де $N_{\text{кон}}$, $N_{\text{нач}}$ - покази лічильника на початку і в кінці періоду вимірювання, наприклад, місяця.

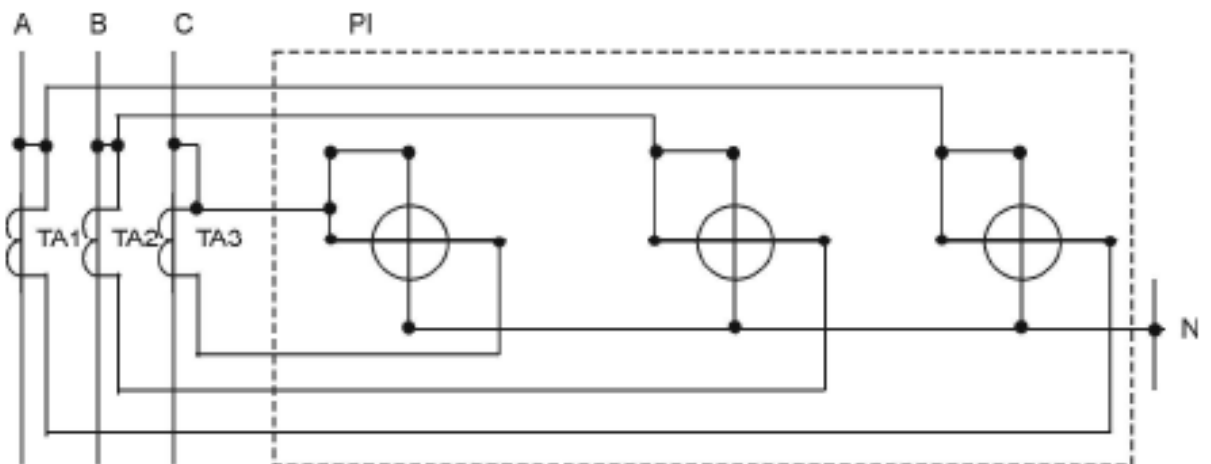


Рисунок 5.2 - Підключення лічильника активної енергії в мережі 380 В

За лічильниками активної енергії можна також визначити середню активну потужність, що проходить через трансформатор. Для цього за певний проміжок часу, наприклад, 30 с відраховують число обертів диска N30. Потім об-

числюють, скільки оборотів диска зробить лічильник при такій швидкості обертання за одну годину, рівний 3600 с.

$$N_{\text{ч}} = (N_{30}/30)3600 \quad (5.6)$$

За табличкою на лічильнику знаходять, наприклад, 1 кВт · год відповідає 1000 об. диска. За цими даними знаходять, скільки кВт · годин на годину відлічить лічильник за $N_{\text{ч}}$ оборотів диска. Це буде середня потужність, яка проходить через лічильник

$$P_{\text{сч}} = lN_{\text{ч}}/1000 \quad (5.7)$$

Для визначення реальної потужності, що передається по лінії, необхідно врахувати коефіцієнт трансформації трансформатора струму

$$P_{\text{д}} = P_{\text{сч}}k_{\text{ТА}} \quad (5.8)$$

3.3 Високовольтні трансформатори струму

У мережах 6 ... 10 кВ встановлюють ТТ з двома вторинними обмотками. Для цього два магнітопроводи розміщуються на одній вторинній обмотці. На кожному магнітопроводі розміщена вторинна обмотка. Одна вторинна обмотка служить для підключення струмових кіл вимірювальних приладів, а друга - для підключення струмових захистів.

ТТ позначають: ТПЛ-10У3, 300/5: - Т - трансформатор струму; П - прохідний; -Л - з литою ізоляцією; -10 - клас ізоляції ТТ; У3 - для помірного клімату з установкою всередині приміщення; 300 номінальний струм первинної обмотки; 300/5 - коефіцієнт трансформації ТТ за струмом.

Осердя класу Р призначені для підключення кіл релейного захисту. На них допускається більш навантаження, ніж на осердя класу 0,5. Тому осердя класу Р мають більший перетин магнітопроводу, ніж класу 0,5. Коли по первинній обмотці протікає струм короткого замикання (к.з.), у вторинних колах релейного захисту, підключених до осердя класу Р, похибка не повинна перевищувати 10%. Існують спеціальні криві 10% -ої похибки, за якими визначають

допустиме навантаження для вторинного кола в залежності від кратності струму к.з.

На підстанції ТТ встановлюють на всіх приєднаннях, де протікають робочі струми.

Поряд з ТТ, що включаються на фазні струми, широке застосування отримали трансформатори струму нульової послідовності (ТТНП). У ТТНП магнітопровід охоплює три фази силової мережі. Ці трансформатори називають кабельними, оскільки часто їх надягають на оболонку кабелю. Розшифровується назва ТТНП наступним чином. ТЗЛМ1: ТЗ - трансформатор для захисту від замикань на землю (земельний захисту); - Л - з литою ізоляцією (епоксидна смола); - М1 модель трансформатора; УЗ - для помірною клімату з установкою всередині приміщення.

Коефіцієнт трансформації ТЗЛМ дорівнює 25, але слід враховувати, що він реагує на суму струмів трьох фаз. При симетричному трифазному навантаженні сигнал на виході вторинної обмотки відсутній. З'являється сигнал тільки при появі замикання на землю в мережі з ізольованою нейтраллю. В цьому випадку сума струмів трьох фаз не дорівнює нулю, а струм замикання на землю циркулює через ємності непошкоджених фаз.

Для контролю за режимом роботи мережі на всіх лініях 10 кВ, що відходять від підстанції, а також на вводі живлення від силового трансформатора підстанції до шин встановлюють амперметри, лічильники активної і реактивної енергії. Їх підключають до трансформаторів струму своєї лінії і до трансформатора напруги, який живиться від шин секції, до якої підключена лінія (рисунк 5.3).

Лічильники активної енергії мають два вимірювальних механізми, кожен з них включається на струм фази і на лінійну напругу. При цьому вимірюється енергія, що передається по трьох фазах ..

Для визначення переданої по лінії 10 кВ енергії слід враховувати не тільки коефіцієнт трансформації трансформатора струму, а й коефіцієнт трансформації трансформатора напруги. Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму на кожній лінії індивідуальний, а трансформатор напруги загальний для всіх лічильників, встановлених в комірках однієї секції. Зазвичай коефіцієнт

трансформації трансформаторів напруги k_{TV} для мереж 10 кВ $10000/100 = 100$. Тоді після зняття показань лічильника передану енергію визначають за формулою

$$A = (N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}})k_{TA}k_{TV} \quad (5.9)$$

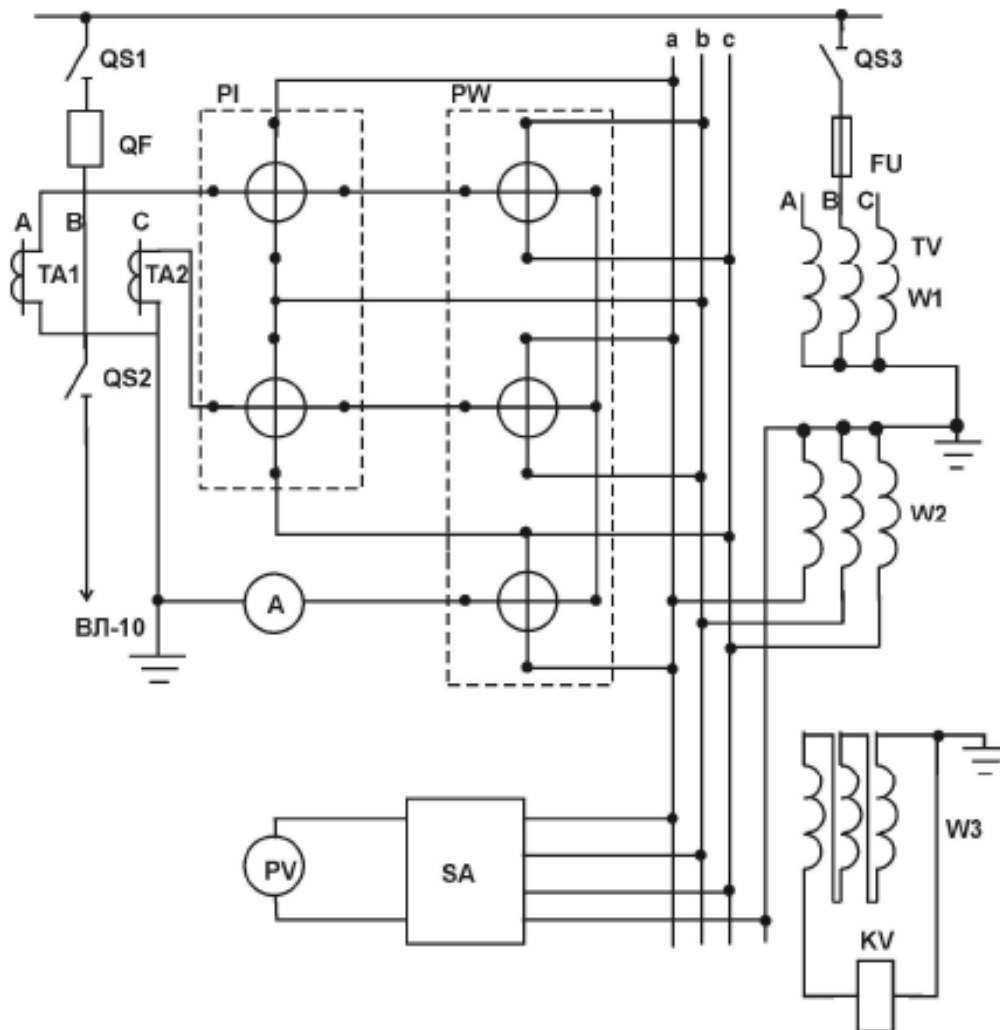


Рисунок 5.3-Підключення вимірювальних приладів в комірці 10 кВ

У мережах з ізолюваною нейтраллю трансформатори струму встановлюють в двох фазах. Це пов'язано з тим, що в мережах з ізолюваною нейтраллю не буває однофазних коротких замикань, а пошкодження ізоляції однієї з фаз призводить до протікання ємнісного струму замикання на землю. Відключаються тільки міжфазні к.з., на які реагують один або два ТТ в двох фазах. Вторинні кола трансформаторів струму і струмові обмотки приладів найчасті-

ше з'єднують за схемою неповної зірки. Але в лічильнику реактивної енергії три обертаючі елементи, тому два з них включаються на фазні струми, а третій на суму струмів двох фаз, як і амперметр в зворотній провід. У зворотньому проводі протікає геометрична сума вторинних струмів двох фаз. Ця сума дорівнює за величиною струму третьої фази, якби в ній був встановлений трансформатор струму. Кажуть, що амперметр вимірює струм «відсутньої фази».

Трансформатори струму в трифазних колах з'єднуються за схемами повної зірки в чотирьох провідних мережах або неповної зірки в мережах з ізольованою нейтраллю. Для складання схеми з двох або трьох трансформаторів струму необхідно знати полярність виводів обмоток. Зазвичай, виводи трансформаторів струму мають літерно-цифрове маркування: початок і кінець первинної обмотки позначають відповідно Л1 і Л2, а початок і кінець вторинної обмотки И1 і И2. Іноді таке маркування відсутнє або його доводиться перевіряти після монтажу трансформаторів струму. Визначення полярності виводів проводиться за допомогою джерела постійного струму і мілівольтметра (рисунок 5.4).

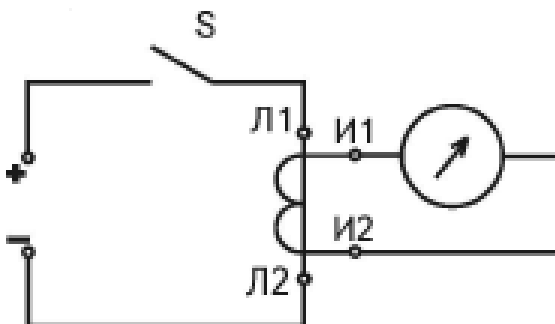


Рисунок 5.4 - Маркування виводів трансформаторів струму

У момент замикання первинного кола струм в ній буде зростати, за рахунок зміни магнітного потоку наведеться у вторинній обмотці ЕРС, і стрілка мілівольтметра відхилиться. Виводи обмоток маркуються за правилом: коли струм втікає в початок первинної обмотки, в цей момент часу з початку вторинної обмотки струм витікає.

За цим правилом джерело постійного струму (батарейка) підключається до первинної обмотки так, щоб плюс підключався до виводу, прийнятому за початок первинної обмотки - Л1, а мінус до другого виводу. Мілівольтметр підключається до вторинної обмотки. Якщо в момент замикання первинного кола стрілка приладу відхилиться вправо, то це означає, що струм впливає з початку вторинної обмотки, з виводу И1.

Первинна обмотка трансформатора струму підключається у розріз силового кола, бажано так, щоб висновок Л1 був з боку джерела живлення. Для складання схеми повної зірки об'єднують зазвичай (але не обов'язково) кінці вторинних обмоток И2 між собою, а до початків И1 підключають струмові кола приладів, другі виводи яких також з'єднуються в зірку.

3.4 Трансформатори напруги

Трансформатори напруги (ТН) встановлюються на кожній секції розподільного пристрою підстанції. Підключення до шин секції здійснюється через запобіжник і роз'єднувач. Запобіжник з кварцовим заповнювачем забезпечує захист трансформаторів напруги від струмів к.з. за ТН на шинках 100 В і всередині ТН.

За принципом дії ТН не відрізняються від силових трансформаторів, тільки спеціальною конструкцією забезпечується більша точність в перетворення первинної напруги у вторинну. Останнім часом трифазні ТН виконують у вигляді трифазної групи з трьох однофазних ТН, поміщених в один бак з трансформаторним маслом. В експлуатації знаходиться багато п'ятістержневих ТН. Масло забезпечує ізоляцію струмоведучих частин від корпусу і охолодження обмоток за рахунок природної циркуляції масла. Випускаються також ТН з литою ізоляцією. Клас точності ТН не перевищує 0,5 при допустимому навантаженні на вторинній обмотці.

Кожна фаза ТН має одну первинну обмотку з числом витків W_1 і дві вторинних обмотки з числами витків W_2 і W_3 . З'єднання обмоток відповідно "зірка з нулем", "зірка з нулем", "розімкнутий трикутник". Нульова точка пер-

винної обмотки обов'язково повинна бути заземлена, інакше не буде контролюватися стан ізоляції мережі 10 кВ. Вторинна обмотка W_2 має номінальну лінійну напруга 100 В і служить для живлення кіл напруги вимірювальних приладів. Інша вторинна обмотка W_3 є фільтром напруги нульової послідовності. У нормальному режимі роботи мережі на виводах обмотки W_3 спостерігається невелика напруга небалансу, а напруга до 100 В з'являється на цих виводах при пошкодженні ізоляції в силовій мережі. Для вимірювання рівня напруги на шинах підстанції до вторинної обмотки W_2 трансформатора напруги підключається вольтметр через спеціальний перемикач SA. Цим перемикачем до вольтметра можна підвести будь-яку фазну напругу А, В, С або будь-яку лінійну напругу АВ, ВС, СА. Номінальній напрузі в мережі 10 кВ відповідає фазна напруга, підведена до вольтметра 57,8 В, а шкала проградуєвана в кВ, тому по приладу відраховуємо 5,78 кВ.

Підтримку необхідного рівня зміни напруги у споживачів на шинах низької напруги підстанції можна зробити за допомогою регулятора напруги під навантаженням (РПН) на силовому трансформаторі.

Вибір ТН здійснюється по допустимому навантаженні, щоб забезпечити необхідний клас точності. Для цього необхідно знати опір або потужність приладів, що підключаються, і виконувати умову

$$S_{\text{доп.ТН}} \geq S_1 + S_2 + \dots + S_n \quad (5.10)$$

де $S_{\text{доп.ТН}}$ - навантаження, допустиме для прийнятого класу точності.

Для ТН типу НТМИ-10-66 (трансформатор напруги трифазний масляний з обмоткою для контролю стану ізоляції) для класу точності 0,5 - $S_{\text{доп}} = 120$ ВА, для класу точності 1 - $S_{\text{доп}} = 200$ ВА, для класу точності 3 - $S_{\text{доп}} = 500$ ВА. Гранична потужність по нагріванню обмоток становить 1000 ВА; S_1, S_2, S_n - навантаження, створена вимірювальними приладами. Це навантаження орієнтовно може бути прийнята по табл. 5.1. Таким чином, трансформатори напруги на пі-

дстанції 35/10 кВ встановлюються на кожній секції 10 кВ. За допомогою ТН виконується:

- 1) вимірювання рівня фазного і лінійної напруги на шинах ;
- 2) сигналізація наявності замикання на землю в мережі 10 кВ;
- 3) визначення фази з пошкодженою ізоляцією;
- 4) проведення фазування силових трансформаторів;
- 5) живлення зарядних пристроїв для аккумулявання енергії з подальшим її розрядом на котушки вимикачів, що відключають;
- 6) підключення органів вимірювання пристроїв автоматичного включення резерву живлення;
- 7) живлення кіл напруги пристроїв релейного захисту

Таблиця 5.1 - Потужності, які споживаються котушками напруги приладів

Тип вимірювального приладу	$S_{пр}$, ВА	$\cos\varphi$
Вольтметр електромагнітної системи	4,7	1
Котушка лічильника	2,5	0,4
Ваттметр	5,0	0,4
Фазометр	2,2	1
Реле напруги	1,0	1

Для підключення лічильників активної енергії і отримання трьох лінійних напруг в деяких випадках використовують однофазні ТН, включені на дві лінійні напруги. Така схема підключення називається «відкритий трикутник».

Вторинні кола від трансформатора напруги шлейфом заходять на всі комірочки секції, утворюючи шинки кіл трансформатора напруги. Захист вторинних кіл трансформаторів напруги від к.з. здійснюється автоматичними вимикачами.

4 Вказівки до підготовки до лабораторної роботи

4.1 Ознайомитися по літературі із конструкцією трансформаторів струму та трансформаторів напруги.

4.2 Ознайомитися з правилами вибору трансформаторів струму та трансформаторів напруги.

4.3 Ознайомитися з особливостями схем з'єднання трансформаторів струму та трансформаторів напруги.

4.4 Підготувати відповіді на контрольні питання

5 Вказівки до виконання лабораторної роботи

5.1 Розглянути конструкцію трансформаторів струму та трансформаторів напруги.

5.2 Розшифрувати їх позначення.

5.3 Виписати технічні характеристики.

6 Вказівки із оформлення звіту

Звіт повинен містити:

6.1. Назва, мета, програма роботи.

6.2. Записати паспортні дані ТТ і ТН.

6.3. Схема підключення вимірювальних приладів в комірку 10 кВ.

6.4. Зобразити розроблену схему для перевірки коефіцієнта трансформації ТТ.

7 Контрольні запитання

7.1. В чому відмінність трансформатора струму від силового трансформатора за принципом дії?

7.2. Чому не можна розривати вторинне коло ТТ?

7.3. Чому осердя трансформатора шихтують з трансформаторної сталі?

7.4. У чому особливості підключення лічильників в мережі 380 В?

7.5. Чому не можна до ТТ підключати прилади, з'єднані паралельно?

7.6. Як розрахувати енергію передану споживачам за показниками лічильників активної енергії в мережах 380 В і 10 кВ?

7.7. Чому трансформатори струму в мережі 10 кВ встановлюють в двох фазах?

7.8. Як перевірити коефіцієнт трансформації ТТ?

- 7.9. Для яких цілей використовують трансформатори напруги?
- 7.10. Для чого в бак трансформатора напруги заливається масло?
- 7.11. Які призначення мають обмотки ТН?
- 7.12. Як підключається навантаження до ТН?
- 7.13. Який струм протікає через амперметр (рис.5.3) при напрузі лінії 10 кВ?
- 7.14. На скільки зміняться показання лічильника на підстанції при підключенні до лінії 10 кВ навантаження зі струмом 50 А $\cos\varphi = 0,8$ за 12 годин роботи?
- 7.15. Як визначають завантаження лінії на підстанції?
- 7.16. Як обчислити потік активної і реактивної потужності, що передається по лінії електропередач?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА КОМПОНОВКИ ЗНИЖУЮЧИХ І ПІДВИЩУЮЧИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

1 Мета роботи

Вивчити схеми з'єднань і конструктивне виконання споживчих трансформаторних підстанцій напругою 35, 10-6/0,38 кВ

2 Програма роботи

2.1 Вивчити схеми з'єднань споживчих трансформаторних підстанцій 35, 10-6/0,38 кВ.

2.2 Ознайомитися із комплектацією шаф високої й низької напруги комплектної підстанції 10/0,38 кВ.

3 Основні теоретичні відомості

Електропостачання сільськогосподарських споживачів здебільшого здійснюється від районних підстанцій, які живляться від потужних енергетичних систем (рисунок 6.1).

Найбільш поширені ПС 110/10, 110/35/10 та 35/10 кВ.

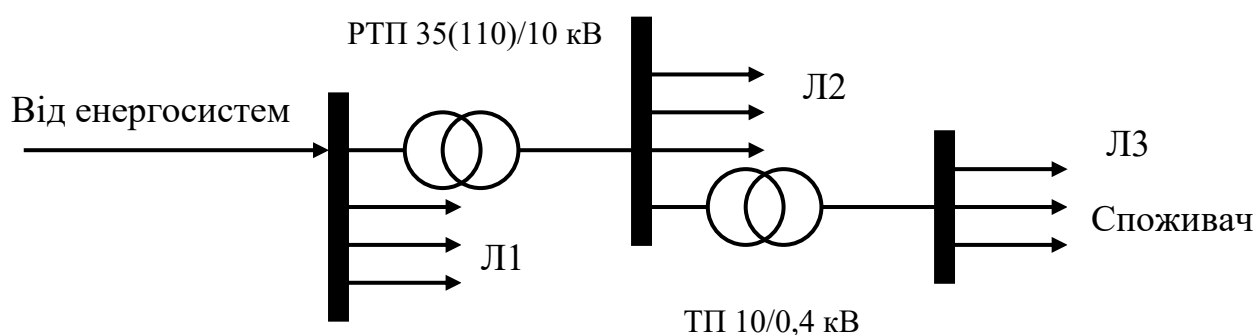


Рисунок 6.1 – Схема електропостачання сільських споживачів

У сільських районах використовують споживчі ПС з трансформацією 35, 10(6) кВ на 0,4 кВ. Розподіл електричної енергії сільськогосподарським споживачам в основному здійснюється при напрузі 10 кВ.

Кожна підстанція має три основні вузли: розподільний пристрій високої напруги, трансформатор, розподільний пристрій низької напруги (рисунок 6.2). На районних підстанціях частину 110 і 35 кВ виконують як відкритий розподільний пристрій, а частину 10 кВ – у вигляді закритого або комплексного розподільного пристрою.

Розподільчий пристрій призначений для приймання електричної енергії від трансформатора й розподілу її між споживачами безпосередньо або через проміжні розподільні пункти .

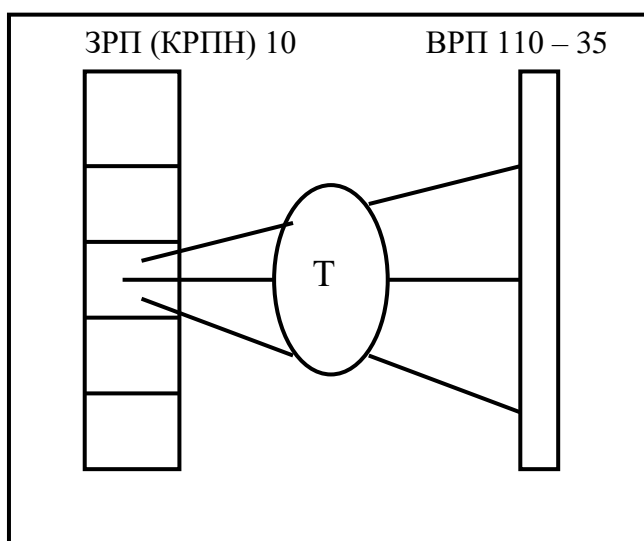


Рисунок 6.2 – Схематичне зображення підстанції 35(110)/10(6) кВ

В РП розміщені прилади й апарати для вмикання і вимикання окремих споживачів або їх груп, вимірювання струму, напруги, частоти і потужності, а також для обліку споживання електроенергії. В РП також сконцентрована апаратура захисту від пошкоджень на лініях.

Розподільчі пристрої діляться на закриті, що розміщуються всередині приміщень і захищені від безпосереднього впливу атмосферних умов і відкриті, які розміщують на відкритих площадках.

Конструкція РП залежить від напруги лінії, а також від типу виводів, вимикачів та іншої апаратури, що в них розміщується.

Закриті розподільні пристрої (ЗРП) поділяються на два типи – для установок напругою до 1000 В і для установок понад 1000 В.

РП – це конструктивне виконання прийнятої електричної схеми, тобто розміщення електричних апаратів усередині приміщення або на відкритому повітрі і з'єднання їх між собою неізолюваними шинами чи проводами.

Вимоги до РП:

- надійність;
- зручність монтажу і експлуатації;
- пожежна безпека;
- безпека обслуговування;
- економічність;
- простота розширення.

В сільських мережах використовують як одно так і двотрансформаторні ПС.

Для споживачів I категорії іноді використовують **глибокий ввід** – пониження напруги з 35 кВ одразу на 0,38 кВ.

Типи трансформаторних підстанцій по відношенню до підключення з високої сторони наведені на рисунку 6.3.

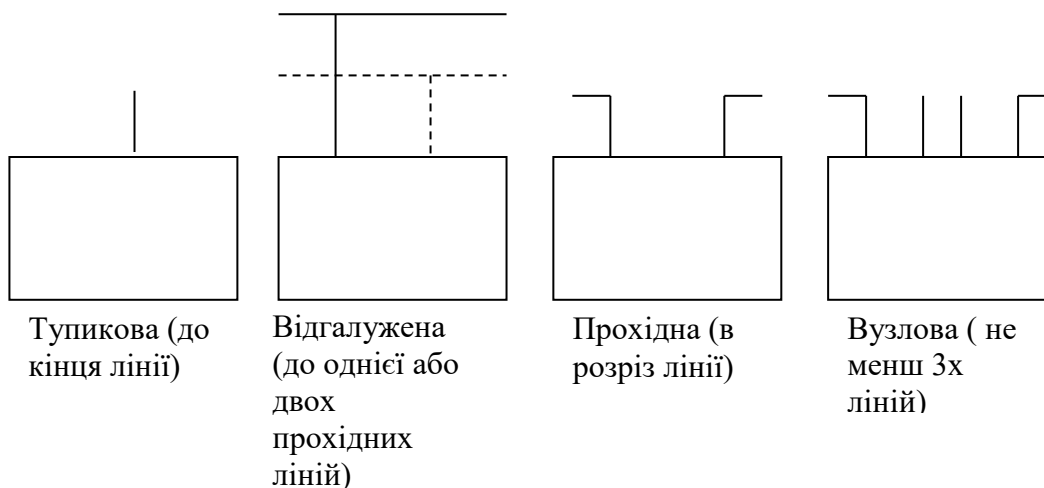


Рисунок 6.3 – Типи трансформаторних підстанцій

Прохідні та вузлові ПС, через шини яких здійснюється перетоки потужності – називають **транзитними**.

В сільських мережах намагаються використовувати прості схеми, які збільшують їх техніко-економічні показники (схеми з КЗ і ВД в РП-35 кВ та особливо РП-110 кВ).

В РП-35 кВ підстанцій з трансформаторами 630-1600 кВА іноді використовують схеми із роз'єднувачем та запобіжником (рисунок 6.4).

Електропостачання сільських споживачів на напрузі 0,38/0,22 кВ здійснюється від **споживчих трансформаторних пунктів (ТП)** або КТП 6-10/0,38 – 0,22 кВ, які розміщаються безпосередньо біля центрів споживання електроенергії. Потужності таких підстанцій невеликі і їх здебільшого виконують відкритими.

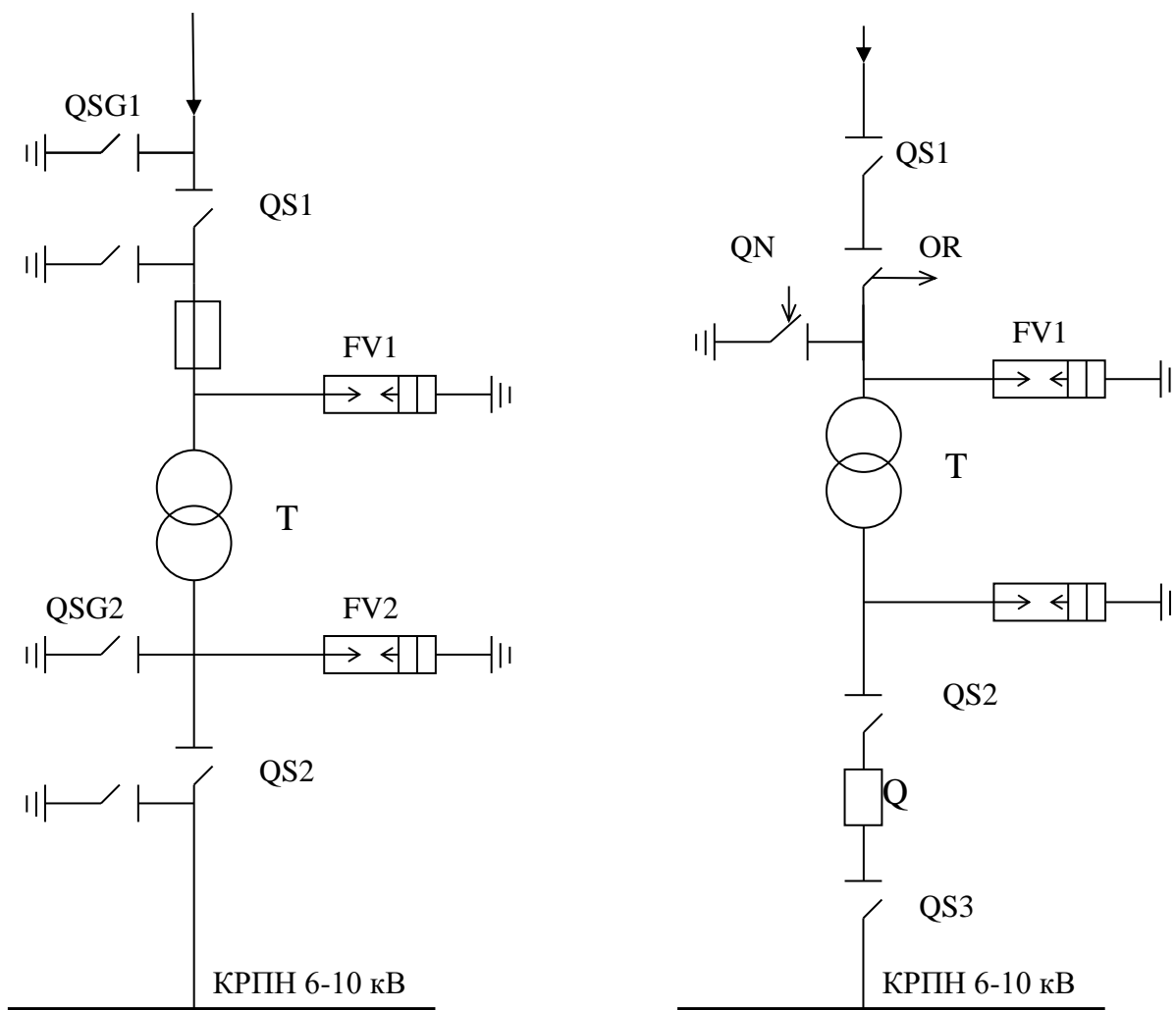
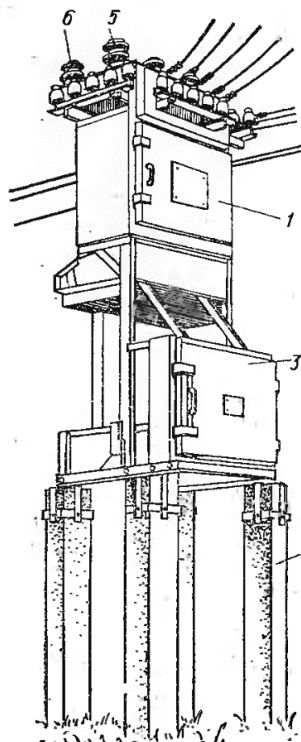


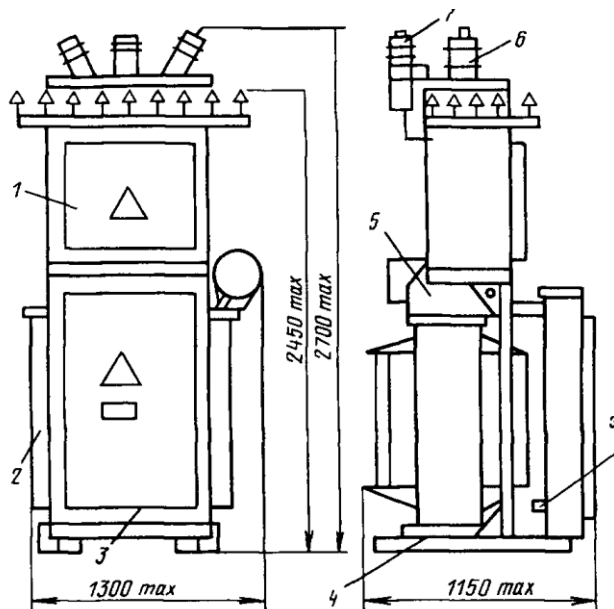
Рисунок 6.4 – Спрощені схеми ВРП-35(110) кВ

Найбільш поширеними є КТП, до складу яких входять ввідний високовольтний пристрій, силовий трансформатор, розподільний пристрій низької напруги і струмопроводи в одному або декількох блоках. Потужність силового трансформатору може бути 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600 і 2500 кВА.

На рисунках 6.5 і 6.6 показані відповідно загальний вигляд КТП 10/0,4 кВ потужністю 47...63 кВА і 25...160 кВА.



- 1 – вводи 6(10) кВ; 2 – силовий трансформатор; 3 – розподільний пристрій;
 4 – роз'єднувачі; 5 – прохідні ізолятори; 6 – вентиляний розрядник
 Рисунок 6.5 – Загальний вигляд КТП 10/0,4 кВ потужністю 47...63 кВА



- 1 – вводи 6(10) кВ; 2 – силовий трансформатор;
 3 – розподільний пристрій 0,38 кВ; 4 – салазки; 5 – кожух;
 6 – прохідні ізолятори; 7 – вентиляний розрядник
 Рисунок 6.6 – Загальний вигляд КТП 10/0,4 кВ потужністю 25...160 кВА

Схема електричних з'єднань КТП 10/0,4 кВ потужністю 25...160 кВА наведена на рисунку 6.7.

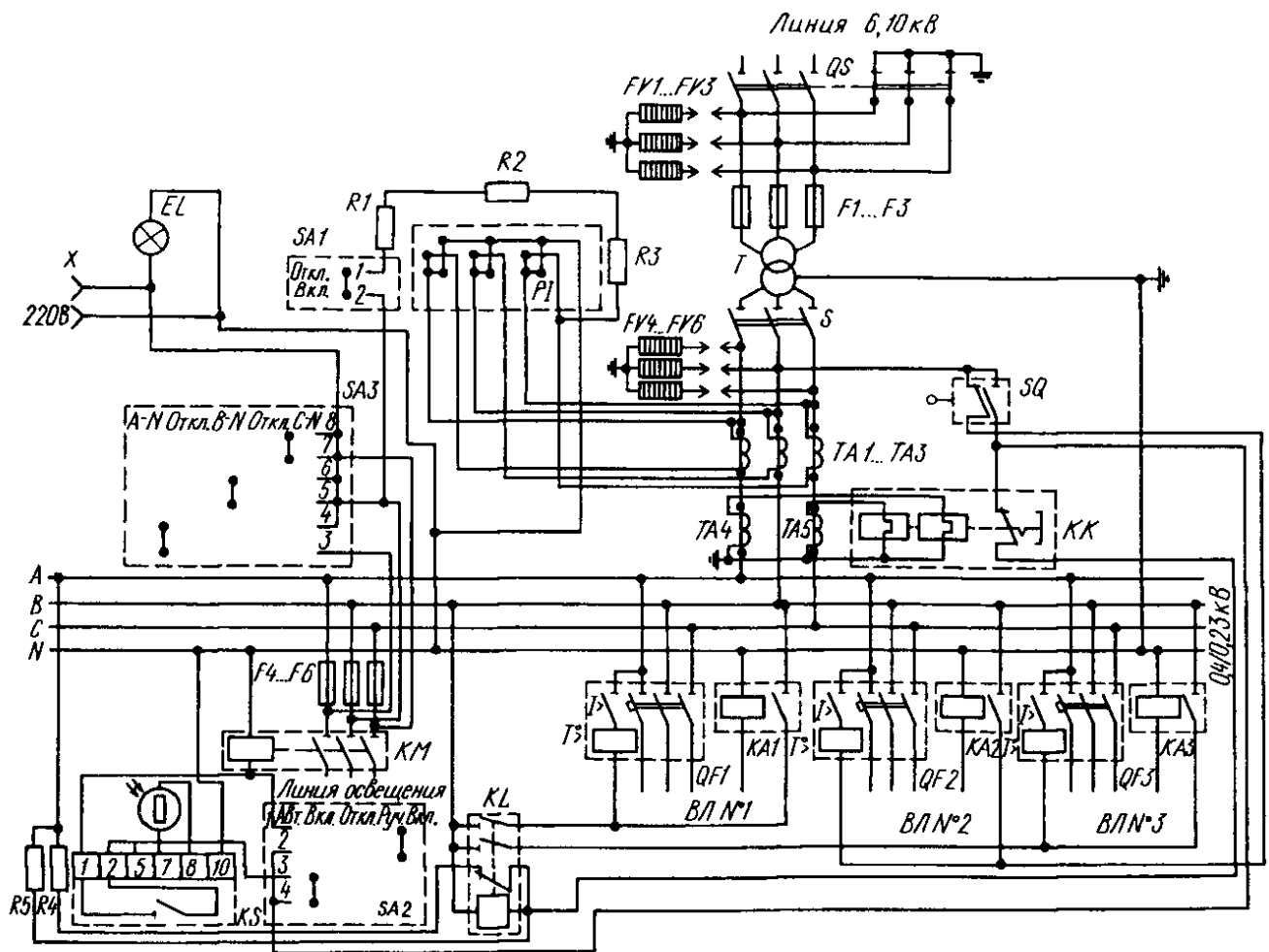


Рисунок 6.7 - Схема електричних з'єднань КТП 10/0,4 кВ потужністю 25...160 кВА

4 Вказівки до підготовки до лабораторної роботи

4.1 Вивчити схеми з'єднань споживчих трансформаторних підстанцій 35, 10-6/0,38 кВ.

4.2 Вивчити конструкцію і комплектацію шаф високої й низької напруги комплектної підстанції 10/0,38 кВ. [1 С. 261-298; 2 С. 392-402; 3 С. 358-380; 4 С. 411-428; 5 С. 186-201; 6 С.159-169; 10 С. 112-137].

4.3 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

5 Вказівки до виконання лабораторної роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

5.1 Ознайомитися із конструкцією та комплектацією шаф високої і низької напруги комплектної ТП 10/0,38 кВ.

5.2 Ознайомитися зі способами установки КТП на фундаменті й правилами її монтажу.

5.3 Ознайомитися із блокуваннями, що застосовується на КТП та їх призначенням.

6 Вказівки із оформлення звіту

Звіт повинен містити:

6.1 Принципову електричну однолінійну схему КТП 10/0,38 кВ.

6.2 Ескіз шафи високої та низької напруги КТП 10/0,38 кВ із вказівкою типів і характеристик устаткування.

6.3 Опис блокування і його призначення.

7 Контрольні запитання

7.1 Назвіть конструктивні типи споживчих підстанцій.

7.2 У яких випадках доцільно будувати закриті споживчі підстанції?

7.3 Поясніть конструкцію КТП 10/0,38 кВ.

7.4 Поясніть правила монтажу КТП 10/0,38 кВ.

7.5 Яке обладнання розміщено в РП 10 кВ КТП?

7.6 Яке обладнання розміщено в РП 0,4 кВ КТП?

7.7 Поясніть схему КТП 10/0,38 кВ.

7.8 Як управляється лінія вуличного освітлення?

7.9 Як працює електрична схема КТП 10/0,38 кВ при перевантаженнях силового трансформатора?

7.10 Як працює електрична схема КТП 10/0,38 кВ при однофазних коротких замиканнях на лініях, що відходять?

7.11 Як працює електрична схема КТП 10/0,38 кВ при трифазних коротких замиканнях на лініях, що відходять?

7.12 Яке призначення резисторів в схемі КТП?

7.13 Яке призначення механічного блокування на КТП?

7.14 Які види блокування використовують на КТП?

Список літератури

1. Правила устройства электроустановок. – Х.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2007. – 416с.
2. Коваленко О.І. Основи електропостачання сільського господарства : Навчальний посібник / О.І. Коваленко, Л.Р. Коваленко, В.О. Мунтян, І.П. Радько. – Мелітополь : ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011. – 462с.
3. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений) / И.А. Будзко, Н.М. Зуль. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
4. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений)/И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
5. Притока І.П. Електропостачання сільського господарства – 2-е вид. перероб. та доп./І.П. Притока. - К.: Вища школа. Головне вид-во, 1983.– 343с.
6. Притока І.П. Електропостачання сільського господарства / І.П. Притока, В.В. Козирський. – К.: Урожай, 1995.– 304с.
7. Єрмолаєв С.О. Проектування систем електропостачання в АПК/ С.О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлев, В.О. Мунтян та ін. – Мелітополь: Люкс, 2009. – 568 с.
8. Практикум по електропостачанню сільського господарства /под ред. И.А. Будзко. – М.: Колос, 1982. – 319с.
9. Каганов И. Л. Курсовое и дипломное проектирование/И.Л. Каганов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351с.
10. Харкута К.С. Практикум по електропостачанню сільського господарства: (Учебники и учеб. пособия для учащихся техникумов)/К.С. Харкута, С.В. Яницкий, Э.В. Ляш. – М.: Агропромиздат, 1992. – 223с.

