

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ
ТА ПІДСТАНЦІЙ»**

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальностей G3 – Електрична інженерія, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійні програми «Електротехнічні системи електроспоживання», «Світлотехніка та дизайн світлового середовища», «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії», «Електромеханіка»)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальностей G3 – Електрична інженерія, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійні програми «Електротехнічні системи електроспоживання», «Світлотехніка та дизайн світлового середовища», «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії», «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. М. Охріменко, В. А. Маляренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 141 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. В. М. Охріменко,
д-р техн. наук, проф. В. А. Маляренко

Рецензент

В. Ф. Харченко, доктор технічних наук, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 1 від 20.08 2024

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ	
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1 ВИСОКОВОЛЬТНІ МАЛООБ'ЄМНІ	
МАСЛЯНІ ВИМИКАЧІ	14
1.1 Мета роботи	14
1.2 Домашнє завдання	14
1.3 Теоретична частина	14
1.3.1 Загальні відомості	14
1.3.2 Основні технічні параметри високовольтних вимикачів	16
1.3.3 Порядок вибору високовольтних вимикачів	17
1.4 Опис лабораторних стендів і макетів	21
1.4.1 Вимикач ВМП-10	22
1.4.2 Вимикач ВК-10	27
1.5 Порядок виконання лабораторної роботи.....	28
Питання для самоконтролю	28
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2 ВИСОКОВОЛЬТНІ ВАКУУМНІ	
ВИМИКАЧІ	29
2.1 Мета роботи	29
2.2 Домашнє завдання	29
2.3 Теоретична частина	29
2.3.1 Принцип гасіння дуги у вакуумному вимикачі	33
2.3.2 Особливості різних моделей вакуумних вимикачів	34
2.4 Вакуумний вимикач ВВВ-10/400	38
2.4.1 Основні параметри вимикача	38
2.4.2 Кінематична схема вимикача	39
2.4.3 Схема керування вимикачем ВВВ-10	42
2.5 Вакуумні вимикачі VD4	44
2.5.1 Фіксовані вимикачі	49
2.6 Порядок виконання лабораторної роботи	50
Питання для самоконтролю	51

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 ВИМИКАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ І РОЗ'ЄДНУВАЧІ ВНУТРІШНЬОЇ УСТАНОВКИ	52
3.1 Мета роботи	52
3.2 Домашнє завдання	52
3.3 Теоретична частина	52
3.3.1 Автогазовий вимикач навантаження ВНА.....	53
3.3.2 Вимикачі навантаження ВНА-10/400 (10/630).....	55
3.4 Роз'єднувачі	56
3.5 Опис лабораторного стенда	61
3.6 Порядок виконання лабораторної роботи	61
Питання для самоконтролю	62
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4 ПЛАВКІ ЗАПОБІЖНИКИ	63
4.1 Мета роботи	63
4.2 Домашнє завдання	63
4.3 Теоретична частина	63
4.3.1 Запобіжники типу ПР	64
4.3.2 Запобіжники типу ПН	66
4.3.3 Запобіжники типу ПК	68
4.3.4 Вибір плавких вставок запобіжників	69
4.4 Опис лабораторного стенда	71
4.5 Порядок виконання лабораторної роботи	71
Питання для самоконтролю	73
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5 ВОЛЬТОДОДАВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ	74
5.1 Мета роботи	74
5.2 Домашнє завдання	74
5.3 Теоретична частина	74
5.4 Опис лабораторного стенда	81
5.5 Порядок виконання лабораторної роботи	82
Питання для самоконтролю	83
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6 ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І ВМИКАННЯ ЇХ НА ПАРАЛЕЛЬНУ РОБОТУ....	84
6.1 Мета роботи	84
6.2 Домашнє завдання	84

6.3 Теоретична частина	84
6.3.1 Прилади й пристосування, що використовуються під час фазування	86
6.3.2 Прямі методи фазування	91
6.3.3 Правила безпеки під час виконання фазування показчиками напруги	98
6.4 Опис лабораторного стенда	98
6.5 Порядок виконання лабораторної роботи	99
Питання для самоконтролю	101
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7 ВЕНТИЛЬНІ РОЗРЯДНИКИ Й НЕЛІНІЙНІ ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГ	102
7.1 Мета роботи	102
7.2 Домашнє завдання	102
7.3 Теоретична частина	102
7.4 Порядок виконання лабораторної роботи	106
7.5 Опис лабораторного стенда	108
Питання для самоконтролю	109
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8 КОМПЛЕКТНІ РОЗПОДІЛЬНІ УСТАНОВКИ ВИСОКОЇ НАПРУГИ	110
8.1 Мета роботи	110
8.2 Домашнє завдання	110
8.3 Теоретична частина	110
8.3.1 Комплектні розподільні пристрої серії КМ-1Ф	110
8.3.2 Комірки високовольтні двостороннього обслуговування КВ-204	113
8.4 Опис лабораторного стенда	114
8.5 Порядок виконання лабораторної роботи	115
Питання для самоконтролю	115
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9 ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ	116
9.1 Мета роботи	116
9.2 Домашнє завдання	116
9.3 Теоретична частина	116
9.4 Порядок виконання лабораторної роботи	125

Питання для самоконтролю	127
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10 ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ НАПРУГИ	128
10.1 Мета роботи	128
10.2 Домашнє завдання	128
10.3 Теоретична частина	128
10.4 Порядок виконання лабораторної роботи	131
Питання для самоконтролю	134
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	135
ДОДАТОК А Приклад титульної сторінки звіту	140

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АПВ – автоматичне повторне вмикання

ВДК – вакуумна дугогасна камера

ВДТ – вольтододавальний трансформатор

ДП – дугогасний пристрій

ЗРУ – закрите розподільне устаткування

КЗ – коротке замикання

КРУ – комплектне розподільне устаткування

КСО – камера збірна одностороннього обслуговування

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

ЕРС – електрорушійна сила

ОПН – обмежувач перенапруг нелінійний

МРС – магніторушійна сила

ПДВ – привід двигуновий

ПР – привід ручний

ПЧ – привід черв'ячний

РВ – розрядник вентильний

РУ – розподільне устаткування

ФВДТ – вольтододавальний трансформатор з перемиканням фаз

ВСТУП

Мета цих методичних рекомендацій – надати допомогу студентам у виконанні і захисті лабораторних робіт, у процесі виконання яких вивчаються конструкції, принципи дії і досліджуються характеристики характерних груп високовольтного обладнання електричних станцій і підстанцій: силових трансформаторів, високовольтних вимикачів, роз'єднувачів, розрядників, запобіжників, вимірювальних трансформаторів струму і напруги.

Це видання методичних рекомендацій до виконання лабораторних робіт є удосконаленим і переробленим варіантом методичних рекомендацій попереднього 2017 року видання [1].

Порядок виконання лабораторних робіт. Основними обов'язковими етапами виконання лабораторних робіт є:

- поділ академічної групи на бригади;
- допуск студентів до виконання циклу лабораторних робіт з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій» за правилами техніки безпеки та пожежної безпеки;
- формування графіка виконання лабораторних робіт;
- домашня підготовка до виконання лабораторної роботи;
- допуск до виконання конкретної лабораторної роботи;
- виконання конкретної лабораторної роботи;
- оформлення звіту з виконаної лабораторної роботи;
- захист звіту з виконаної лабораторної роботи.

На початку навчального семестру до дня виконання лабораторних робіт академічна група студентів поділяється на бригади у складі 2–4 студенти і складається семестровий графік (послідовність виконання і захисту лабораторних робіт кожною бригадою). Графік виконання лабораторних робіт доводиться до відома студентів.

Допуск студентів до виконання лабораторних робіт передбачає вивчення студентами загальних правил техніки безпеки і пожежної безпеки при

виконанні лабораторних робіт в лабораторії «Електричні станції та підстанції», складання заліку на знання загальних правил техніки безпеки та пожежної безпеки з відповідним записом у журналі інструктажу з техніки безпеки і пожежної безпеки і підписом студента, який засвідчує проходження інструктажу й отримання загального допуску до виконання лабораторних робіт. **Студент, який не здав залік** щодо загальних правил техніки безпеки і пожежної безпеки **не допускається** до виконання лабораторних робіт.

Домашня підготовка до виконання лабораторної роботи передбачає ознайомлення з методичними рекомендаціями до конкретної лабораторної роботи, вивчення теоретичного матеріалу за рекомендованою літературою, вивчення схеми лабораторного устаткування та особливостей техніки безпеки на конкретному робочому місці, розгляд послідовності проведення дослідів. Кожен студент має підготувати **шаблон звіту** у складі: титульний аркуш, мета роботи, перелік досліджуваного обладнання, схема лабораторного устаткування, таблиці для запису результатів вимірювань, розрахункові формули. *Зміст і повний текст звіту* студент погоджує з викладачем при виконанні лабораторної роботи.

Допуск до виконання лабораторної роботи надає викладач, який проводить заняття. Мета допуску полягає в перевірці готовності студента до виконання лабораторної роботи, а саме: знання правил техніки безпеки на робочому місці, знання схеми лабораторного устаткування та послідовності виконання лабораторної роботи, наявності підготовленого шаблону звіту для запису результатів виконання лабораторної роботи.

Звіт до лабораторної роботи містить такі обов'язкові частини:

- титульний аркуш (див. дод. А);
- мета роботи;
- параметри та характеристики досліджуваного устаткування;
- схема лабораторного стенда;
- розрахункові формули;
- таблиці з результатами вимірювань і розрахунків;

- графіки досліджуваних залежностей;
- висновки;
- список використаної літератури.

Зміст звіту погоджується з викладачем при виконанні лабораторної роботи. Підпис студента на титульному аркуші засвідчує повноту оформлення звіту з виконаної лабораторної роботи.

Викладач проводить опитування студентів кожної бригади, перевіряє їх готовність до виконання лабораторної роботи і надає допуск до виконання роботи.

Виконання конкретної лабораторної роботи. Виконувати роботу студенти можуть тільки після одержання дозволу викладача, який проводить заняття.

На конкретному робочому місці студенти мають дотримуватись таких правил:

- до початку виконання роботи перевірити правильність схеми лабораторного стенда;
- подавати напругу на лабораторний стенд тільки у присутності викладача;
- не залишати без нагляду увімкнений лабораторний стенд;
- після завершення програми лабораторної роботи вимкнути лабораторний стенд.

Результати вимірів, отримані під час дослідів, кожен студент бригади заносить у таблиці спостережень у свій шаблон звіту. Результати виконання лабораторної роботи (заповнені шаблони своїх звітів) студенти подають викладачу, погоджують повноту і коректність отриманих результатів, отримують відмітку на титульному аркуші звіту про виконання лабораторної роботи.

Оформлення звіту з виконаної лабораторної роботи. Після виконання лабораторної роботи студент завершує оформлення звіту: додає відсутні описи обладнання, виконує необхідні розрахунки, будує досліджені залежності,

формулює висновки по виконаній роботі і підписує звіт з виконаної лабораторної роботи.

Повністю закінчений і оформлений звіт студент надає викладачу на наступному лабораторному занятті. Звіт має містити: короткий опис роботи; технічні дані та рисунки конструкції досліджених пристроїв, використаних приладів і апаратів; електричну схему лабораторної установки; таблиці з результатами вимірів; розрахункові формули, графіки, висновки по роботі. *Обов'язковим* є позначення одиниць усіх фізичних параметрів, що зустрічаються у звіті.

Підписи (викладача, студента) на титульному аркуші звіту супроводжуються відповідною датою (див. дод. А).

Студент, який не оформив звіт з виконаної попередньої лабораторної роботи *не допускається до виконання наступної лабораторної роботи.*

Захист звіту. Під час захисту звіту студент має показати розуміння і вміння пояснювати мету роботи, призначення, характеристики, конструктивні особливості, переваги і недоліки дослідженого устаткування, вміння відповідати на контрольні запитання до виконаної лабораторної роботи.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Відповідальність за контроль виконання студентами правил техніки безпеки покладається на викладача, що проводить заняття в лабораторії. До роботи допускаються викладачі, лаборанти та студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки і пожежної безпеки, ознайомились з інструкцією щодо правил техніки безпеки у лабораторії «Електрична частина станцій і підстанцій» і поставили свій підпис у відповідному журналі інструктажу.

У лабораторії необхідно виконувати такі правила:

- працювати тільки за спеціально обладнаними стендами;
- перед збиранням схеми необхідно переконатися, що комутаційний апарат, який подає напругу на робоче місце, вимкнений;
- після збирання схеми ще раз переконатися, що всі з'єднання виконані відповідно до принципіальної схеми, запам'ятати, який апарат чи які відкриті частини схеми будуть знаходитися під напругою при проведенні дослідів;
- подавати напругу на схему тільки після її перевірки викладачем (лаборантом) і з його дозволу;
- усі зміни в схемах і приєднання приладів виконувати тільки після відключення схеми від джерела живлення;
- при виникненні неполадок у роботі схеми негайно відключити її від джерела живлення і сповістити викладача;
- особливої обережності необхідно дотримуватися при роботі зі схемами, в яких наявні значні ємності чи індуктивності;
- після закінчення роботи вимкнути живлення, упорядкувати робоче місце в порядок і здати його викладачеві.

При проведенні лабораторних робіт забороняється:

- виконувати вмикання, вимикання, приєднання в електричних схемах під напругою;

- торкатися відкритих струмопровідних частин, що знаходяться під напругою;

- працювати без попередньо змонтованої й перевіреної схеми, без наявності підготовлених проводів для виконання необхідних змін схеми лабораторної роботи;

- користуватися несправним інструментом та устаткуванням;

- залишати після закінчення роботи лабораторне устаткування під напругою;

- знімати й перевішувати застереджувальні або заборонні плакати і знаки;

- захаращувати 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 відривати від роботи товаришів.

Якщо стався нещасний випадок, необхідно:

- зняти напругу зі схеми;

- надати першу допомогу потерпілому;

- повідомити про випадок викладача;

- за необхідності викликати швидку допомогу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ВИСОКОВОЛЬТНІ МАЛООБ'ЄМНІ МАСЛЯНІ ВИМИКАЧІ

1.1 Мета роботи

Вивчити призначення, конструктивні особливості, параметри та умови вибору високовольтних малооб'ємних масляних вимикачів.

1.2 Домашнє завдання

Вивчити конструктивні особливості і принцип роботи горшкових вимикачів за навчальною літературою [2, с. 20–51; 3, с. 108–116; 4, с. 56–65].

Ознайомитись з нормативними вимогами щодо вибору і перевірки електричних апаратів [5, с. 51–56; 6, с. 129–131].

Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту з лабораторної роботи у складі: титульний аркуш, мета роботи, алгоритм вибору і перевірки високовольтних вимикачів.

1.3 Теоретична частина

1.3.1 Загальні відомості

Високовольтні малооб'ємні масляні (горшкові) вимикачі [3, с. 108–117; 4, с. 56–64] застосовують в закритих і відкритих розподільних пристроях при напругах 6–220 кВ. Вони призначені для оперативних вмикань та вимикань окремих електричних кіл або електрообладнання в енергосистемі в нормальних чи аварійних режимах при ручному, дистанційному або автоматичному керуванні.

В малооб'ємних вимикачах контактна система кожної фази разом з гасильною камерою поміщена в невеликий бачок (горщик) циліндричної форми

з трансформаторним маслом. Трансформаторне масло в цих вимикачах виконує такі функції:

- ізоляції між розімкненими силовими контактами вимикача;
- газогенеруючого матеріалу для гасіння дуги під час розмикання силових контактів вимикача.

Для гасіння дуги в горшкових вимикачах застосовуються дугогасні камери переважно поперечного і в окремих випадках поздовжнього масляного дуття.

Об'єм і вага масла в малооб'ємних вимикачах в десятки разів менше ніж у відповідних бакових вимикачах. Це забезпечило їм загальне розповсюдження і є однією з головних причин істотної зміни і спрощення конструкцій закритих розподільних пристроїв.

У зв'язку з невеликою кількістю масла і високою міцністю горщиків малооб'ємні вимикачі є вибухо- і пожежонебезпечними в порівнянні з баковими масляними вимикачами. Вказані вище обставини дозволили зменшити будівельну частину закритих розподільних пристроїв, застосувати збірні і полегшені будівельні конструкції і встановити вимикачі у відкритих комірках з легкими огорожами з азбоцементних плит і металевої сітки.

Переваги малооб'ємних масляних вимикачів:

- низька вартість вимикача;
- невелика кількість масла;
- відносно мала загальна маса, зручний доступ до контактної системи;
- можливість створення серії вимикачів на різну напругу із застосуванням уніфікованих вузлів.

Недоліки малооб'ємних масляних вимикачів:

- необхідність в періодичному контролі, доливанні і відносно частій зміні масла в дугогасних бачках;
- складність установки вбудованих трансформаторів струму;
- відносно мала гранична вимикаюча здатність;

– неможливість здійснення швидкодіяного автоматичного повторного вмикання (АПВ).

1.3.2 Основні технічні параметри високовольтних вимикачів

Високовольтні вимикачі призначені для включення і відключення струмів:

- нормального, ремонтного і післяаварійного режимів;
- короткого замикання;
- струмів холостого ходу трансформаторів;
- зарядних струмів ліній.

Крім загальних вимог, що висуваються до всіх електричних апаратів, вимикачі повинні мати високу швидкодію і високу здатність вимикання струму.

У процесі вибору та оцінки роботи високовольтних вимикачів користуються такими технічними параметрами, які зазвичай наводяться у каталожних даних на вимикачі.

Номінальна напруга $U_{\text{ном.вим}}$ – лінійна напруга трифазної мережі, при якій вимикач за даними підприємства-виробника має працювати (вказується на щитку вимикача). Вимикач повинен надійно працювати при напругах, що перевищують номінальну на 5–10 %. Ця напруга називається **найбільшою робочою напругою**.

Номінальний струм $I_{\text{ном.вим}}$ – найбільший струм (діюче значення), який апарат здатний проводити скільки завгодно довгий час без пошкоджень при номінальній напрузі, частоті та з температурою робочих елементів, що не перевищує максимально припустиму температуру.

Номінальний струм вимикання $I_{\text{ном.вимикання}}$ – найбільший струм короткого замикання (КЗ) (діюче значення періодичної складової), який вимикач здатний вимкнути при найбільшій робочій напрузі та при заданих умовах відновлення напруги і циклі комутаційних операцій.

Номінальна потужність вимикання $S_{\text{ном.вимикання}}$ – добуток номінального струму вимикання на відповідну найбільшу робочу напругу. Номінальну потужність вимикання також називають **вимикаючою здатністю**.

Стійкість при крізних струмах короткого замикання – здатність вимикача витримувати у увімкненому положенні без пошкоджень вплив струму КЗ. Розрізняють **стійкість електродинамічну** (характеризується амплітудою струму КЗ) і **термічну стійкість** (характеризується часом протікання струму КЗ).

Номінальний струм вмикання $I_{\text{ном.вмикання}}$ – струм, який вимикач здатний увімкнути без зварювання контактів.

Відновлювана напруга на контактах полюса – напруга, яка з'являється на контактах полюса вимикача безпосередньо після гасіння дуги.

Власний час вимикання вимикача $t_{\text{вч}}$ – інтервал часу від моменту подачі команди на вимикання до початку розходження силових контактів.

Повна тривалість вимикання вимикача – проміжок часу від подачі на вимикач команди на вимикання від релейного захисту або ключа керування до погасання дуги в усіх його полюсах.

Час вмикання – проміжок часу від моменту подання команди на вмикання до моменту пробною проміжка між контактами при номінальній напрузі.

Безструмова пауза вимикача при автоматичному повторному вмиканні – проміжок часу від моменту гасіння дуги на всіх полюсах до моменту відновлення струму на будь-якому полюсі вимикача.

1.3.3 Порядок вибору високовольтних вимикачів

Високовольтні вимикачі обирають залежно від місця встановлення, способу обслуговування та призначення. Загальні вимоги та рекомендації щодо вибору високовольтних вимикачів наведені в ПУЕ [5, с. 51–56; 6, с. 129–131].

Спочатку **вимикач обирають** за технічними даними так, щоб його технічні параметри були більшими за розрахункові значення параметрів режиму кола де передбачається встановлення вимикача. Потім **вимикач перевіряють** на вимикальну здатність і стійкість (електродинамічну та термічну) до струмів КЗ.

При проектуванні високовольтні вимикачі відповідно до їх призначення зазвичай **обирають за номінальною напругою $U_{ном}$ і номінальним струмом $I_{ном}$** . Обраний вимикач обов'язково перевіряється на вимикальну здатність, на термічну і на електродинамічну стійкість до граничних крізних струмів КЗ.

Вибір **за номінальною напругою** зводиться до порівняння номінальної напруги вимикача $U_{ном.вим}$ (кВ) та номінальної напруги устаткування де працює вимикач $U_{ном.уст}$ (кВ) шляхом перевірки виконання співвідношення

$$U_{ном.вим} \geq U_{ном.уст}. \quad (1.1)$$

Вибір **за номінальним струмом** полягає у виборі вимикача, номінальний струм $I_{ном.вим}$ (А) якого є найближчим більшим від розрахункового струму устаткування $I_{розр.уст}$ (А), тобто перевіряють дотримання умови:

$$I_{ном.вим} \geq I_{розр.уст}. \quad (1.2)$$

Розрахунковий струм $I_{розр.уст}$ обирають за найбільш несприятливим експлуатаційним режимом. Наприклад, за наявності двох паралельних ліній $I_{розр.уст}$ визначають за умови відключення однієї з них, тобто $I_{розр.уст} = 2I_{роб}$ ($I_{роб}$ – тривалий робочий струм однієї лінії).

Потім виконують перевірку обраного вимикача **за номінальним струмом вимикання**. А саме перевірку на симетричний струм вимикання за умовою

$$I_{п.0}^{(3)} \leq I_{ном.вимикання} \quad (1.3)$$

де $I_{п.0}^{(3)}$ – розрахункове значення трифазного струму короткого замикання (КЗ) в момент вимикання, кА;

$I_{ном.вимикання}$ – номінальний струм вимикання вимикача, кА.

Потім перевіряють можливість відключення аперіодичної складової струму КЗ

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,ном} = \frac{\sqrt{2} \times \beta_n \times I_{ном.вимикання}}{100}, \quad (1.4)$$

де $i_{a,\tau}$ – аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів, кА;

$i_{a,ном}$ – номінальне допустиме значення аперіодичної складової в струмі, який відключається для часу τ , кА;

τ – найменший час від початку КЗ до моменту розходження дугогасних контактів.

$$\tau = t_{з.мин} + t_{вч.}, \quad (1.5)$$

де $t_{з.мин} = 0,01$ с – мінімальний час дії релейного захисту;

$t_{вч.}$ – власний час спрацьовування (вимикання) вимикача.

Час $t_{вч.}$ залежить від швидкодії вимикача і регламентується в межах:

- для надшвидкодійних вимикачів – до 0,06 с;
- для швидкодійних вимикачів – від 0,06 с до 0,08 с;
- для вимикачів прискореної дії – від 0,08 с до 0,12 с;
- для нешвидкодійних вимикачів – від 0,12 с до 0,25 с.

Якщо умова (1.3) виконується, а умова (1.4) не виконується (випадок $i_{a,\tau} > i_{a,ном}$), то допускається перевірка за вимикаючою здатністю за повним струмом КЗ

$$(\sqrt{2} \times I_{п.0}^{(3)} + i_{a,\tau}) \leq \sqrt{2} \times I_{ном.вимик} \times (1 + \frac{\beta_n}{100}), \quad (1.6)$$

де β_n – нормоване значення вмісту аперіодичної складової у струмі КЗ, %, яке залежно від постійної часу τ точки КЗ визначається за кривою [6], що наведена на рисунку 1.1.

Нормоване значення β_n визначається для моменту розходження контактів τ :

$$\tau = t_{з.мин} + t_{вч} = 0,01 + t_{вч}. \quad (1.7)$$

Якщо час спрацювання $\tau > 0,09$ с, то беруть $\beta_n = 0$.

Значення β_n можна також визначити за виразом:

$$\beta_n \approx e^{\tau / 0,045}. \quad (1.8)$$

де τ – час спрацювання захисту, с.

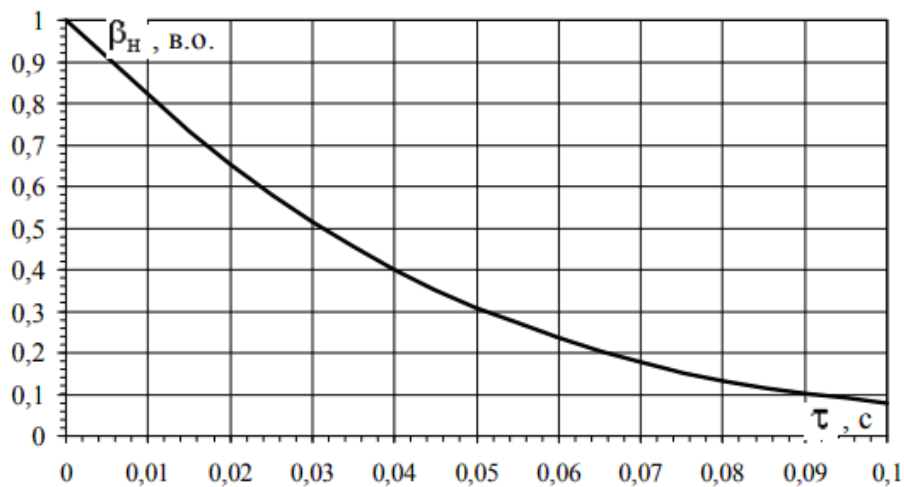


Рисунок 1.1 – Нормоване відносне значення аперіодичної складової у струмі КЗ

На **електродинамічну стійкість** вимикач перевіряється за граничними наскрізними струмами КЗ:

$$I_{п.0}^{(3)} \leq I_{дин}, \quad (1.9)$$

$$i_y \leq i_{дин}, \quad (1.10)$$

де $I_{\text{дин}}$ – діюче значення періодичної складової наскрізного струму КЗ (каталожне для вимикача);

i_y – розрахункове значення ударного струму КЗ;

$i_{\text{дин}}$ – найбільший піковий струм електродинамічної стійкості вимикача (каталожне значення).

На **термічну стійкість** вимикач перевіряється за тепловим імпульсом струму КЗ:

$$B_{\kappa} \leq I_m^2 \times t_{\text{т}}, \quad (1.11)$$

де B_{κ} – розрахунковий тепловий імпульс струму КЗ;

$I_{\text{т}}$ – середньоквадратичне значення струму за час його протікання (струм термічної стійкості вимикача за каталогом);

$t_{\text{т}}$ – тривалість протікання струму термічної стійкості, с.

Тепловий імпульс B_{κ} визначається по-різному залежно від місця знаходження точки КЗ в електричній схемі. Виділяють три основні випадки: віддалене КЗ; КЗ поблизу генераторів або синхронних компенсаторів; КЗ поблизу групи потужних електродвигунів. У першому випадку повний тепловий імпульс короткого замикання визначається співвідношенням

$$B_{\kappa} = I_{n.0}^2 (t_{\text{вим}} + T_a) \quad (1.12)$$

де $I_{n.0}^2$ – діюче значення періодичної складової початкового струму КЗ;

T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ.

1.4 Опис лабораторних стендів і макетів

На стенді «Маломасляні вимикачі» в лабораторії розміщено по одному полюсу вимикачів ВМП-10 і ВК-10, з екскізами дугогасильних камер і полюсів

вимикачів типу ВМП-10; стенд з вимикачем типу ВМП-10; вимикач типу ВК-10 на візку КРУ типу КМ1.

1.4.1 Вимикач ВМП-10

Вимикачі ВМП-10 (позначення: В – вимикач; М – масляний; П – підвісний, рисунок 1.2) з масою масла 4,5 кілограма виготовляють на напругу 10 кВ двох типорозмірів:

– для комірок типу КСО та набірних комірок закритого розподільного устаткування (ЗРУ) вимикачі ВМП-10, ВМП-10У (У – посилені, призначені для роботи при частих комутаційних операціях – до 50 тис. операцій без навантаження);

– для комплектного розподільного устаткування (КРУ) вимикачі ВМП-10К, ВМП-10КУ з номінальними струмами 600, 1 000 та 1 500 А та струмом відключення 20 кА.

Інтервал граничних температур вимикача: від -40 до +40 °С.

Вимикач працює з приводами: ПЕ-11 [7], ПП-67 [8].

Комутаційний ресурс вимикача – 6 відключень коротких замикань.

Механічний ресурс – 1 500 операцій «Увімк. – Вимк.».

Вимикач ВМП-10 призначений для установки у **звичайних розподільних пристроях**. Вимикачі ВМП-10К, ВМП-10П та ВМПП-10 призначені для **малогабаритних комплектних розподільних пристроїв** з викочуванням. Останні відрізняються від вимикача ВМП-10 меншою шириною, що досягається зближенням полюсів шляхом встановлення між ними ізоляційних перегородок.

У **закритих розподільних пристроях** застосовують вимикачі ВМП-10, ВМПП-10, ВМПЕ-10 та інші, які відрізняються один від одного типом приводу – ВМПП з вбудованим **пружинним** (у позначенні остання літера П) і різновиди ВМПЕ з вбудованим **електромагнітним** (у позначенні остання літера Е) приводом для збірних камер КСВ, а також ВМП-10К для КРУ, масляні

вимикачі колонкового типу ВК-10 з пружинним приводом, вимикачі масляні горщикового типу ВМГ-10 та ін.

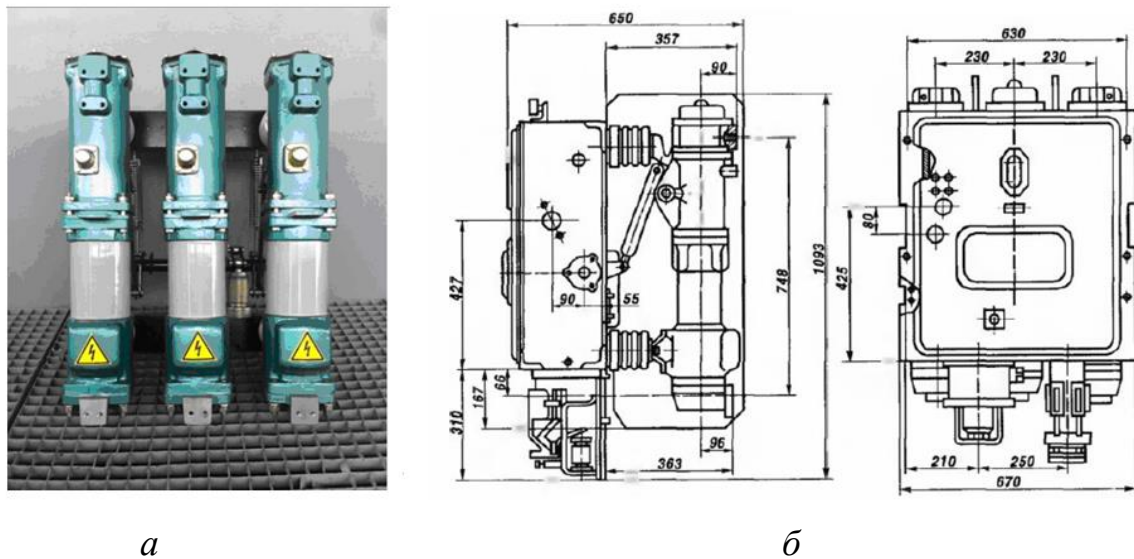


Рисунок 1.2 – Вимикач ВМП-10 [9]:

а – зовнішній вигляд; *б* – вимикач із приводом

Вимикачі типу ВМП-10 виготовляють для роботи в нормальних кліматичних умовах, у тропічному кліматі та посилені – з підвищеною механічною стійкістю у нормальному та тропічному виконаннях. Вимикачі у тропічному виконанні мають індекс «Т» (ВМП-10Т), посилені – індекс «У» (ВМП-10У, ВМП-10ТУ). Вимикачі мають різні розміри залежно від типу розподільного устаткування (РУ), для якого вони призначені.

Приклад умовного позначення вимикача ВМП(Е)-10-А1/А2 УЗ:

ВМП – вимикач маломасляний підвісний;

Е – електромагнітний привід ПЕ-11;

10 – номінальна напруга, кВ;

А1 – номінальний струм відключення (20; 31,5) кА.

А2 – номінальний струм вимикача (630; 1 000; 1 600), А.

УЗ – кліматичне виконання та категорія розміщення.

На рисунку 1.3 показано пристрій і габаритні розміри вимикача ВМП-10 [9]. Полюси вимикача складаються з двох частин: нижньої 1, та верхньої 2, змонтовані вони на зварній рамі 4, усередині якої розташовані: головний вал з

важелями 6, вимикаючі пружини, пружинний буфер і масляний буфер 7. Опорні фарфорові ізолятори 3 мають внутрішнє еластичне механічне кріплення арматури. Вони встановлені у верхній і нижній частині рами 4 (по два на кожний полюс).

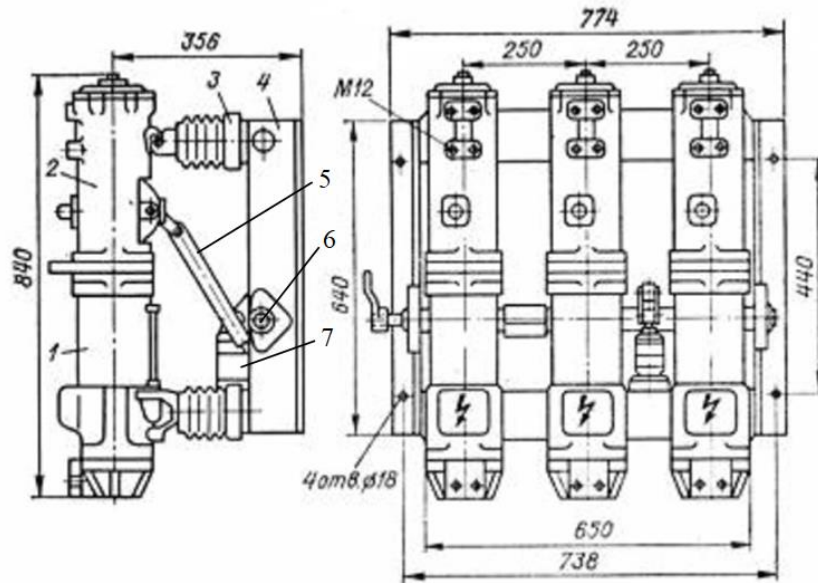


Рисунок 1.3 – Габаритні розміри вимикача ВМП-10 [9]:

- 1 – нижній бак; 2 – верхній бак; 3 – опорний ізолятор;
- 4 – рама; 5 – ізоляційна тяга; 6 – вал; 7 – масляний буфер

Кожний полюс вимикача (рис. 1.4) – це міцний вологостійкий ізоляційний циліндр 5, на кінцях якого заармовані металеві фланці. Кріплення фланців до циліндра здійснено за допомогою нарізі і епоксидної клейкої маси. На верхньому фланці укріплений корпус з алюмінієвого сплаву, усередині якого розташований приводний механізм 10, пересувний контактний стрижень 12, роликострумознімач 7, масловіддільник 8 та кришка 9. Нижній фланець 1 закритий кришкою, усередині якої розташований нерухомий розетковий контакт 2, а зовні – пробка для зливу масла.

Усередині циліндра над розетковим контактом 2 розташована гасильна камера 4, яка складається з пакета круглих і фігурних пластин з електрокартону, фібри і гетинаксу.

Для контролю рівня масла у гасильній камері встановлено показник рівня масла 13. Повітряна подушка 3 виконує роль повітряного буфера.

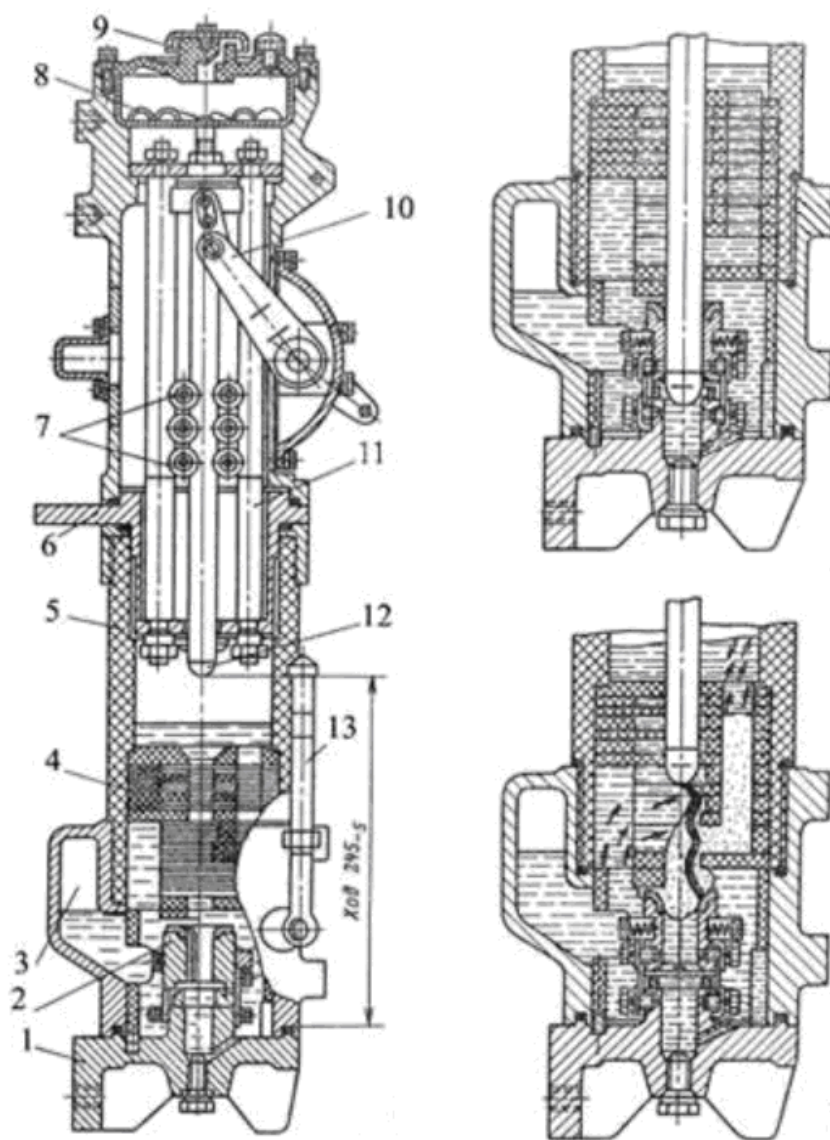


Рисунок 1.4 – Розріз полюса вимикача ВМП-10

Завдяки різній формі внутрішніх отворів в пластинах, з яких зібрана гасильна камера, в останній утворюються три поперечні дуттеві канали, розташовані один над іншим в нижній частині камери, і масляні «кишені», розташовані у верхній частині камери.

Наконечник рухомого контакту 12 (рис. 1.4) знімний і при необхідності може бути легко замінений. Поверхня наконечника і торці ламелей розеткового контакту мають облицьовування з дугостійкої металокераміки, що підвищує їх стійкість до дії електричної дуги і термін експлуатації. Рівень масла в циліндрі контролюється показником масла 13 (рис. 1.4), що встановлений на кожному

полюсі вимикача. Якість масла повинна відповідати вимогам до ізоляційного масла. Якщо масло сильно забруднене, а канали обвуглені, то можливе перекриття між контактами у вимкненому положенні. Контакти та дугогасні пристрої вимикача ВМП-10 досяжні для огляду і ревізії.

Дуттєві канали мають роздільні виходи, направлені вгору. Процес гасіння електричної дуги в гасильній камері вимикача ВМП-10 показаний на рисунку 1.5. Великі і середні струми гасяться дуттям в поперечних каналах, а малі струми, якщо вони не будуть погашені в каналах, гасяться турбулентним дуттям в масляних «кишенях».

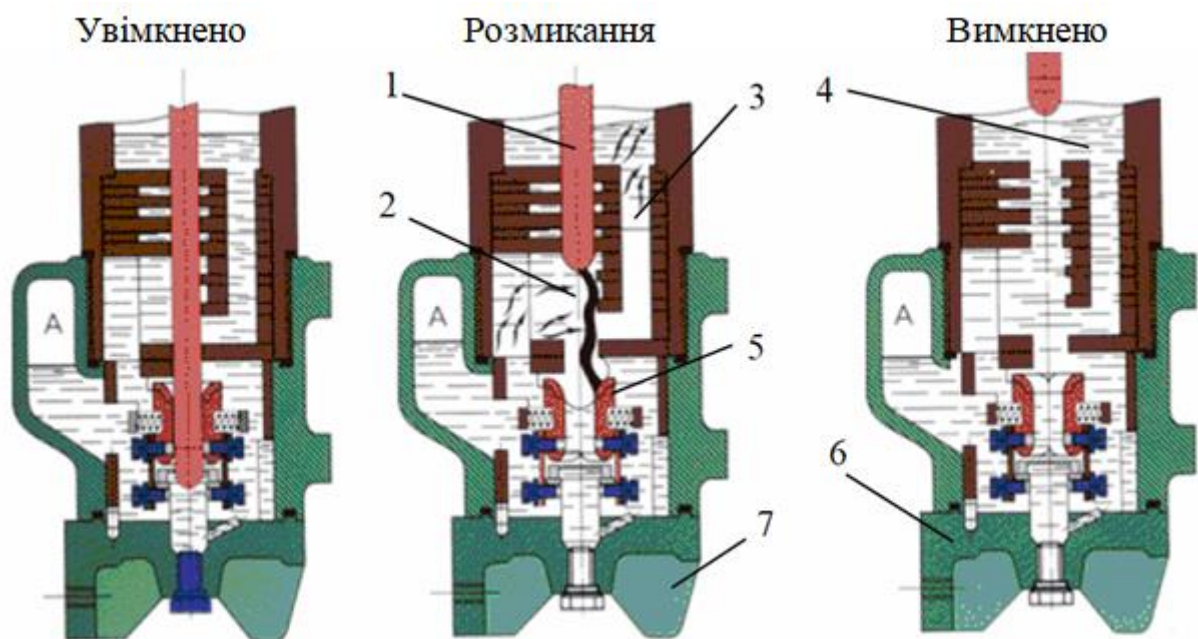


Рисунок 1.5 – Процес гасіння електричної дуги у вимикачі ВМП-10:

- 1 – рухомий контакт; 2 – дугогасна камера; 3 – вихлопний канал;
4 – трансформаторне масло; 5 – розетковий контакт; 6 – нижній фланець;
7 – кришка фази вимикача; А – повітряний буфер

Підкамерний простір з'єднаний з повітряною порожниною, яка розташована в нижньому фланці циліндра. Ця порожнина є акумулятором тиску: знижує тиск в камері при граничних вимикаючих струмах і ефективно сприяє гасінню дуги у момент проходження струму через нуль.

Після гасіння дуги пара та газу потрапляють у верхню частину корпусу, де пар масла конденсується, а газу виходять через отвори у кришці. Коли

камера заповниться маслом, що конденсувалося, вимикач готовий до наступного циклу операцій. Безструмова пауза при АПВ для таких вимикачів доволі велика (0,5 с).

1.4.2 Вимикач ВК-10

Високовольтні вимикачі колонкового типу ВК-10 (рис. 1.6) з пружинним приводом [8] та вимикачі ВКЕ-10 з електромагнітним приводом [10] призначені для роботи у КРУ внутрішнього та зовнішнього розташування.

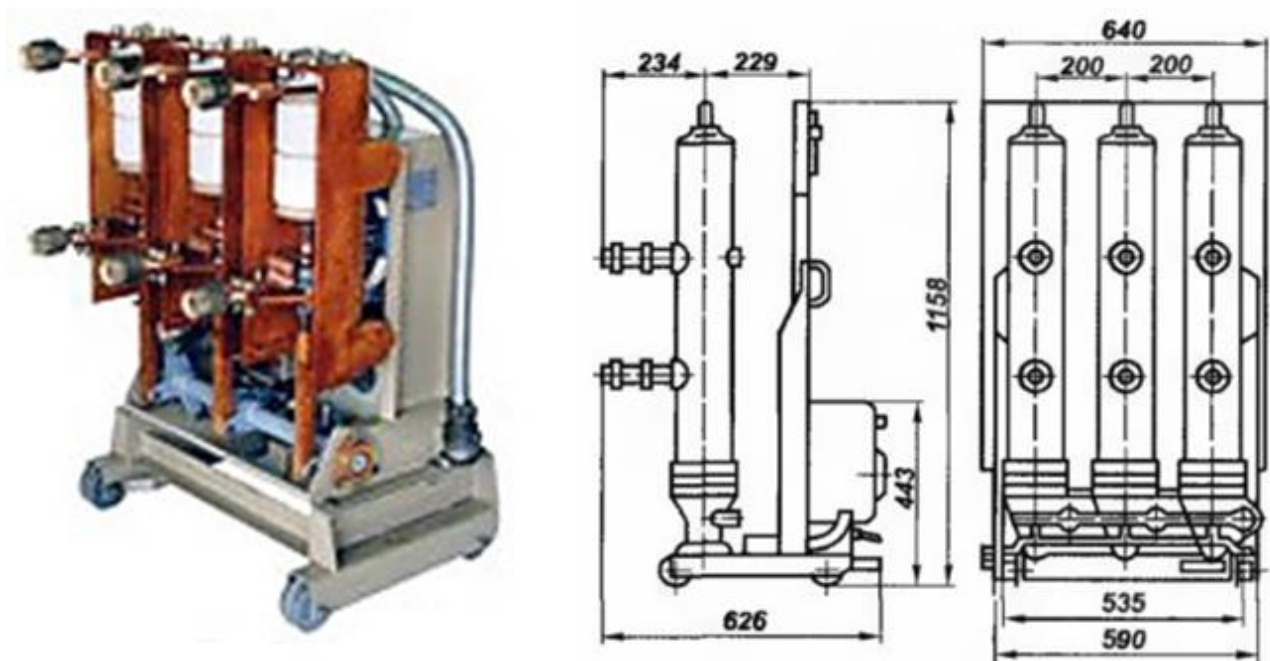


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри вимикача ВК-10

Гасіння електричної дуги, яка виникає при розмиканні контактів, відбувається потоком газопарової суміші, що направляється у спеціальний дугогасний пристрій, розміщений у зоні горіння дуги.

Вимикачі серії ВК мають менші габарити та вагу ніж вимикачі серії ВМП, тому цей тип достатньо широко застосовується в КРУ.

Номінальні струми вимикачів ВК: 630, 1000, 1600 А;

Номінальні струми вимикання – 20 та 31,5 кА.

Приводи вимикачів комплектуються електромагнітами керування на номінальну напругу 127 або 220 В змінного струму, та 110 або 220 В постійного струму.

1.5 Порядок виконання лабораторної роботи

Ознайомитись з пристроєм вимикача ВМП-10, з процесом гасіння електричної дуги. У звіті надати опис конструкції (навести рисунок 1.3), переваг, недоліків вимикача ВМП-10, розріз полюса (навести рисунок 1.4).

Навести рисунок 1.5 і надати опис процесу гасіння електричної дуги.

Навести технічні характеристики вимикача ВК-10.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть призначення високовольтних малооб'ємних масляних вимикачів.
2. Поясніть послідовність вибору високовольтних малооб'ємних масляних вимикачів.
3. Назвіть характерні конструктивні особливості всіх типів малооб'ємних масляних вимикачів.
4. Поясніть процес гасіння дуги в дугогасильній камері ВМП-10.
5. Які особливості гасіння дуги при відключенні малих струмів?
6. Поясніть призначення металевого стакану з повітряною подушкою у вимикача ВМП-10.
7. Які конструктивні особливості вимикачів типу ВК-10?
8. Як здійснюється злив шлаку (осадку масла) і доливання свіжого масла у вимикач?
9. Поясніть призначення і дію масловіддільників.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ВИСОКОВОЛЬТНІ ВАКУУМНІ ВИМИКАЧІ

2.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії і конструктивні особливості вакуумних вимикачів, електромагнітний привод та роботу схеми керування. Ознайомитися з призначенням і основними технічними параметрами вимикача ВВВ-10-4-400.

2.2 Домашнє завдання

1. Вивчити конструктивні особливості і принцип роботи вакуумних вимикачів за навчальною літературою [11].
2. Письмово відповісти на такі питання:
 - принцип дії вакуумного вимикача;
 - як забезпечується герметичність вакуумної камери;
 - з яких матеріалів виготовляються контакти вакуумної камери?
3. Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи, схема (рис. 2.12).

2.3 Теоретична частина

Найбільш доцільною альтернативою масляним вимикачам є високовольтні вакуумні вимикачі (рис. 2.1) в яких середовищем для гасіння електричної дуги є вакуум. Вакуумний вимикач призначений для комутацій (операцій вмикання-вимикання) електричного струму (номінального і струмів короткого замикання) в електроустановках. Вони широко застосовуються в мережах від 6 до 35 кВ і рідше в схемах 110 або 220 кВ включно. Їх номінальний струм відключення може складати від 20 до 40 кА, а струм

електродинамічної стійкості — близько 50–100 кА. Загальний час відключення таким вимикачем струму навантаження або аварії становить близько 45 мілісекунд.

Електрична міцність розрідженого газу (10^{-6} – 10^{-8} Н/см²) у вакуумній камері вимикача в десятки разів перевищує міцність газу при атмосферному тиску. Це дозволяє використовувати розріджений газ у високовольтних вимикачах. В таких вимикачах [12] «при розмиканні контактів у вакуумі відразу ж після першого проходження струму в електричній дузі через нуль ізоляція відновлюється, і дуга знов не запалюється. В мить розмикання контактів у вакуумному проміжку, комутований струм спричинює виникнення електричного розряду – вакуумної дуги, існування якої підтримується металом, який випаровується з поверхні контактів у вакуумний проміжок. Плазма, утворена іонізованою парою металу, проводить електричний струм, тому струм протікає між контактами до миті його переходу через нуль. У момент переходу струму через нуль дуга гасне, а пари металу, що залишилися миттєво (за 7–10 мікросекунд) конденсуються на поверхні контактів і на інших деталях дугогасної камери, відновлюючи електричну міцність вакуумного проміжку. Одночасно на розведених контактах відновлюється прикладена до них напруга.



Рисунок 2.1 – Вакуумний вимикач BB/TEL 6-10 кВ [12]

Переваги вакуумних вимикачів:

- відсутність необхідності заміни й поповнення дугогасильного середовища, компресорних установок і масляного господарства;
- висока зносостійкість при комутації номінальних струмів і струмів КЗ;
- мінімум обслуговування, зниження експлуатаційних витрат;
- термін експлуатації до 25 років;
- швидке відновлення електричної міцності дугогасного проміжку $(10-50) \times 10^3$ В/мкс;
- повна вибухо- і пожежобезпека;
- надійна робота у випадку, коли в процесі відключення малого струму в колі виникає струм КЗ (дугогасні пристрої масляних вимикачів зазвичай розриваються);
- широкий діапазон температур навколишнього середовища, у якому можлива робота вакуумних дугогасних камер (ВДК) (від -70 до +2 000 °С);
- підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень;
- довільне робоче положення вакуумного вимикача;
- безшумність, чистота, зручність обслуговування, зумовлені малим виділенням енергії в дузі й відсутністю зовнішніх ефектів при відключенні струмів КЗ;
- відсутність забруднення навколишнього середовища;
- порівняно мала маса й габаритні розміри й невеликі динамічні навантаження на конструкцію й фундамент;
- висока швидкодія;
- можливість організації автоматизованого оперативного управління вимикачем.

На рисунку 2.2 показано розріз фази вакуумного вимикача.

Кожна фаза електричного ланцюга відокремлена ізоляторами, в той самий час все обладнання конструктивно зібрано в єдиному загальному приводі. Шини підстанції підключаються на вхідні введення вимикача, а фідери живлення споживачів – на вивідні.

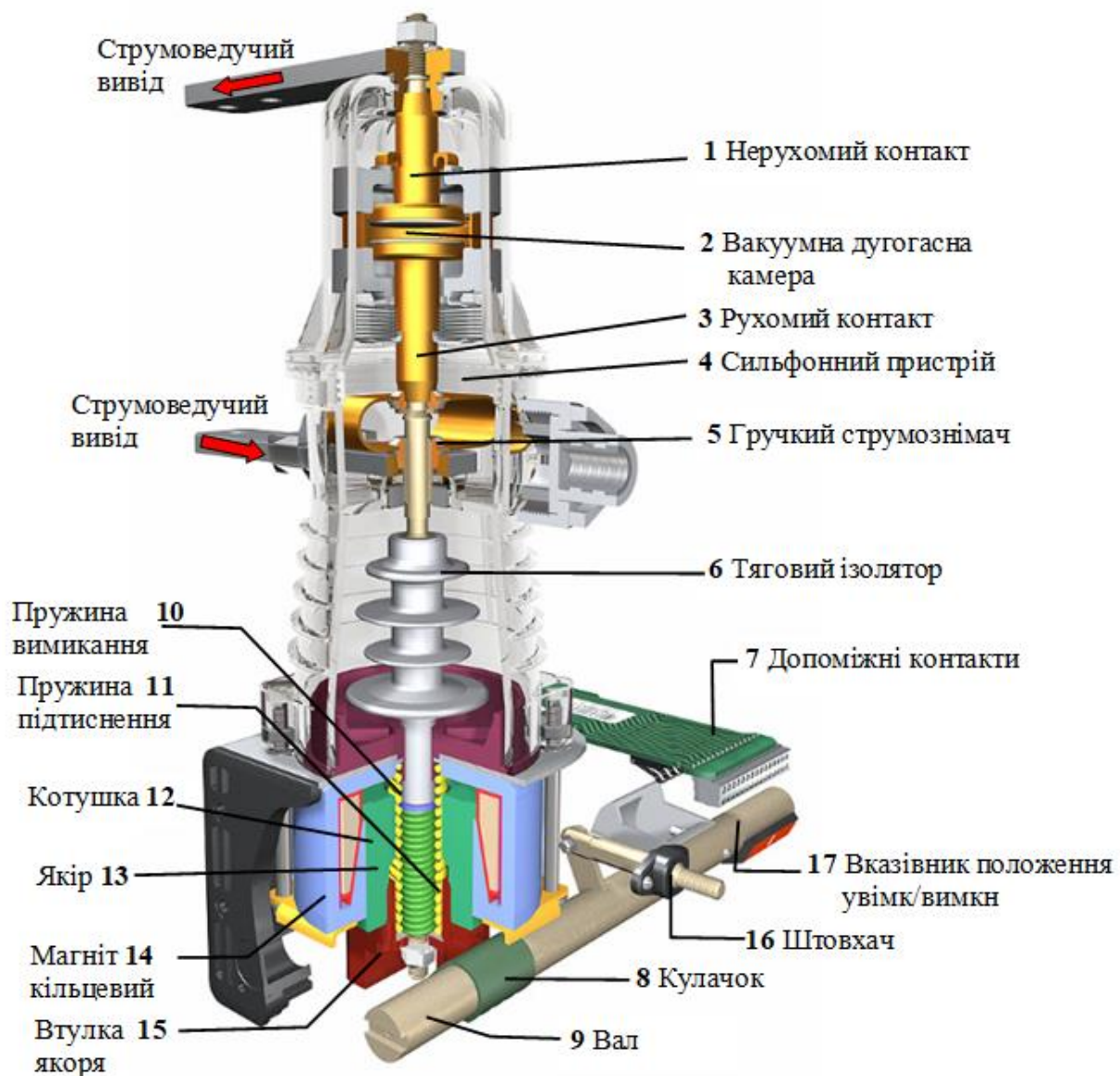


Рисунок 2.2 – Розріз фази вакуумного вимикача [12]

Всередині ВДК розташовані силові контакти, які стиснені між собою так, щоб забезпечити мінімальний перехідний опір і надійне проходження струмів як навантаження, так і аварійних струмів КЗ.

Верхня частина контактної системи стаціонарно закріплена, а нижня під дією зусилля приводу здатна переміщатися строго в осьовому напрямку.

Контактні пластини (рис. 2.2) розташовані у вакуумній камері і приводяться до руху тягами, які керуються силами натягу пружин і котушок електромагнітів. Вся ця конструкція розташована всередині системи ізоляторів, що виключають виникнення струмів витоку.

Стінки вакуумної камери виконані з очищених металів, сплавів і спеціальних складів кераміки, що забезпечують герметичність робочого середовища протягом декількох десятиліть. Для виключення попадання повітря при переміщеннях рухомого контакту встановлено сильфонний пристрій.

Якір електромагніту постійного струму здатний рухатися на замикання силових контактів або їх розрив шляхом зміни полярності напруги, що подається на обмотку. Постійний круговий магніт, вбудований в конструкцію привода, утримує рухому частину в будь-якому положенні спрацювання.

Система пружин забезпечує створення оптимальних швидкостей пересування якоря при комутаціях, виключення брязкоту контактів і можливостей пробоїв конструкції стінок.

Усередині корпусу вимикача зібрана кінематична і електрична схеми з синхронізуючим валом і додатковими блок-контактами, що забезпечують можливості контролю і керування положенням вимикача в будь-якому стані.

Принципова відмінність вакуумного вимикача полягає в способі гасіння електричної дуги, що виникає при роз'єднанні контактів під час відключення. Якщо у його аналогів для гасіння дуги створюється середовище стисненого повітря, масла або елегазу, то тут працює вакуум.

2.3.1 Принцип гасіння дуги у вакуумному вимикачі

Обидві контактні пластини працюють у середовищі вакууму, утвореного шляхом відкачування газів з посудини ВДК до $10^{-6} \div 10^{-8}$ Н/см². При цьому створюється висока електрична міцність, яка характеризується посиленими діелектричними властивостями.

З початком руху контактів на роз'єднання між ними з'являється проміжок, який одразу містить вакуум. В середині нього починається процес випаровування нагрітого металу контактних площадок. Через ці пари продовжує протікати струм навантаження. Він ініціює утворення додаткових

електричних розрядів, що створюють дугу в середовищі вакууму, яка продовжує розвиватися внаслідок випаровування і відриву парів металу.

Під дією прикладеної різниці потенціалів утворені іони рухаються у певному напрямку, створюючи плазму. В її середовищі триває протікання електричного струму та відбувається подальша іонізація.

Оскільки вимикач працює на змінному електричному струмі, то його напрямок протягом кожного півперіоду змінюється на протилежний. При переході синусоїди через нуль струм відсутній. Внаслідок цього дуга різко гасне й обривається, а відторгнуті іони металу припиняють виділятися і за 7–10 мікросекунд повністю осідають на найближчих поверхнях контактів або інших частинах дугогасної камери.

У цей момент електрична міцність проміжку між силовими контактами, що заповнений вакуумом, практично миттєво відновлюється, чим забезпечується остаточне відключення струму навантаження. В наступному півперіоді синусоїди електрична дуга виникнути вже не може.

Таким чином, для припинення дії електричної дуги в середовищі вакууму при розмиканні силових контактів достатньо змінному струму змінити свій напрямок.

2.3.2 Особливості різних моделей вакуумних вимикачів

Конструкції вакуумних вимикачів створюються для тривалої роботи на відкритому повітрі або в закритих спорудах. Пристрої зовнішньої установки виготовляються з суцільнолитими полюсами, виконаними з ізоляцією з кремнійорганічних матеріалів, а для внутрішньої роботи застосовують литі компаунди епоксидних складів.

Вакуумні камери в заводських умовах виготовляють з можливістю їх заміни в процесі експлуатації. В середині камер розміщені силові контакти зі спеціальних сортів легованих сплавів. Вони, завдяки застосованому принципу

роботи та конструкції, забезпечують м'яке гасіння електричної дуги, що виключає можливість утворення перенапруг у схемі.

Універсальний електромагнітний привід використовується в усіх конструкціях вакуумних вимикачів. Він утримує силові контакти в замкнутому або відкритому стані внаслідок енергії потужних магнітів.

Комутація і фіксація контактної системи здійснюється положенням «магнітної засувки», перемикає ланцюг магнітів на підключення чи відключення рухомого якоря. Вбудовані пружинні елементи дозволяють електротехнічному персоналу здійснювати ручне перемикавання.

Для управління вакуумним вимикачем використовуються типові релейні або електронні схеми, мікропроцесорні блоки, які можуть бути розташовані безпосередньо в корпусі приводу або виконані виносними пристроями в окремих шафах, блоках або на панелях.

Для одержання швидкодії у ВДК знайшла широке застосування торцева контактна система. Вона дає можливість мати малий хід контактів і невеликий власний час відключення. Проста конструкція контакту дозволяє створити технологію, при якій добре дегазуються струмопровідні елементи вимикача, що дуже важливо для забезпечення високого вакууму великої стабільності.

Зазвичай торцевий контакт має великий перехідний опір і, отже, більші теплові втрати при номінальних струмах 2 000–4 000 А. Через те, що контактні стрижні розташовуються у вакуумі, віддача теплоти відбувається здебільшого шляхом теплопровідності уздовж тіла контакту й передачі теплоти в навколишнє середовище через зовнішні контакти вимикача й приєднані до них шини. Частина теплоти, що виділяється в перехідному контакті й тілі контактів, віддається випромінюванням.

Велика потужність, яка виділяється в торцевому контакті, також пов'язана з тим, що для забезпечення високої динамічної стійкості контактної системи й великого значення струму застосовується вольфрам або металокераміка на його основі. Ці матеріали завдяки своїм фізичним властивостям дають великий перехідний контактний опір. Зовнішній

приєднувальний контакт виконується із посрібленої міді й має граничну припустиму температуру 105°C . Якщо температура навколишнього середовища дорівнює 40°C , то потужність, що підводиться до зовнішнього контакту повинна бути розсіяна при перепаді температури 65°C . При торцевому контакті вдається утримати температуру в зазначених межах при струмі $I_{\text{ном}} = 600\text{--}700\text{ А}$. При збільшенні номінального струму втрати різко зростають, що призводить до необхідності застосування контактного стрижня більшого перерізу. Для зменшення температури зовнішнього контакту вимикача він приєднується до кола декількома мідними шинами з розвинутою поверхнею.

Найбільш доцільно для торцевих контактів використовувати вольфрам. Вольфрамові контакти стійкі проти зварювання і дають найбільший струм відключення. Однак у міру розвитку ВДК у вольфраму був виявлений ряд недоліків. При відключенні навантаження з великим хвильовим опором були виявлені значні перенапруги, які часто призводили до пробою ізоляції устаткування, що відключається. Річ у тім, що завдяки фізичним властивостям вольфраму при малих струмах різко падає щільність його пари у вакуумній дузі. Через це дуга горить нестабільно і обривається раніше, ніж струм підійде до нуля (цей струм називається струмом зрізу). На навантаженні виникає напруга $U = i_{\text{зр}} \sqrt{L/C}$, де $i_{\text{зр}}$ – струм зрізу, L і C – відповідно індуктивність і ємність кола, що вимикається. У мідних контактів також спостерігаються зрізи струму, але струм у багато разів менший, ніж у вольфрамових. Для зменшення струму зрізу у матеріал вольфрамових контактів додається добавка сурми 4–5 %. При цьому струм зрізу зменшується до 4 А.

Однак такий спосіб обмеження перенапруг застосовується тільки у вакуумних контакторах, тому що у вимикачах на більші струми в процесі відключення сурма, з'єднуючись із міддю контактів, збільшує перехідний опір і нагрівання контактів номінальним струмом.

У потужних вакуумних вимикачах застосовуються мідні контакти. Для обмеження перенапруг при відключенні навантаження з великим значенням $\sqrt{L/C}$ застосовуються шунтувальні ланцюги або нелінійні обмежувальні

опори – варистори. Струм $i_{зр}$ має бути менше ніж 4–5 А. Опори включаються між проводами фази й землею.

Для одержання високого значення струму відключення необхідно домогтися рівномірного розподілу теплового потоку дуги площею контакту. Для цього на дугу впливають магнітним полем. Якщо таких заходів не вживати, дуга концентрується на невеликій точці діаметром 1–3 см і струм відключення падає до 5–10 кА навіть при великому діаметрі контакту.

Для збільшення струму відключення інколи з'єднуються декілька камер паралельно.

У перших зразках ВДК усередині камери знаходились тільки контакти. Пари металу електродів, що випаровуються при відключенні, осаджувалися на внутрішній поверхні ізоляційного корпусу дугогасного пристрою. Відбувалося перекриття ізоляції апарата. У зв'язку із цим були введені металеві екрани. Екрани надійно захищали корпус від пари металу, але розподіл напруги усередині камери був недостатньо рівномірним і мали місце випадки пробойів усередині ВДК після того, як процес дугогасіння вже закінчувався. У зв'язку із цим були розроблені екрани, що дозволяють вирівняти напруженість електричного поля в ВДК. Електрична міцність між контактами дугогасного пристрою апарата на початку з ростом відстані збільшується, а потім росте незначно через неоднорідність поля. Тому підвищення електричної міцності дугогасного пристрою відбувається не шляхом збільшення відстані між електродами, а шляхом вирівнювання електричного поля. Застосування екранів дозволяє скоротити осьову довжину ВДК й одержати необхідну електричну міцність. Герметичність дугогасильних камер забезпечується за допомогою сильфону, що створює герметичне рухоме з'єднання і через який проходить рухомий контакт.

2.4 Вакуумний вимикач ВВВ-10/400

2.4.1 Основні параметри вимикача

Вакуумний вимикач типу ВВВ-10 (рис. 2.3) – швидкодійний, триполюсний, внутрішньої установки, з окремим електромагнітним приводом, що забезпечує багаторазове швидке автоматичне повторне вмикання, дистанційне керування від кіл оперативного керування і відключення від релейного захисту, призначений для комутації трифазних електричних кіл напругою 10 кВ промислової частоти.

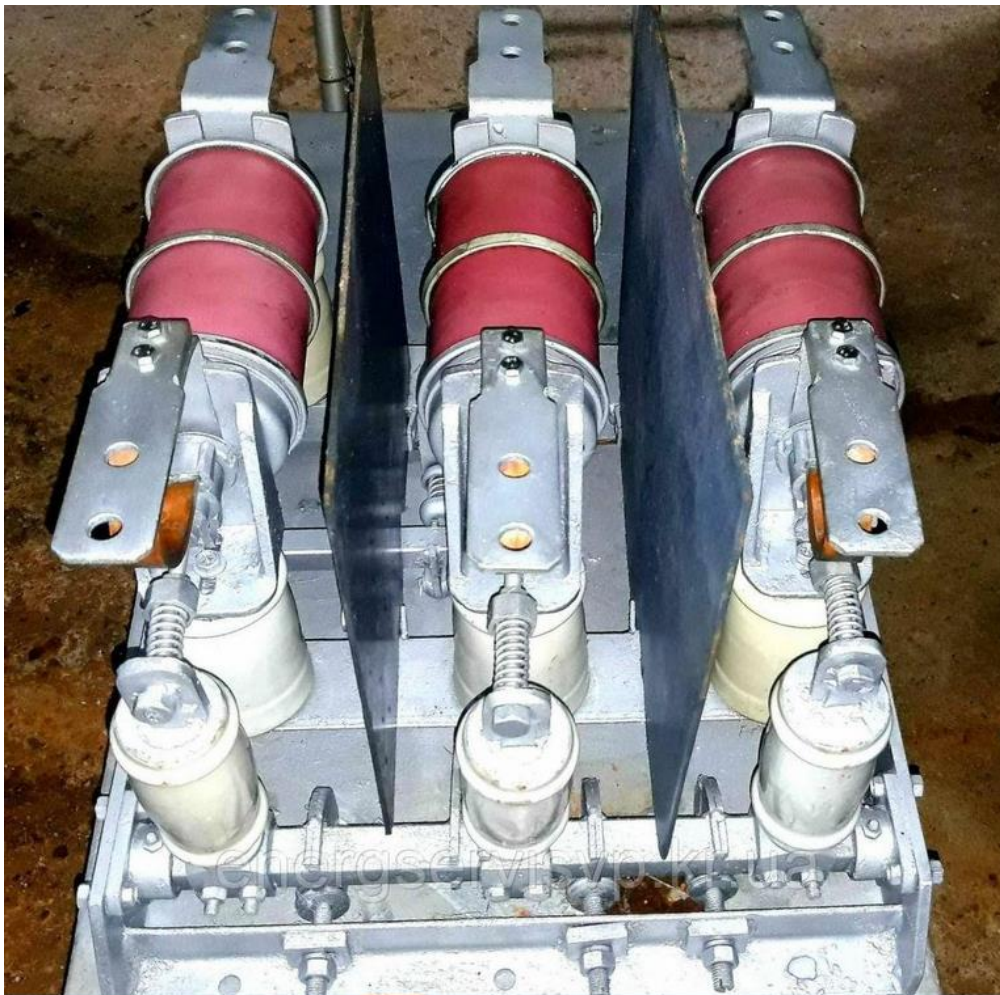


Рисунок 2.3 – Вакуумний вимикач ВВВ-10/400 [13]

Вимикач розрахований на розміщення в КРУ, виготовляється у кліматичному виконанні В2 і може працювати при температурах від +55 °С

до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносній вологості повітря від 40 % до 85 %. Живлення кіл керування вимикача здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В, 50 Гц.

Основні електричні дані вимикача:

- номінальна напруга 10 кВ;
- найбільша робоча напруга 12 кВ;
- номінальний струм 400 А;
- номінальний струм вимикання 4 кА;
- повний час вимикання – не більш 25 мс;
- власний час вимикання – не більш 15 мс;
- комутаційний ресурс при відключенні номінального струму до 5 000 операцій;
- комутаційний ресурс при відключенні номінального струму вимикання – 100 операцій;
- механічний ресурс – 50 000 циклів;
- струм споживання – не більше 15 А при 220 В;
- маса – не більше 55 кг.

2.4.2 Кінематична схема вимикача

Вимикач (рис. 2.4) складається власне з вимикача і привода, зв'язаних тягою. За допомогою кронштейнів на ізоляторах закріплені вакуумні дугогасильні камери 15. На рамі закріплені опори, в яких установлені головний і проміжний вали 14, 19. На головному валу закріплені: три важелі – ізолятори 23, зв'язані механізмами дотискання з виводами рухомих контактів камер 6; три важелі 19, в які упираються поворотні пружини 20; приводний важіль, зв'язаний через проміжну ланку з приводним важелем проміжного вала 14. На проміжному валу 14 розміщений важіль, зв'язаний тягою 12 з приводом.

За допомогою кронштейнів на ізоляторах закріплені вакуумні дугогасильні камери 7. На рамі закріплені опори, в яких установлені головний і

проміжний вали 14, 19. На головному валу закріплені: три важелі – ізолятори 23, зв’язані механізмами дотискання з виводами рухомих контактів камер 6; три важелі 19, в які упираються поворотні пружини 20; приводний важіль, зв’язаний через проміжну ланку з приводним важелем проміжного вала 14. На проміжному валу 14 розміщений важіль, зв’язаний тягою 12 з приводом.

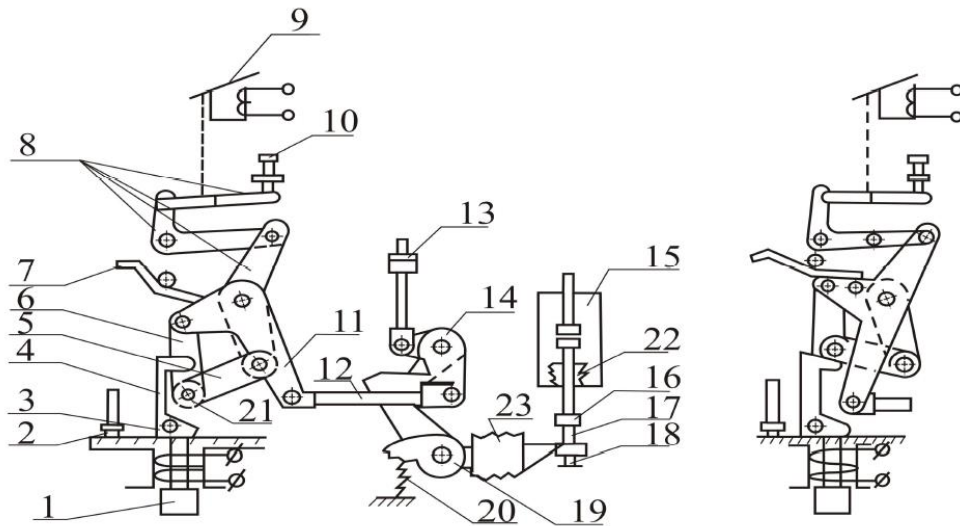


Рисунок 2.4 – Кінематична схема вимикача [1]:

1 – електромагніт вмикання; 2 – гвинт регулювання пружини защіпки;
 3 – пружина защіпки; 4 – защіпка; 5, 6, 8 – ланки; 7 – важіль приводу
 блок-контактів; 9 – електромагніт вимикання; 10 – гвинт регулювання
 зусилля вимикання; 11 – важіль; 12 – тяга; 13 – демпферний пристрій;
 14 – вал проміжний; 15 – камера дугогасильна; 16 – гайка
 регулювання підтискання контактів; 17 – пружина підтискання
 контактів; 18 – тяга; 19 – головний важіль; 20 – пружина відключення;
 21 – вісь; 22 – сильфон; 23 – важіль-ізолятор

Вимикач містить: шини, жорстко зв’язані з нерухомими контактами камер 15; шини з гнучким струмовідводом від рухомих контактів камер 15; підпружинену тягу 4 з регульованим упором, зв’язану з проміжним валом і обмежувач переміщення приводного важеля головного вала (демпферний пристрій) 13; міжполюсні ізоляційні перегородки.

Механізм дотискання полюса вимикача складається з тяги, пружини дотискання, спец гайки та контргайки.

Привод складається з литого корпусу, в якому закріплені: котушка електромагніту вмикання, всередині якого переміщується якір з укріпленням на ньому штовхачем; механізм вільного розчіплювання, що складається з системи ланок, що займають під впливом зовнішніх сил два фіксованих положення. З одною з ланок механізму шарнірно з'єднана тяга, зв'язана з вимикачем; механізм затримки якоря електромагніту вмикання; важіль ручного вмикання; важіль перемикання блок-контактів; показчик стану вимикача; регулювальний гвинт; блок-контакти; панель елементів схеми керування.

При подачі напруги на обмотку електромагніту вмикання, струм в обмотці, нарастає за експонентним законом. Якір електромагніту починає рух і впливає на ролик, установлений на осі, що з'єднує ланки механізму вільного розчіплювання. При переміщенні вгору вісь упирається в нижню частину зуба підпружиненої зачіпки, що загальмовує рух якоря. При подальшому наростанні струму (приблизно до 12–14 А), зусилля, що розвивається електромагнітом, збільшується і вісь відводить зачіпку вліво. При цьому знімається гальмування якоря електромагніту, його штовхач повертає ланку за годинниковою стрілкою і передає рух на праве плече важеля. Важіль через тягу повертає важіль, установлений на проміжному валові. Вал повертається за годинниковою стрілкою, зусилля через проміжну ланку передається на важіль, який при цьому повертає головний вал вимикача проти годинникової стрілки. Установлені на валу ізолятори повертаються проти годинникової стрілки й закріпленими на них кронштейнами стискають пружини, установлені на тязі, що йде до рухомих контактів дугогасильних камер. Наприкінці ходу штовхача електромагніту вмикання під вісь попадає зачіпка і механізм вільного розчіплювання виявляється у верхньому зафіксованому положенні. Вимикач ввімкнений.

При подачі команди на вимкнення спрацьовує електромагніт і згинає пари ланок, розташованих у верхній частині механізму вільного розчеплення,

вісь яких до цього знаходилася в мертвій точці. Ланки складаються, вісь зіскакує з заціпки, звільняється важіль і вимикач вимикається.

2.4.3 Схема керування вимикачем ВВВ-10

Схема кіл керування вимикачем наведена на рисунку 2.5. При натисканні кнопки SB1 від попередньо заряджених по колу VD5–R1 конденсаторів C3–C6 спрацьовує герконове реле KL1 і своїми контактами замикає коло живлення котушки магнітного пускача KS1. Одні контакти пускача KS1 шунтують SB1, інші – подають напругу на випрямний міст VD1–VD4, що живить електромагніт вмикання YAC. Електромагніт вмикання спрацьовує. Наприкінці ходу на вмикання розмикальні блок-контакти вимикача SQ4, відключають котушку KS1. Замикальні контакти SQ4 по колу R3–SQ4–KS1 остаточно розряджають конденсатори C3–C6, обмотка реле KL1 знеструмлюється і його контакти відключають котушку вмикання пускача KS1. Електромагніт вмикання YAC знеструмлюється блок-контактами SQ1.

Якщо вимикач ввімкнувся на коротке замикання і релейний захист миттєво або з невеликою витримкою часу його відключив, то повторного вмикання не відбудеться, тому що конденсатори C3–C6 наприкінці вмикання виявляються розрядженими, реле KL1 не може спрацювати. Таким чином, здійснюється заборона багаторазового включення вимикача, тобто блокування від «стрибання».

При оперативному відключенні вимикача за допомогою кнопки SB2 електромагніт вмикання YAT1 живиться постійним струмом від моста VS1, підключеного до вторинної обмотки трансформатора VT1. При відключенні від релейного захисту YAT1 одержує постійний струм від мостів VS2 і (або) VS3, підключених до вторинних обмоток швидко насичувальних трансформаторів струму ТА1 і ТА2, первинні обмотки яких підключаються до вторинних обмоток високовольтних трансформаторів струму ТАА, ТАС фаз А і С відповідно (рис. 2.4). Така система живлення котушки, яка відключає YAT, забезпечує надійне

вимикання вимикача при коротких замиканнях у первинному колі, коли напруга живлення оперативних кіл знижується нижче припустимої. Коло живлення електромагніту YAT1 замикається блок-контактами SQ3.

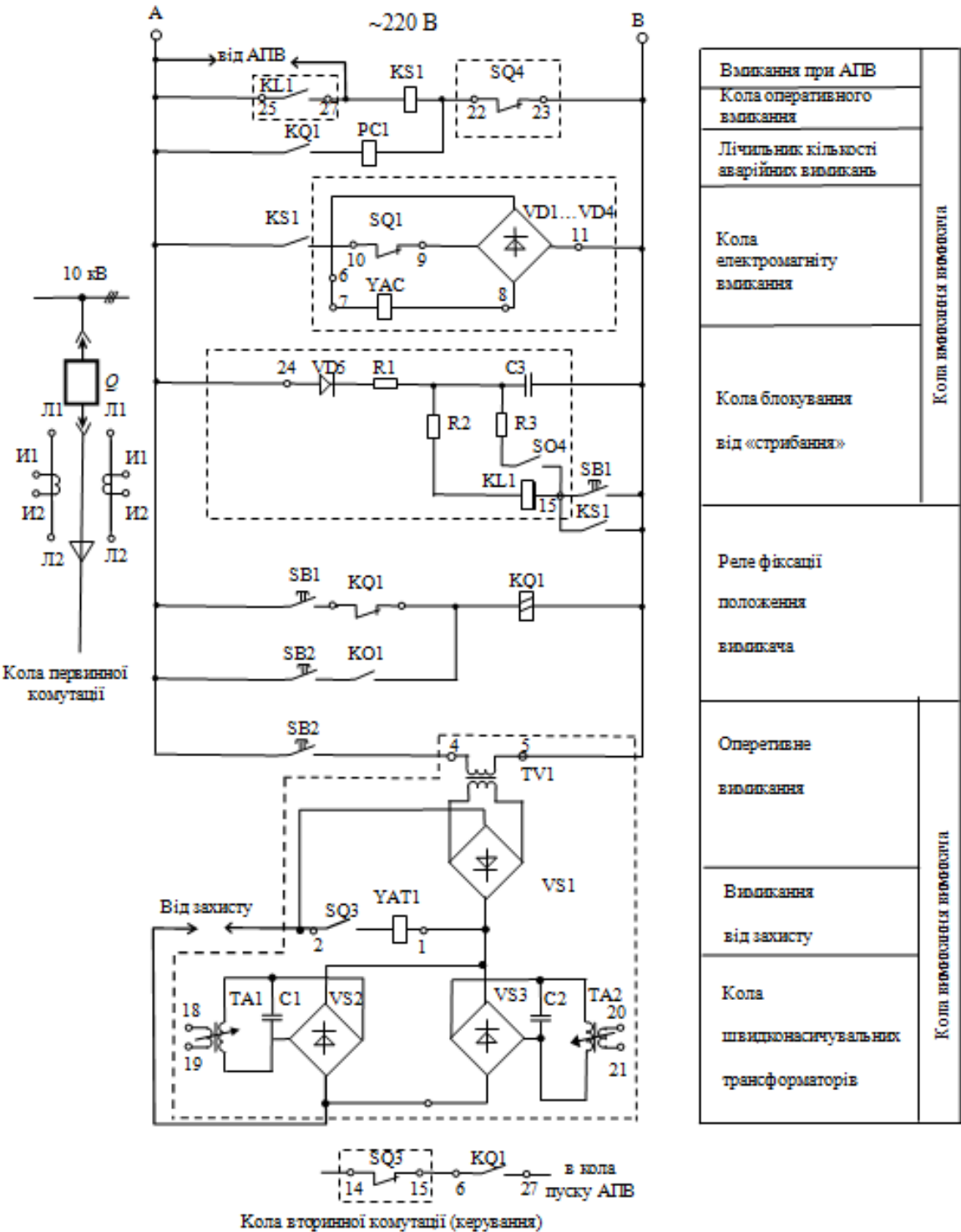


Рисунок 2.5 – Схема керування вимикачем [1]

При натисканні кнопок вмикання і вимикання спрацьовує двопозиційне реле KQ1, контакти якого разом із блок-контактами вакуумного вимикача Q створюють кола «невідповідності» стану схеми керування положенню вимикача, що використовуються в колі живлення лічильника числа аварійних відключень вимикача і для запуску пристрою автоматичного повторного включення.

2.5 Вакуумні вимикачі VD4

Опис вакуумних вимикачів VD4 наведено за даними сайту компанії General Energy Ukraine [14].

Вакуумні вимикачі серії VD4 застосовуються в електричних розподільних мережах для контролю та захисту кабелів, повітряних ліній, трансформаторних та розподільних підстанцій, двигунів, трансформаторів, генераторів та конденсаторних батарей.

Високовольтні вакуумні вимикачі VD4 6 – 40,5 кВ (рис. 2.6) з пружинним приводом для розподільних мереж виготовляються компанією «General Energy Ukraine», яка є імпортером і представником компанії General Electric.



Рисунок 2.6 – Вакуумні вимикачі VD4 середньої напруги [14]

Таблиця 2.1 – Основні характеристики вакуумних вимикачів VD4

Номінальна частота, Гц	50								
Мінімальна напруга, кВ	12				17,5		24	36	36/40,5
Номінальний термострум, А	630...4000				630...4000		630...3150		
Короткочасний струм, кА	16...31,5	40	50	63	16...31,5	40...50	16..31,5	40..50	16...40
Вмикальна здатність, кА	40...80	100	125	158	40...80	100...125	40...80	40...80	40...100
Допустимий час короткочасного струму, с	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Фіксована / вико-чувальна версія	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Маса	73–105	94–180	147–260	260	73–105	94–180	100–110	170–220	290–350

Вимикачі VD4 використовують механічний привід з накопиченням енергії та вільним розчепленням; ці характеристики дозволяють виконувати операції включення та вимкнення незалежно від оператора.

Вимикачі серії VD4 – це вакуумні апарати для закритих приміщень. Існують версії: фіксована і викочування (рис. 2.7) для КРУ UniGear ZS1 та осередків PowerCube.



Рисунок 2.7 – Вимикач VD4 викатна версія [14]

У вимикачах середньої напруги VD4 встановлені вакуумні переривники, вбудовані в полюси (рис. 2.8). Цей метод виготовлення робить полюси

вимикача особливо стійкими та захищає сам переривник від ударів, пилу та вологості. У вакуумному переривнику розташовані контакти, і сам він являє собою камеру, в якій відбувається переривання струму.

Привід та полюси закріплені на металевому шасі, яке є також опорою для фіксованої версії вимикача. Компактна структура забезпечує механічну міцність та надійність.

Викочувальна версія, крім контактів секціонування та дроту з вилкою для підключення допоміжних ланцюгів, комплектується візком для вкочування та викочування при закритих дверях КРУ або комірки.

Внаслідок розмикання контактів утворюються окремі точки плавлення на поверхні катода. Це призводить до утворення пари металу, які підтримують дугу.



Рисунок 2.8 – Вакуумний переривник, вбудований в корпус вимикача [14]

Розповсюдженій дузі властиве поширення по поверхні контакту та однорідне поширення по поверхні теплового впливу.

При номінальному значенні струму електрична дуга переривника завжди поширеного типу. Ерозія контакту дуже невелика, а кількість розмикань дуже висока.

При збільшенні сили струму, що переривається (понад номінального значення), електрична дуга перетворюється з поширеної в стиснуту під дією ефекту Холла.

Починаючи з анода, дуга стискається, і в міру збільшення струму концентрується (рис. 2.9). Відповідно до зацікавленої зони виникає підвищення температури з тепловим перевантаженням контакту, що впливає з цього.

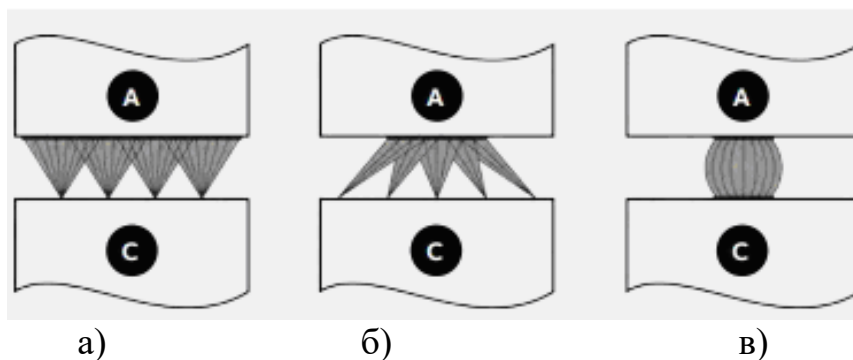


Рисунок 2.9 – Схема переходу від поширеної дуги до стислої в вакуумному переривнику [14]: а – розповсюджена дуга; б) – стиснення на аноді; в) стиснення на аноді і на катоді

Для запобігання перегріву та ерозії контактів, підтримується обертання дуги (рис. 2.10). Завдяки обертанню дугу можна порівняти з рухомим провідником, через який проходить струм. Особлива геометрія спіральних контактів утворює магнітне радіальне поле в будь-якій зоні колони концентрованої дуги на колах контактів. Самоутворюється електромагнітна сила, що діє тангенціально, викликаючи швидке обертання дуги навколо осі контактів.

Таким чином, дуга примушується до обертання і залучення більшої поверхні стосовно дуги з фіксованим контактом.

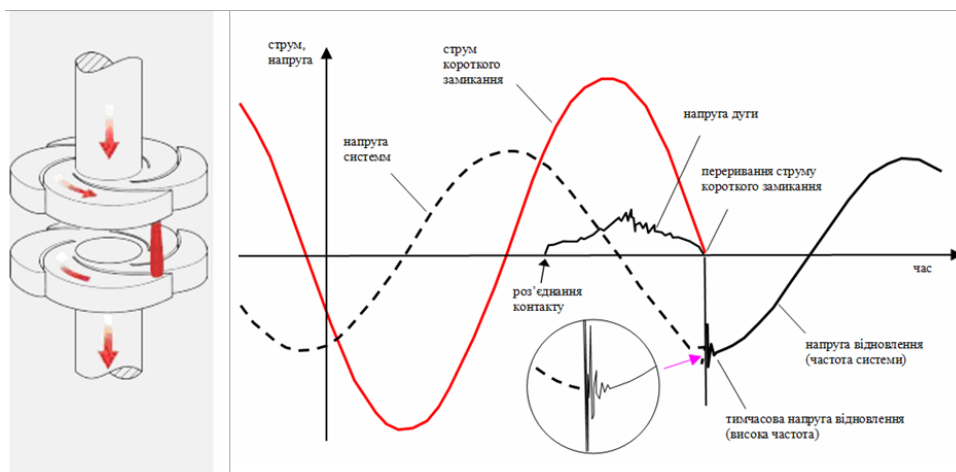


Рисунок 2.10 – Геометрія контакту з радіальним магнітним полем і дугою, що обертається у вакуумі. Розвиток струму та напруги протягом однієї фази під час переривання у вакуумі [14]

Все це не тільки знижує теплове навантаження контактів, але й доводить до незначного рівня ерозію контактів і, найголовніше, дозволяє контролювати процес відключення навіть при дуже високому струмі короткого замикання.

Вакуумні переривники ABB [14] – це пристрої, що розмикаються при природному проходженні струму через нуль, таким чином запобігають повторному виникненню дуги після природного проходження струму через нуль.

Швидке зниження щільності струму та швидка конденсація пар металу одночасно з нульовим моментом струму дозволяють відновити максимальну діелектричну міцність між контактами переривника протягом декількох тисячних часток секунди.

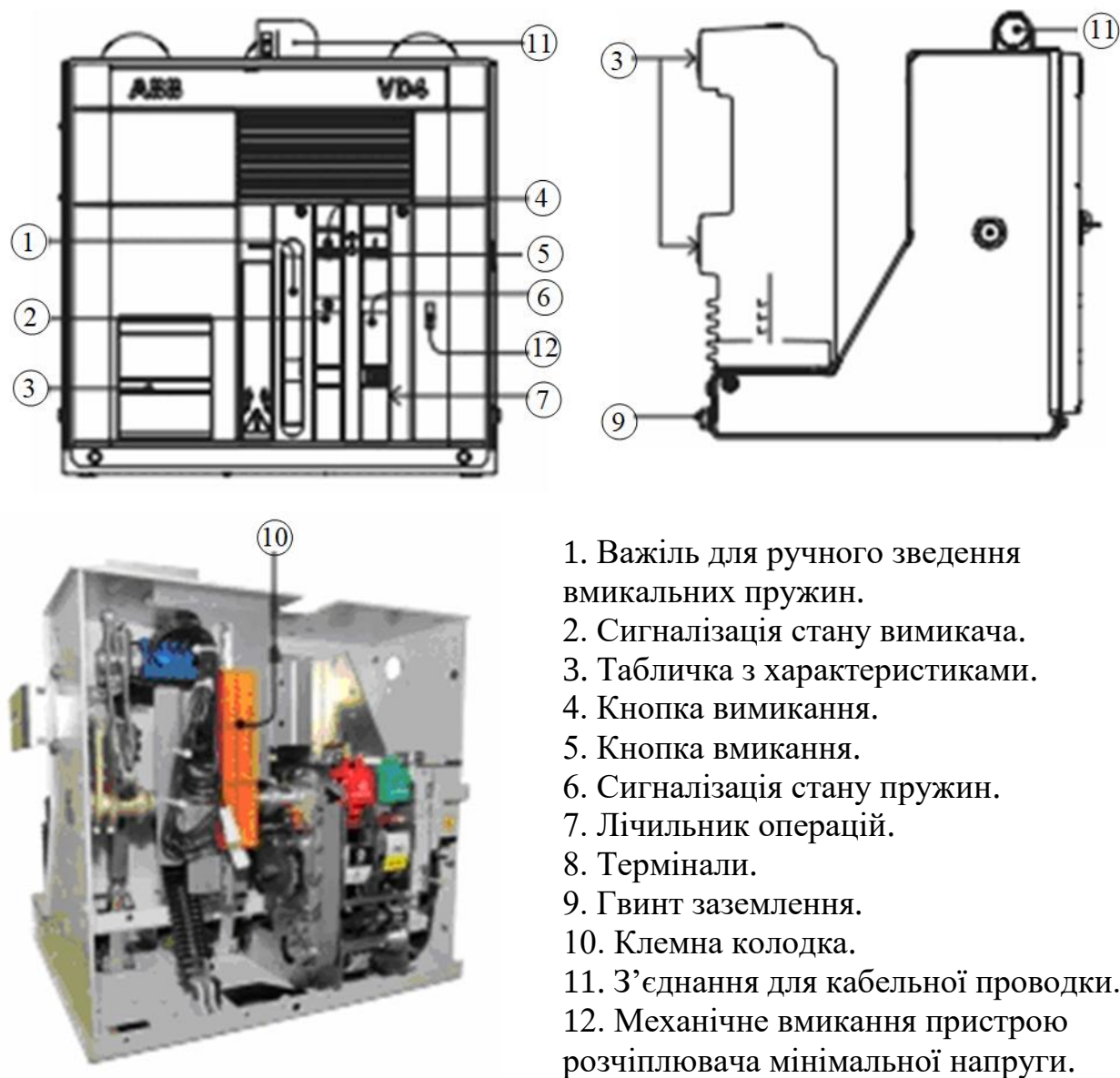
Вимикачі VD4 обладнані пружинним приводом типу EL. Привід EL розроблено для модельного ряду вимикачів, наведених у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Модельний ряд приводу типу EL

Тип приводу	Вимикаюча здатність
EL1-EL2	до 31,5 кА
EL3	до 40 кА – 24 кВ; 31,5 кА
EL3-S	40 кА з полюсом PT2
EL1 TWIN	до 50 кА (номінальний струм до 2 000 А)
EL2 TWIN	до 50 кА (номінальний струм $\geq 2\,500$ А)

2.5.1 Фіксовані вимикачі

Фіксований вимикач (рис. 2.11) у базовому виконанні комплектується каркасом та переднім захисним екраном. У нижній частині каркаса виконані отвори кріплення.



1. Важіль для ручного зведення вмикальних пружин.
2. Сигналізація стану вимикача.
3. Табличка з характеристиками.
4. Кнопка вимикання.
5. Кнопка вмикання.
6. Сигналізація стану пружин.
7. Лічильник операцій.
8. Термінали.
9. Гвинт заземлення.
10. Клемна колодка.
11. З'єднання для кабельної проводки.
12. Механічне вмикання пристрою розчіплювача мінімальної напруги.

Рисунок 2.11 – Пристрій фіксованого вимикача [14]

Для електричних підключень допоміжних ланцюгів є два типи підключень (вибираються клієнтом при складанні замовлення на закупівлю).

Гвинт заземлення знаходиться в задній частині вимикача. Додаткові деталі наведені в позначеннях на рисунку 2.11.

2.6 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову вакуумних камер, представлених на стенді лабораторії. Звернути увагу на форму контактів вакуумних камер. Спіральні пази на периферійних ділянках у камері нового типу при розмиканні контактів викликають виникнення радіального магнітного поля, під дією якого дуга переміщається по периферії контактів з високою швидкістю, що не викликає появи великих розплавлених зон на контактах.

2. Визначити замикання й одночасність замикання контактів усередині вакуумних камер для чого зібрати схему, наведену на рисунку 2.12.

Одягнувши на важіль, розташований у нижній частині привода відрізок труби, плавно натискаючи на нього включити вакуумний вимикач, спостерігаючи за світінням лампочок. Результати спостереження і схему контролю замикання головних контактів привести у звіті.

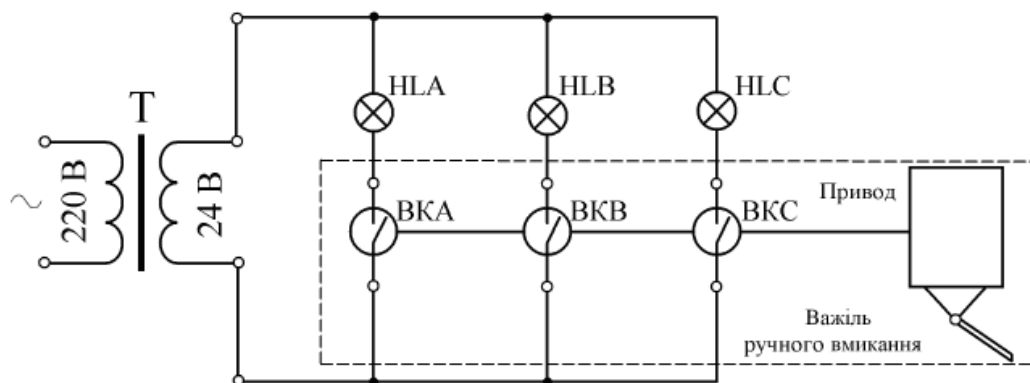


Рисунок 2.12 – Схема для перевірки одночасності замикання контактів

3. Перевірити роботу вимикача при різних напругах живлення оперативних кіл: 175 В, 220 В, 242 В.

При кожній напрузі зробити по три вмикання. Для цього оперативні кола живити через ЛАТР. Результати навести у звіті.

4. Перевірити операцію вимикання при напругах живлення оперативних кіл: 143 В, 220 В, 242 В. При цьому включати вакуумний вимикач необхідно вручну, а відключати за допомогою кнопки вимикання SB2 (рис. 2.5).

Вимикання виконати при кожній напрузі тричі. Результати привести у звіті.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть переваги та недоліки високовольтних вакуумних вимикачів.
2. Визначте сферу застосування вакуумних вимикачів.
3. Поясніть призначення екрана всередині вакуумної камери.
4. Для чого торцеві контакти вакуумної камери мають розрізи?
5. Яким чином відводиться тепло від торцевих контактів вакуумних вимикачів?
6. Як забезпечується герметичність вакуумної камери.
7. Поясніть принцип гасіння дуги у високовольтному вакуумному вимикачі.
8. Як забезпечується рух рухомого контакту вакуумного вимикача?
9. Чому для приводу рухомого контакту застосовано електромагніт постійного струму?
10. Яка залежність між масою і напругою вакуумного вимикача?
11. У чому особливість вакуумних приливників вимикачів VD4&?
12. Поясніть явище переходу поширеної дуги до стислої.
13. Поясніть конструктивні особливості фіксованих вимикачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ВИМИКАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ

І РОЗ'ЄДНУВАЧІ ВНУТРІШНЬОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії і конструкцію вимикачів навантаження і роз'єднувачів, які застосовуються в закритих розподільних установках (ЗРУ); освоїти основні положення теорії, що використовується при створенні та експлуатації вказаних апаратів.

3.2 Домашнє завдання

Вивчити питання теорії створення і експлуатації вимикачів навантаження і роз'єднувачів, що використовуються в ЗРУ [2, с. 50–57; 3, с. 131–134, 15].

Вивчити будову дугогасильної камери автогазового вимикача типу ВНА.

Вивчити схеми, що пояснюють використання роз'єднувачів для ізоляції вимикача від суміжних частин розподільної установки і використання роз'єднувачів при перемиканні приєднань розподільної установки під струмом.

Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі титульний аркуш, мета роботи.

3.3 Теоретична частина

Вимикачі навантаження – це високовольтні комутаційні апарати, що займають за рівнем допустимих комутаційних струмів проміжне положення між високовольтними вимикачами (здатні відключати без пошкодження як номінальні струми навантаження, так і надструми КЗ) і роз'єднувачами (не здатні відключати струми навантаження).

Роз'єднувачі – це комутаційні апарати, що використовується для

вмикання і вимикання електричних кіл в умовах, коли на їх контактах не виникає довга відкрита електрична дуга. У вимкненому положенні роз'єднувача на його контактах створюється видимий розрив. У роз'єднувача відсутній дугогасильний пристрій. За цих умов дуга, яка виникає на контактах, гаситься в результаті її розтягування ножем рухомого контакту, тепловими потоками або електромагнітними силами при досяганні критичної довжини, яка залежить від струму, що відключається, і напруги мережі.

3.3.1 Автогазовий вимикач навантаження ВНА

Вартість розподільної установки з високовольтними вимикачами доволі висока. У тому випадку, коли номінальний струм установки невеликий, вимикач з релейним захистом можна замінити вимикачем навантаження і запобіжником. Вимикач навантаження розрахований на відключення робочого струму. Струм короткого замикання таким вимикачем не відключається, проте його здатність вмикання зі всіма типами приводів, за винятком ручних, повинна бути не нижчою відповідної динамічної стійкості при наскрізних струмах КЗ. Для відключення струмів КЗ звичайно застосовують запобіжники високої напруги, що з'єднуються послідовно з вимикачем навантаження.

Вимикач навантаження має такі конструктивні вузли (рис. 3.1): загальна рама 1, встановлена на опорних ізоляторах 2; дугогасні камери 6 з основними та дугогасними нерухомими контактами 3; основні та дугогасні рухомі контакти 4; загальний приводний вал 8, пов'язаний із полюсами ізоляційних тяг.

В основі роботи автогазового вимикача навантаження (рис. 3.2) лежить принцип гасіння дуги в потоку газів, що утворюються при дії дуги на стінки камери з газогенеруючого матеріалу (органічне скло, вініпласт).

Вимикач (рис. 3.2) має систему головних контактів і дугогасний рухомий контакт, що входить в щілину дугогасного пристрою (ДП). При відключенні спочатку розмикаються головні, а потім дугогасні контакти. У вузькій щілині ДП створюється інтенсивне подовжнє дуття, що викликає гасіння дуги струму, що відключається, і для вимикача цього типу складає 200–400 А.

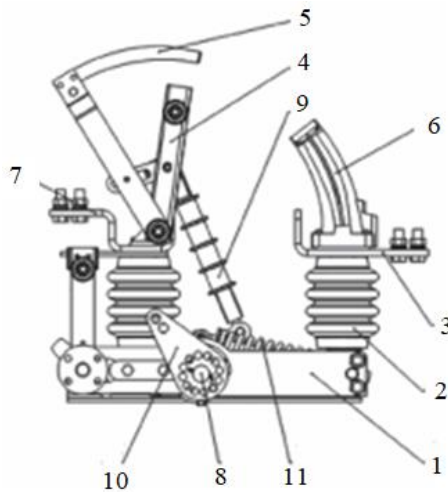


Рисунок 3.1 – Пристрій вимикача ВНА [1]:

1 – рама зварна; 2 – ізолятори опорні; 3 – нерухомі контакти; 4 – рухомі контакти; 5 – контакти гасіння дуги; 6 – камера гасіння дуги; 7 – контакти введення; 8 – вал; 9 – ізолятор тяговий; 10 – важіль (привод); 11 – пружина

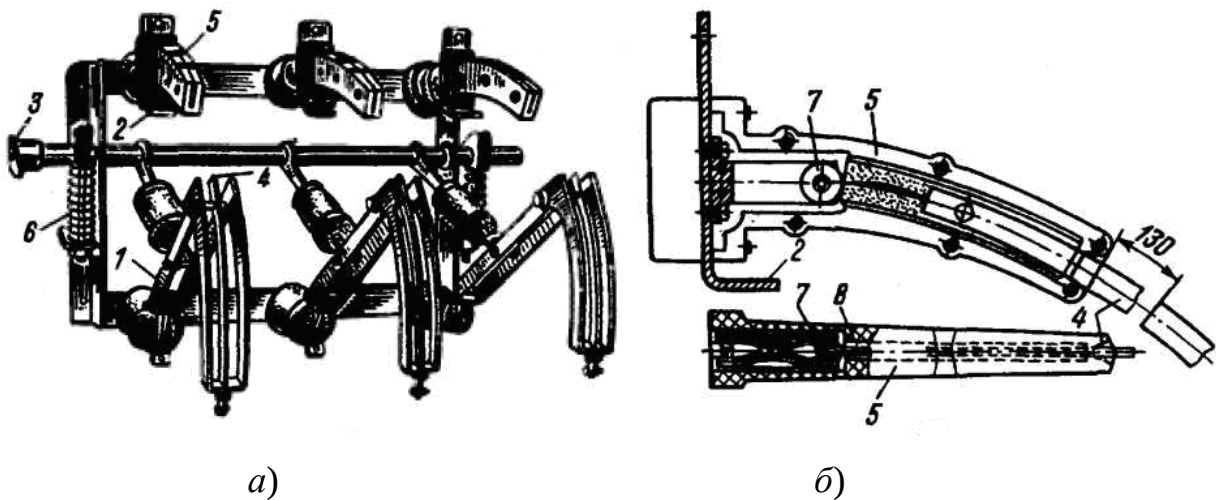


Рисунок 3.2 – Вимикач навантаження з гасильними пристроями газогенеруючого типу [1]: а) загальний вигляд вимикача; б) гасильна камера; 1 – ножі роз'єднувача; 2 – контакти роз'єднувача; 3 – вал роз'єднувача; 4 – допоміжні ножі; 5 – гасильна камера; 6 – пружина; 7 – ковзні контакти дугогасильних камер; 8 – вставки з органічного скла

У відклученому положенні між нерухомим і рухомим контактами створюється видимий розрив, тобто одночасно поєднуються функції вимикача і роз'єднувача.

Допустима кількість відключень без заміни дугогасильних вкладок і контактів визначається ступенем зносу вкладок і дугогасильних контактів. При напрузі 10 кВ такий вимикач навантаження може відключити струм 200 А 75 разів, а струм 400 А – тільки 3 рази.

3.3.2 Вимикачі навантаження ВНА-10/400 (10/630)

Вимикачі навантаження ВНА 10/400 (10/630) [15] застосовуються для вимкнення й увімкнення під навантаженням ділянок кіл змінного трифазного струму, з напругою до 10 кВ, частоти 50 Гц, і заземлення ділянок що вимикаються за допомогою заземлювачів.

Умовне позначення вимикачів – ВНА-10/400 (10/630) У2: В – вимикач; Н – навантаження; А – автогазовий; 10 – номінальна напруга мережі, кВ; 400 – номінальний струм, А; У2 – кліматичне виконання й категорія розміщення.

Також використовуються вимикачі ВНА (п) з місцем для запобіжника (підрамником) (рис. 3.3).

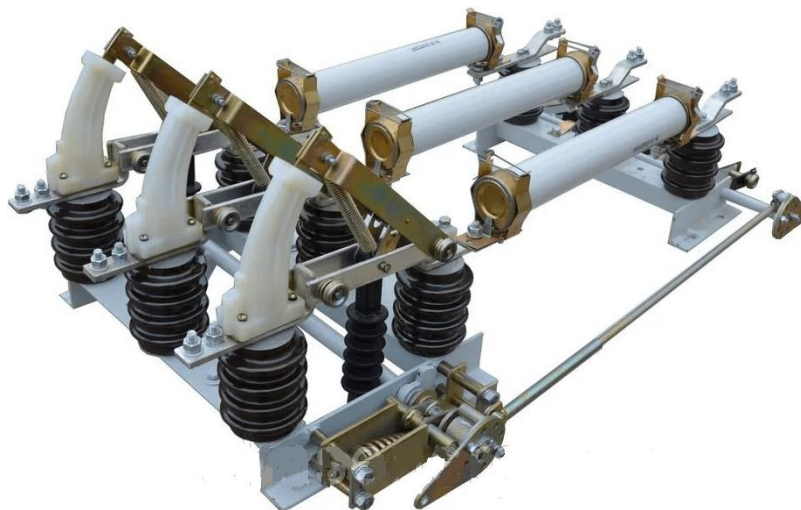


Рисунок 3.3 – Вимикач навантаження ВНА(п)-10/630 [15]

Вимикачі використовуються (у комплекті з приводом) для роботи в шафах комплектних розподільних пристроїв (КРУ), камерах збірних одностороннього обслуговування (КСО), шафах комплектних

трансформаторних підстанцій (КТП), а також інших електричних пристроїв внутрішньої установки на клас напруги до 10 кВ трифазного змінного струму частоти 50 Гц для систем із заземленою й ізольованою нейтраллю.

Основні технічні параметри вимикача ВНА-10/630: номінальний струм $I_n = 630$ А; максимальна робоча напруга $U_{\text{роб. макс}} = 12$ кВ; електродинамічна стійкість – 50 кА; частота струму 50 Гц; зносостійкість – 2000 комутаційних циклів; маса – 32 кг.

3.4 Роз'єднувачі

Для внутрішніх установок роз'єднувачі можуть бути однополюсними (РВО) або трьох полюсними (РВ, РВК, РВРЗ і ін.).

На рисунку 3.4 показано однополюсний роз'єднувач рубуючого типу РВО. Ніж роз'єднувача обертається навколо одного з нерухомих контактів. Рух ножев'ї передається від валу через фарфорову тягу. Необхідний тиск в контактах створюється пружинами.

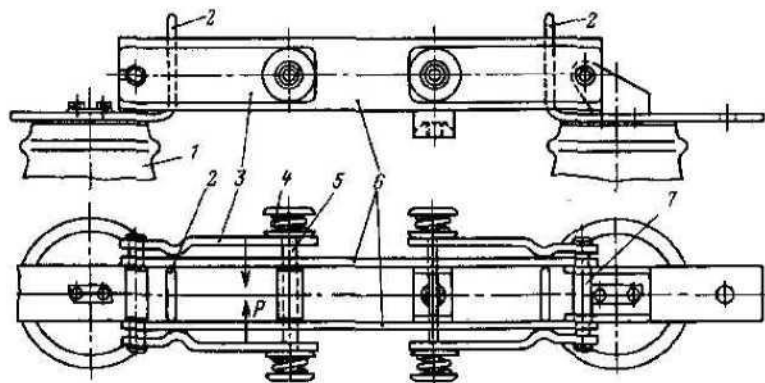


Рисунок 3.4 – Роз'єднувач вертикально-рубуючого типу РВ [1]:

- 1 – ізолятор; 2 – нерухомий контакт; 3 – сталеві пластини;
4 – пружина, 5 – сталевий стрижень; 6 – пластини ножа; 7 – вісь

На ізоляторі 1 закріплена мідна шина, зігнута під прямим кутом, яка є нерухомих контактом 2. Бічні частини контакту 2 оброблені під циліндричну поверхню, тому з пластинами ножа 6 утворюється лінійний контакт. Пружини

4, насаджені на стрижень 5, натискають на сталеві пластини 3, які своїм виступом притискають ножі до нерухомого контакту. Чим більший тиск у контакті, тим менший перехідний опір, але більше зношення контактів внаслідок тертя при включеннях і відключеннях і тим більше зусилля треба докласти при операціях з роз'єднувачем.

При проходженні струмів КЗ створюються електродинамічні зусилля в місцях переходу струму з пластин ножа в контакт, які прагнуть відштовхнути ножі від контакту. З другого боку, пластини ножа притягуються одна до одної завдяки взаємодії струмів одного напрямку. При великих струмах КЗ сили відштовхування можуть виявитися більшими, ніж сили притягання пластин ножа, це приведе до відкидання пластин ножа від контакту, виникнення дуги, тобто до аварії. Щоб уникнути цього в роз'єднувачах передбачається наявність магнітного замку. Він складається з двох сталевих пластин 3, розташованих зовні ножа, які, по-перше, слугують для передачі тиску від пружин, а по-друге, намагнітившись струмами КЗ, притягуються одна до одної й створюють додатковий тиск в контакті.

Контактна система роз'єднувача на другому ізоляторі має таку ж конструкцію, але контакти ковзні, шарнірні, а не такі, що розмикаються, оскільки ніж обертається навколо осі 7.

Трьох полюсні роз'єднувачі внутрішньої установки серії РВ складаються з трьох струмопроводів, змонтованих на одній рамі із загальним валом і приводним важелем. Кожен полюс має два нерухомі опорні ізолятори і фарфорову тягу, приєднану до загального валу. Ножі приводять в рух важелем.

Роз'єднувачі із заземлювальними ножами РВЗ (рис. 3.5) залежно від варіанта виконання мають один або два вали із заземлювальними ножами, які кріпляться до рами. Заземлюючі ножі можуть бути розташовані з боку шарнірного або роз'ємного контакту або з обох боків. При трьох полюсній установці вони закорочуються загальною мідною шиною.

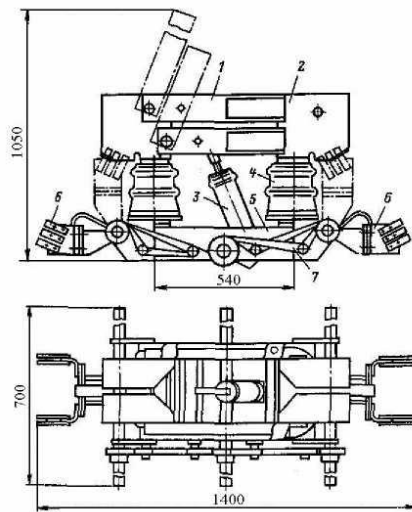


Рисунок 3.5 – Роз’єднувач рубаячого типу для внутрішньої установки з двома заземлюючими ножами РВРЗ-2-20/8000 [1]: 1 – головні рухомі контакти; 2 – нерухомі контакти; 3 – фарфорова тяга; 4 – опорний ізолятор; 5 – рама; 6 – заземлюючі ножі; 7 – блокування

Заземлюючі ножі мають механічне блокування, що не дозволяє вмикати їх при ввімкнених головних ножах. Для управління заземлюючими ножами використовується ручний привід (ПР) важеля, який складається із системи важелів, що передають рух від рукоятки до валу, або черв’ячний привід (ПЧ). Включення і відключення головних ножів здійснюється електроприводом (ПДВ), що дозволяє виконувати ці операції дистанційно. Заземлювальні ножі замикають додаткові заземлювальні контакти, закріплені під основними нерухомими контактами. Роз’єднувачі цього типу можуть бути виконані з прохідними ізоляторами замість опорних (серія РВФ) з аналогічними технічними даними.

На рисунку 3.6 наведено роз’єднувач трьох полюсний серії РВРЗ-10.

На рисунку 3.7 показано високовольтний роз’єднувач РЛД, призначений для мереж напругою від 6 до 10 кВ.

РЛД – роз’єднувач лінійний зовнішньої установки, двоколонковий. Конструктивно апарат складається з таких складових елементів: контакти та контактні ножі; заземлювач; важільний привод; труба; замок і порцелянові ізолятори. Всі ці елементи закріплені на опорній рамі (металевій основі).

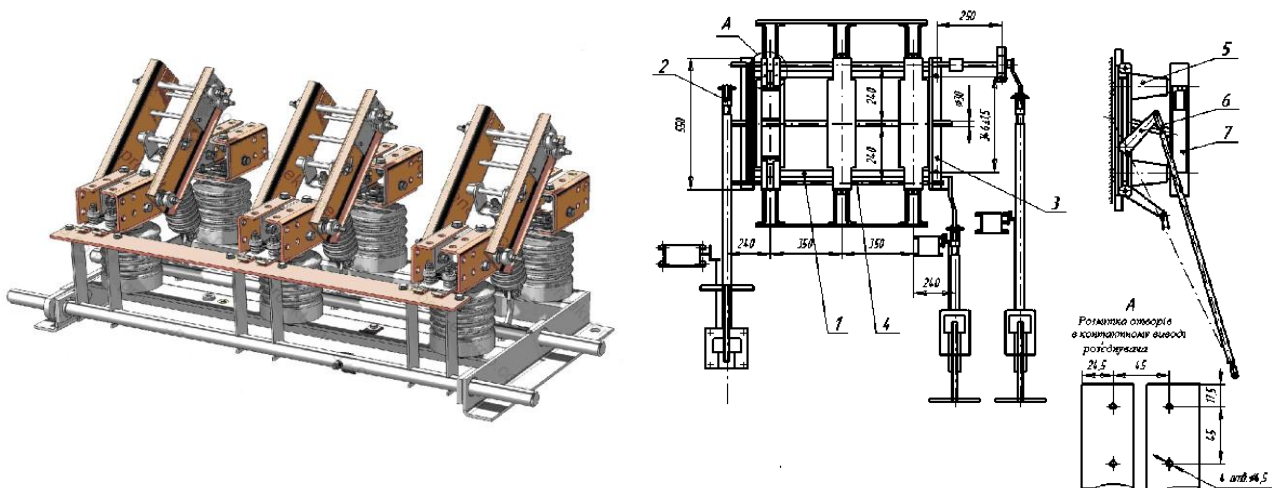


Рисунок 3.6 – Роз’єднувач трьох полюсний серії РВРЗ-10 [16]:

1 – болт заземлення; 2 – важіль; 3 – основа; 4 – вал заземлення;

5 – ізолятор опорний; 6 – тяга ізоляційна; 7 – ніж контактний

Опорна рама – це конструкція зварного типу. По суті, це три паралельні один одному швелери, за торцями яких приварені куточки. На основі розташовані ізолятори зверху яких розташована струмопровідна жила.



Рисунок 3.7 – Роз’єднувач РЛД-10/200 [17]

Роз’єднувачі РЛД застосовують як усередині приміщень, так і на відкритому повітрі, для трансформаторних установок, для інших об’єктів електротехнічної галузі і сфери важкої промисловості.

Умовне позначення роз’єднувача РЛД-10/400:

– «Р» позначення роз’єднувача;

- «Л» – позначення лінійного типу;
- «Н» – зовнішня установка;
- «Д» – позначення двоколонкового типу;
- 10 – номінальна напруга, кВ;
- 400 – номінальний струм роз'єднувача, А.

Інші позначення в аббревіатурі визначають число заземлювачів, тип виконання, кліматичне виконання.

Роз'єднувач РЛД 10/200 (рис. 3.7) – це універсальний роз'єднувач. Його використовують для комутації високовольтних мереж на підстанціях різного призначення. Триполюсний роз'єднувач РЛД 10/200 обладнаний електроприводом ПРНЗ-10 В1, який пристосований для вмикання / вимикання знеструмлених ділянок ланцюга з високою напругою. Елементи цього роз'єднувача виготовлені з чорного металу, мають високі антикорозійні властивості, оскільки повністю пройшли гальванічну обробку. Ці апарати виготовляють у двополюсному й триполюсному варіантах.

На кожному полюсі роз'єднувача (рис. 3.7) є дві колонки (одна рухома й одна нерухома). Головний елемент керування РЛД 10/200 – це важільний привод. Вмикання/вимикання виконується вручну.

Роз'єднувачі РЛД-10 працюють за таких зовнішніх умов роботи.

Нормальні кліматичні умови:

- робочий діапазон температур від -60 до +40 градусів за Цельсієм для будь-якого регіону і будь-яких географічних місць;
- робоча висота над рівнем моря – до тисячі метрів.

Аномальні кліматичні умови:

- сильний вітер до сорока метрів в секунду при відсутності ожеледиці;
- за наявності ожеледі допускається швидкість вітру до п'ятнадцяти метрів за секунду;
- нормально працює за умови наявності крижаної кірки до десяти міліметрів;
- термін експлуатації – в середньому 30 років.

Технічні параметри роз'єднувачів РЛД:

- номінальна напруга – 10 кВ;
- максимальна величина напруги – 12 кВ;
- номінальний струм – 200, 400, 630 (А);
- механічна зносостійкість – 10 000 циклів ВО;
- частота струму – 50 Гц;
- струм термічної стійкості – 10 кА;
- струм електродинамічної стійкості – 12 кА;
- маса: від 30 до 40 кг.

Роз'єднувачі РЛД укомплектовані стаціонарними заземлювачами. Це дозволяє не користуватися переносним заземленням на обладнанні, яке виводиться в ремонт.

Підсумовуючи сказане, роз'єднувачі РЛД-10 використовують при включенні, замиканні на ділянках електроланцюга з напругою, якщо відсутній струм навантаження. Роз'єднувачі РЛД вимикають заземлену частину кола за допомогою заземлювача, забезпечують якісну безпечну роботу при технічному обслуговуванні, миттєво переривають холостий струм трансформаторів і інших пристроїв.

3.5 Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд складається з елементів і ескізів вимикача навантаження типу ВН і роз'єднувачів типу РВО, РВ і РВЗ. Вимикач навантаження у зібраному вигляді змонтований в моделі одно трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.

3.6 Порядок виконання лабораторної роботи

Вивчити конструкції вимикачів навантаження типу ВНА і роз'єднувачів типу РВЗ, РЛНД.

У звіті навести:

- призначення досліджених комутаційних апаратів;
- рисунки із зазначенням основних конструктивних елементів;
- порядок використання роз'єднувачів для перемикачів в приєднаннях розподільних установок під струмом.

За вказівкою викладача провести відповідні операції з роз'єднувачем.

Накреслити головні контакти роз'єднувача типу РВ з укріпленими на рухомому ножі сталевими пластинами. Пояснити принцип дії магнітного замка.

Питання для самоконтролю

1. Яких типів і на які номінальні напруги та струми зараз випускають вимикачі навантаження?
2. Яке призначення вимикачів навантаження і сфера їхнього застосування?
3. Чому вимикач навантаження типу ВН-16 називають автогазовим вимикачем?
4. Поясніть принцип дії ДП вимикача навантаження ВН-16.
5. В чому полягає основна відмінність дугогасильних камер вимикачів навантаження від дугогасильних камер високовольтних вимикачів?
6. Які способи гасіння дуги використовуються в автогазових і електромагнітних вимикачах навантаження і в чому вони полягають?
7. У чому полягає основне призначення роз'єднувачів і чому вони не мають дугогасильних пристроїв?
8. Яким чином заземлювальні ножі з'єднуються з «землею»?
9. Які вимоги ставляться до роз'єднувачів у включеному і відключеному стані?
10. Що таке магнітний замок у роз'єднувача і яке його призначення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

ПЛАВКІ ЗАПОБІЖНИКИ

4.1 Мета роботи

Вивчити конструктивні особливості плавких запобіжників і освоїти методику їхнього вибору.

4.2 Домашнє завдання

Вивчити за підручниками будову і роботу плавких запобіжників [3, с. 141–143, 18, с. 11–17].

Записати умови вибору плавких запобіжників.

Вивчити опис лабораторного стенда і порядок виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи, схема (рис. 4.5), таблиці 4.1 та 4.2.

4.3 Теоретична частина

Запобіжники призначені для захисту електричного обладнання від струмів перевантаження і короткого замикання. Широке поширення отримали плавкі запобіжники, які відносно дешеві й прості за конструкцією.

Плавкий запобіжник – це комутаційний апарат увімкнений послідовно в коло стуму навантаження споживача електричної енергії і який шляхом розплавлення однієї або декількох спеціально спроектованих деталей розмикає це коло, відмикаючи струм електроспоживача, якщо той перевищує задане значення впродовж обумовленого часу.

Основними частинами запобіжника є **плавка вставка** та **тримач** для її установки. Зазвичай запобіжник являє собою корпус, в якому розташований плавкий елемент, що розплавляється при спрацюванні запобіжника, й

дугогасний пристрій, що становить наповнювач, для гасіння електричної дуги яка виникає при перегоранні плавкого елемента.

Плавка вставка – частина запобіжника, в якій відбувається відключення електричного струму. Вона підлягає заміні на нову плавку вставку після спрацювання запобіжника.

Тримач плавкої вставки – знімна частина запобіжника, призначена для утримання його плавкої вставки.

Високовольтні запобіжники використовуються для захисту електрообладнання електричних мереж напругою вище 1000 В від струмів короткого замикання і струмів неприпустимих перевантажень. Основними технічними характеристиками запобіжників є номінальна напруга, номінальний струм запобіжника, залежність часу плавлення вставки від струму, номінальний струм плавкої вставки.

Номінальна напруга запобіжника – найменша з номінальних напруг усіх його складових частин (тримача, плавкої вставки).

Номінальний струм запобіжника – найбільший допускний за умовами нагрівання частин запобіжника тривалий струм. Він визначається як найменший зі струмів, на який розраховані його струмопровідні частини (тримач вставки, контактні стійки тощо). Цей струм відповідає найбільшому зі струмів плавких вставок, що призначені до встановлення на цьому запобіжнику.

Номінальний струм плавкої вставки – значення струму, який плавка вставка може тривалий час проводити у встановлених умовах без пошкоджень. Характеризує допустимий щодо умов нагрівання тривалий струм у разі її вставлення в контактах чи в призначеному для неї патроні.

4.3.1 Запобіжники типу ПР

Запобіжники із закритими розбірними патронами без наповнювача типу ПР–2 (рис. 4.1) виготовляють на напруги 220 і 500 В; номінальні

струми 100–1000 А; струми, що гранично відключаються, при напрузі 380 В і $\cos\varphi = 0,4$, складають 6–20 кА. Патрон запобіжника ПР–2, розрахований на номінальні струми 100 А і вище, складається з товстостінної фібрової трубки, на яку щільно насаджені латунні втулки, що запобігають від її розриву. На втулки нагвинчені ковпачки, що закріплюють плавку вставку, пригвинчену до ніжок, до установки її в патрон. Щоб уникнути повороту ножів, встановлюють шайбу з фіксуючим пазом. Патрон вставляють в нерухомі контактні стійки, закріплені на ізоляційній плиті. Необхідне контактне натиснення забезпечується кільцевою або пластинчастою пружиною.

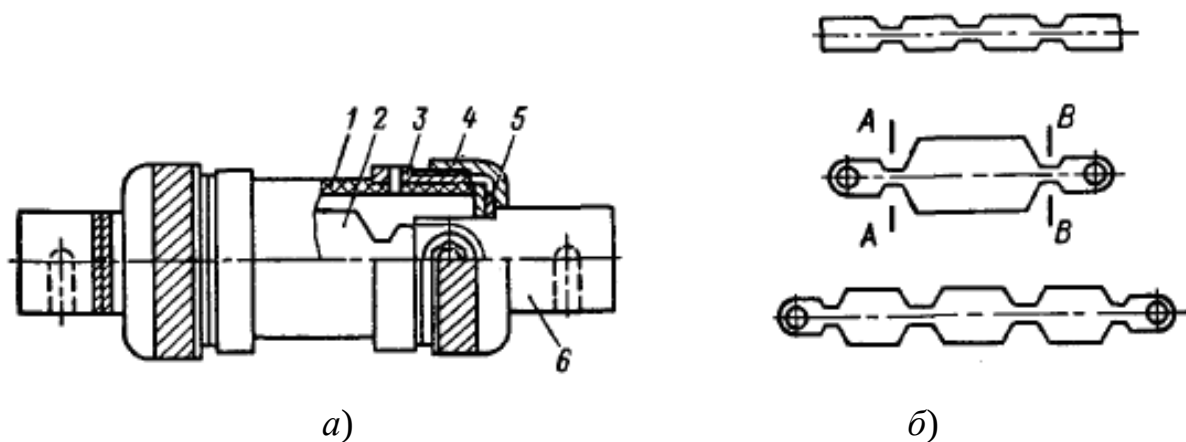


Рисунок 4.1 – Запобіжник типу ПР–2 [15]:

а) патрон на номінальні струми 100–1 000 А; б) форми плавких вставок;
 1 – фіброва трубка; 2 – плавка вставка; 3 – латунна втулка; 4 – ковпачки для закріплення плавкої вставки; 5 – шайба, яка перешкоджає повороту ножів, 6 – ніж

Плавкі вставки виготовляють з цинку у вигляді пластини з вирізами (рис. 4.1, б). На звужених їх ділянках виділяється більше тепла, ніж на широких. При номінальному струмі надмірне тепло завдяки теплопровідності цинку передається широким частинам, тому вся вставка має приблизно однакову температуру. У разі перевантаження нагрів вузьких ділянок відбувається швидше, і вставки плавляться в найгарячішому місці.

При короткому замиканні вставки плавляться у вузьких перерізах. Дуга, що виникає при цьому, викликає утворення газів (50 % CO_2 , 40 % H_2 , 10 % пари H_2O). Тиск залежно від струму, який відключається, може досягати 10 МПа і

більше, що забезпечує швидке гасіння дуги і струмообмежувальну дію запобіжника. З метою зменшення утворюваної при відключенні струму КЗ перенапруги вставка має декілька звужених місць, при їх почерговому плавленні повна довжина дугового проміжку вводиться в коло не відразу, а поступово.

4.3.2 Запобіжники типу ПН

Запобіжники типу ПН–2 широко застосовують для захисту силових кіл до 500 В змінного струму і 440 В постійного струму. Їх виконують на номінальні струми 100–600 А (рис. 4.2).

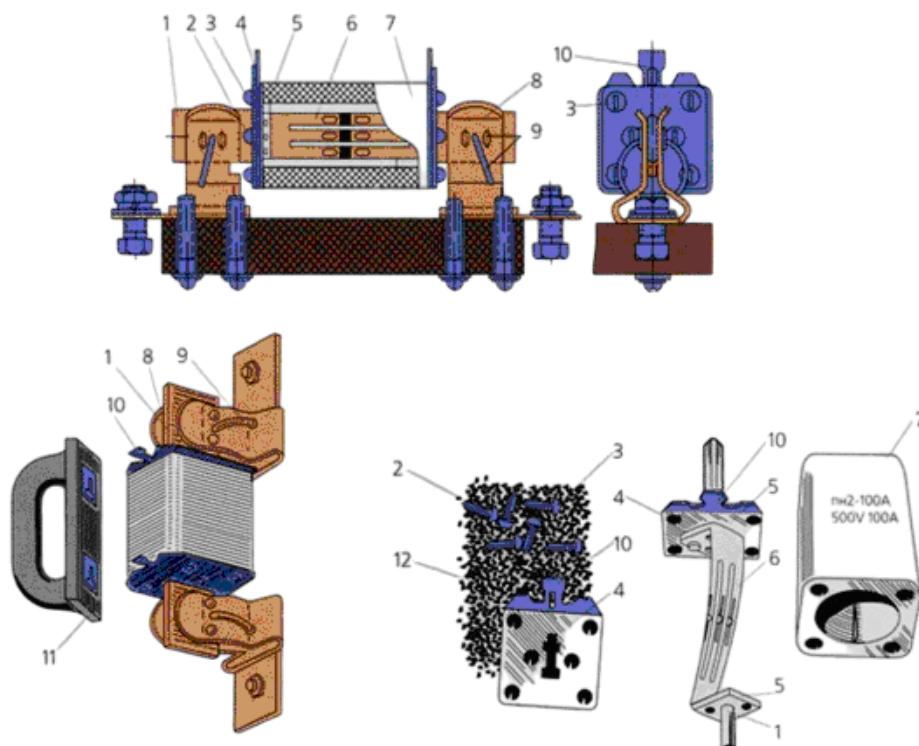


Рисунок 4.2 – Конструктивні елементи запобіжника ПН–2 [19]:

- 1 – ніж; 2, 3 – гвинти; 4 – пластина; 5 – диск кріплення;
- 6 – плавка вставка; 7 – фарфорова трубка; 8 – контактна рейка;
- 9 – пружина; 10 – Т-подібний виступ для рукоятки;
- 11 – рукоятка; 12 – кварцевий пісок

Фарфорова трубка, квадратна зовні й кругла всередині, має чотири різьбові отвори для гвинтів, за допомогою яких кріпиться кришка з прокладкою ущільнення.

Плавка вставка приварена точковою електрозваркою до шайб врубних контактних ножів. Кришки з азбестовими прокладками герметично закривають трубку, яка заповнена сухим кварцовим піском. Плавка вставка виконана з однієї або декількох мідних стрічок завтовшки 0,15–0,35 мм і шириною до 4 мм. На вставці зроблені прорізи, які зменшують перерізи вставки у 2 рази.

Для зниження температури плавлення вставки використовують «металургійний ефект» – на смужки міді напаяні кульки олова. Температура плавлення в цьому випадку не перевищує 475 °С. Дуга виникає в декількох паралельних каналах, що забезпечує найменшу кількість пари металу в каналі між зернами кварцу і якнайкращі умови гасіння дуги у вузькій щілині. Насипні запобіжники так само як і запобіжники типу ПР, мають струмообмежувальні властивості.

З метою зменшення перенапруг, що виникають при перегоранні плавкі вставки виготовляють з прорізами по довжині, причому їх кількість залежить від номінальної напруги запобіжника (з розрахунку 100–150 В на ділянці між прорізами). Оскільки вставки згорають у вузьких місцях, то довга дуга поділяється на ряд коротких, сумарна напруга на яких не перевищує суми катодних і анодних падінь напруги. Наповнювачем в запобіжниках ПН є чистий кварцовий пісок (99 % SiO_2). Замість кварцу може бути застосована крейда CaCO_3 , яку іноді змішують з азбестовим волокном. При гасінні дуги крейда розкладається з виділенням вуглекислого газу CO_2 і важкотопного матеріалу CaO .

Реакція відбувається з поглинанням енергії, що сприяє гасінню дуги. Можна використовувати для засипки гіпс CaSO_4 і борну кислоту. Трубки запобіжників можуть виконуватись також зі склотканини, просоченої теплостійкими лаками зі стеатиту або виливатися з пластмас або ізоляційних смол.

4.3.3 Запобіжники типу ПК

Кварцові запобіжники, які виготовляються на напругу 3–35 кВ, складаються з двох опорних ізоляторів, контактів, укріплених на ізоляторах, і патрона, що вставляється в контакти (рис. 4.3).

Патрон запобіжника виконаний у вигляді фарфорової трубки із заармованими на її кінцях контактними ковпачками. Плавка вставка залежно від номінального струму складається з одного або декількох посріблених мідних провідників. З метою зниження перенапруг при відключенні струму застосовують вставки змінного перерізу. Для відключення плавкою вставкою струмів перевантаження на меншому перерізі напаяють олов'яні кульки. При цьому середня температура плавлення вставки знижується від температури плавлення міді (1080 °С) до температури, що дещо перевищує температуру плавлення олова (230 °С) внаслідок розчинення міді в розплавленому олові.

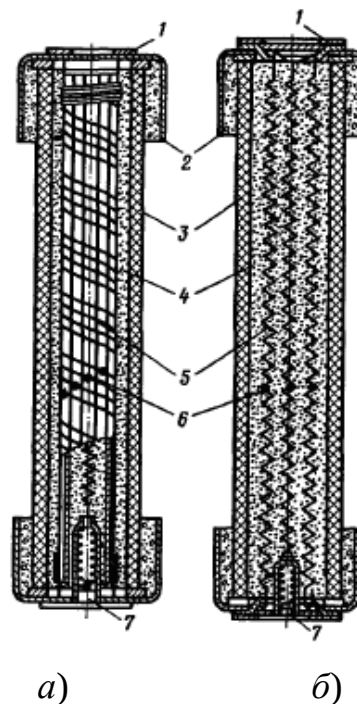


Рисунок 4.3 – Запобіжник типу ПК [1]:

а – на струм до 7,5 А; б – на струм більше 7,5 А:

1 – торцева кришка; 2 – латунний ковпачок; 3 – порцелянова трубка;

4 – кварцовий пісок; 5 – плавка вставка; 6 – кульки олова;

7 – вказівник спрацювання

Після розплавлення мідного дроту в місці розташування олов'яної напайки виникає дуга, яка розплавляє дріт по всій довжині. Кварцовий пісок, що заповнює фарфорову трубку, насипається через отвір, який потім закривається кришкою, що напаюється на ковпачок. У нижній кришці встановлений вказівник спрацьовування; він за допомогою плавкої вставки стискає пружину в утримувачі. При перегоранні основних плавких вставок згорає і плавка вставка, що утримує вказівник. При цьому вказівник спрацьовування викидається назовні.

У запобіжниках, що працюють в умовах вібрації й ударів, а також в запобіжниках, розрахованих на невеликі номінальні струми (до 8 А включно) і на номінальні напруги до 20 і 35 кВ плавкі вставки намотуються на ребристий керамічний сердечник, який дозволяє збільшити довжину плавкої вставки, а отже, і ефект струмообмеження. Проте при малих перевантаженнях нагрів дроту може викликати утворення провідного каналу на поверхні каркаса і теплове руйнування запобіжника.

Кварцовий пісок, який вживається як наповнювач, в нормальному режимі добре відводить теплоту від плавкої вставки, що дає можливість зменшити її переріз, і інтенсивно відводить теплоту від дугового стовпа при перегоранні плавкої вставки. Але дугогасильні властивості кварцового піску порушуються при попаданні вологи всередину патрона. Тому при виготовленні запобіжників особлива увага приділяється герметизації патрона.

4.3.4 Вибір плавких вставок запобіжників

Вибір плавких вставок запобіжників з великою тепловою інерцією у всіх випадках виконують, виходячи з умови

$$I_v \geq I_p \quad (4.1)$$

де I_v – струм плавкої вставки;

I_p – розрахунковий струм мережі у точці, яка захищається.

При виборі плавких вставок запобіжників з малою тепловою інерцією необхідно враховувати характер навантаження. Якщо пускових піків струму немає, їх вибирають у такий же спосіб, як плавкі вставки запобіжників з великою тепловою інерцією.

Якщо при вмиканні електроприймача виникає великий пік струму, плавку вставку запобіжників з малою тепловою інерцією, для уникнення перегорання при запуску, вибирають за умови:

$$I_B \geq I_{\Pi} / \alpha, \quad (4.2)$$

де I_{Π} – пусковий струм;

α – коефіцієнт, який залежить від умов запуску електродвигуна. При нормальних умовах пуску приймають $\alpha = 2,5$, а при тяжких умовах пуску більше як 2,5; при частих пусках приймають $\alpha = 1,6-2$.

Основною характеристикою запобіжника є захисна характеристика, вид якої наведений на рисунку 4.4 ($I_{\text{ном}}$ – номінальний струм плавкої вставки; $I_{\text{гран}}$ – граничний струм плавкої вставки (значення струму, при якому плавка вставка перегорає (розплавляється) протягом певного часу, достатнього для досягнення нею теплової рівноваги). Зазвичай, граничний струм плавкої вставки становить 1–2 години, а значення струму, що спричиняє розплавлення, має бути в 1,25–1,6 рази більше за номінальний струм запобіжника.

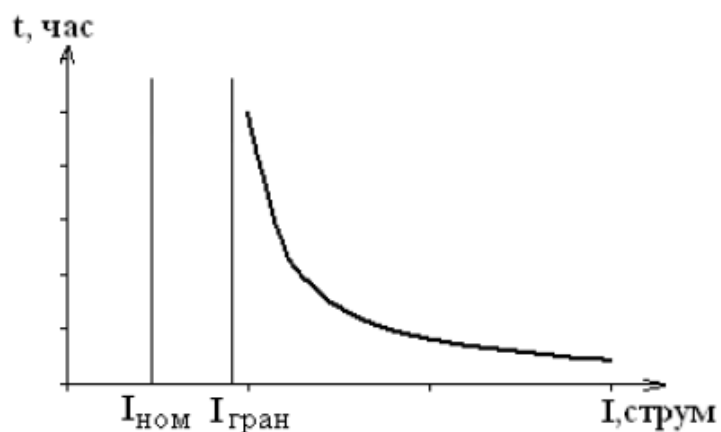


Рисунок 4.4 – Струмо-часова характеристика запобіжника

4.4 Опис лабораторного стенда

На лабораторному стенді представлені зразки запобіжників типу ПР, ПН і НПН, що набули поширення в мережах до 1 000 В, і типу ПК, що використовуються в мережах вище 1 000 В. Крім стенда в роботі використовується лабораторна установка для зняття струмо-часових характеристик плавких вставок.

4.5 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкцію і принцип дії плавких запобіжників, розміщених на стенді.
2. Вказати елементи основних типів запобіжників, представлених на стенді.
3. Отримати у викладача номер варіанта. Вибрати номінальний струм патрона і плавкої вставки запобіжника типу ПР–2 для кіл номінальною напругою 380 В, робочий струм і струм короткого замикання яких вказаний у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри запобіжників типу ПР–2

Номер варіанта	Параметри кіл		Параметри запобіжників		
	$I_{роб.нб.}, A$	$I_{по}, kA$	$I_{ном.}, A,$		$I_{вим.}, kA$
			патрона	вставки	
1	8	1,1			
2	38	3,2			
3	50	9,6			
4	87	11,0			
5	155	5,5			

4. Побудувати струмо-часову характеристику плавкої вставки за результатами дослідів.

За умовами безпеки запобіжники при дослідях вміщуються у спеціальну камеру зі скляною передньою стінкою (дверцятами).

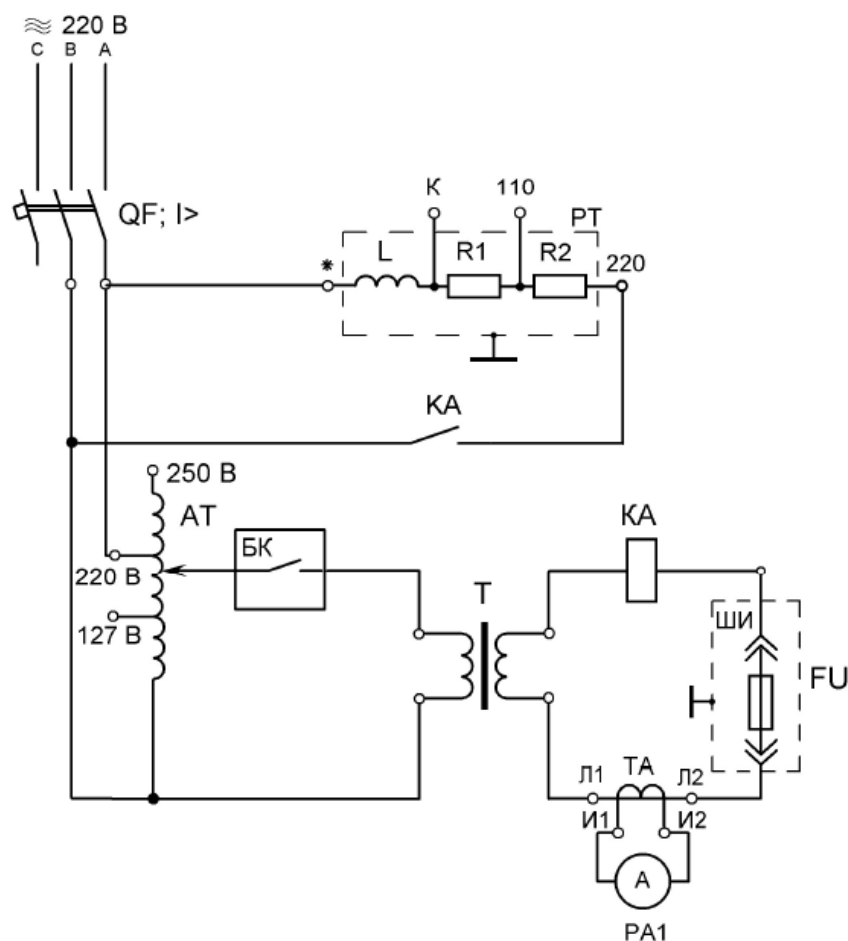


Рисунок 4.5 – Схема дослідної установки

9. Аналогічно виконати ще 4–5 дослідів при інших значеннях струму, результати занести в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Струмово-часова характеристика плавкої вставки

Величина струму, А							
Час перегорання, с							

10. За даними таблиці 4.2, побудувати захисну характеристику плавкої вставки і визначити її номінальний струм.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть принцип дії плавкого запобіжника.
2. Які основні функціональні частини запобіжника? Надайте опис функцій цих частин.
3. Вкажіть призначення кварцового піску в запобіжниках насипного типу.
4. У яких запобіжниках і з якою метою на плавкі вставки наплавляють олово?
5. Що таке номінальний струм запобіжника і номінальний струм плавкої вставки?
6. Що називається граничним і номінальним струмом плавкої вставки?
7. Як виконаний показчик спрацьовування в запобіжниках типу НПН–2?
8. Як відбувається гасіння дуги в газогенеруючих запобіжниках?
9. У яких колах вище 1000 В встановлюють запобіжники?
10. Для яких номінальних напруг виконують запобіжники типу ПК?
11. Наведіть переваги та недоліки запобіжників.
12. Поясніть необхідність герметизації запобіжників насипного типу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

ВОЛЬТОДОДАВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

5.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії і схеми вмикання вольтододавальних трансформаторів (ВДТ).

5.2 Домашнє завдання

1. Вивчити особливості застосування ВДТ, зокрема з перемиканням фази.

2. Письмово відповісти на такі запитання:

- чому напруга на виході ВДТ з перемиканням фази змінюється ступенями;
- як вмикаються в мережу вольтододавальні обмотки;
- на яку напругу можуть підключатися обмотки збудження;
- в які схеми можливо з'єднувати обмотки збудження?

3. Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи, схема з'єднання обмоток ВДТ та векторну діаграму напруг для заданої групи з'єднання.

5.3 Теоретична частина

Вольтододавальні трансформатори використовують для регулювання напруг окремих ліній або групи ліній. Вони вмикаються своєю вторинною обмоткою послідовно в ланцюг вторинної обмотки основного трансформатора або просто в розсічку лінії основної мережі. ВДТ дозволяють вирівняти несиметричність напруги на певній ділянці кола, знизити небезпечні наслідки в разі відгоряння нульового провідника.

ВДТ вмикають послідовно в коло живлення споживача електричної енергії і, відповідно, напруга у споживача є векторною сумою напруги мережі і напруги вторинної обмотки ВДТ.

На практиці використовують нерегульовані і регульовані ВДТ.

На рисунку 5.1 зображено принципову схему ввімкнення вольтододавального трансформатора без регулювання. Тут первинні обмотки трьох однофазних трансформаторів включені за схемою «зірка» і живляться від трьох фаз основної регульованої мережі. Вторинні обмотки цих трансформаторів, як було зазначено вище, увімкнено послідовно в розсічку, причому розраховані вони на більші струми I .

У вторинних обмотках створюються додаткові електрорушійні сили (ЕРС) $U_{\text{дод}}$, які складаються або віднімаються від напруги U_1 мережі, яку необхідно регулювати.

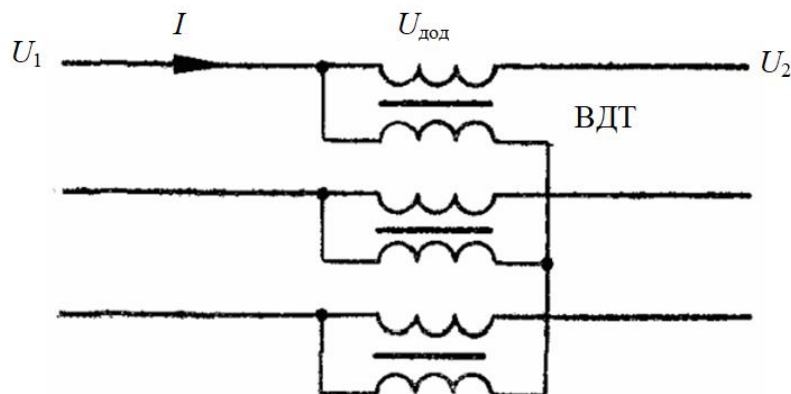


Рисунок 5.1 – Схема вмикання нерегульованого ВДТ

Як вольтододавальні трансформатори можуть використовуватися зварювальні або котельні трансформатори з співвідношенням напруг 380/24. Їхні первинні обмотки, як зазвичай, під'єднуються до мережі, а вторинні – у розріз регульованої лінії. Напруга на навантаження U_2 являє собою суму додаткової напруги $U_{\text{дод}}$ ВДТ і напруги мережі U_1 .

У будь-якому разі ВДТ формує певну додаткову напругу незалежно від того, яке навантаження під'єднано і отримує живлення від мережі в поточний

момент. А безпосередньо величину надбавки обирають виходячи з максимального і мінімального навантаження так, щоб напруга на споживачеві в жодному разі не виходила за межі припустимих значень.

На рисунку 5.2 наведено схему регульованого ВДТ. Фактично тут ми бачимо автотрансформатор, який отримує живлення від напруги основної мережі. Вторинні ж напруги знімаються через перемикачі П, як це зазвичай буває у всіх автотрансформаторів, і подаються на первинні обмотки окремих ВДТ, включених у регульовану лінію послідовно своїми вторинними обмотками.

Діє все як зазвичай: струми первинних обмоток створюють магнітні потоки в магнітопроводах понижувальних трансформаторів, у вторинних обмотках наводяться ЕРС, які послідовно складаються або віднімаються (залежно від фазування підключення) з напругами основної мережі в кожній з фаз.

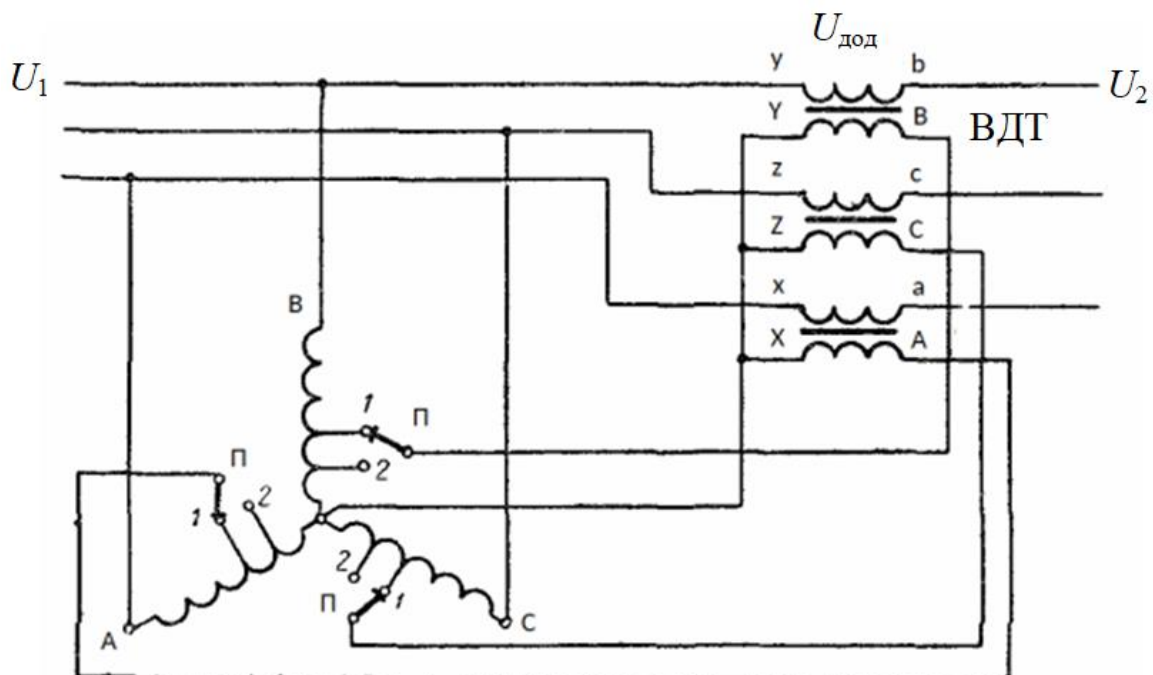


Рисунок 5.2 – Схема вмикання регульованого ВДТ

У підсумку напруга на виході регульованої мережі, унаслідок такого ввімкнення, змінюється на 5–10 % залежно від того, в якому положенні перебуває на цей момент перемикач. Сам перемикач зроблено таким чином, що

під час перемикання між контактами навіть під навантаженням розриву ланцюгів первинних обмоток послідовних (вольтододавальних) трансформаторів не відбувається.

Вольтододавальний трансформатор з перемиканням фази (ФВДТ) є однією з різновидів ступеневих реверсивних регуляторів напруги. Це значить, що напруга на його виході змінюється не плавно, а ступенями. Оскільки одночасно змінюється фаза напруги $U_{\text{дод}}$, напруга на виході може бути вищою (добавки напруги позитивні) чи нижчою (добавки напруги негативні) від напруги, яка подається на вхід.

Конструктивно ФВДТ становить звичайний двообмотковий трансформатор (рис. 5.3), одна з обмоток якого включена в регульовану мережу послідовно (фазні вольтододавальні обмотки a_x, b_y, c_z), друга паралельно (обмотки збудження A_X, B_Y, C_Z). Обмотки збудження можуть підключатися як на фазну, так і на лінійну напругу.

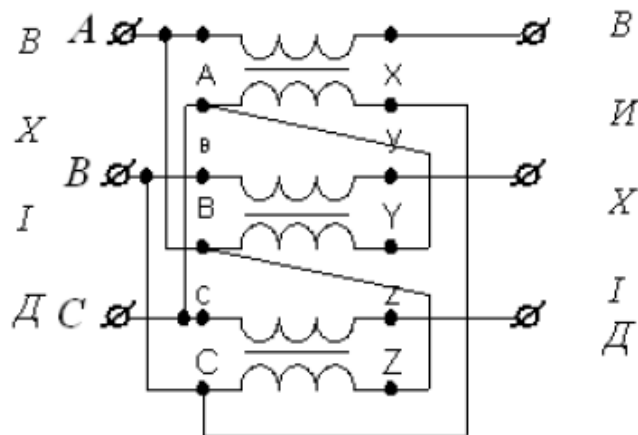


Рисунок 5.3 – Схема вольтододавального трансформатора з перемиканням фаз

При такому включенні ФВДТ фазні напруги на його виході (наприклад, 0–2, рис. 5.4) становлять геометричну суму фазної напруги (B_1) на вході і ЕРС (B_1-2), індуковану у вольтододавальній обмотці.

Як видно з рисунка 5.4, повертаючи вектор цієї ЕРС навколо точки В1, на виході можна одержати різні значення напруг. При різних способах з'єднання обмоток збудження можна одержати 12 положень зазначеного вектора.

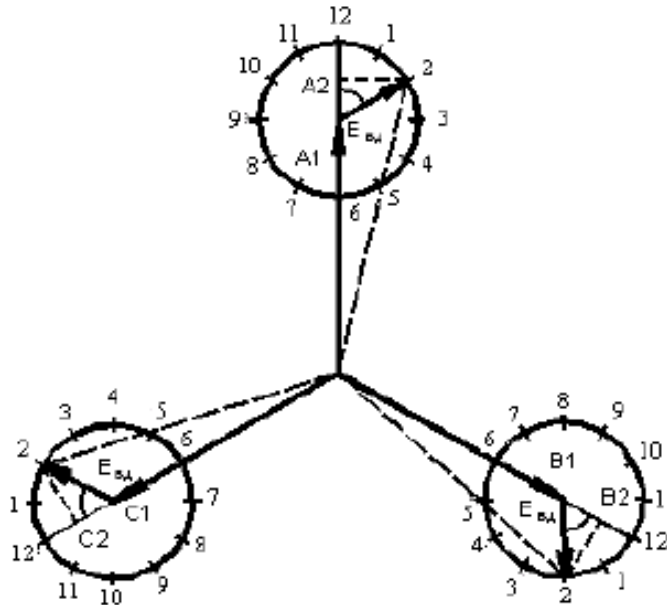


Рисунок 5.4 – Складання схеми включення ФВДТ, що відповідає заданій групі з'єднання обмоток [1]

За аналогією зі звичайними силовими трансформаторами, при визначенні добавок напруги, створюваних ФВДТ, зручно користуватися позначенням груп з'єднань обмоток. Непарні групи можна одержати при з'єднанні однієї з обмоток у зірку, а іншої в трикутник, парні групи утворюють однакові схеми з'єднань обмоток, тобто зірка-зірка чи трикутник-трикутник.

Якщо вольтододавальні обмотки включені в зірку, то при з'єднанні збуджувальних обмоток теж у зірку утворюються парні групи. ЕРС, що індукується при цьому у вольтододавальних обмотках, позначаємо через $E_{вд}$.

При з'єднанні обмоток збудження в трикутник утворюються непарні групи, а ЕРС, що індукується у вольтододавальних обмотках, зростає в 1,7 рази.

У зв'язку з тим, що індукowana у вольтододавальній обмотці ЕРС складає всього 5–10 % від величини вхідної напруги, кут β невеликий, тому величину

вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ (0-2) можна прирівняти до величини його проєкції (ОВ2) на напрямок вхідної напруги, тобто

$$U_{\text{вих}} \approx U_{\text{ов1}} + U_{\text{в1}} + U_{\text{в2}} = U_{\text{вх}} + \Delta U_{\text{р}}, \quad (5.1)$$

де $\Delta U_{\text{р}}$ – проєкція на вісь вхідної напруги вектора $E_{\text{вд}}$ ЕРС, індукованої у вольтододавальній обмотці.

Величина цієї проєкції дорівнює:

- для парних груп – $\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos \alpha$;
- для непарних груп – $\Delta U_{\text{р}} = 1,7 E_{\text{вд}} \cos \alpha$.

ФВДТ може створити сім різних за величиною і знаком добавок напруги, які наведені в таблиці 5.1.

При експлуатації ФВДТ у мережах перемикання добавок виконують автоматично залежно від напруги на вході і величини навантаження регульованої лінії.

Побудова векторної діаграми. При побудові діаграм необхідно користуватися таким правилом: для того, щоб ЕРС $E_{\text{вд}}$ у вольтододавальній обмотці кожної фази мала бажаний напрямок, до обмотки збудження цієї ж фази повинна бути прикладена напруга, спрямована у бік, протилежний напрямку $E_{\text{вд}}$.

Таблиця 5.1 – Можливі добавки напруги при різних групах з'єднання

Ч. ч.	Група з'єднання	Величина добавки
1	0 (XII)	$\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos 0^\circ = E_{\text{вд}}$
2	I або XI	$\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2 E_{\text{вд}}$
3	II або X	$\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos 60^\circ = 1/2 E_{\text{вд}}$
4	III або IX	$\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos 90^\circ = 0$
5	IV або VIII	$\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos 120^\circ = -1/2 E_{\text{вд}}$
6	V або VII	$\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos 150^\circ = -\sqrt{3}/2 E_{\text{вд}}$
7	VI	$\Delta U_{\text{р}} = E_{\text{вд}} \cos 180^\circ = -E_{\text{вд}}$

На рисунках 5.4 і 5.6 наведені діаграми напруги для III і XII груп з'єднання.

Схему електричних з'єднань ФВДТ, при якій забезпечується задана надбавка напруги, складають на підставі діаграми напруг, побудованої раніше.

На рисунку 5.5 подано схему вмикання обмоток збудження.

При складанні схеми потрібно керуватися таким:

а) якщо напруга, яку необхідно підвести до обмотки збудження, збігається за напрямком з однією з напруг на вході ФВДТ, то до початку цієї обмотки приєднується та фаза, до якою спрямований вектор збіжної вхідної напруги. Кінець обмотки збудження підключається до фази, від якої цей вектор бере початок. Наприклад, з діаграми на рисунку 5.5 видно, що напруга U_{by} , яка повинна бути підведена до обмотки збудження фази В, збігається за напрямком з лінійною напругою АС, що має на вході ФВДТ. Тому початок обмотки «В» включають на фазу «а», а кінець «в» – на фазу «С». Аналогічно включають обмотки збудження першої і третьої фаз (див. рис. 5.5, б, в);

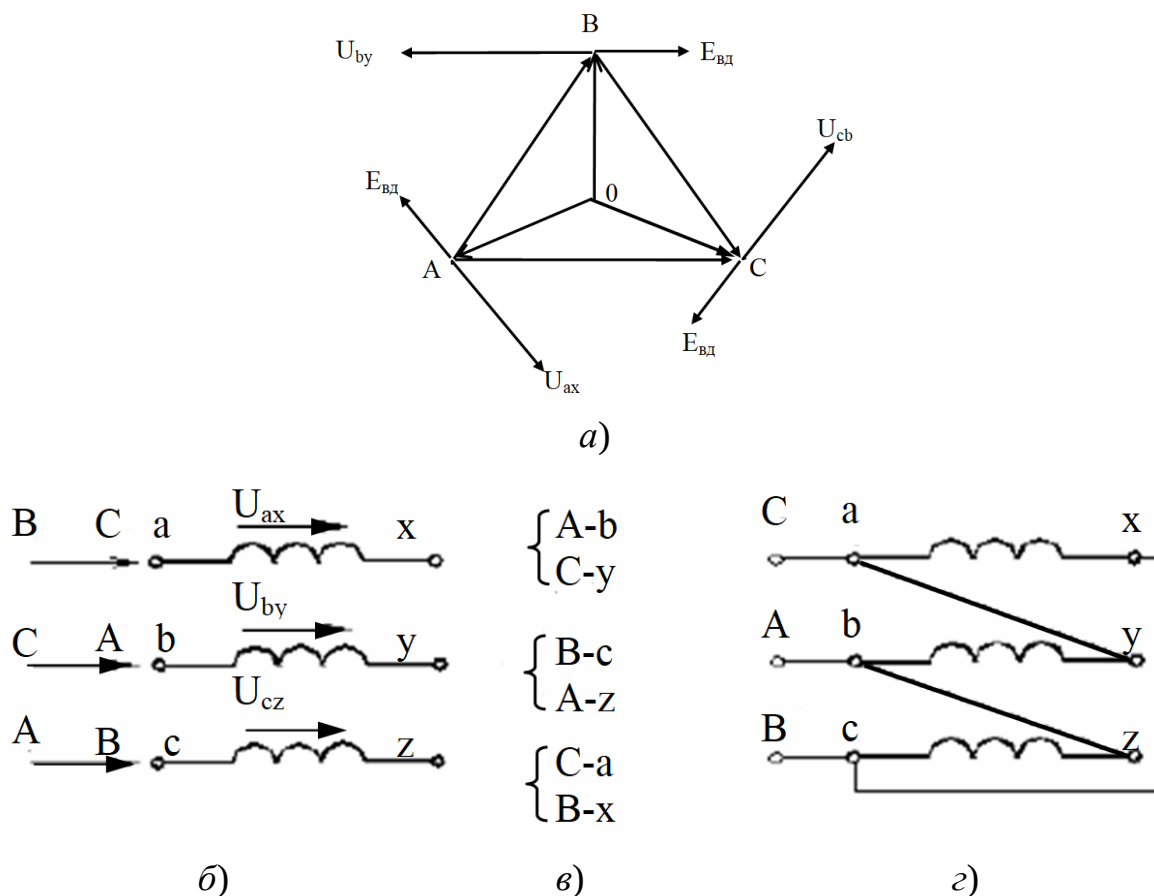


Рисунок 5.5 – Схема вмикання обмоток збудження

б) якщо напруга, яку необхідно підвести до обмотки збудження, збігається з однією з напруг на вході ФВДТ, але спрямована зустрічно, то до кінця цієї обмотки приєднується та фаза, до якої спрямований вектор зустрічної вхідної напруги. Початок обмотки збудження приєднується до фази, від якого цей вектор бере початок. Наприклад, на рисунку 5.6, видно, що напруга U_{by} , яка має бути підведена до обмотки збудження фази В, збігається з фазною напругою OB , але спрямована зустрічно, тому кінець «b» обмотки «by» включається на фазу В, а початок обмотки «у» повинен мати нульовий потенціал.

На рисунку 5.6 показана послідовність визначення схеми вмикання та схема вмикання, при якій обмотки ФВДТ зібрані в групу XII.

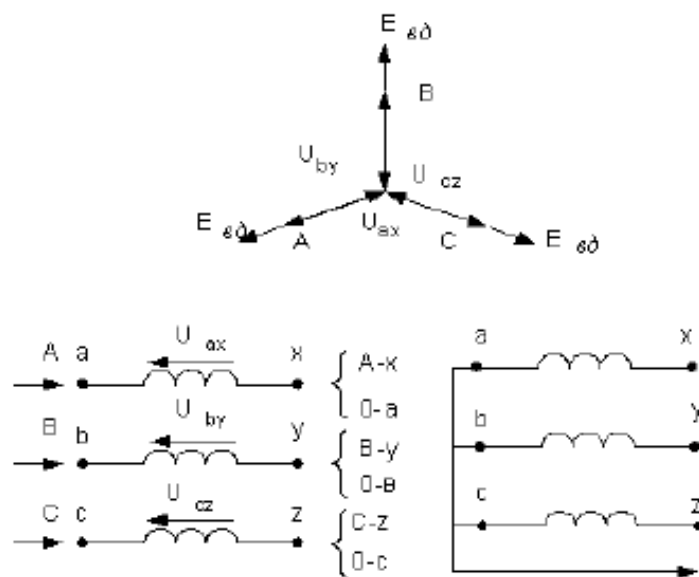


Рисунок 5.6 – Схема вмикання обмоток у групу XII

5.4 Опис лабораторного стенда

Як модель використовується трифазний двообмотковий трансформатор з первинною напругою 220/127 В і вторинною – 12 В (рис. 5.7).

Живлення здійснюється від трифазної мережі 220/127 В. Вольтододавальні обмотки позначені великими буквами AX, BY, CZ – вони

вмикаються в розріз лінії. Обмотки збудження позначені прописними буквами ах, бу, cz і з'єднуються в різні групи залежно від необхідної величини надбавки напруги.

5.5 Порядок виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи треба попередньо побудувати векторну діаграму з'єднань обмоток збудження ФВДТ.

У звіті треба навести розрахунок $E_{вд}$, U_n , ΔU_p при заданій групі з'єднань обмоток, векторну діаграму напруги цього варіанта, подати схему підключення ФВДТ, нарисувати схему з'єднання обмоток збудження, навести дані безпосередніх вимірів у заданій схемі, а також зробити узагальнені висновки.

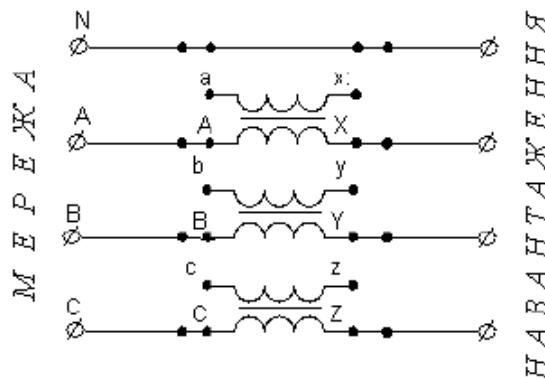


Рисунок 5.7 – Схема моделі

Лабораторну роботу виконати у такій послідовності.

1. За паспортом трансформатора визначити номінальні дані та записати їх.
2. Приєднати трансформатор до схеми, подати напругу і перевірити паспортні дані за допомогою вимірів. Вимкнути напругу.
3. Зібрати обмотки збудження в зірку з живленням від відповідних фаз.
4. Приєднати вольтододавальні обмотки послідовно з напругою мережі.
5. Після перевірки схеми викладачем подати напругу.
6. Виміряти фазну і лінійну напругу в мережі та на виході ФВДТ.

Результати вимірів занести в таблицю 5.2.

7. Вимкнути напругу і зібрати схему обмоток збудження відповідно до завдання викладача.
8. Ввімкнути напругу і виміряти її на навантаженні за новою схемою.
9. Визначити результуючу величину ЕВД для обох дослідів і порівняти отримані значення з величинами, отриманими аналітичними розрахунками.
10. Зробити висновки за результатами вимірів.

Таблиця 5.2 – Результати вимірів

Схема з'єднання ВДТ	Номінальні дані ВДТ		Результати вимірювань напруги, В											
			Мережа						Навантаження					
	$U_{вн}, В$	$U_{нн}, В$	U_a	U_b	U_c	$U_{ав}$	$U_{вс}$	U_{cf}	U_a	U_b	U_c	$U_{ав}$	$U_{вс}$	U_{cf}

Питання для самоконтролю

1. Пояснити принцип дії ВДТ.
2. Надати векторну діаграму напруг, яка пояснює принцип дії вольтододавального трансформатора.
3. Якими способами регулюють напругу в електричних мережах?
4. Пояснити принцип дії вольтододавальних трансформаторів з фазовим управлінням.
5. Пояснити принцип роботи лінійного регулятора напруги з плавним регулюванням.
6. Скільки величин добавок напруги можливо одержати за допомогою ФВДТ?
7. У яких випадках вольтододавальний трансформатор зменшує напругу на приймачі електричної енергії?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

ФАЗУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І ВМИКАННЯ ЇХ НА ПАРАЛЕЛЬНУ РОБОТУ

6.1 Мета роботи

Вивчити особливості фазування трансформаторів і умови їх вмикання на паралельну роботу.

6.2 Домашнє завдання

1. Вивчити правила фазування трансформаторів напругою до і вище 1 000 В.

2. Письмово відповісти на такі запитання:

– які прилади застосовуються для визначення фаз на напрузі до і вище 1000 В;

– чим відрізняється фазування трансформаторів з виведеним нулем від трансформаторів без виведеного нуля?

Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи, схеми (рис. 6.4 та рис. 6.6), таблиці 6.2 та 6.6.

6.3 Теоретична частина

Електричне устаткування трифазного струму (синхронні генератори, трансформатори, лінії електропередачі) підлягають обов'язковому фазуванню перед першим вмиканням у мережу, а також після ремонту, при якому міг бути порушений порядок проходження й чергування фаз. Фазування складається в перевірці збігу за фазою напруги кожної із трьох фаз, електричної установки, що включається з відповідними фазами напруги мережі. Така перевірка необхідна тому, що в процесі складання, монтажу й ремонту устаткування фази могли бути переставлені місцями. Допущені помилки виявляються фазуванням.

Фазування складається з трьох істотно різних операцій.

Перша з них полягає в перевірці й порівнянні порядку чергування фаз установки, що вмикається до мережі. Ця операція проводиться перед вмиканням на паралельну роботу незалежно працюючих електричних систем, нового генератора, а також генератора після капітального ремонту, якщо при цьому змінювалася схема з'єднання обмоток статора з мережею. Тільки після одержання позитивних результатів фазування електричні системи (генератор) синхронізують і включають на паралельну роботу.

Друга операція складається в перевірці однойменності (кольорів) фаз, з'єднання яких передбачається зробити. Метою цієї операції є перевірка правильності з'єднання між собою всіх елементів установки, тобто, в остаточному підсумку, правильності підведення струмовідних частин до апарата, який вмикається.

Третя операція складається в перевірці збігу за фазою однойменних напруг, тобто відсутності між ними кутового зсуву.

Під час фазування силових трансформаторів обмежуються виконанням двох останніх операцій, тому що відомо – порядок чергування фаз у всіх синхронно працюючих генераторів системи однаковий. Методи фазування різні. Вони залежать від призначення фазованого встаткування (генератори, трансформатори, лінії), схем з'єднання обмоток, а також від приладів і пристосувань, що використовуються під час фазування. Нижче розглянуті найбільш доступні методи, що одержали поширення в енергосистемах.

Збіг фаз. Під час фазування трифазних кіл можуть бути різні варіанти чергування позначень (кольору) затискачів на комутаційному апараті, і подачі на них напруги різних фаз. Для простоти подальших міркувань припустимо, що фазовані напруги двох трифазних кіл мають однаковий порядок чергування фаз. За цієї умови фази однойменних напруг можуть збігатися, а порядок чергування позначень затискачів у вимикача – не збігатися. Або, навпаки, при тому самому порядку чергування позначень затискачів фазовані напруги можуть виявитися зсунутими за фазою. Поворот однойменних векторів напруг

один відносно одного може бути на будь-який кут, кратний 30^0 , що характерно для трансформаторів, які мають різні групи з'єднання обмоток. В обох наведених випадках вмикання вимикача неминуче призводить до КЗ. Однак можливий варіант, коли збігається й те, і інше. Коротке замикання між частинами установки, що з'єднуються, тут виключено. Під збігом фаз під час фазування розуміють саме той випадок, коли однойменні напруги фазованих трифазних кіл збігаються за фазою, а чергування позначень у вимикача затискачів (або їхній колір) погоджено з відповідними фазами напруг і між собою.

6.3.1 Прилади й пристосування, що використовуються під час фазування

Вольтметри. Для фазування в електроустановках напругою до 1000 В застосовують вольтметри змінного струму, які підключаються безпосередньо до виводів електричного устаткування або струмопровідних частин апаратів. Великої точності від цих приладів не вимагається, не ставляться також ніякі вимоги і стосовно принципу дії. Шкала приладу повинна бути розрахована на подвійну фазну або подвійну лінійну напругу установки залежно від методу фазування й виду фазованого устаткування. Під час фазування устаткування напругою 6 кВ і вище вольтметр підключають до вимірювальних трансформаторів напруги – стаціонарної установки (шинні, генераторні).

Застосування переносних трансформаторів напруги з вольтметром на стороні НН не рекомендується, тому що це не безпечно для персоналу.

Фазопоказчик. Порядок проходження фаз перевіряють фазопоказчиком ФУ-2 (рис. 6.1).

Прилад складається із трьох котушок 1, 2, 3, намотаних на феромагнітних сердечниках, і легкого алюмінієвого диска 4, закріпленого на осі. Дія приладу заснована на тому ж принципі, що й дія асинхронного двигуна. Якщо три котушки приладу приєднати до трифазної системи струмів, то вони утворять в просторі кругове обертове магнітне поле, що приводить у рух диск у тому

напрямку, у якому обертається воно само. Напрямок обертання магнітного поля, а виходить, і диска залежить винятково від порядку чергування фаз струмів у котушках. Для визначення порядку чергування фаз фазопоказчик підключають до системи напруг, що перевіряється. Затискачі приладу марковані, тобто позначені буквами А, В, С. Якщо фази мережі збігаються з маркуванням приладу, то диск буде обертатися в напрямку, зазначеному стрілкою на кожусі приладу. Таке обертання диска відповідає прямому порядку проходження фаз. При обертанні диска у зворотну сторону – зворотному порядку проходження фаз: А–С–В. Прямий порядок проходження фаз зі зворотного одержують зміною місць двох будь-яких фаз. Прилад ФУ-2 розрахований на вмикання в мережу напругою 50-500 В на час не більше 5 с. Обертання диска починається при натисканні кнопки 5.

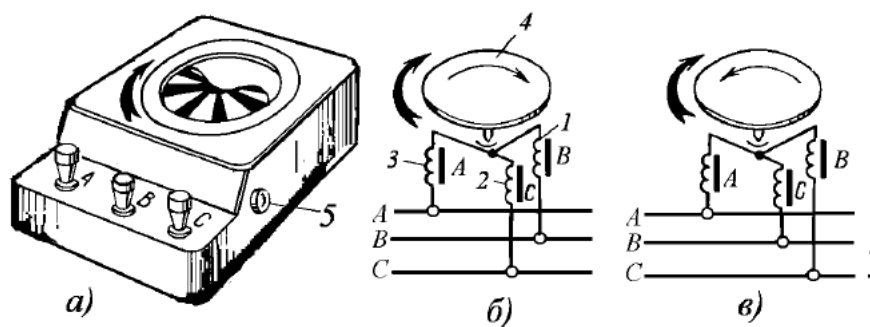


Рисунок 6.1 – Фазопоказчик ФУ-2 [1]

Універсальні прилади. Широке застосування при фазуваннях знайшли універсальні прилади: портативний вольтамперфазоіндикатор ВАФ-85 і універсальний фазопоказчик типу Е-500. Прилад ВАФ-85 (рис. 6.2) дозволяє виміряти напругу промислової частоти до 250 В, кут зсуву між двома напругами й визначити порядок проходження фаз. Прилад Е-500 призначений для виміру фазного кута між векторами напруг у симетричних трифазних системах, а також для визначення порядку проходження фаз і груп з'єднання обмоток трансформаторів. Напруга живлення приладу 110 і 380 В.

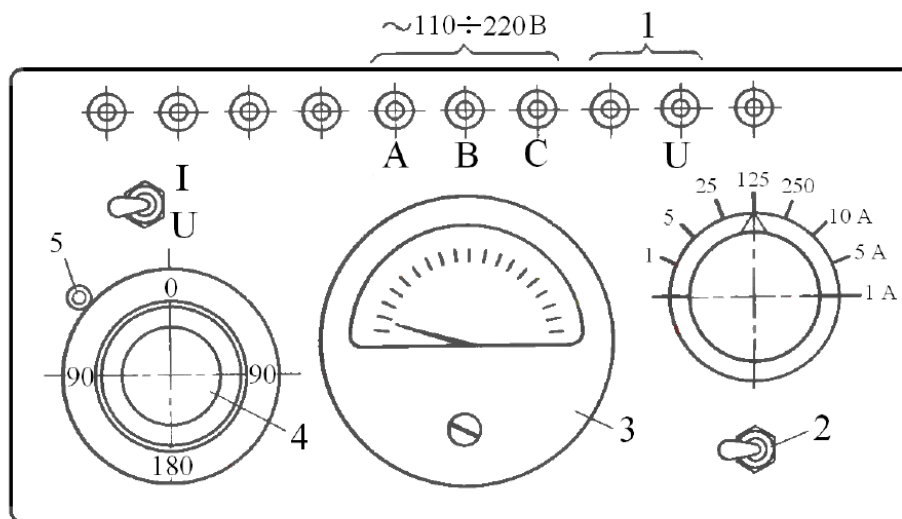


Рисунок 6.2 – Зовнішній вигляд приладу ВАФ-85 [1]:

- 1 – виводи для виміру напруги; 2 – перемикач виміру фази;
3 – вимірювальний прилад; 4 – лімб; 5 – важіль для перевірки
порядку проходження фаз

Покажчики напруги для фазування. Фазування в установках напругою понад 1 000 В може виконуватися покажчиками напруги, призначеними спеціально для цієї мети. У комплект покажчика на 10 кВ зазвичай входять: власне покажчик напруги, трубка з додатковим резистором і провідник, що їх з'єднує. У корпус (трубку з ізоляційного матеріалу) покажчика напруги вмонтовані сигнальна лампа, шунтувальний і три додаткових конденсатори на робочу напругу 15 кВ кожний. У другу трубку вбудовано термостійкі резистори, сумарний опір яких становить 8–10 МОм. Обидві трубки послідовно з'єднані проводом ПВЛ-І, що витримує випробувальну напругу до 20 кВ. До верхніх частин трубок пригвинчені металеві щупи, з'єднані з електричною схемою, до нижніх – ізолюючі штанги з ручкою-захватом. Для фазування на відключений апарат (вимикач, роз'єднувач) з кожної з його сторін подають фазовані напруги. Щупи покажчика підносять до струмовідних частин апарата й спостерігають за світінням сигнальної лампи.

При цьому можливі два випадки вмикання покажчика:

- зустрічне вмикання – це вмикання на незфазовану напругу, лампа покажчика в цьому випадку повинна яскраво горіти, сигналізуючи про розбіжність фаз;

- погоджене вмикання – це вмикання на напругу однієї й тієї ж фази. Лампа покажчика в цьому випадку світитися не повинна. Відсутність світіння лампи свідчить про можливість вмикання апарата.

Відзначимо деякі вимоги, які висувуються до показників напруги, призначених для фазування. Правила користування й випробування захисних засобів, застосовуваних в електроустановках, нормують так званий поріг запалювання сигнальної лампи покажчика при зустрічному й погодженому вмиканні. Під порогом запалювання розуміють ту мінімальну прикладену до щупів покажчика напругу, при якому настає видиме стійке світіння сигнальної лампи. Варто зазначити, що парадоксальне на перший погляд світіння лампи при підключенні обох щупів покажчика до однієї фази насправді пояснюється впливом електричних ємностей різних елементів покажчика на заземлені конструкції. Проходження струму через ці ємності й приводить до світіння лампи. Щоб уникнути помилки під час фазування, напруга запалювання покажчика при погодженому вмиканні має бути більшою, ніж та робоча напруга, на якій виконується фазування. Поріг запалювання при зустрічному вмиканні характеризує чутливість покажчика. Чим нижча напруга запалювання лампи, тим більше чутливий покажчик. Однак покажчики підвищеної чутливості непридатні для фазування, тому що різниця напруг між однойменними фазами двох фазованих частин установки може досягти 8–10 % робочої напруги. Отже, напруга запалювання при зустрічному вмиканні повинна бути трохи більшою зазначеного значення. Практично вона приймається рівною 1 000–1 500 В. В одержанні необхідних напруг запалювання лампи покажчика при погодженому й зустрічному вмиканні відіграє роль шунтування лампи ємністю. Введення в коло шунтувального конденсатора ємністю 200 пФ дозволило виключити вплив часткових ємностей

окремих елементів показчика й забезпечило необхідну величину й стабільність порогів запалювання лампи. При розробці конструкції показчика УВНФ за основу був узятий серійний показчик напруги типу УВН-80, що має в зібраному виді загальну довжину 715 мм і робочої частини – 350 мм. Досвід показав, що розмір робочої частини такого показчика при застосуванні його для фазування повітряних ліній 6–10 кВ безпосередньо на роз'єднувачах зовнішньої установки не забезпечує безпечних умов роботи. Довжина робочої частини показчика порівнянна з висотою струмопровідних частин над заземленою рамою – підставою роз'єднувача, що може привести до перекриття фази на землю при наближенні трубок до сталевий конструкції. Тому для фазування на стовпових роз'єднувачах розроблений показчик з довжиною робочої частини й трубки з додатковим резистором до 700 мм при загальній довжині показчика 1 400 мм.

Для фазування на напрузі 35 і 110 кВ розроблений **показчик напруги типу УВНФ–35–110**. Його конструкція аналогічна конструкції показчика УВНФ. Відмінною рисою схеми є полістирольні конденсатори ПОВ-15, що замінили собою резистори. Параметри схеми підібрані так, що показчик став нечутливий до напруги фази щодо землі при погодженому вмиканні. Це відстроювання від дії робочої напруги забезпечило чітку вибірковість показчика до напруги однойменних і різнойменних фаз. У фазувальний комплект показчика (рис. 6.3) входять одна загальна робоча трубка 1 і дві робочих трубки 2 і 3. Загальна трубка застосовується в комплекті із трубкою 2 під час фазування в установках 110 кВ і в комплекті із трубкою 3 під час фазування в установках 35 кВ. Ізоляція з'єднувального проводу 4 посилена. Ізоляційні частини 5 розраховані для роботи з напругою в установках до 110 кВ.

Перевірка чергування фаз силових трансформаторів. Відповідно до стандарту вводи трансформаторів розташовують так, щоб чергування їх фаз (зліва направо), якщо дивитися з боку введів вищої напруги, був: у трифазних трансформаторів 0–А–В–С; 0–а–b–c; в однофазних – А–х; а–х.

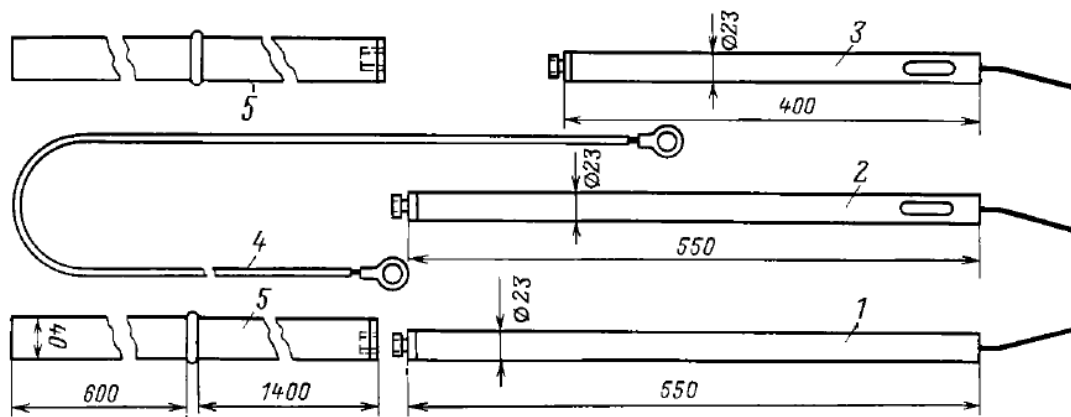


Рисунок 6.3 – Покажчик напруги для фазування в установках 35 і 110 кВ [1]:
 1 – загальна трубка; 2 – робоча трубка класу напруги 110 кВ; 3 – те саме класу 35 кВ; 4 – з’єднувальний провід з посиленою ізоляцією; 5 – ізолюючі штанги

Простежити, чи правильно приєднані кінці обмоток до відповідних вводів без розкриття трансформатора, неможливо. Тому правильність позначень вводів трифазних трансформаторів і полярність вводів однофазних трансформаторів установлюють при перевірці груп з’єднань, яка виконується при монтажі й капітальному ремонті трансформаторів із частковою або повною зміною обмоток.

6.3.2 Прямі методи фазування

Фазування трансформаторів, що мають обмотки НН до 380 В, без установки перемички між затискачами. Цим методом фазують силові трансформатори, вторинні обмотки яких з’єднані в зірку з виведеною нульовою точкою, а також вимірювальні трансформатори напруги, що мають вторинні обмотки із заземленою нейтраллю. Фазування виконують за допомогою вольтметра з боку обмотки НН. Вольтметр повинен бути розрахований на подвійну фазну напругу, тому що поява такої напруги між затискачами фазованих трансформаторів не виключена. Фазовані трансформатори вмикають за схемою, поданою на рисунку 6.4. Нульові точки вторинних обмоток при цьому повинні бути надійно заземлені або приєднані до загального нульового

проводу. Об'єднання нульових точок необхідне для створення між фазованими трансформаторами електричного зв'язку, що утворить замкнутий контур для проходження струму через прилад. Перш ніж приступитися до фазування, перевіряють симетричність напруг трансформаторів. Для цього вольтметр по черзі підключають до затисків a_1-b_1 ; b_1-c_1 ; c_1-a_1 ; a_2-b_2 ; b_2-c_2 ; c_2-a_2 . Якщо значення вимірюваних напруг сильно відрізняються одне від одного перевіряють положення перемикачів відгалужень обох трансформаторів. Перемиканням відгалужень зменшують різницю напруг. Фазування допускається, якщо різниця напруг не перевищує 10 %.

На рисунку 6.4 пунктиром показаний шлях проходження струму через прилад при розбіжності фаз.

Після проведення перерахованих операцій приступають власне до фазування. Сутність його полягає у відшуванні виводів, між якими різниця напруг дорівнює нулю. Для цього провід від вольтметра приєднують до одного з виводів першого трансформатора, а іншим проводом по черзі доторкуються трьох виводів другого трансформатора (наприклад, вимірюють напругу між виводами a_1-a_2 ; a_1-b_2 ; a_1-c_2).

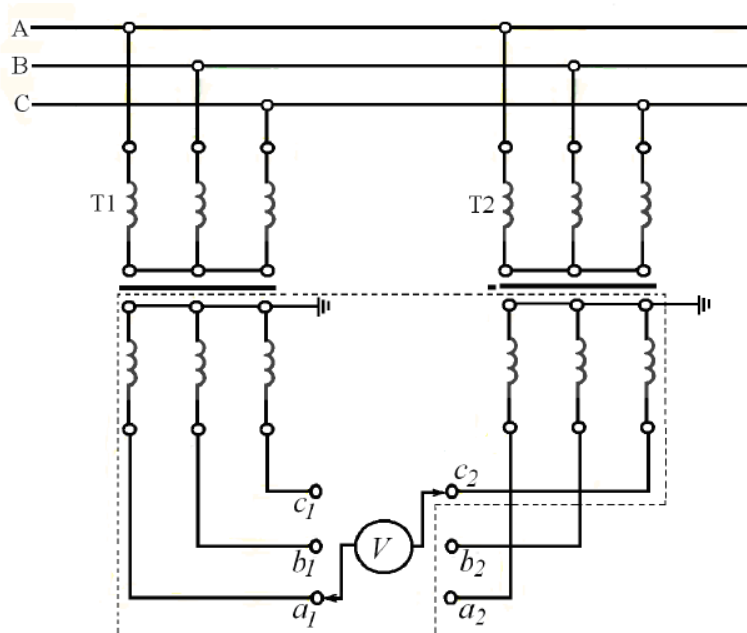


Рисунок 6.4 – Схема фазування трансформаторів, що мають заземлені нульові точки вторинних обмоток

Подальший хід фазування залежить від отриманих результатів. Якщо при одному з вимірів (припустимо, між виводами a_1-a_2) показання вольтметра було рівним нулю, то ці виводи помічають, а вольтметр приєднують до другого виводу (наприклад, b_1) першого трансформатора й вимірюють напругу між виводами b_1-b_2 ; b_1-c_2 . Якщо знову одне з показань вольтметра (наприклад, між виводами b_1-b_2) виявиться рівним нулю, то фазування вважають закінченим. Особливої необхідності у вимірі напруги між виводами c_1-c_2 немає, тому що при двох нульових показаннях вольтметра (a_1-a_2 і b_1-b_2) напруга між третьою парою фаз, природно, повинна бути рівною нулю (рис. 6.5, а). Однак для підтвердження отриманих результатів про збіг фаз все ж роблять вимір між c_1-c_2 . Виводи, між якими не було різниці напруг, з'єднують при вмиканні трансформаторів на паралельну роботу. У комутаційного апарата такі виводи повинні перебувати безпосередньо один напроти одного. Якщо після виміру (a_1-a_2 ; a_1-b_2 ; a_1-c_2 ; b_1-a_2 ; b_1-b_2 ; b_1-c_2) жодне з показань вольтметра не було рівним нулю, то це свідчить про те, що фазовані трансформатори належать до різних груп з'єднань і їхнє вмикання на паралельну роботу неприпустиме. Фазування на цьому припиняють. На підставі вимірів будують векторні діаграми й за ними роблять висновок, чи можна включити трансформатори паралельно і які перемикання необхідно для цього виконати. Характерними є два випадки. У першому з них $U_{a1-a2} = 1,15U_L$; $U_{a1-b2} = 0,58U_L$; $U_{a1-c2} = 0,58U_L$; $U_{b1-a2} = 0,58U_L$; $U_{b1-b2} = 1,15U_L$; $U_{b1-c2} = 0,58U_L$. Типова для цього випадку векторна діаграма подана на рисунку 6.5, б. З рисунка видно, що вектори вторинних ЕРС повернені на 180° , а напруга між затискачами a_1-a_2 дорівнює подвійній фазній напрузі $U_{a1-a2} = 2U_\phi = 2/\sqrt{3}U_L = 1,15U_L$. Якщо обидва фазовані трансформатори належать до непарних груп, то для вмикання їх паралельно треба в одного з них перемкнути шини на виводах обмоток ВН і НН, тобто зробити подвійне перемаркування фаз.

Для трансформаторів парних груп (а також парної й нульової) необхідно внутрішнє перез'єднання обмоток. У другому випадку

$$U_{a1-a2} = 0,3U_L; U_{a1-b2} = 0,8U_L;$$

$$U_{a1-c2} = 1,1U_L; U_{b1-a2} = 1,1U_L;$$

$$U_{b1-b2} = 0,3U_L; U_{b1-c2} = 0,8U_L;$$

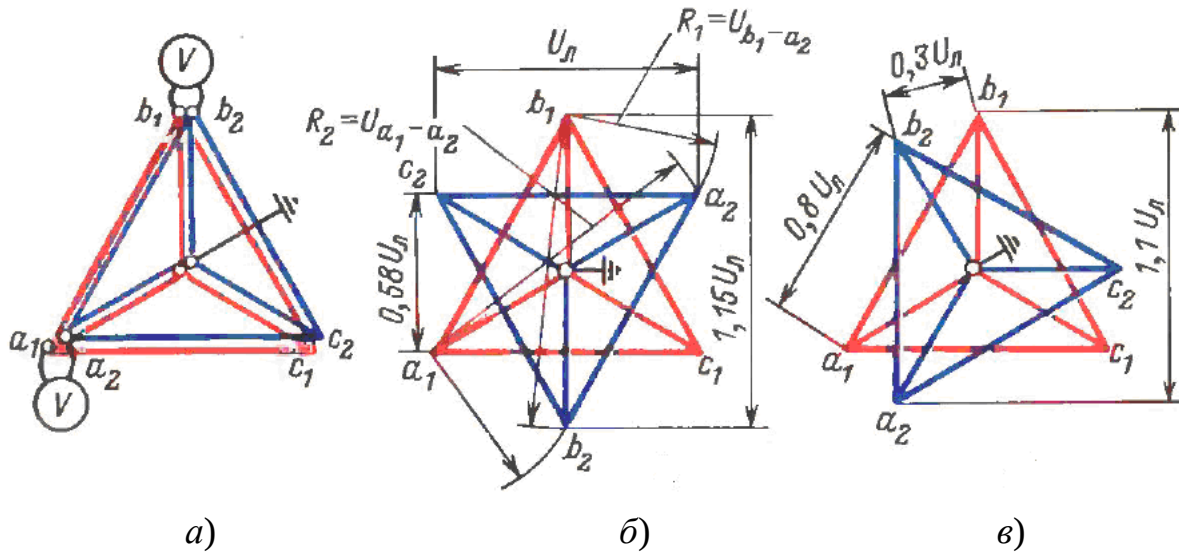


Рисунок 6.5 – Векторні діаграми ЕРС обмоток НН фазованих трансформаторів: а – при збігу фаз; б – при зсуві векторів на 180° , наприклад при групах з'єднань Д/УН–11 і Д/УН–5; в) при зсуві векторів на 30° (Д/УН– 0 і Д/УН–11)

На типовій векторній діаграмі (рис. 6.5, в) вектори ЕРС зсунуті на 30° . Такий кут зсуву може бути в трансформаторів парної (або нульової) і непарної груп. Паралельне вмикання таких трансформаторів не може бути виконане ні за яких умов. Техніка побудови векторних діаграм показана на рисунку 6.5, б.

Трикутник лінійних ЕРС першого трансформатора будують довільно. А точки вершин другого трикутника знаходять за допомогою засічок радіусами, що чисельно дорівнюють напругам між затискачами a_1-a_2 і b_1-a_2 ; a_1-b_2 і b_1-b_2 .

Фазування трансформаторів, що мають обмотки НН до 380 В, з установкою перемички між двома виводами. Цей метод застосовують під час фазування трансформаторів, вторинні обмотки яких не мають нульового виводу. Фазування виконують на стороні НН за допомогою вольтметра. Його шкала повинна бути розрахована на подвійну лінійну напругу. До вмикання фазованих трансформаторів під напругу мегомметром перевіряють опір ізоляції вторинних обмоток щодо землі. Обмотки не повинні мати ніяких з'єднань із

землею, тому що подвійне замикання на землю при наявності перемички між виводами може призвести до КЗ. Перемичку (бажано з опором 3–5 кОм) установлюють між двома будь-якими затискачами одного й іншого трансформатора (рис. 6.6). Її наявність не становить ніякої небезпеки для трансформаторів, оскільки при цьому не утвориться замкнутого кола для проходження струму КЗ. Замкнуте коло створюється вмиканням вольтметра, який, як відомо, має опір десятків тисяч Ом, і струм, що протікає через нього мізерно малий.

Для фазування трансформатори включають на напругу з боку ВН, після чого на затискачах НН кожного трансформатора вольтметром перевіряють симетрію напруг, підведених для фазування. Усього виконується шість вимірів.

Фазування виконують у два підходи. Спочатку вимірюють напругу між одним з вільних виводів першого трансформатора й двома вільними виводами другого трансформатора, наприклад між виводами b_1 – b_2 і b_1 – c_2 . Потім вимірюють напругу між іншим вільним виводом і тими ж виводами другого трансформатора (c_1 – c_2 і c_1 – c_2). Дані виміри залежать від того, між якими парами виводів установлена перемичка. Можливі три варіанти її установки: a_1 – a_2 ; b_1 – a_2 ; c_1 – a_2 . У кожному із цих варіантів при однакових групах з'єднань фазованих трансформаторів будуть відповідати показання вольтметра наведені у таблиці 6.1.

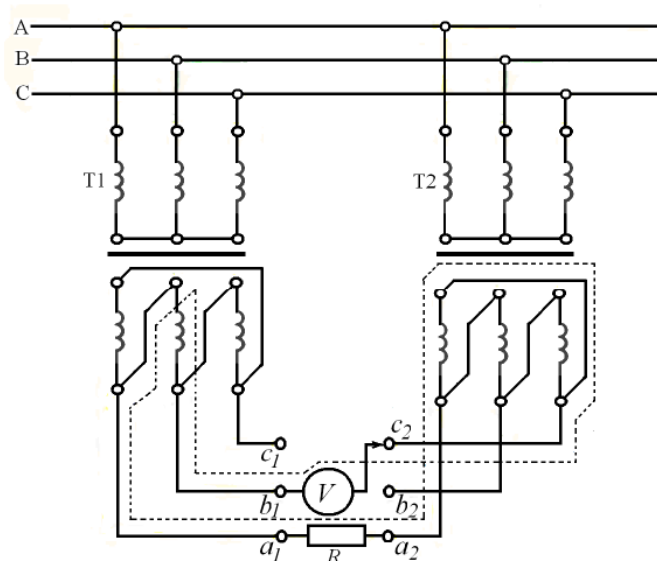


Рисунок 6.6 – Схема фазування трансформаторів з установкою перемички між їхніми затискачами (R – резистор з опором 3 кОм)

Таблиця 6.1 – Показання вольтметра при однакових групах з'єднань фазованих трансформаторів

Затискачі, що з'єднуються	a_1-a_2	b_1-a_2	c_1-a_2
Напруга між затискачами	$U_{b1-b2} = 0$ $U_{b1-a2} = U_L$ $U_{c1-b2} = U_L$ $U_{c1-c2} = 0$	$U_{a1-b2} = 2U_L$ $U_{a1-c2} = 1,73U_L$ $U_{c1-b2} = 1,73U_L$ $U_{c1-c2} = U_L$	$U_{a1-b2} = 1,73U_L$ $U_{a1-c2} = 2U_L$ $U_{c1-b2} = U_L$ $U_{c1-c2} = 1,73U_L$

Побудовані за цими даними векторні діаграми ЕРС обмоток НН наведені на рисунку 6.7. З рисунка 6.7, а безпосередньо видно, що трансформатори мають однакові групи з'єднань і паралельне вмикання їх можливе при з'єднанні між собою виводів a_1 і a_2 ; b_1 і b_2 ; c_1 і c_2 . Тому що дві інші векторні діаграми (рис. 6.7, б, в) побудовані для тих же трансформаторів, дозволяють зробити такий же висновок. Фазування зазвичай закінчують, як тільки будуть отримані дані одного із трьох варіантів вимірів і побудована векторна діаграма, аналогічна зазначеній на рисунку 6.7 а, б, в. Характерним для цього випадку фазування (варіант з'єднання однойменних виводів a_1-a_2) є одержання двох нульових показань вольтметра при кожному вимірі. Однак варто сказати, що два нульових показання можуть бути отримані й при різних групах з'єднань, коли вектори ЕРС зсунуті на 240° . Але при цьому з'єднаними перемичкою повинні бути затискачі c_1 і a_2 . Векторні діаграми наведені на рисунку 6.7, г, д, е. Паралельне вмикання таких трансформаторів можливе тільки після перемикування шин, підведених до трансформатора, тобто після циклічного перемаркування фаз.

Про неможливість паралельного вмикання трансформаторів свідчать такі покази вольтметрів, коли при всіх трьох варіантах установки перемички не виходить жодного нульового показання, наприклад: з векторних діаграм, наведених на рисунку 6.7, ж, з, і видно, що вектори лінійних ЕРС зсунуті на 30° .

Такий кут буде отриманий, якщо трансформатори відносяться до непарних і парних (або нульової) груп з'єднань, наприклад У/У–0 і У/Δ–11, а їхнє паралельне включення неможливо.

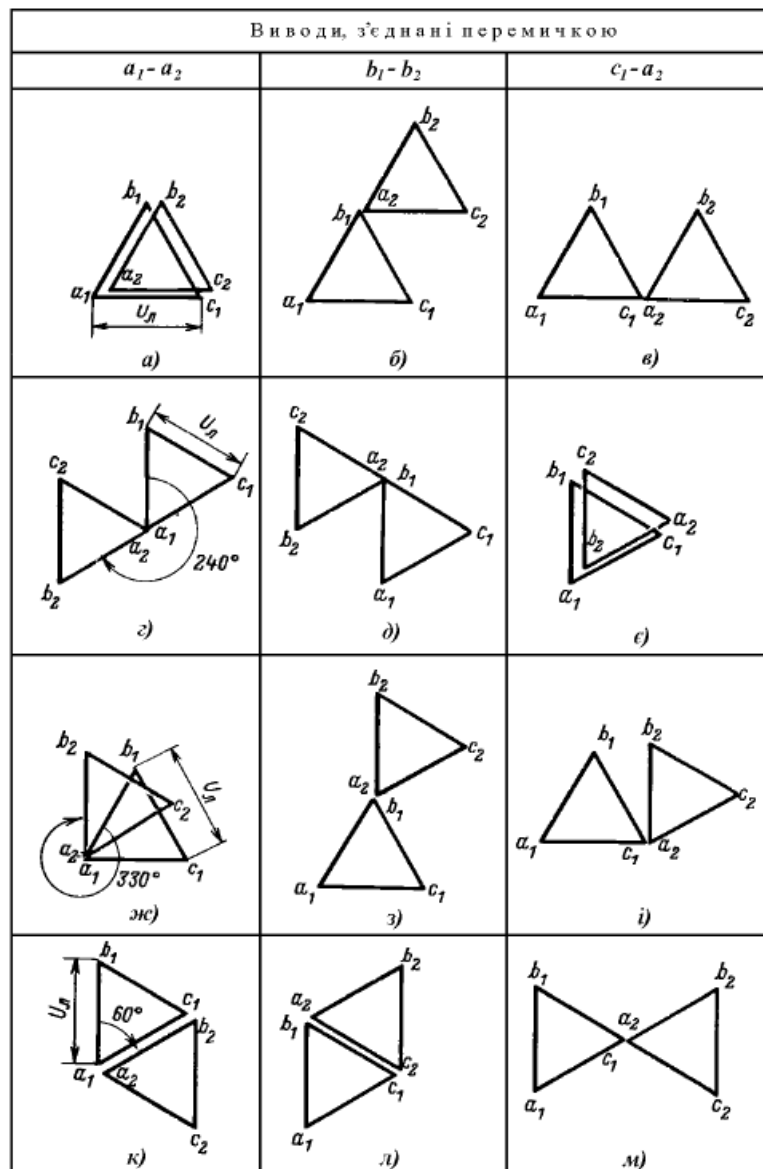


Рисунок 6.7 – Векторні діаграми ЕРС під час фазування трансформаторів
а, б, в – при однакових групах з'єднань; г, д, е – при зсуву векторів на 240°;
ж, з, і – те ж на 330°; к, л, м – те ж на 60°

Якщо в процесі фазування у двох із трьох варіантів установки перемички виходить по одному нульовому показанню, то це вказує на допустимість паралельного включення, але тільки після деяких змін у схемі. У

трансформаторів непарних груп зі зсувом векторів вторинних ЕРС на 60° (рис. 6.7, *к, л, м*) необхідно зробити подвійне перемаркування фаз.

6.3.3 Правила безпеки під час виконання фазування показчиками напруги

Перш ніж розпочати виконання фазування, необхідно переконатися у виконанні як загальних вимог техніки безпеки з підготовки робочого місця, так і спеціальних вимог по роботі з вимірювальними штангами на устаткуванні, що перебуває під напругою. Електричні апарати, на виводах яких буде виконуватися фазування, ще до подачі на них напруги повинні бути надійно замкнені й вжиті заходи, що запобігають їхньому вмиканні. Показчики напруги перед початком роботи під напругою повинні бути піддані ретельному зовнішньому огляду. При цьому звертається увага на те, щоб лакове покриття трубок, ізоляція з'єднувального проводу й лампа-індикатор напруги не мали видимих ушкоджень і подряпин. Строк придатності показчика перевіряється за штампом періодичних випробувань.

Не допускається застосовувати показчики, строк придатності яких минув. При роботах з показчиком напруги обов'язкове застосування діелектричних рукавичок. У ході фазування не рекомендується наближати з'єднувальний провід до заземлених частин. Розташовувати робочі й ізолюючі частини показчиків треба так, щоб не виникала небезпека перекриття по їхній поверхні між фазами або на землю. Фазування показчиком напруги не можна робити під час дощу, снігопаду, при тумані, тому що ізолюючі частини його можуть зволожитися, що приведе до їхнього перекриття.

6.4 Опис лабораторного стенда

До складу стенда входять два трьох фазних трансформатори, вольтметри, фазовказівник ФУ-2 і вольтамперфазоіндикатор ВАФ-85.

6.5 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з паспортними даними фазованих трансформаторів.
2. З'єднати вторинну обмотку трансформаторів в зірку з виведеним нулем (рис. 6.4).
3. Приєднати один з трансформаторів до мережі, ввімкнути напругу і визначити величину його вторинної напруги, занести результати в таблицю. Вимкнути напругу і приєднати фазовказівник. Ввімкнути напругу і визначити порядок чергування фаз за фазовказівником. Вимкнути напругу.
4. Виконати пункт 3 для іншого трансформатора.
5. Приєднати до мережі обидва трансформатори за схемою рисунка 6.5. Ввімкнути напругу. Почергово виміряти напругу між виводами різних трансформаторів, визначити однойменні виводи. Вимкнути напругу і виконати маркування виводів.
6. З'єднати однойменні виводи вторинних обмоток. Ввімкнути напругу. **Якщо після вмикання спостерігається ненормальне гудіння трансформаторів чи помітне їхнє швидке нагрівання напругу негайно вимкнути і перевірити з'єднання.** Вимкнути напругу і в розрив провідника, що з'єднує одну групу фаз, ввімкнути амперметр. Ввімкнути напругу і виміряти зрівнювальний струм трансформаторів. Вимкнути напругу. Результати вимірів занести до таблиці.

Таблиця 6.2 – Вторинна напруга трансформатора, В

U_a	U_b	U_c	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}

Таблиця 6.3 – Напруга між фазами трансформаторів, В

U_{a1-a2}	U_{a1-b2}	U_{a1-c2}	U_{b1-a2}	U_{b1-b2}	U_{b1-c2}	U_{c1-a2}	U_{c1-b2}	U_{c1-c2}

Зрівнювальний струм – _____ А

7. З'єднати вторинні обмотки трансформаторів за схемою трикутник.

8. Приєднати один з трансформаторів до мережі й вимірити вторинну напругу, результати занести в таблицю. Вимкнути напругу.

9. Приєднати до мережі обидва трансформатори за схемою рисунка 6.6, ввімкнувши між будь-якими виводами різних трансформаторів додатковий опір. Ввімкнути напругу. Почергово виміряти напругу між виводами різних трансформаторів, результати вимірів занести до таблиці. Вимкнути напругу. За результатами вимірів визначити однойменні фази.

10. З'єднати визначені однойменні виводи. Ввімкнути напругу. **Якщо після вмикання спостерігається ненормальне гудіння трансформаторів чи помітне їхнє швидке нагрівання напругу негайно вимкнути й перевірити з'єднання.** Вимкнути напругу і в розрив провідника, що з'єднує одну групу фаз, ввімкнути амперметр. Ввімкнути напругу і вимірити зрівнювальний струм трансформаторів. Вимкнути напругу. Результати вимірів занести до таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Вторинна напруга трансформатора, В

U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}

Таблиця 6.5 – Напруга між фазами трансформаторів, В

Затискачі що з'єднуються	a_1-a_2		b_1-a_2		c_1-a_2	
Напруга між затискачами	U_{b1-b2} 0		U_{a1-b2}		U_{a1-b2}	
	U_{b1-c2} 0		U_{a1-c2}		U_{a1-c2}	
	U_{c1-b2}		U_{c1-b2}		U_{b1-b2}	
	U_{c1-c2}		U_{c1-c2}		U_{b1-c2}	

Зрівнювальний струм – _____ А.

11. Зробити письмові висновки.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає процес фазування? З яких операцій складається фазування?
2. Які прилади й пристосування застосовуються для фазування при напрузі до 1 000 В?
3. Які прилади й пристосування застосовуються для фазування при напрузі вище 1 000 В?
4. Поясніть конструкцію високовольного показчика напруги.
5. Поясніть як здійснюється фазування трансформаторів з вторинною напругою до 380 В без установки перемички між затискачами трансформаторів?
6. Поясніть як здійснюється фазування трансформаторів з вторинною напругою до 380 В з установкою перемички між затискачами трансформаторів?
7. Що може свідчити про неможливість паралельного вмикання трансформаторів під час фазування з установкою перемички між затискачами трансформаторів?
8. Наведіть основні правила техніки безпеки під час фазування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

ВЕНТИЛЬНІ РОЗРЯДНИКИ Й НЕЛІНІЙНІ ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГ

7.1 Мета роботи

Знайомство з конструкцією та електричними характеристиками розрядників вентильних (РВ) і обмежувачів перенапруги нелінійних (ОПН).

7.2 Домашнє завдання

1. Вивчити особливості конструкції і принцип роботи РВ і ОПН за навчальною літературою.
2. Записати умови вибору РВ і ОПН.
3. Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи, схема (рис. 7.2), таблиця 7.1.

7.3 Теоретична частина

В нормальному режимі роботи на ізоляцію електроустановки діють напруги близькі до номінальних. Разом з тим внаслідок різних причин в електроустановках можуть виникати підвищені напруги, небезпечні для електричної ізоляції обладнання. Такі підвищені напруги називають перенапругами.

Перенапруги є наслідком електромагнітних процесів, пов'язаних зі зміною режиму роботи електричних кіл або з розрядами блискавки. Відповідно до цього *розрізняють внутрішні* (комутаційні, резонансні) і *зовнішні* (атмосферні) *перенапруги*. Атмосферні перенапруги виникають при прямому враженні блискавкою об'єктів, розташованих на відкритому повітрі – ліній

електропередачі, відкритих розподільних установок, будинків і інших споруд (перенапруги прямого удару), а також при розряді блискавки поблизу електричних споруд – ліній електропередачі тощо (індуковані перенапруги). Найнебезпечніші перенапруги прямого удару блискавки. Характерною особливістю атмосферних перенапруг є їхня короткочасність. Головний розряд триває декілька десятків мікросекунд і підвищення напруги має характер імпульсу.

Кожній лінійній напрузі відповідає свій рівень чи клас ізоляції, який визначається величиною випробувальних напруг, які характеризують електричну стійкість ізоляції. *Здатність ізоляції* протистояти атмосферним перенапругам *характеризується імпульсною випробувальною напругою*, а внутрішні перенапруги – випробувальною напругою промислової частоти.

Захищають електроустановки від атмосферних перенапруг блискавковідводами, які запобігають прямому влученню блискавки в об'єкти захисту. Але незалежно від того, захищені повітряні лінії від прямих вражень блискавкою чи ні, обладнання електроустановок, зв'язане з повітряними електричними мережами, може попадати під дію електромагнітних хвиль атмосферних перенапруг, які набігають з боку ліній. Амплітуда хвиль атмосферних перенапруг може перевищувати імпульсні випробувальні напруги ізоляції електрообладнання, в результаті чого можливі пробої ізоляції. Для попередження цього необхідно штучне зниження амплітуди хвилі, яка набігає на електроустановку, що досягається за допомогою розрядників чи обмежувачів перенапруги. Таким чином, ці апарати захищають установку від перенапруг шляхом зниження амплітуди хвилі перенапруги до значення безпечного для ізоляції електроустановки.

Останнім часом на заміну традиційних вентильних розрядників змінного струму прийшли нові електричні апарати високої напруги – ОПН, які в порівнянні з розрядниками краще обмежують комутаційні та грозові перенапруги.

Вентильні розрядники складаються з колонки іскрових проміжків, звичайних чи з магнітним гасінням дуги, шунтованих нелінійним омичним опором і нелінійних робочих опорів (вілітових чи тервітових), розташованих в герметично закритій фарфоровій оболонці.

Іскрові проміжки розрядників повинні обірвати супровідний струм при першому переході через нульове значення. Для успішного гасіння дуги іскровими проміжками супровідний струм обмежується робочим опором до визначеної величини.

Таким чином, *іскрові проміжки* вентильного розрядника **виконують дві функції:**

- по-перше, задають величину пробивної напруги розрядника, його вольт-секундну характеристику: зі збільшенням розрядної відстані іскрового проміжку росте його напруга і, навпаки, зі зменшенням розрядної відстані пробивна напруга знижується;

- по-друге, вони обривають супровідний струм промислової частоти, який протікає через розрядник під дією нормальної робочої напруги після пробою іскрових проміжків.

Одиничний іскровий проміжок створюється двома фігурними латунними електродами, розділеними ізоляційною прокладкою з міканіту товщиною 0,5–1,0 мм. Пробивна напруга поодинокого пробивного проміжку при промисловій частоті знаходиться в межах 2,5–2,9 кВ діючих.

Робочий опір розрядника також **виконує дві функції:**

- з одного боку, при високих атмосферних перенапругах, зменшуючи свій опір, вільно пропускає імпульсний струм блискавки й тим самим не дає підвищуватися залишковій напрузі більше пробивної напруги іскрових проміжків розрядника;

- з іншого боку, при нормальній робочій напрузі установки, збільшуючи свій опір, обмежує величину супровідного струму промислової частоти, чим забезпечує його успішний обрив іскровими проміжками розрядника.

Вентильні властивості робочих опорів зумовлені вольт-амперною характеристикою зерен електричного карборунду SiC. Чим менша величина коефіцієнта вентильності α , тим меншою мірою збільшується напруга на робочому опорі зі збільшенням протікаючого по ньому струму. Вольт-амперні характеристики вілітових і тервітових дисків при струмах до 1000–2000 А і більше мають коефіцієнт вентильності α_1 і α_2 . Для вілітових дисків $\alpha_1 = 0,28\text{--}0,3$; $\alpha_2 = 0,11\text{--}0,2$, для тервітових дисків $\alpha_1 = 0,35\text{--}0,38$; $\alpha_2 = 0,15\text{--}0,25$.

Пропускна здатність робочих опорів достатня для пропуску без пошкоджень 20 імпульсів струму блискавки.

ОПН – апарати для обмеження перенапруг, які виготовлені на основі високонелінійних металооксидних резисторів (варисторів) і підключаються в електричну мережу без іскрових проміжків. Такі апарати одержали назву нелінійних обмежувачів перенапруг, а за термінологією Міжнародної електротехнічної комісії – металооксидних обмежувачів перенапруг без іскрових проміжків. Сучасні варистори для ОПН виготовляються за складною технологією з ZnO з малими добавками інших окислів і металів. Варистори на основі ZnO мають різко нелінійну вольт-амперну характеристику, так що при зростанні щільності струму від 10^{-5} А/см² до 10^2 А/см² напруга на варисторі збільшується приблизно у два рази. Високий ступінь нелінійності дозволив в ОПН використовувати варистори в режимі постійного підключення до мережі, що зумовило відмову від іскрових проміжків.

У нормальному робочому режимі струм через обмежувач має ємнісний характер і складає десятки частки міліампера. При виникненні хвиль перенапруг варистори обмежувача переходять у провідний стан і обмежують подальше зростання напруги на його виводах. Коли перенапруга знижується, обмежувач повертається в непровідний стан.

Сучасні варистори мають високу здатність поглинати й розсіювати, без руйнацій і втрати своїх властивостей, значну енергію, що виділяється при проходженні через них імпульсних струмів, тобто мають високу пропускну здатність. Ця властивість дозволяє створювати на основі варисторів із ZnO

достатньо компактні обмежувачі, здатні протистояти впливам грозових і внутрішніх перенапруг.

Конструктивно ОПН становлять активну частину у вигляді колонки послідовно з'єднаних варисторів, установлену в ізоляційний корпус з необхідними пристроями приєднання і монтажу.

Порівняно з вентильними розрядниками ОПН мають низку переваг, що впливають із відсутності іскрових проміжків і високої нелінійності вольт-амперної характеристики:

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

Оскільки варистори ОПН постійно знаходяться під впливом напруги, потрібно підвищену увагу приділяти спроможності ОПН успішно (без утрати теплової стабільності) переносити впливи короткочасних та тривалих підвищень напруги, що тривають від часток секунди до десятків годин.

Правильний вибір ОПН, з параметрами, що відповідають конкретній ситуації, дозволяє забезпечити надійний захист електроустаткування і безпечну роботу ОПН протягом тривалого часу.

Обмежувачі випускаються у виконаннях УХЛ1 і УХЛ2 (рис. 7.1), які призначені відповідно для зовнішнього та внутрішньої установки. Рівень часткових розрядів в обмежувачах не перевершує 10 пКл.

7.4 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Записати паспортні дані обладнання і приладів.
2. Накреслити схему для зняття вольт-амперної характеристики.

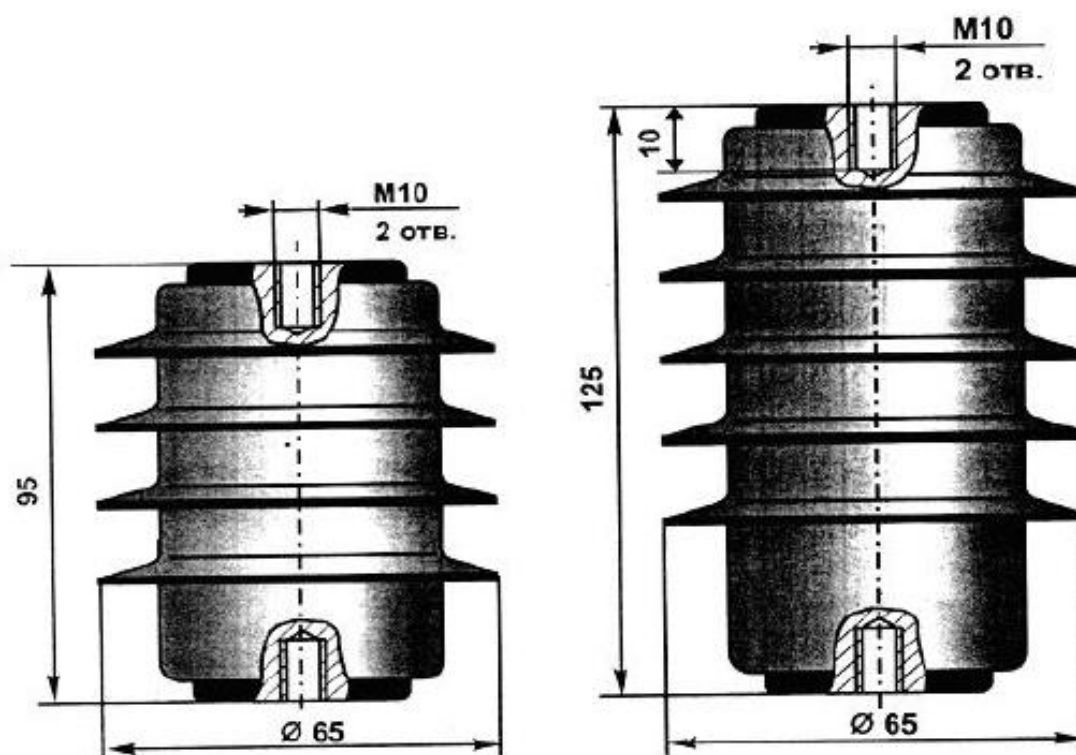


Рисунок 7.1 – Обмежувачі перенапруги нелінійні ОПН-КР/TEL УХЛ12 [1]

3. Зібрати схему (рис. 7.2) Зняти вольт-амперну характеристику вентильного розрядника, дані занести в таблицю 7.1.

4. За даними дослідів побудувати вольт-амперну характеристику диска $U_R = f(I_R)$.

5. Для отримання характеристики визначити постійні диска C і α .

6. Навести ескізи і схеми РВ та ОПН, в тому числі реєстратор спрацьовування.

7. У звіті надати принципову схему приєднання РВ до шин підстанції.

Таблиця 7.1 – Результати вимірів

$U, \text{В}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$I, \text{мА}$										

7.5 Опис лабораторного стенда

Вольт-амперну характеристику диска вентиляного розрядника знімають за схемою поданою на рисунку 7.2. Автотрансформатором плавно збільшують напругу до величини, при якій можливо зафіксувати перший замір струму по шкалі міліамперметра. Далі напругу змінюють через 20 В і фіксують величину струму. Результати замірів заносяться в таблицю 7.1. За даними вимірів будують характеристику $U_R = f(I_R)$.

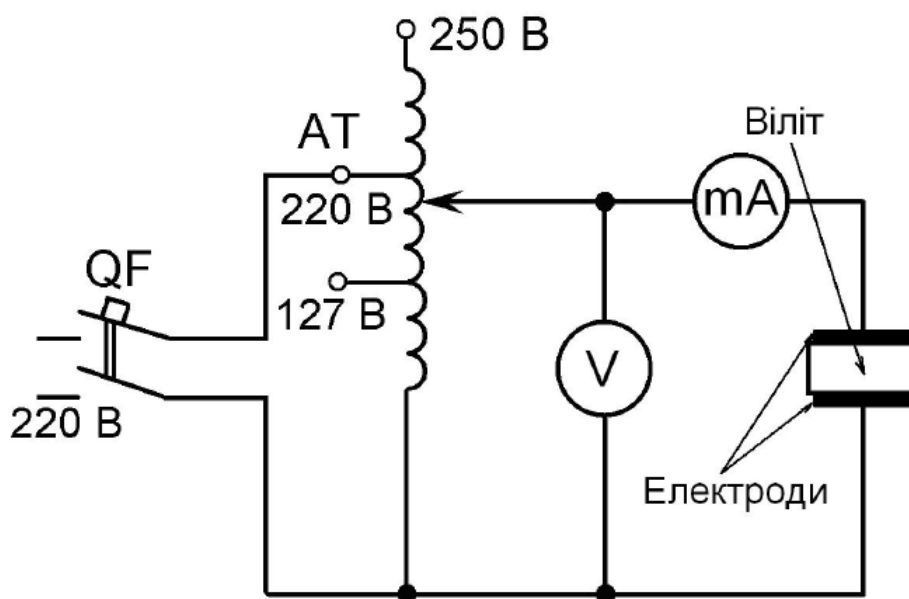


Рисунок 7.2 – Схема лабораторної установки

Як видно з дослідів, вольт-амперна характеристика є нелінійною. Залежність між напругою на дискові й струмом виражається емпіричною формулою

$$U_R = C \times I_R^\alpha, \quad (7.1)$$

де C – постійна, що визначає напругу на дискові при струмові 1 А;

α – коефіцієнт вентиляльності;

U_R , I_R – напруга на дискові в вольтах і відповідний напрузі струм.

Постійна C залежить від геометричних розмірів диска і питомого опору його матеріалу.

Щоб визначити постійні C і α поступають так: на характеристиці беруть будь-які дві точки (краще біля верхньої межі випробувальної напруги і в середині її) і отримують два вирази:

$$U_{R_1} = C \times I_{R_1}^\alpha \text{ і } U_{R_2} = C \times I_{R_2}^\alpha \quad (7.2)$$

Поділивши один вираз на другий логарифмують і отримують

$$\lg \frac{U_{R_2}}{U_{R_1}} = \alpha \times \lg \frac{I_{R_2}}{I_{R_1}}, \text{ звідки } \alpha = \frac{\lg \frac{U_{R_2}}{U_{R_1}}}{\lg \frac{I_{R_2}}{I_{R_1}}}. \quad (7.3)$$

Підставляючи в будь-яке з вихідних рівнянь значення α , знаходять постійну C

$$C = \frac{U_{R_1}}{I_{R_1}^\alpha}. \quad (7.4)$$

Питання для самоконтролю

1. Навести рівняння вольт-амперної характеристики розрядника з залежним опором і роль коефіцієнта вентиляльності. Як графічно відображається ця характеристика в логарифмічних координатах?
2. Пояснити призначення і методи випробувань вентиляльних розрядників.
3. Чим визначається вибір вентиляльних розрядників для захисту підстанційної ізоляції? За якими параметрами вони вибираються?
4. В яких випадках необхідний захист нейтралі в трансформаторах?
5. Пояснити принцип гасіння дуги в іскрових проміжках розрядників.
6. Пояснити принципову відмінність конструкцій вентиляльних розрядників і нелінійних обмежувачів перенапруги.
7. Які переваги ОПН порівняно з вентиляльними розрядниками?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

КОМПЛЕКТНІ РОЗПОДІЛЬНІ УСТАНОВКИ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

8.1 Мета роботи

Вивчити комплектні розподільні установки, ознайомитися з устаткуванням, типами комплектних камер 6–10 кВ, вживаними блокуваннями та захистами.

8.2 Домашнє завдання

1. Вивчити конструктивні особливості, призначення і класифікацію комплектних розподільних установок різного виконання по літературі [3, с. 176–183].

2. Письмово відповісти на такі питання:

- вимоги, що висуваються до конструкцій розподільних установок;
- правила влаштування і основні розміри конструкції РУ;
- компонування і конструкції КРУ;
- характерні конструкції КРУ;
- напрями розвитку конструкції КРУ, їхні особливості?

3. Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи.

8.3 Теоретична частина

8.3.1 Комплектні розподільні пристрої серії КМ-1Ф

Комплектний розподільчий КМ-1Ф пристрій призначений для приймання і розподілу електричної енергії трифазного змінного струму промислової

частоти в мережах з ізольованою або заземленою через дугогасний реактор нейтраллю.

Корпус КМ-1Ф становить металеву шафу (рис. 8.1), розділену металевими і ізоляційними перегородками на кілька відсіків [20]:

- відсік висувного елемента;
- відсік лінійних шин;
- відсік збірних шин;
- відсік вихлопу;
- шафа низьковольтної апаратури, в якій передбачено короб для прокладки низьковольтних кабелів.



Рисунок 8.1 – Шафа КМ-1Ф [20]

Висувний елемент може займати три положення: робоче, контрольно-випробувальне і ремонтне. Електричний зв'язок блоків низьковольтної апаратури з викатними елементами виконаний гнучким зв'язком в металевому рукаві зі штепсельним роз'ємом. Наявність гнучкого зв'язку дозволяє випробувати роботу вимикача при контрольному стані висувного елемента.

Крім того, осередки серії КМ-1Ф мають допоміжну комплектацію:

- шафи шинних перемичок застосовуються для з'єднання збірних шин секцій КРУ і становлять жорсткі металоконструкції прямокутної форми, що закриваються зверху і знизу знімними листами;
- шафи шинних введів, призначені для шинного введення від стіни будівлі РУ до шаф КРУ ідентичні по конструкції, але відрізняються наявністю вступної секції з прохідними ізоляторами ІПУ-10;
- шафи шинних вставок призначені для з'єднання збірних шин шаф КРУ, розташованих в одному ряді, при переході через стіну будівлі підстанції або при обході колони і становлять розбірну конструкцію змінної довжини;
- для з'єднання шаф КРУ серії КМ-1Ф з шафами КРУ2-10 використовуються перехідні шафи.

Таблиця 8.1 – Технічні характеристики КМ-1Ф

Номинальна робоча напруга, кВ	6,0; 10,0
Номинальний струм головних кіл шаф КРУ, А	630; 1 000; 1 600; 2 000; 2 500; 3 150
Струм термічної стійкості (3 с), кА	20; 31,5; 40
Номинальний струм електродинамічної стійкості головних ланцюгів, кА	51–80
Номинальна напруга допоміжних ланцюгів, В:	
– постійного та випрямленого струму	110; 220
– змінного струму	220
Габаритні розміри, мм:	
– висота	1 900 (2 100, 2 300)
– глибина	1 300 (1 400)
– ширина	800 (900, 1 200)
Вага, кг	650–950

Шафи КМ-1Ф передбачають експлуатацію в таких умовах:

- висота встановлення КРУ над рівнем моря – не більше 1 000 м (в окремих випадках допускається застосування шаф КРУ для роботи на висоті над рівнем моря понад 1 000 м) за умови відповідного обґрунтування);

- номінальні значення кліматичних факторів експлуатації КРП [18];
- навколишнє середовище – не вибухонебезпечне, що не містить агресивних газів і випарів, хімічних відкладень, не насичене струмопровідним пилом та водяними парами;
- номінальний режим роботи – тривалий;
- робоче положення у просторі – вертикальне, допустиме відхилення – трохи більше + 5 градусів від вертикалі.

Комплектуюче обладнання – роз’єднувачі, заземлювачі, вимикачі, опорні й прохідні ізолятори встановлюються тільки з $U_{\text{ном}} = 10$ кВ, а трансформатори напруги, обмежувачі перенапруг, силові запобіжники, силові трансформатори – на напругу 6 або 10 кВ.

З шаф КРП серії КМ-1Ф збираються комплектні розподільні пристрої, що слугують для приймання та розподілу електроенергії. Принцип роботи визначається сукупністю схем головних ланцюгів та допоміжних ланцюгів шаф КРП.

8.3.2 Комірки високовольтні двостороннього обслуговування КВ-204

Комплектні розподільні пристрої КРУ серії КВ-204 [21] (рис. 8.2) призначені для приймання та розподілу електричної енергії змінного трифазного струму промислової частоти 50 Гц та 60 Гц напругою 6–10 кВ. Застосовуються як розподільчі пристрої 6–10 кВ, зокрема для комплектації розподільчих, трансформаторних підстанцій, включаючи комплектні трансформаторні підстанції (блокові) 35/6 – 10 кВ, 110/6 – 10 кВ, 110/35/6 – 10 кВ, для мереж промисловості, електричних станцій, сільського господарства, електрифікації залізничного транспорту.

КРУ серії КВ-204 можуть бути використані для розширення чинних розподільних пристроїв шляхом з’єднання через перехідні шафи, що входять до складу КРУ.

КВ-204К характеризуються:

- вимогами максимальної безпеки оператора, простоти та малого часу виконання перемикань;



Рисунок 8.2 – КРУ серії КВ-204 [21]

- наявністю механічних захисних шторок;
- наявністю системи блокувань від помилкових дій персоналу під час виконання оперативних перемикань;
- наявністю черв'ячного механізму вкочування – викочування вимикача.

8.4 Опис лабораторного стенда

У лабораторії представлена шафа КРУ внутрішньої установки серії КМ 1 з вимикачем типу ВК-10. Шафа КМ 1 розділена металевими перегородками на відсіки: збірні шини, лінійний, релейний, висувний елемент (візок) з вимикачем типу ВК-10 і його приводом і рухомими роз'ємними контактами.

Візок вимикача має три фіксовані положення: робоче, проміжне (випробувальне) і третє, коли всі кола вимкнені і вимикач може бути викочений з комірки повністю.

При переводі візка з робочого положення в проміжне ізоляційні штори закривають отвори в перегородці комірки і відокремлюють відсік вимикача від суміжних відсіків, які можуть знаходитися під високою напругою.

Вмикання вимикача в схему здійснюється за допомогою втичних роз'єднувачів з розетковим контактом. Для підвищення електричної міцності і захисту контактів від пилу вони закриті ізоляційними втулками. Трансформатори струму мають литу ізоляцію.

КРУ може мати різну конструкцію залежно від вживаного устаткування, різні схеми головних і допоміжних з'єднань, тому при їх виборі варто орієнтуватися на сітку схем і каталожні дані.

8.5 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкцію і устаткування комірки КМ 1.
2. Виконати операції з апаратами первинних і вторинних кіл (за вказівкою викладача).
3. Перевірити роботу блокування заземлювального роз'єднувача і висувного елемента.
4. Перевірити захист первинним струмом.

Питання для самоконтролю

1. Призначення КРУ.
2. Які вимоги висуваються до КРУ і КРУН?
3. Особливості КРУ типу КСО.
4. Які блокування виконані в КРУ?
5. Які основні компоненти шафи КМ-1Ф?
6. Які основні умови експлуатації шаф КМ-1Ф?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9 ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ

9.1 Мета роботи

Вивчити конструкції трансформаторів струму (ТС) і ознайомитися з методами їх випробування.

9.2 Домашнє завдання

1. Вивчити принцип дії, конструкції, систему позначення і характеристики ТС за джерелами [2, с. 68–72; 3, с. 146–152; 22, с. 30–38].

2. Письмово відповісти на такі питання:

- призначення ТС;
- що таке номінальний коефіцієнт трансформації ТС;
- які параметри ТС нормуються;
- найбільші допустимі погрішності ТС різних класів;
- призначення ТС різних класів;
- для якої мети застосовується виткова корекція ТС?

3. Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи, схема (рис. 9.3), таблиця 9.1.

9.3 Теоретична частина

Трансформатори струму дозволяють забезпечити безпеку роботи персоналу, який обслуговує прилади релейного захисту, обліку і вимірювання, а також кола вторинної комутації. Ізоляція первинних обмоток трансформаторів струму виконується на повну робочу напругу установки. Первинні номінальні струми трансформаторів струму стандартизовані

в межах 5–15 000 А. Для вторинних номінальних струмів встановлені стандартні значення 5 А, а в спеціальних випадках 1 А.

Трансформатори струму класифікують:

- за кількістю коефіцієнтів трансформації: з одним коефіцієнтом трансформації; з декількома коефіцієнтами трансформації, що отримуються зміною числа витків первинної або вторинної обмотки, або обох обмоток, або застосуванням кількох вторинних обмоток з різним числом витків, що відповідає різному номінальному вторинному струму;
- за кількістю ступенів трансформації: одноступеневі; каскадні (багатоступеневі), тобто з кількома ступенями трансформації струму;
- за виконанням первинної обмотки: одновиткові; багатовиткові.

Різновиди ТС показані на рисунку 9.1.

Одновиткові трансформатори струму мають два різновиди: без власної первинної обмотки; з власною первинною обмоткою. Одновиткові трансформатори струму, що не мають власної первинної обмотки, виконуються вбудованими, шинними або роз'ємними.

Вбудований трансформатор струму має магнітопровід з намотаною на нього вторинною обмоткою. Він не має власної первинної обмотки. Її роль виконує струмопровідний стрижень прохідного ізолятора. Цей трансформатор струму не має ізоляційних елементів між первинною та вторинною обмотками. Їхню роль виконує ізоляція прохідного ізолятора.

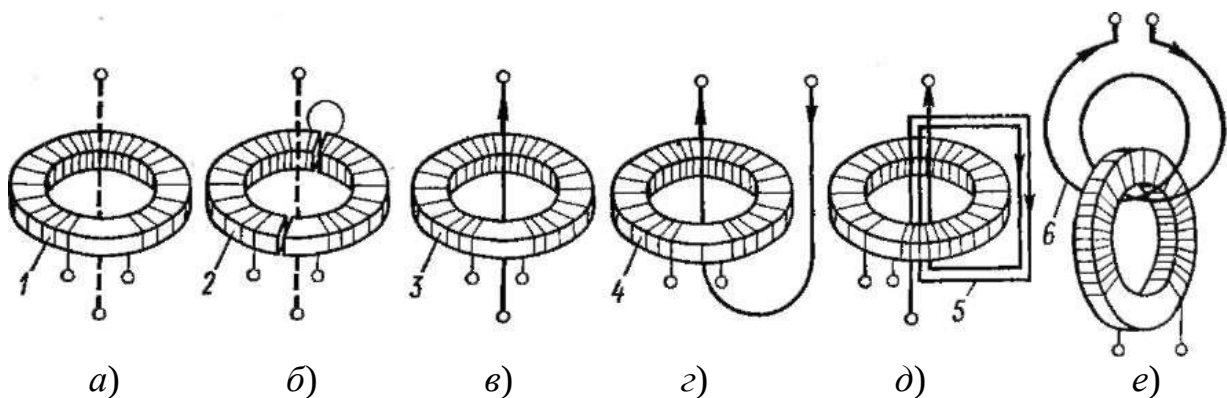


Рисунок 9.1 – Різновиди трансформаторів струму

У шинному трансформаторі струму роль первинної обмотки виконують одна або кілька шин розподільного пристрою, що пропускаються при монтажі через порожнину прохідного ізолятора. Останній ізолює первинну обмотку від вторинної.

Рознімний трансформатор струму 2 теж не має власної первинної обмотки (рис. 9.1, б). Його магнітопровід складається з двох частин, що стягуються болтами. Він може розмикатися і стулятися навколо провідника зі струмом, що є первинною обмоткою цього ТС. Ізоляція між первинною та вторинною обмотками накладена на магнітопровід з вторинною обмоткою.

Одновиткові ТС, що мають власну первинну обмотку, виконуються зі стрижневою первинною обмоткою або з U-подібною.

Трансформатор струму 3 (рис. 9.1, в) має первинну обмотку у вигляді стрижня круглого або прямокутного перерізу, закріпленого у прохідному ізоляторі.

Трансформатор струму 4 (рис. 9.1, г) має U-подібну первинну обмотку, виконану таким чином, що на неї накладена майже вся внутрішня ізоляція ТС.

Багатовиткові трансформатори струму (рис. 9.1, д, е) виготовляються з котушковою первинною обмоткою, що одягається на магнітопровід; з петльовою первинною обмоткою 5, що складається з кількох витків; з ланковою первинною обмоткою 6, виконаною таким чином, що внутрішня ізоляція трансформатора струму конструктивно розподілена між первинною та вторинною обмотками, а взаємне розташування обмоток нагадує ланки ланцюга; з римоподібною первинною обмоткою, виконаною так, що внутрішня ізоляція трансформатора струму нанесена переважно тільки на первинну обмотку.

Основними параметрами та характеристиками трансформатора струму відповідно до [23, 24] є:

1. Номінальна напруга – діюче значення лінійної напруги, при якій призначений працювати трансформатор струму, що вказується в паспортній таблиці трансформатора струму. Для вітчизняних трансформаторів струму

прийнята така шкала номінальної напруги, кВ: 0,66; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; 1150.

2. Номінальний первинний струм $I_{1н}$ – що вказується в паспортній таблиці трансформатора струму – струм, що проходить по первинній обмотці, при якому передбачено тривалу роботу трансформатора струму. Для вітчизняних трансформаторів струму прийнято таку шкалу номінальних первинних струмів, А: 1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1 000; 1 200; 1 500; 2 000; 3 000; 4 000; 5 000; 6 000; 8 000; 10 000; 12 000; 14 000; 16 000; 18 000; 20 000; 25 000; 28 000 ; 32 000, 35 000; 40 000.

У трансформаторах струму, призначених для комплектування турбо- та гідрогенераторів, значення номінального струму понад 10 000 А можуть відрізнятися від наведених у цій шкалі значень.

Трансформатори струму, розраховані на первинний номінальний струм 15; 30; 75; 150; 300; 600; 750; 1 200; 1 500; 3 000 і 6 000 А повинні допускати необмежено тривалий час найбільший робочий первинний струм, рівний відповідно 16; 32; 80; 160; 320, 630; 800; 1 250; 1 600; 3 200 і 6 300 А. В інших випадках найбільший первинний струм дорівнює номінальному первинному струму.

3. Номінальний вторинний струм $I_{2н}$ вказується в паспортній таблиці трансформаторів струму, що проходить по вторинній обмотці. Номінальний вторинний струм приймається рівним 1 або 5 А, причому струм 1 А допускається тільки для трансформаторів струму з номінальним первинним струмом до 4 000 А.

4. Вторинне навантаження трансформатора струму $Z_{2н}$ відповідає повному опору його зовнішнього вторинного ланцюга, вираженому в омах, із зазначенням коефіцієнта потужності. Вторинне навантаження може також характеризуватись повною потужністю у вольт-амперах, що споживається вторинною обмоткою при цьому коефіцієнті потужності та номінальному вторинному струмі.

Вторинне навантаження з коефіцієнтом потужності $\cos\varphi_2 = 0,8$, при якому гарантується встановлений клас точності трансформатора струму або гранична кратність первинного струму щодо його номінального значення, називається номінальним вторинним навантаженням трансформатора струму $Z_{2.\text{ном}}$.

Для вітчизняних трансформаторів струму встановлено такі значення номінального вторинного навантаження $S_{2.\text{ном}}$, вираженої у вольт-амперах (при коефіцієнті потужності $\cos\varphi_2 = 0,8$) 1; 2; 2,5; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 90; 100; 120.

5. Коефіцієнт трансформації трансформатора струму дорівнює відношенню первинного струму до вторинного струму.

У розрахунках трансформаторів струму застосовуються дві величини: дійсний коефіцієнт трансформації n та номінальний коефіцієнт трансформації n_n . Під дійсним коефіцієнтом трансформації n розуміється відношення дійсного первинного струму до дійсного вторинного струму. Під номінальним коефіцієнтом трансформації n_n розуміється відношення номінального первинного струму до номінального вторинного струму.

6. Стійкість трансформатора струму до механічних та теплових впливів характеризується струмом електродинамічної стійкості та струмом термічної стійкості.

Струм електродинамічної стійкості I_d дорівнює найбільшій амплітуді струму короткого замикання за весь час його протікання, яку трансформатор струму витримує без пошкоджень, що перешкоджають подальшій справній роботі. Струм I_d характеризує здатність трансформатора струму протистояти механічним (електродинамічним) впливам струму короткого замикання. Електродинамічна стійкість може характеризуватись також кратністю K_d , що є відношенням струму електродинамічної стійкості до амплітуди номінального первинного струму. Вимоги електродинамічної стійкості не поширюються на шинні, вбудовані та роз'ємні трансформатори струму.

Струм термічної стійкості $I_{\text{т}}$ дорівнює найбільшому чинному значенню струму короткого замикання за проміжок $t_{\text{т}}$, яке трансформатор струму витримує протягом усього проміжку часу без нагрівання струмопровідних частин до температур, що перевищують допустимі при струмах короткого замикання і без пошкоджень, що перешкоджають його подальшій роботі.

Принципова схема одноступеневого електромагнітного трансформатора струму та його схема заміщення наведено на рисунку 9.2. Як видно зі схеми, основними елементами трансформатора струму, що беруть участь у перетворенні струму, є первинна 1 і вторинна 2 обмотки, намотані на один і той же магнітопровід 3. Первинна обмотка включається послідовно (у розсічення струмопроводу високої напруги 4), тобто обтікається струмом лінії I_1 . До вторинної обмотки підключаються вимірювальні прилади (амперметр, струмова обмотка лічильника) або реле. Під час роботи трансформатора струму вторинна обмотка завжди замкнена на навантаження.

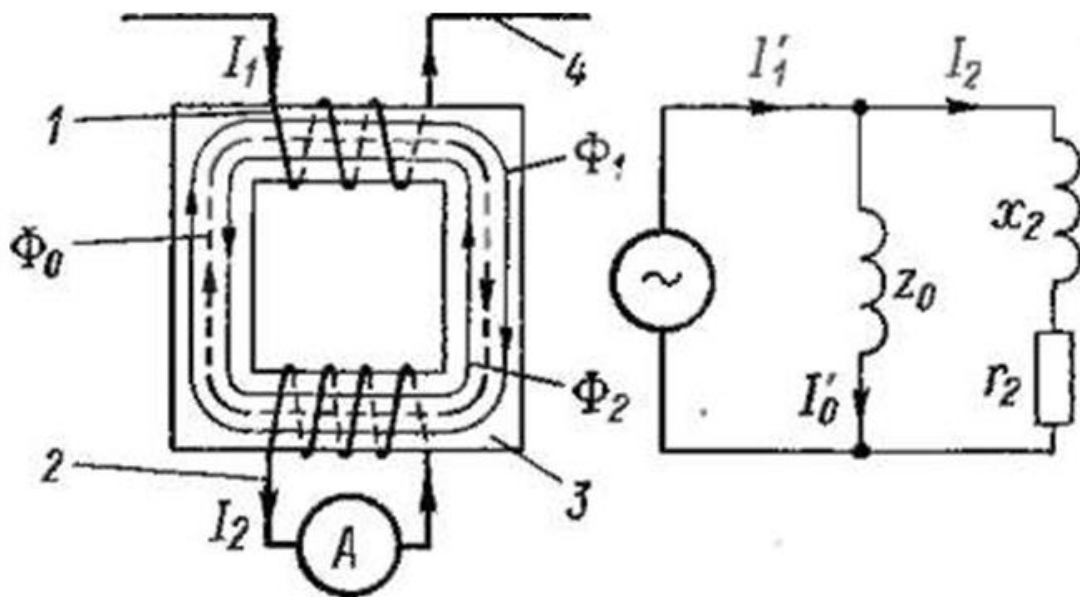


Рисунок 9.2 – Пристрій та схема заміщення трансформатора струму

Первинну обмотку спільно з ланцюгом високої напруги називають первинним ланцюгом, а зовнішній ланцюг, що отримує вимірювальну інформацію від вторинної обмотки трансформатора струму (тобто навантаження і з'єднувальні дроти), називають вторинним ланцюгом. Ланцюг,

що утворюється вторинною обмоткою і приєднаною до неї вторинним ланцюгом, називають гілкою вторинного струму.

З принципової схеми трансформатора видно, що між первинною і вторинною обмотками немає електричного зв'язку. Вони ізольовані одна від одної на повну робочу напругу. Це дозволяє здійснити безпосереднє приєднання вимірювальних приладів або реле до вторинної обмотки і тим самим виключити вплив високої напруги, прикладеної до первинної обмотки, на обслуговуючий персонал. Через те, що обидві обмотки накладені на той самий магнітопровід, то вони є магнітно-пов'язаними.

На рисунку 9.2 зображені ті елементи трансформатора струму, які беруть участь у перетворенні струму. Звичайно, трансформатор струму має й інші елементи, що забезпечують необхідний рівень ізоляції, захист від атмосферних впливів, належні монтажні та експлуатаційні характеристики. Однак вони не беруть участі у перетворенні струму і на рисунку 9.2 не показані.

Розглянемо принцип дії трансформатора струму. По первинній обмотці 1 (рис. 9.2) ТС проходить первинний (вимірюваний) струм I_1 . Він залежить лише від параметрів первинного кола. Тому при аналізі явищ, що відбуваються в трансформаторі струму, первинний струм вважатимуться заданою величиною. При проходженні первинного струму первинної обмотки в магнітопроводі створюється змінний магнітний потік Φ_1 , що змінюється з тією ж частотою, що і струм I_1 . Магнітний потік Φ_1 охоплює витки як первинної, і вторинної обмоток. Перетинаючи витки вторинної обмотки, змінний магнітний потік Φ_1 індукуює в ній електрорушійну силу (ЕРС). Якщо вторинна обмотка замкнута на деяке навантаження, тобто до неї приєднано вторинний ланцюг, то в такій системі «вторинна обмотка – вторинний ланцюг» під дією ЕРС проходитиме струм. Цей струм відповідно до закону Ленца матиме напрямок, протилежний напрямку первинного струму I_1 . Струм, що проходить по вторинній обмотці, створює в магнітопроводі змінний магнітний потік Φ_2 , який спрямований зустрічно магнітного потоку Φ_1 . Внаслідок цього магнітний потік у магнітопроводі, викликаний первинним струмом, буде зменшуватися. В

результаті складання магнітних потоків Φ_1 і Φ_2 в магнітопроводі встановлюється результуючий магнітний потік $\Phi_0 = \Phi_1 - \Phi_2$, що становить кілька відсотків магнітного потоку Φ_1 . Потік Φ_0 і є передавальною ланкою, за допомогою якої здійснюється передача енергії від первинної обмотки до вторинної в процесі перетворення струму.

Результуючий магнітний потік Φ_0 , перетинаючи витки обох обмоток, індукуює при своїй зміні в первинній обмотці проти-ЕРС, а у вторинній обмотці – ЕРС. Оскільки витки первинної й вторинної обмоток мають приблизно однакове зчеплення з магнітним потоком у магнітопроводі (якщо знехтувати розсіюванням), то в кожному витку обох обмоток індукується та сама ЕРС. Під впливом НРС E_2 у вторинній обмотці протікає струм I_2 , званий вторинним струмом. Якщо позначити число витків первинної обмотки через W_1 , а вторинної обмотки – через W_2 , то при протіканні по них відповідно струмів I_1 і I_2 у первинній обмотці створюється магніторушійна сила $F_1 = I_1 \times W_1$, звана первинною магніторушійною силою (МРС), а у вторинній обмотці – магніторушійна сила $F_2 = I_2 \times W_2$, звана вторинною МРС. Магніторушійна сила в системі SI вимірюється в ампер-витках. За відсутності втрат енергії у процесі перетворення струму магніторушійні сили F_1 і F_2 повинні бути чисельно рівні, але спрямовані в протилежні сторони.

$F_1 = -F_2$ або $I_1 \times W_1 = I_2 \times W_2$, з цієї рівності випливає, що $I_1/I_2 = W_2/W_1 = n$ тобто струми в обмотках ідеального ТС обернено пропорційні числам витків.

Відношення первинного струму до вторинного I_1/I_2 або числа витків вторинної обмотки до витків первинної обмотки W_2/W_1 називається коефіцієнтом трансформації n ідеального трансформатора струму. З огляду на цю рівність, можна написати $I_1 = I_2 \times W_2/W_1 = I_2 \times n$ тобто первинний струм I_1 дорівнює вторинному струму I_2 , помноженому на коефіцієнт трансформації трансформатора струму n .

У реальних трансформаторах струму перетворення струму супроводжується втратами енергії, що витрачається на створення магнітного потоку в магнітопроводі, на нагрівання та перемагнічування магнітопроводу, а

також на нагрівання проводів вторинної обмотки та вторинного ланцюга. Ці втрати енергії порушують встановлену вище рівність абсолютних значень МРС F_1 та F_2 . У реальному трансформаторі первинна МРС повинна забезпечити створення необхідної вторинної МРС, а також додаткової МРС, що витрачається на намагнічування магнітопроводу та покриття інших втрат енергії. Отже, для реального трансформатора рівняння матиме такий вигляд:

$$\dot{F}_1 = \dot{F}_2 + \dot{F}_0 \quad (9.1)$$

де $\dot{F}_0$ – повна МРС намагнічування, що витрачається на проведення магнітного потоку Φ_0 по магнітопроводу, на нагрівання та перемагнічування його.

Відповідно до цього рівність набуде вигляду

$$i_1 \times W_1 = i_2 \times W_2 + i_0 \times W_1 \quad (9.2)$$

де i_0 – струм намагнічування, що створює в магнітопроводі магнітний потік Φ_0 і є частиною первинного струму $I_{1ш}$. Розділивши всі члени рівняння на W_1 , Отримаємо $i_1 = i_2 \times W_2/W_1 + i_0$. При первинному струмі, що не перевищує номінальний струм трансформатора струму, струм намагнічування зазвичай становить не більше 1–3 % первинного струму і їм можна знехтувати. І тут $I_1 = I_2 \times n$. Таким чином, вторинний струм трансформатора пропорційний до первинного струму. Для зниження вимірюваного струму необхідно, щоб число витків вторинної обмотки було більше числа витків первинної обмотки.

Реальний трансформатор струму дещо спотворює результати вимірювань, тож має похибки.

Частина наведеного первинного струму йде на намагнічування магнітопроводу, а решта трансформується у вторинний ланцюг, тобто первинний струм як би розгалужується по двох паралельних ланцюгах: по ланцюгу навантаження та ланцюгу намагнічування. Цьому відповідає схема заміщення, наведена на рисунку 9.2, де ланцюг гілки намагнічування z_0 від

струму I'_1 відгалужується струм I'_0 . Решта струму I'_1 проходить по вторинному ланцюгу, являючи собою вторинний струм I_2 . Опір первинної обмотки трансформатора струму на схемі заміщення не показано, оскільки він не впливає на роботу трансформатора.

9.4 Порядок виконання лабораторної роботи

Лабораторну роботу виконують у такій послідовності.

1. Вивчити конструкції представлених в лабораторії ТС.
2. Вивчити систему утворення умовних позначень типів ТС.
3. Зробити ескізи препаратів ТС, представлених в лабораторії.
4. Перевірити заводське маркування методом змінного струму.

Перевірка заводського маркування обов'язкова для всіх ТС після їх монтажу. Вона проводиться за схемою рисунка 9.3. При включенні схеми під напругу через амперметр $PA2$ протікатиме або сума первинного I_1 і вторинного I_2 струмів, або їх різниця.

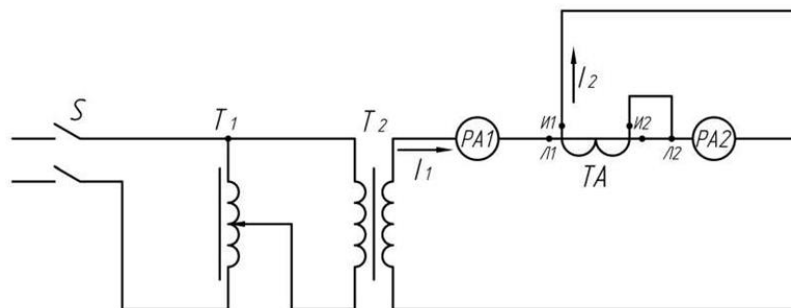


Рисунок 9.3 – Схема для перевірки заводського маркування

Якщо маркування затисків трансформатора струму відповідає вказаному на схемі рисунка 9.3, то через амперметр $PA2$ протікатиме різниця струмів $I_1 - I_2$. Якщо ж через амперметр протікатиме сума струмів $I_1 + I_2$, то затиску I_2 фактично відповідає затиск I_1 .

5. Виміряти ізоляцію обмотки трансформаторів струму мегаомметром на напругу 1 000 В за схемою рисунка 9.4. Одержані результати занести в таблицю 9.1.

Таблиця 9.1 – Результати вимірювань опорів ізоляції

Вимірювання	Трансформатор 1	Трансформатор 2
Первинна обмотка		
Вторинна обмотка		

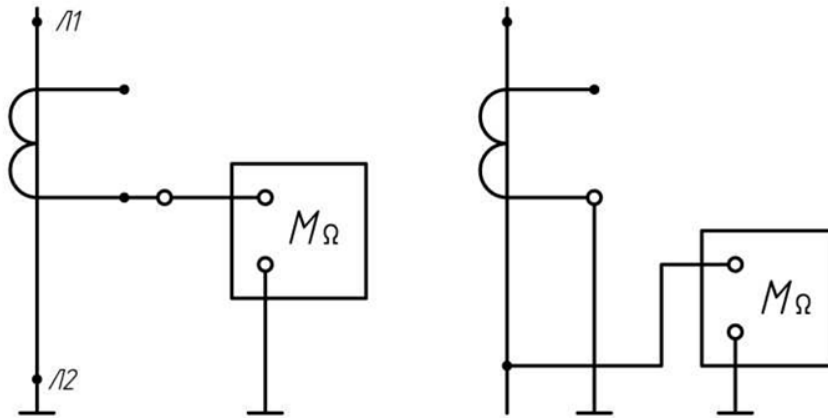


Рисунок 9.4 – Схема для замірювання опору ізоляції

6. Перевірити коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

Коефіцієнтом трансформації ТС прийнято вважати відношення первинного струму I_1 , до вторинного I_2 при відношенні числа витків вторинної обмотки w_2 до витків w_1 первинної обмотки

$$K_{TA} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1}. \quad (9.3)$$

Визначити коефіцієнт трансформації для одного ТС.

Під час перевірки коефіцієнта трансформації струм в первинній обмотці встановлюють не менше 20 % $I_{ном}$, вимірюють первинний I_1 і вторинний I_2 струми за схемою рисунка 9.5.

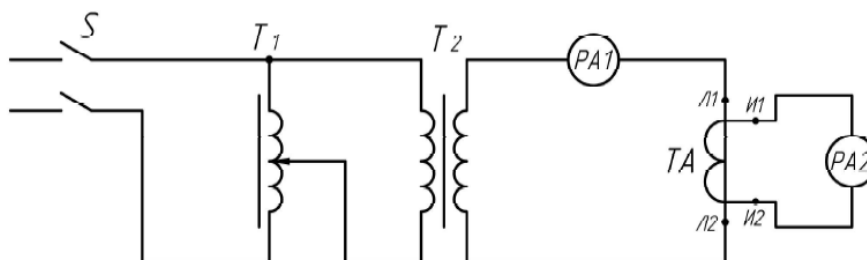


Рисунок 9.5 – Схема для визначення коефіцієнта трансформації

Похибка трансформатора струму

$$\gamma = \frac{K_{ном} - K_{вим}}{K_{вим}} 100\%, \quad (9.4)$$

де $K_{ном}$ – номінальний коефіцієнт трансформації;

$K_{вим}$ – вимірний коефіцієнт трансформації.

Визначити коефіцієнт трансформації двох трансформаторів, включених послідовно.

Загальний коефіцієнт трансформації двох ТС, включених послідовно, визначають за схемою рисунка 9.6.

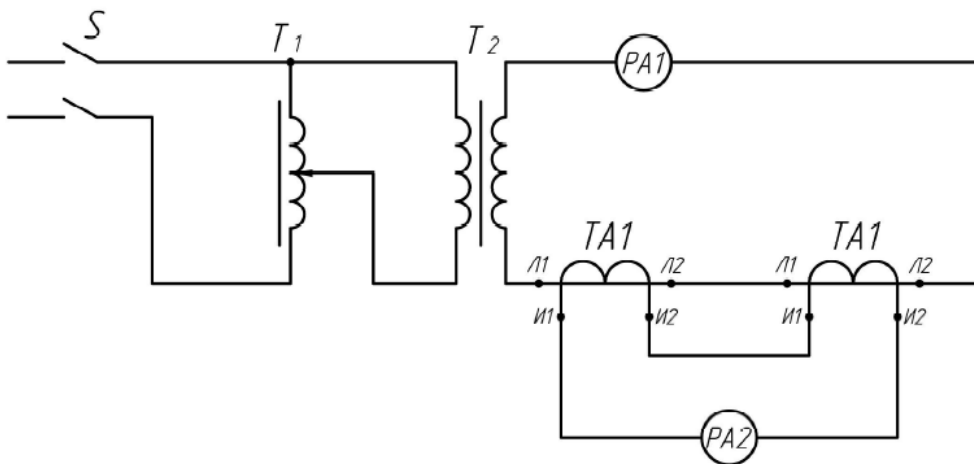


Рисунок 9.6 – Схема для визначення коефіцієнта трансформації двох трансформаторів струму

Питання для самоконтролю

1. Для яких номінальних струмів виконуються ТС?
2. Як залежить похибка ТС від навантаження?
3. Як маркувати затиски первинних і вторинних обмоток ТС?
4. Які види ізоляційних матеріалів застосовують при виготовленні ТС?
6. Як виконують первинну обмотку в різних одновиткових ТС?
8. Пояснити фізику процесу виникнення високої напруги на затисках вторинної обмотки ТС при її розмиканні.
9. Для чого заземляють вторинну обмотку трансформатора струму?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10

ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ НАПРУГИ

10.1 Мета роботи

Вивчити конструкції трансформаторів напруги (ТН) і дослідити схеми з'єднання ТН в трифазних колах змінного струму.

10.2 Домашнє завдання

1. Вивчити конструкції, систему позначення і характеристики ТН за підручниками [3, с. 149–153; 22, с. 30–38].
2. Письмово відповісти на такі питання:
 - призначення ТН;
 - що таке номінальний коефіцієнт трансформатора ТН;
 - які параметри ТН нормуються;
 - призначення ТН різних класів;
 - як залежить похибка ТН від навантаження?
3. Вивчити опис лабораторного стенда. Ознайомитись з порядком виконання лабораторної роботи. Підготувати шаблон звіту у складі: титульний аркуш, мета роботи, схеми (рис. 10.5 й 10.6), таблиця 10.1.

10.3 Теоретична частина

Трансформатори напруги слугують для перетворення високої напруги в низьку стандартної величини, яку зручно вимірювати. Звичайно за номінальну вторинну прийнято напругу 100 або $100\sqrt{3}$ В. Це дозволяє вимірювати будь-яку високу напругу стандартними вимірювальними приладами. Реле захисту, що реагують на напругу, також виготовляють на стандартну напругу, незалежно від напруги установки.

Первинна обмотка ТН ізолюється від вторинної відповідно до класу напруги установки. Для безпеки обслуговування один вивід вторинної обмотки обов'язково заземляють. Таким чином ТН ізолює вимірювальні прилади й реле від кола високої напруги і робить безпечним їхнє обслуговування.

Основні параметри ТН [27]:

– *номінальні напруги обмоток* – це напруги первинної $U_{1\text{ном}}$ і вторинної $U_{2\text{ном}}$ обмоток, вказані на щитку ТН. Номінальна напруга ТН дорівнює номінальній напрузі первинної обмотки;

– *номінальний коефіцієнт трансформації*

$$K_n = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}}; \quad (10.1)$$

– *похибка по напрузі, %*

$$\Delta U\% = \frac{U_2 K_n - U_1}{U_1}, \quad (10.2)$$

де U_1 – напруга подана на первинну обмотку;

U_2 – напруга виміряна на виводах вторинної обмотки.

Трансформатори напруги випускають однофазними і трифазними. Трифазні трансформатори виготовляють для напруг до 20 кВ.

Залежно від конструкції магнітопроводу трифазні ТН можуть бути з трьох стрижньовими й п'яти стрижньовими магнітопроводами.

Трифазні п'яти стрижньові ТН призначені як для вимірювання фазних і лінійних напруг, так і для контролю ізоляції мережі.

В установках трифазного струму можуть застосовуватися різні схеми з'єднань трансформаторів напруги (рис. 10.1–10.4).

Схему, подану на рисунку 10.1, використовують при вимірюванні і контролі міжфазних напруг. Номінальна первинна напруга трансформаторів

повинна відповідати лінійній напрузі мережі. Первинна обмотка ізолюється на повну напругу з обох кінців.

Схеми, подані на рисунку 10.2 (з трьох однофазних трансформаторів) і рисунку 10.3 (один трифазний), застосовуються для вимірювання трьох лінійних напруг і напруг відносно «землі», чим досягається контроль ізоляції. Номінальна первинна напруга трансформаторів, включених в зірку, повинна відповідати фазній напрузі мережі, а номінальна вторинна напруга повинна бути рівною 100 В. Первинна обмотка має повну ізоляцію тільки з одного кінця, оскільки другий кінець обмотки заземлений.

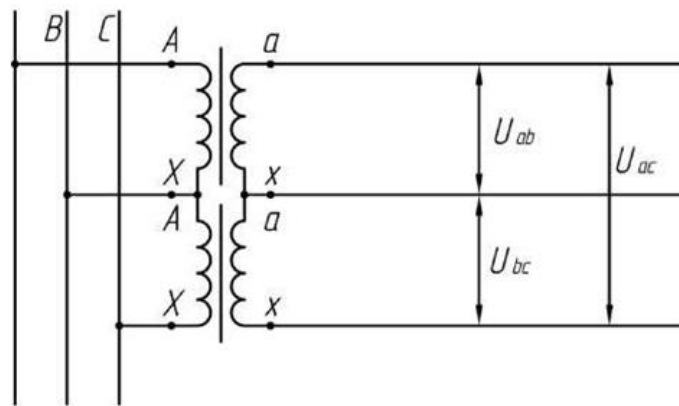


Рисунок 10.1 – З'єднання трансформаторів напруги в неповний трикутник

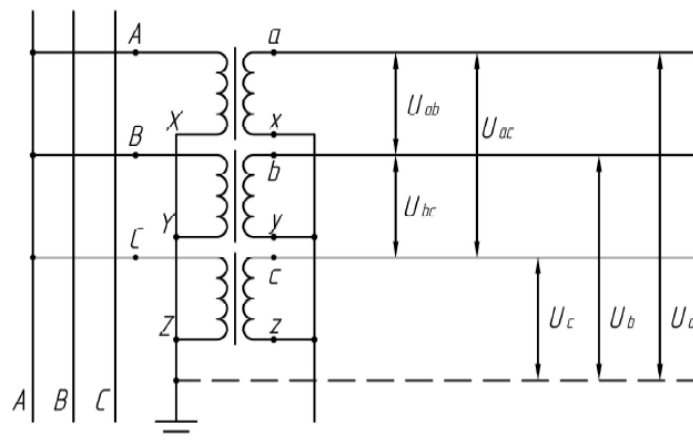


Рисунок 10.2 – Схема з'єднання трьох однофазних трансформаторів напруги

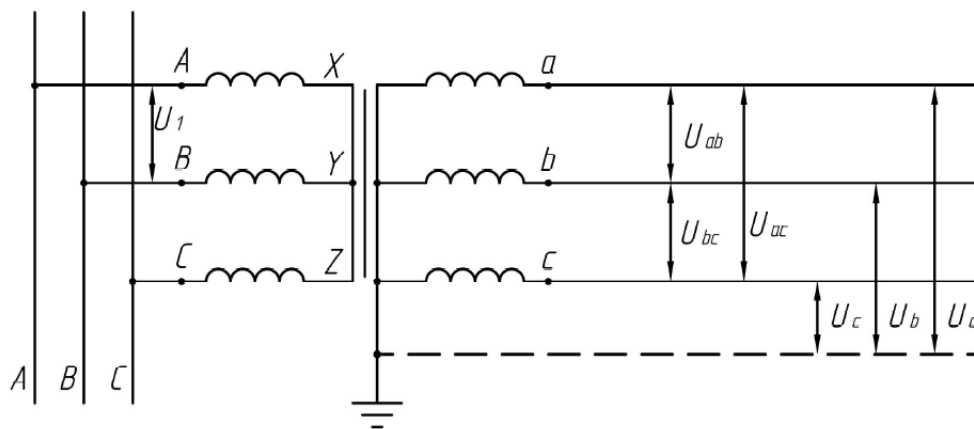


Рисунок 10.3 – Схема трифазного трансформатора напруги

Схема, наведена на рисунку 10.4, застосовується для вимірювання, всіх лінійних і фазних напруг, а також напруги нульової послідовності.

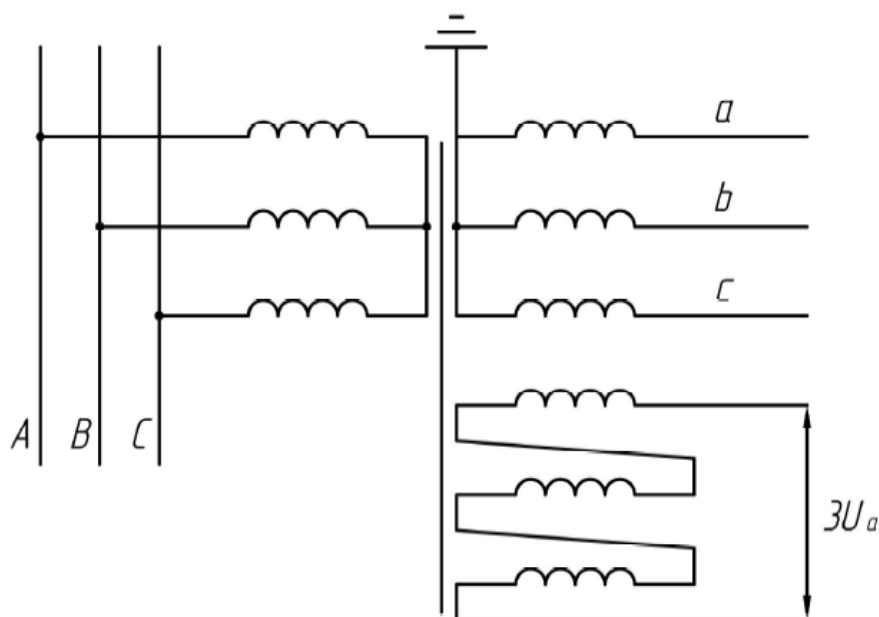


Рисунок 10.4 – Схема трифазного трансформатора напруги з додатковою обмоткою

10.4 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкції представлених в лабораторії ТН.
2. Провести вимірювання ізоляції обмоток ТН мегаомметром.
3. Одержані результати вимірювань занести в таблицю 10.1.

Таблиця 10.1 – Результати вимірювання ізоляції обмоток

Вимірювання	Трансформатор 1	Трансформатор 2	Трансформатор 3
Первинна обмотка – земля			
Вторинна обмотка – земля			
Між первинною і вторинною обмотками			

Примітка. Під час випробувань ізоляції однієї обмотки інші обмотки мають бути заземлені.

4. Перевірити полярність виводів трансформаторів напруги. Полярність виводів однофазного трансформатора визначають згідно з схемою рисунка 10.5, а.

Якщо при замиканні рубильника стрілка гальванометра, відхилиться управо, то виводи трансформатора позначені правильно (як вказано на схемі). З боку обох зірок полярності виводів обмоток п'яти стрижньового трансформатора перевіряють за схемою рисунка 10.5, б. Метод перевірки такий же, як і для однофазних трансформаторів.

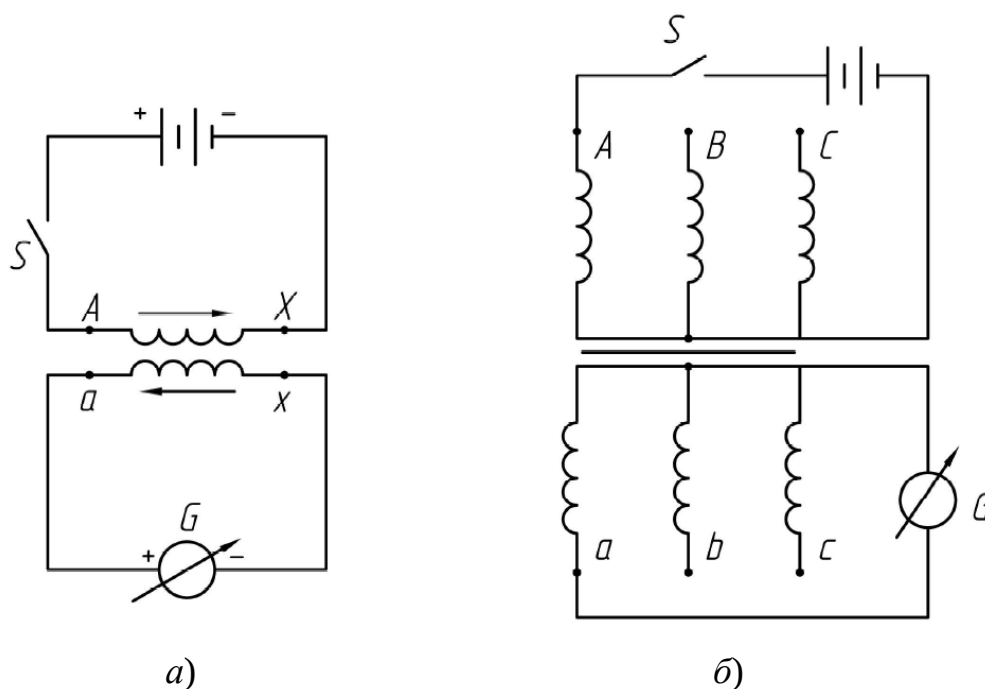


Рисунок 10.5 – Схема визначення полярності виводів трансформаторів напруги

5. Зібрати схему, подану на рисунку 10.6, перевірити коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

6. Зібрати схему з'єднання ТН в неповну зірку (рис. 10.1). Показання приладів записати в таблицю 10.2.

7. Зібрати схему «зірка-зірка» із заземленим нулем (з трьох однофазних трансформаторів (рис. 10.2) або включити один трифазний трансформатор (рис. 10.3). Показання приладів записати в таблицю 10.2.

Таблиця 10.2 – Результати вимірювання напруги

Схема	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_a	U_b	U_c
Неповний трикутник						
Зірка-зірка						

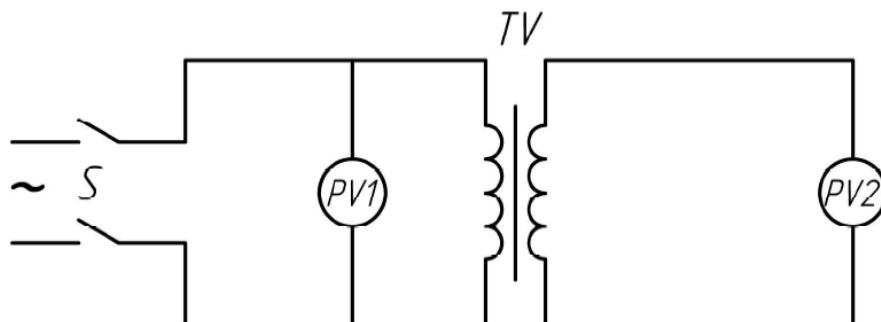


Рисунок 10.6 – Схема для визначення коефіцієнта трансформації трансформатора напруги

8. Зібрати схему з трьох однофазних ТН: зірка із заземленим нулем – розімкнений трикутник (рис. 10.7). Подати напругу, записати і пояснити результати вимірювань. Провести замикання на землю однієї з фаз живильної мережі, записати результати вимірювань.

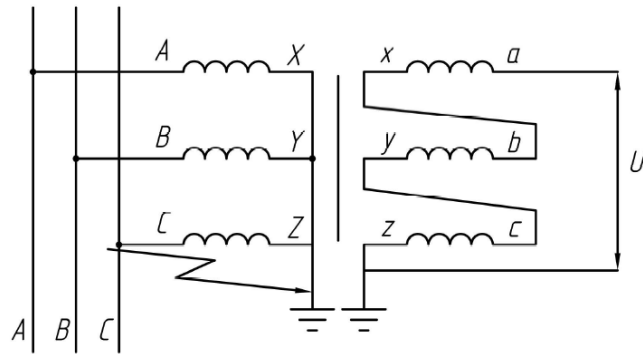


Рисунок 10.7 – Схема зірка із заземленим нулем – розімкнений трикутник

Питання для самоконтролю

1. Для чого заземляють нульову точку первинної обмотки п'яти стрижньового ТН?
2. Накреслити векторну діаграму напруг трьох фаз за схемою рисунка 10.2 при замиканні фази В на «землю».
3. Які умови роботи ТН за схемою включених в зірку із заземленою нульовою точкою з високої й низької сторони в мережах з ізолюваною і заземленою нейтраллю?
4. На які номінальні напруги виконують ТН?
5. Як маркують затиски первинних і вторинних обмоток ТН?
6. Які види ізоляційних матеріалів застосовують при виготовленні ТН?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій (для студентів 3, 4 курсу денної та 4 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Електротехнічні системи електроспоживання») [Електрон. ресурс] / уклад. : В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа, І. Є. Щербак ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 72 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/45799/1/2017_печ._526М_%20Лаб%20роб%20підстанції%2017_1%2025.pdf, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

2. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) [Електрон. ресурс] / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 149 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/48453/1/2015_печ_89%20Л%20Курс%20лек.pdf, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

3. Електричні станції і підстанції: конспект лекцій для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання [Електрон. ресурс] / уклад. М. М. Євсюк. – Електрон. текст. дані. – Луцьк : Технічний коледж Луцького НТУ, 2018. – 210 с. – Режим доступу: https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/2718/mod_resource/content/1/Лекції%20ЕСПС.pdf, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

4. Електрична частина станцій та підстанцій: курс лекцій: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» [Електрон. ресурс] / уклад. О. В. Остапчук, П. Л. Денисюк, Ю. П. Матеєнко. – Електрон. текст. дані. – Київ : КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 183 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/9595f90a-7436-49f2-b7c7-ee5c2c61e0d1/content>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

5. Правила улаштування електроустановок [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. – Режим доступу: <https://unidim.com.ua/sites/default/files/pue.pdf>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

6. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 194 с. – Режим доступу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/AB594E9F-4D13-4801-BF80-743ACE42861D.pdf>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

7. Привод електромагнітний ПЕ-11 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://energyservisvp.kr.ua/ua/p1415849007-privod-elektromagnitnyj.html>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

8. Привід пружинний ПП-67 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.mashprom.com.ua/?s=Привод+пружинный+ПП-67&x=11&y=9>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

9. Вимикач масляний ВМП-10-630 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://forca.com.ua/info/oborudovanie/vmp-10-vmpp-10-vmpe-10.html> (дата звернення 03.10.2024). – Назва з екрана.

10. Вимикачі маломасляні ВКЕ-10 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.mashprom.com.ua/выключатели-маломасляные-вкэ-10>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

11. Лежнюк П. Д. Електрообладнання розподільних установок. Вакуумні вимикачі [Електрон. ресурс] : навч. посіб. / П. Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський. – Електрон. текст. дані. – Вінниця, ВНТУ, 2010. – 137 с. – Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2024/LANZ/Lezhniuk_2011_137.pdf, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

12. Високовольтні вакуумні вимикачі – пристрій і принцип роботи [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://ukrelektro.com.ua/ua/a365509-vysokovoltnye-vakuumnye-vyklyuchateli.html>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

13. Вакуумний вимикач ВВВ 10/400 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://forca.com.ua/info/oborudovanie/vvv-10-vvel-10.html>, вільний (дата звернення: 25.10.2025). – Назва з екрана.

14. Вакуумний вимикач VD4 6 – 40,5 кВ із пружинним приводом для розподільчих мереж [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://general-energy.com.ua/vd4>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

15. Автогазові вимикачі навантаження ВНА [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://220-energy-380.com/ua/g4185142-avtogazovye-vyklyuchateli-nagruzki?srsltid=AfmBOooR_u6qoB3umNiEI2nAg4y9YeaYLL7zBVItmaxt94iDdIZPMQ-l, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

16. Роз'єднувач внутрішньої установки РВР-10/2000, РВР3-10/2000 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://proekt-energo.com/uk/rvr-10>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

17. Роз'єднувач РЛД-10/200 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://220-energy-380.com/ua/p84742772-razedinitel-rlnd-10200.html>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

18. Електричні апарати : навч. посіб. [Електрон. ресурс] / В. О. Лесько, В. О. Комар, С. В. Кравчук, О. В. Сікорська. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 102 с. – Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Lesko_2018_102.pdf, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

19. Пікалов О.О. Конспект уроку №112 за темою «Захисні апарати – плавкі запобіжники» [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://pikalov-05.jimdofree.com/конспекти/тема-5-будова-освітлювального-електроустаткування/плавкі-запобіжники>, вільний (дата звернення: 13.06.2025). – Назва з екрана.

20. Комірка високовольтна КМ-1Ф [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://volten.com.ua/ua/p1213541463-vysokovoltnaaya-uachejka.html>, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

21. KB-204. Комірки високовольтні двостороннього обслуговування [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://www.electrograd.com.ua/produkt_29, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

22. Основи метрології та електричних вимірювань : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка [Електрон. ресурс] / Д. В. Тугай, О. Б. Єгоров, С. І. Корнелюк, Я. Б. Форкун ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 155 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/66212/1/2023_РЕПОЗ_109Л%201.pdf, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

23. ДСТУ ІЕС 60044-1:2008 Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму (ІЕС 60044-1:2003, IDT) [Електрон. ресурс]. – Чинний від 01.01.2010. – Електрон. текст. дані.– Київ : Держспоживстандарт України, 2010. – 47 с. – Режим доступу: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU4/dstu_IEC_60044-1-2008.pdf, вільний (дата звернення: 05.08.2025). – Назва з екрана.

24. ДСТУ ІЕС 60044-2:2008. Трансформатори вимірювальні. Частина 2. Трансформатори напруги індуктивні (ІЕС 60044-2:2003, IDT) [Електрон. ресурс]. – Чинний від 01.01.2010. – Електрон. текст. дані. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010. – 41 с. – Режим доступу: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU4/dstu_IEC_60044-2-2008.pdf, вільний (дата звернення: 01.06.2025). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Приклад титульної сторінки звіту

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра систем електропостачання та електроспоживання міст

ЗВІТ

з лабораторної роботи № 1

«Високовольтні малооб’ємні масляні вимикачі»

з навчальної дисципліни

«Електрична частина станцій та підстанцій»

Виконав:

здобувач групи ЕСЕ 2021-у

_____ Андрієнко О. П.
(підпис) (ПІБ студента)

Перевірив:

доцент кафедри СЕтаЕМ

_____ Охріменко В. М.
(підпис) (ПІБ викладача)

Робота зарахована – «*відмінно*»

«__» _____ 2026 р.

доцент кафедри СЕтаЕМ

_____ Охріменко В. М.
(підпис) (ПІБ викладача)

Харків – 2025

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальностей G3 – Електрична інженерія, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньо-професійні програми «Електротехнічні системи електроспоживання», «Світлотехніка та дизайн світлового середовища», «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії», «Електромеханіка»)

Укладачі: **ОХРІМЕНКО** Вячеслав Миколайович,
МАЛЯРЕНКО Віталій Андрійович

Відповідальний за випуск *В. Є. Плюгін*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *В. М. Охріменко, І. В. Волосожарова*

План 2024, поз. 267М

Підп. до друку 23.10.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 8,1.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.