

**В. О. Лесько, В. В. Нетребський, Ю. В. Малогулко**

**ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

В. О. Лесько, В. В. Нетребський, Ю. В. Малогулко

## **ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ**

Навчальний посібник

Вінниця  
ВНТУ  
2018

УДК 621.311(075)

Л51

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 29.03.2018 р.)

Рецензенти:

**П. Д. Лежнюк**, доктор технічних наук, професор

**В. М. Кутін**, доктор технічних наук, професор

**С. В. Мисенко**, кандидат технічних наук

**Лесько, В. О.**

Л51 Електричне обладнання станцій та підстанцій : навчальний посібник / Лесько В. О., Нетребський В. В., Малогулко Ю. В. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 121 с.

В навчальному посібнику розглядається хід виконання лабораторних робіт, які охоплюють практичне ознайомлення з конструкцією і методами випробувань високовольтного обладнання електричних станцій та понижувальних підстанцій, а також готують студентів до вивчення спеціальних дисциплін. Навчальний посібник розроблено для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання, які вивчають курс «Електрообладнання станцій та підстанцій».

УДК 621.311(075)

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
1 ВАКУУМНІ ВИМИКАЧІ	5
1.1 Принцип роботи вакуумних дугогасильних камер	5
1.2 Конструктивне виконання вакуумних вимикачів	9
1.3 Призначення вакуумних вимикачів серії ВР	11
1.4 Основні технічні параметри	12
1.5 Конструктивні особливості вакуумного вимикача серії ВР	13
2 ОЛИВНІ ТА МАЛООЛИВНІ ВИМИКАЧІ	17
2.1 Малооб'ємні оливні вимикачі	21
3 ВИМИКАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ	26
3.1 Конструкції вимикачів навантаження	29
4 ПОВІТРЯНІ ТА ЕЛЕГАЗОВІ ВИМИКАЧІ	30
4.1 Дугогасильні камери повздовжнього дуття	31
4.1.1 Бакові повітряні вимикачі серії ВНВ	33
4.1.2 Повітряні вимикачі генераторної напруги	35
4.2 Умови вибору повітряних вимикачів серій ВНВ-220 та ВВГ-20	36
4.3 Дугогасильні системи елегазових вимикачів	41
4.3.1 Конструкції елегазових вимикачів ВАТ «Уралелектротяжмаш» та «Електроапарат»	44
4.3.2 Конструкції елегазових вимикачів компанії АВВ	48
5 ПРИВОДИ ВИМИКАЧІВ	50
5.1 Електромагнітні приводи вимикачів	53
5.2 Пружинні приводи	58
5.3 Приводи роз'єднувачів	60
5.4 Гідравлічні приводи Siemens	62
5.5 Цифровий електропривод Motor Drive	64
6 ВИПРОБОВУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙНИХ АПАРАТІВ	67
6.1 Випробовування високовольтних вимикачів	68
6.1.1 Випробовування масляних вимикачів	68
6.1.2 Види випробувань і контролю параметрів. Контроль опору ізоляції	81
6.1.3 Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти	92
6.1.4 Вимірювання опору постійному струму	97
6.2 Випробовування вимірювальних трансформаторів струму та напруги	102
6.2.1 Умови випробувань і вимірювань	107
6.2.2 Засоби вимірювання	108
6.2.3 Порядок проведення випробувань і вимірювань	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	118

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

<b>АВР</b>	автоматичне введення резерву
<b>АПВ</b>	автоматичне повторне ввімкнення
<b>ВВ</b>	вакуумні вимикачі
<b>ВВН</b>	вакуумні вимикачі навантаження
<b>ВН</b>	вимикач навантаження
<b>ВДК</b>	вакуумна дугогасильна камера
<b>Вв</b>	ввімкнено
<b>Вм</b>	вимкнено
<b>ВМП</b>	вимикач (масляний) оливний підвісний
<b>ВН</b>	вимикач навантаження
<b>ДП</b>	дугогасильний пристрій
<b>ЕП</b>	електромагнітний привод
<b>ЕС</b>	електрична станція
<b>КЗ</b>	коротке замикання
<b>КРП</b>	комплектний розподільний пристрій
<b>ЛЕП</b>	лінія електропередачі
<b>НТД</b>	нормативно-технічна документація
<b>ПВН</b>	перехідний процес відновлюваної напруги
<b>ПУЕ</b>	правила улаштування електроустановок
<b>ПТБ</b>	правила техніки безпеки
<b>РЗА</b>	релейний захист і автоматика
<b>РП</b>	розподільний пристрій
<b>ТАПВ</b>	трифазне автоматичне повторне ввімкнення
<b>ТП</b>	трансформаторна підстанція
<b>ШЖ</b>	шини живлення
<b>ХХ</b>	холостий хід

# 1 ВАКУУМНІ ВИМИКАЧІ

З початку 70-х років 20-го століття в усіх країнах світу (США, Японії, Великобританії, Франції, Італії, ФРН, Швейцарії, Росії) почали виготовлятися вакуумні вимикачі змінного струму. Особливо вони поширені в електроустановках напругою до 35 кВ. Вакуумні вимикачі характеризуються малими габаритами і масою, надійністю, великим ресурсом і терміном служби, вибухо- та пожежобезпекою, вимагають малих експлуатаційних витрат.

Вартість вакуумних вимикачів змінного струму на 10–15% вища, ніж вартість малооб'ємних, але вартість їх обслуговування за останні 25 років стала в два рази меншою, а сумарна тривалість перерв в електропостачанні при ремонтах – в 20 разів. Ці якості привели до того, що вакуумні вимикачі стали витіснити малооб'ємні, а їх частка в загальній кількості щорічно виготовлених у всьому світі вимикачів на напругу до 35 кВ в 1990 р. перевищила 55% (в Японії – 70%).

Крім ВВ в той же час багато фірм світу виготовляли ВВН, які були дешевшими і широко застосовувалися в комплектних РП електричних мереж і в підземних установках. До середини 80-х років минулого століття у зв'язку з удосконаленням технології виготовлення вакуумних вимикачів різко знизилися техніко-економічні переваги ВВН і замість них стали застосовуватися ВВ. Таким чином, на сьогодні основну частку виготовлених в світі вимикачів напругою до 35 кВ складають вакуумні вимикачі. За всіма техніко-економічними показниками цей тип вимикачів має переваги перед іншими типами. У зв'язку з вищевикладеним можна стверджувати, що в найближчому майбутньому такими вимикачами буде комплектуватися більшість розподільних пристроїв напругою до 35 кВ [1].

## 1.1 Принцип роботи вакуумних дугогасильних камер

Основною частиною ВВ є вакуумна дугогасильна камера (ВДК). ВДК складається з ізоляційної циліндричної камери, що має по кінцях металеві фланці. Всередині камери знаходяться рухомий і нерухомий контакти та електростатичні екрани. Нерухомий контакт жорстко кріпиться до одного фланця камери. Рухомий контакт з'єднується з іншим фланцем за допомогою сильфона з нержавіючої сталі, що забезпечує можливість переміщення контакту при збереженні герметичності внутрішнього об'єму ВДК. Екрани кріпляться до оболонки або фланців і служать для захисту внутрішньої поверхні оболонки від парів металу, що утворюються при горінні дуги, а також для вирівнювання розподілу напруги по камері. Ізоляційна оболонка виготовляється зі скла або спеціальної газощільної кераміки. Всередині оболонки створюється вакуум  $(10-15) \cdot 10^{-6}$  Па

(близько  $10^{-6}$  мм рт. ст.). При цьому величина пробивної напруги залежить від довжини міжконтактного проміжку (рис. 1. 1).

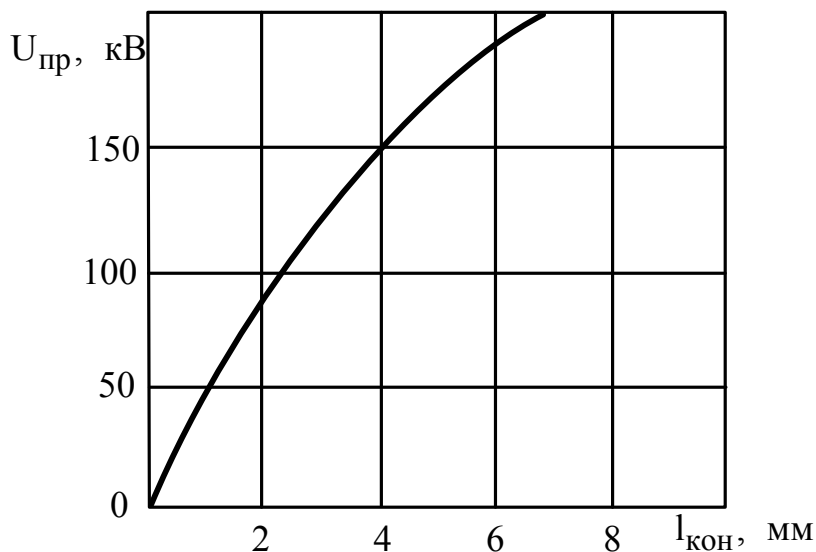


Рисунок 1.1 – Залежність пробивної напруги від відстані між контактами в вакуумі

У вакуумі практично відсутнє окислення контактних поверхонь, але значно зростає коефіцієнт тертя та схильність металів до зварювання. У зв'язку з цим у ВДК застосовуються контакти торцевого типу. Контактне натискання створюється пружинами, розташованими поза камерою (1000–4000 Н), і за рахунок різниці тисків, що діють на сильфон з обох сторін (200–500 Н).

Матеріал контактів має мати малий питомий опір, незначний знос при вмиканні та вимиканні, низьку здатність до зварювання, малі струми зрізу та ін. Щоб задовольнити ці вимоги, для контактів застосовують багатокомпонентні або композиційні матеріали, отримані шляхом спікання. Найчастіше використовуються сплави на мідній основі: CuVi, CuViB, FeCuVi або композиції, які містять хром: CuCr, CrCuW, та ін. [2].

При струмах вимикання до 10 кА в ВДК застосовують прості дискові контакти. При великих струмах для зменшення сплавлення контактів дуги змушують обертатися під дією власного поперечного магнітного поля. З цією метою по зовнішньому краю контактів роблять навскісні або спіральні прорізи. Або контакти виконують так, що утворюється виток, який створює поздовжнє магнітне поле. На рис. 1.2 наведено порівняння відмикальної здатності ВДК з поздовжнім магнітним полем (крива 1) і ВДК з контактами, що мають спіральні прорізи (крива 2), залежно від діаметра контактів. Як впливає з рис. 1.2, камери з поздовжнім магнітним полем мають істотні переваги порівняно з камерами зі спіральними прорізами.

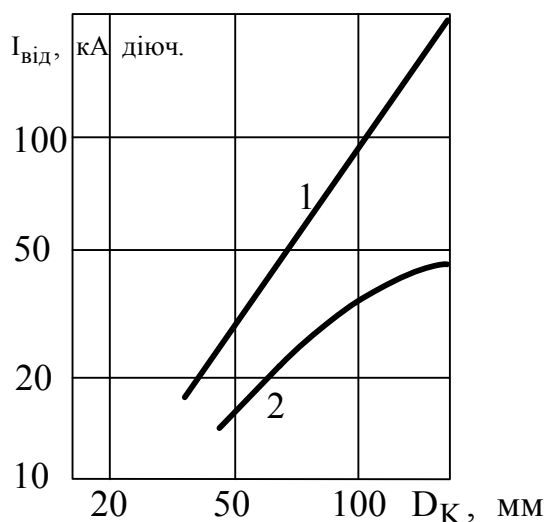


Рисунок 1.2 – Залежність відмикальної здатності ВДК від діаметра контактів: 1 – контакти з поздовжнім магнітним полем; 2 – контакти зі спіральними прорізами

Дуговий розряд, що утворюється при розмиканні контактів, наводить струм в вакуумі завдяки наявності в міжконтактному проміжку парів металу, що виділяються сильно нагрітими зонами на поверхні контактів, що є основою дуги. На катоді зони мають вигляд яскравих плям, в анодній області – у вигляді розмитої плями.

Характер дуги залежить від величини струму. При струмах менше 10 кА дуга має дифузну форму з безліччю катодних плям, розсіяних по поверхні катода. На аноді плями відсутні. Напруга дуги при цьому не перевищує 30 В. При великих струмах дуга має стислу форму. Напруга на ній збільшується до 100–200 В, і на вольт-амперній характеристиці з'являються сплески з великою амплітудою (рис. 1.3). Це пов'язано з формуванням анодних плям. В їх зоні відбувається значне сплавлення контактів, яке веде до збільшення кількості металевих парів в проміжку і посиленому зносу контактів.

У разі створення поздовжнього магнітного поля плазма концентрується навколо силових ліній магнітного поля, катодні плями рухаються до краю контактів, а анодні – не виникають. Напруга на дузі значно знижується, а сплески напруги зникають.

Особливістю вакуумної дуги є нестабільність при малих струмах. Розряд припиняється, коли щільність струму, температура і кількість парів контактного матеріалу не в змозі забезпечити існування хоча б однієї катодної плями. При цьому відбувається зріз струму до його природного переходу через нуль, і в ланцюзі виникають перенапруги.

Струм зрізу ВДК залежить від властивостей застосовуваних контактних матеріалів, їх теплоти пароутворення і теплопровідності, тиску



пари, а також від параметрів контуру струму. Він характеризується середнім значенням і областю розкиду. Особливо важливе значення має верхня межа області розкиду, тому що вона визначає максимальну напругу. Найбільші струми зрізу для контактів CuВі досягають значення 20 А, а CrCu – 5 А.

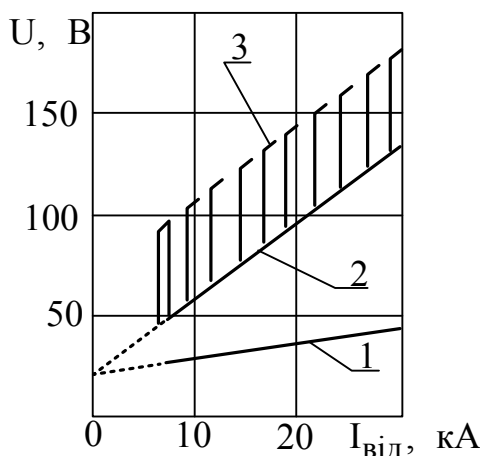


Рисунок 1.3 – Вольт-амперні характеристики ВДК: 1 – контакти з поздовжнім магнітним полем; 2 – контакти зі спіральними прорізами; 3 – флуктуації напруги

Струм зрізу ВДК залежить і від параметрів мережі. Ця залежність прямо пропорційна ємності мережі. Таке повільне наростання струмів зрізу ВДК при збільшенні шунтувальної ємності не веде до значного зростання перенапруг зі збільшенням ємності навантаження. Отже, це явище можна не враховувати. Перенапруги, створювані ВДК при відключенні малих індуктивних струмів, можуть бути викликані повторним запалюванням дуги в разі розмикання контактів ВДК безпосередньо перед переходом струму через нуль. У цьому випадку відновлювана напруга зростає швидше, ніж електрична міцність контактної проміжки (рис. 1.4). При пробі проміжку в контурі ємність живлення – індуктивність лінії – ємність навантаження з'являється високочастотний струм і виникають коливання напруги. Завдяки високій швидкості відновлення електричної міцності вакуумних проміжків ВДК може відключити в перший нуль високочастотний струм, який протікає від ємності живлення до ємності навантаження. Але якщо електрична міцність проміжку недостатня, відбувається повторне запалювання. При цьому струм у відмикальній індуктивності буде збільшуватись від одного повторного запалювання до іншого. Це призводить до поступового підвищення напруги на навантаженні вище  $U_{\phi}$  (в 2,2–3,0 рази і більше). В результаті може пробитися ізоляція обмоток електродвигунів. Особливо важкі умови створюються для малопотужних електродвигунів, приєднаних довгими кабелями [3–4].

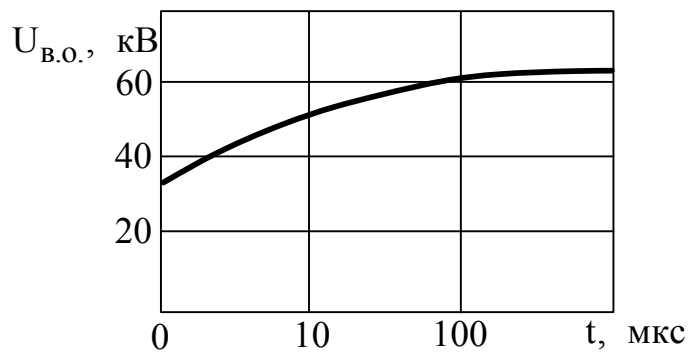


Рисунок 1.4 – Залежність міцності відновлюваного вакуумного проміжку від часу

Третій вид перенапруг, що виникають при відключенні ВДК, пов'язаний з наявністю коротких кабельних та повітряних ліній між ВВ (кілька сотень метрів завдовжки). У разі багаторазових повторних запалень дуги в першому полюсі в двох інших полюсах з'являються високочастотні струми. Вони протікають через паразитні ємності і полюси, в яких ще горить дуга, і мають напрямок, зворотний відмикальному струму. В результаті можуть відбуватися зрізи струму з миттєвими значеннями до 300 А.

При комутації ВВ високовольтних двигунів і ненавантажених трансформаторів коефіцієнт перенапруг знаходиться в межах 2,2–4 від  $U_{\phi}$ . У такому випадку від перенапруг потрібно захищати тільки малопотужні електродвигуни та сухі трансформатори.

Для захисту від перенапруг використовуються нелінійні обмежувачі перенапруг з оксидно-цинковими дисками без іскрових проміжків. Можуть використовуватися також ланцюги RC (1,2 мкФ, 200 Ом), що встановлюються на вимикачі з боку навантаження. Відстань між контактами ВДК зазвичай становить 8–12 мм при  $U_n = 10$  кВ і 18–30 мм при  $U_n = 20$ –35 кВ. Маса рухомого контакту залежить від номінального струму та напруги й знаходиться в межах 1–7 кг. Середня швидкість руху рухомого контакту становить при вмиканні 0,6–1,2 м/с, при вимиканні–1,2–2 м/с. Час горіння дуги при вимиканні менше 0,02 с.

## 1.2 Конструктивне виконання вакуумних вимикачів

Малі габаритні розміри, незначні маси і невеликі динамічні навантаження ВДК дозволяють створювати конструкції ВВ зі значно меншими масогабаритними розмірами, ніж у малооб'ємних оливних вимикачів.

Хоча в більшості випадків контакти ВДК виготовляють з матеріалів, що погано піддаються зварюванню і утворюють порівняно слабкі, щодо механічного пошкодження, зварювальні з'єднання, все ж для надійної роботи вони виконуються таким чином, щоб у разі зварювання контактів для відриву їх один від одного використовувалася енергія, запасена в

рухомих частинах вимикача при відмиканні. При цьому енергія, необхідна для відриву один від одного приварених контактів, має становити незначну частину від загальної кінетичної енергії, потрібної для забезпечення необхідної швидкості розбіжності контактів.

З цією метою вимикальний механізм ВВ виконується таким чином, щоб рух рухомих частин починався раніше, ніж рух рухомого контакту. Для цього зчеплення рухомого контакту ВДК з механізмом ВВ відбувається після того, як ланка, що з'єднуються з рухомих контактом, пройде 3–4 мм (хід в контакті). Швидкість ланки при з'єднанні перевищує швидкість рухомого контакту при вимиканні. За рахунок підвищеної кінетичної енергії в момент зчеплення відбувається відрив рухомого контакту від нерухомого і руйнування зварного з'єднання, якщо воно було. Частина кінетичної енергії рухомих частин, що залишилася невтраченою, забезпечує переміщення рухомого контакту з необхідною швидкістю.

Як привод ВВ використовуються електромагнітні або пружинні приводи. Малі габаритні розміри, маси і невеликі динамічні навантаження на фундамент дозволяють встановлювати вакуумні вимикачі в стандартних шафах КРП в 2–4 яруси. Тому конструктивно вакуумні вимикачі виконуються з малими розмірами за висотою (960–1160 мм і менше).

Переваги вакуумних вимикачів:

- 1) відсутність необхідності в заміні і поповненні дугогасильного середовища, компресорних установок і масляного господарства;
- 2) висока зносостійкість при комутації номінальних струмів і струмів КЗ;
- 3) мінімум обслуговування, зниження експлуатаційних витрат (майже в 2 рази порівняно з існуючими). Термін служби 25 років;
- 4) швидке відновлення електричної міцності ( $10 \div 50$ )  $10^3$  В/мкс;
- 5) повна вибухо- і пожегобезпечність;
- 6) надійна робота у разі, коли в процесі вимикання малого струму в колі виникає струм КЗ (ДП масляних вимикачів звичайно розриваються);
- 7) широкий діапазон температур навколишнього середовища, в якому можлива робота ВДП (від -70 до +200 °С);
- 8) підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень;
- 9) довільне робоче положення вакуумного ДП;
- 10) безшумність, чистота, зручність обслуговування, обумовлені малим виділенням енергії в ДП і відсутністю зовнішніх ефектів при вимиканні струмів КЗ;
- 11) відсутність забруднення навколишнього середовища;
- 12) порівняно малі маси та габаритні розміри, невеликі динамічні навантаження на конструкцію і фундамент;
- 13) висока швидкодія;
- 14) можливість організації високоавтоматизованого виробництва.

Недоліками вакуумних вимикачів є:

- 1) труднощі розробки і виготовлення, пов'язані зі створенням спеціальних контактних матеріалів, складністю вакуумного виробництва,

схильністю матеріалів контактів до зварювання в умовах вакууму;

2) великі капітальні вкладення, необхідні для налагодження масового виробництва.

### 1.3 Призначення вакуумних вимикачів серії ВР

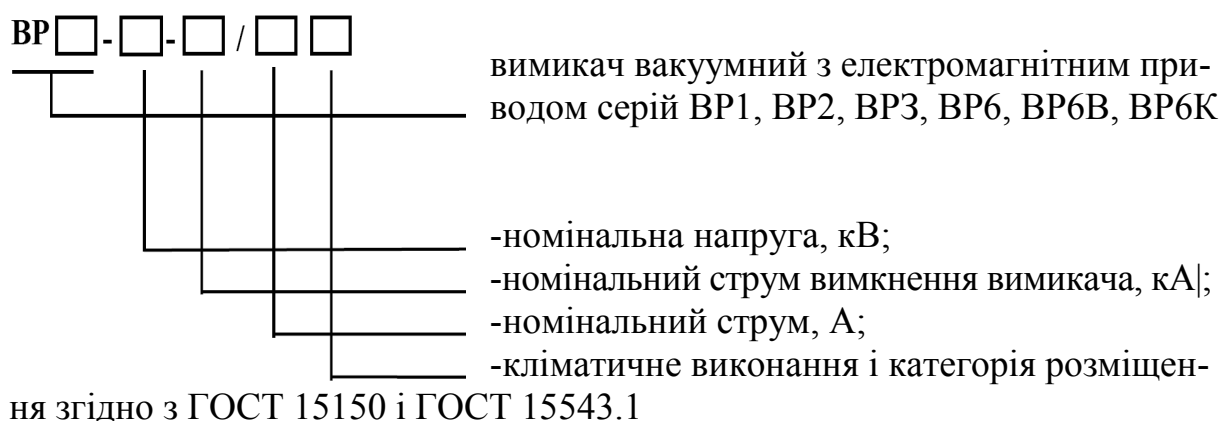
Вакуумні вимикачі серії ВР (ВР1, ВР2, ВР3, ВР6, ВР6В, ВР6К) призначені для комутації електричних кіл при нормальних і аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частоти 50 (60) Гц на номінальну напругу 6–10 кВ для систем із ізольованою і частково заземленою нейтраллю. Вимикачі використовуються для щойно спроектованих КРП, а також для реконструкції шаф КРП, що уже перебувають в експлуатації. В усіх випадках установлення вимикачів серії ВР допускається тільки за узгодженням з підприємством-виробником.

Вимикачі ВР6В використовуються, в основному, для заміни електромагнітних вимикачів ВЭС6 в шафах КГ6С на теплових і атомних станціях. Вимикачі ВР6К – для заміни електромагнітних вимикачів ВЭМ–6 в шафах К–Х і К–ХХV на теплових і атомних станціях.

Основні переваги вимикачів ВР – це:

- механічний ресурс до 100 000 циклі чи ВмВимк (ввімкнути–вимкнути)
- гарантійний термін експлуатації 4 роки;
- відсутність обслуговування;
- можливість використання в схемах на постійній і змінній оперативній напрузі.

### Структура умовного позначення вимикачів серії ВР



Приклад запису позначення вимикача серії ВР1 на номінальну напругу 10 кВ, номінальний струм відключення 20 кА, номінальний струм 630 А, кліматичне виконання і категорія розміщення У2: ВР1–10–20/630 У2.

## 1.4 Основні технічні параметри

Номинальні значення кліматичних умов для вимикачів за ГОСТ 15543.1 і ГОСТ 15150, при цьому :

а) висота над рівнем моря не більше 1000 м;

б) верхнє й ефективне значення температури повітря, що оточує вимикач, приймають таким, що дорівнює: для виконання У2 – плюс 50 °С, для виконання ТЗ – плюс 60 °С і 55 °С відповідно, з урахуванням перевищення температури в КРП;

в) нижнє значення температури повітря, що оточує вимикач, – мінус 25 °С. При нижчій температурі необхідне підігрівання навколишнього повітря згідно з ГОСТ 14693;

г) навколишнє середовище вибухобезпечне, тип атмосфери II за ГОСТ 15150.

Робоче положення в просторі не регламентується.

Вимикачі призначені для роботи в операціях «Вм» і «Вв» і в циклах Вм – 0,3 с – ВвВм – 180 с – Вм 0,3 с – ВвВм – 20 с – ВвВм і Вм – 180 с – ВвВм – 180 с – ВвВм.

Основні технічні параметри вакуумних вимикачів серій ВР наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні параметри вакуумних вимикачів серій ВР

Найменування параметра	Норма для вимикачів серії				
	ВР1	ВР2	ВР3	ВР6К	ВР6, ВР6В
1. Номинальна напруга кола електромагніту (УАТ, УАС), В					
– при постійному струмі;	220	110; 220	220	220	220
– при випрямленому струмі;	220	110; 220	220	–	–
– при змінному струмі.	220	127; 220	220	–	–
2. Номинальна напруга кіл управління, В:					
– при постійному струмі;		110; 220		220	220
– при випрямленому струмі;		110; 220		–	–
– при змінному струмі.		127; 220		–	–
3. Максимальний струм споживання кола електромагніту А, не більше:					
– при ввімкненні (УАС) (протягом не більше 40 мс):					
при 220 В;	16		35	35	42
при постійному 110 В, змінному 127 В;	–	24 60	–	–	–
при вимкненні (УАТ) (протягом не більше 25 мс):					
при 220 В	14*	17 32	20	20	20
при постійному 110 В, змінному 127 В	–		–	–	–

4. Струм спрацьовування ланцюгів вимикання для схем з дешунтуванням (КСА), А	3;5
5. Струм споживання кіл (КМ або КСС), (КСТ) від незалежного живлення (КСV), А. не більше, при: – постійній і випрямленій напрузі 110 В; – змінній напрузі 127 В; – постійній і змінній напругах 220 В.	3** 3** 1,5**
6. Діапазон робочих напруг кола електромагніту (УАТ, УАС), у відсотках від номінальної напруги: – при включенні (УАС); – при відключенні (УАТ).	85–110 65–120
7. Діапазон робочих напруг в колах управління, у відсотках від номінальної напруги: – контактор КМ або реле КСС; – реле КСТ і реле КСV; – змінного або випрямленого струму; – постійного струму.	85–110 65–120 70–110

\* струм від заздалегідь заряджених конденсаторів приводу.

\*\* струм споживання визначається величинами баластних опорів R1 R2, R3 і може бути збільшений або зменшений за узгодженням із замовником.

### 1.5 Конструктивні особливості вакуумного вимикача серії ВР

Конструкція вимикача ВР1 показана на рисунку 1.5. Вимикач складається з трьох полюсів із залитими вакуумними дугогасильними камерами (ВДК), розміщеними на спільній основі. Електромагнітний привод вимикача розміщений в корпусі вимикача. Осердя електромагнітного приводу через проміжний вал і тягу пов'язане з валом вимикача. Вал вимикача з'єднаний через ізоляційну тягу з ВДК, і при повороті управляє контактами положення вимикача для зовнішніх допоміжних кіл. У втулках ізоляційної тяги знаходяться тарілчасті пружини підтискання контактів ВДК. Схеми блока управління реалізовані на штампованих платах, які встановлені в корпусі вимикача.

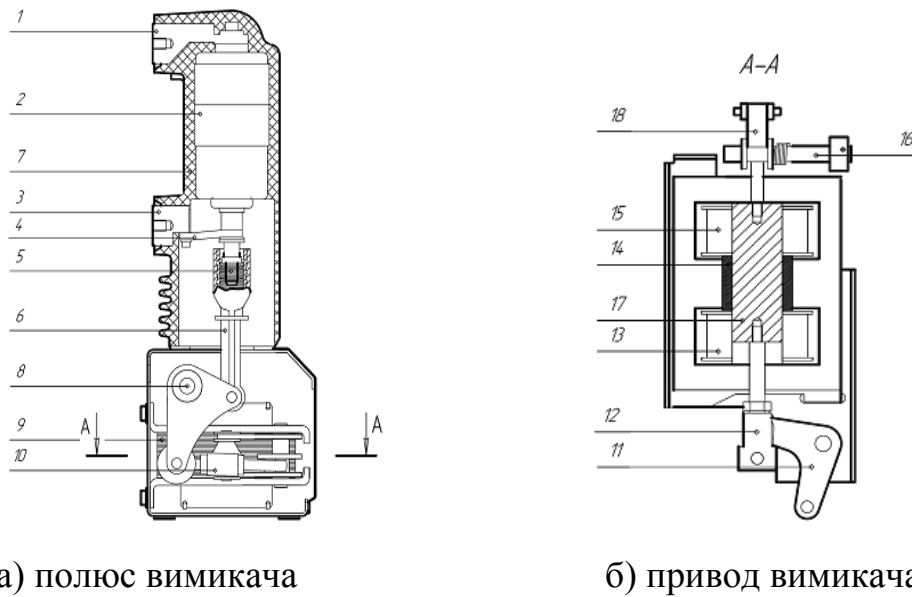


Рисунок 1.5 – Конструкція полюса та привода вимикача ВР1:  
 1 – верхній контакт; 2 – вакуумна дугогасильна камера (ВДК); 3 – нижній контакт; 5 – пружини підтискання; 6 – ізоляційна тяга; 7 – ізоляційний каркас полюса; 8 – основний вал; 9 – електромагніт; 10 – регулювальна тяга; 11 – проміжний вал; 12 – вставка ввімкнення; 13 – котушка ввімкнення; 14 – постійний магніт; 15 – котушка вимкнення; 16 – вал ручного вимкнення; 17 – осердя; 18 – вставка вимкнення

**Ввімкнення вимикача:**

- за командою «Ввімк» струм ввімкнення від блока управління протікає по котушці ввімкнення 13;
- осердя 17 втягується котушкою ввімкнення електромагніту, приводячи в рух вставку 12;
- вставка 12 повертає проміжний вал 11, який через тягу 10 повертає основний вал 8 вимикача;
- разом з основним валом 8 рухається вгору ізоляційна тяга 6 і рухомий контакт ВДК;
- контакти ВДК замикаються;
- осердя 17 і пов'язана з ним ізоляційна тяга 6 продовжують рухатися вгору і пружинами підтискання 5 підтискають контакти ВДК;
- осердя 17 досягає свого крайнього положення, замикаючи контур ввімкнення постійного магніту 14 («магнітна зацібка») і тим самим забезпечує утримування контактів ВДК у ввімкненому положенні з необхідним рівнем їх підтискання, котушка ввімкнення 13 знеструмлюється.

**Вимкнення вимикача:**

- за командою «Вимк» струм вимкнення від блока управління протікає по котушці вимкнення 15 і створює електромагнітне поле в контурі вимкнення електромагніту значно більше, ніж поле, створюване

постійними магнітами 14 у контурі вимкнення;

- під впливом електромагнітного поля осердя 17 рухається у напрямі вставки вимкнення, приводячи в рух вал 8 через проміжний вал 11 і тягу 10;

- електромагніт, а також енергія, накопичена в пружинах підтискання 5, в процесі ввімкнення викликають прискорений рух ізоляційної тяги 6 і з'єднаного з нею рухомого контакту ВДК вниз;

– вимикач швидко вимикається;

– сердечник 17 досягає свого крайнього положення, замикаючи контур вимкнення постійного магніту 14 («магнітна защібка»), котушка вимкнення 15 знеструмлюється, привод знаходиться в початковому положенні.

Вимикач складається з трьох полюсів із залитими ВДК, розміщеними на загальній основі. Електромагнітний привод вимикача розміщений в корпусі вимикача. Осердя електромагнітного привода через проміжний вал і тягу з'єднане з валом вимикача. Вал вимикача з'єднаний через ізоляційну тягу з ВДК і при повороті управляє контактами положення вимикача для зовнішніх допоміжних кіл. У втулках ізоляційної тяги знаходяться тарілчасті пружини підтискання контактів ВДК. Схеми блока управління реалізовані на штампованих платах, які встановлені в корпусі вимикача.

Вакуумна дугогасильна камера КДВ–10–1600–20 зображена на рис. 1.6.

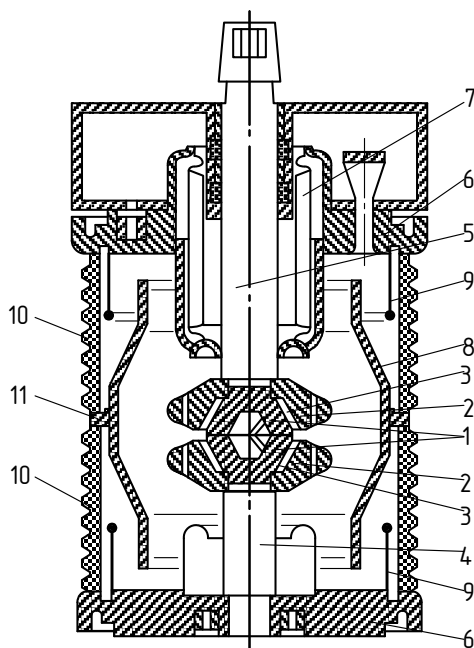


Рисунок 1.6 – Вакуумний ДП:  $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{ном}} = 630 \div 1600 \text{ А}$ ,  
 $I_{\text{відкл, ном}} = 20 \text{ кА}$

Фланці 6 сполучені з вакуумно-міцним ребристим керамічним циліндром 10. До струмовводу 4 прикріплені нерухомі контакти 1, 2 у вигляді торцевої розетки з шістьма точками дотику. Рухомі контакти 1, 2 укріплені на струмовводі, що з'єднаний з сильфоном 7. Завдяки цьому



рухомі контакти можуть переміщуватися по вертикалі. Між частинами 1 і 2 контактів є зазор 3. Зовнішні струмовводи приєднуються до фланця 6 (жорстка шина) і струмовводу 5 (за допомогою гнучких шин). Для вирівнювання електричного поля і захисту циліндра 10 від напилення парами металу служать екрани 8 і 9. Екран 8 кріпиться до ізолятора за допомогою кільця 11. Нижче наводяться дані такого ДП.

Номинальна напруга, кВ.....	10
Номинальний струм, кА.....	1,6
Опір струмоведучої кола при додатковому натисканні 1600 Н, мкОм.....	16
Номинальний відносний зміст аперіодичної складової.....	0,35
Тривалість дуги, с, не більше.....	0,02
Граничний струм вмикання, кА:	
амплітуда.....	51
початкове значення періодичної складової.....	20
Струм термічної стійкості (4 с), кА.....	20
Амплітуда граничного наскрізного струму, кА.....	70
Середній струм зрізу, А, не більше.....	10
Електрична зносостійкість в циклі В:	
при $I_{0, ном} = 1,6$ кА.....	100
при $I_{0, ном} = 20$ кА.....	25
Механічна зносостійкість, операцій.....	$2 \cdot 10^4$
Хід рухомого контакту, мм.....	12
Допустимий знос контактів, мм.....	4
Швидкість рухомого контакту, м/с:	
при вимкненні.....	1,7 – 2,3
при ввімкненні.....	0,6 – 0,9
Мінімальна безструмова пауза, с.....	0,3
Середній термін служби ДП, років.....	25

ДП забезпечує роботу в циклах за ГОСТ 687–78.

Привод вимикача – електромагнітний, який працює на випрямленому змінному струмі 220 В. Випрямні блоки, конденсатори ввімкнення і вимкнення, блок-контакти змонтовані на рамі вимикача під кришкою, заміненою листом органічного скла. Для керування вимикачем на лабораторному столі змонтований ключ управління типу ПМ0В. Для сигналізації про ввімкнене і вимкнене положення вимикача над ключем установлені дві лампи з зеленим і червоним склом. Якщо вимикач вимкнений, горить зелена лампа, ввімкнений – горить червона лампа.

## 2 ОЛИВНІ ТА МАЛООЛИВНІ ВИМИКАЧІ

Високовольтний вимикач – це комутаційний апарат, призначений для ввімкнення та вимкнення струму електричного кола високої напруги. Вимикачі є основними апаратами в електричних установках. Вони мають швидко і надійно здійснювати ввімкнення та вимкнення електричних ланцюгів в нормальних і аварійних режимах, довго витримувати номінальний струм і номінальну напругу. У цьому випадку вони характеризуються наведеними нижче параметрами [5].

1. Номінальною напругою –  $U_{\text{ном}}$ .

2. Номінальним струмом –  $I_{\text{ном}}$ .

3. Номінальним струмом вимкнення  $I_{\text{вимк. ном}}$  – найбільший струм КЗ (діюче значення), який вимикач здатний вимкнути при напрузі, яка дорівнює найбільшій робочій напрузі. Номінальний струм вимкнення визначається дійсним значенням періодичної складової в момент розходження контактів вимикача.

4. Допустимим відносним вмістом аперіодичної складової в струмі вимкнення  $\epsilon$ :

$$\beta = \frac{i_{a, \text{ном}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{вимк. ном}}} \cdot 100.$$

5. Номінальним струмом ввімкнення – найбільшим струмом КЗ, який вимикач здатний ввімкнути без приварювання контактів та інших пошкоджень при  $U_{\text{ном}}$  та заданому циклі операцій.

6. Власним часом вимкнення ( $t_{\text{вл}}$ ) – проміжком часу з моменту подачі команди на вимкнення до розмикання дугогасильних контактів.

7. Повним часом вимкнення ( $t_{\text{пов}}$ ) – проміжком часу від подачі команди на вимкнення до остаточного затухання дуги на всіх фазах вимикача.

8. Часом ввімкнення ( $t_{\text{в}}$ ) – проміжком часу від подачі команди на ввімкнення до завершення операції ввімкнення.

9. Стійкістю при наскрізних струмах КЗ, яка визначається:

– струмом ( $I_{\text{тер}}$ ) і часом ( $t_{\text{тер}}$ ) термічної стійкості;

– струмом електродинамічної стійкості ( $I_{\text{дин}}$ ).

10. Параметрами відновлювальної напруги.

За конструктивними особливостями і способом гасіння електричної дуги, що виникає при розмиканні контактів, розрізняють такі типи вимикачів: оливні, повітряні, вакуумні, елегазові, електромагнітні, синхронізовані та ін.

Основними конструктивними частинами вимикачів будь-якого типу є: контактна система з дугогасильного пристрою, струмопровідні частини, корпус, ізоляційна конструкція і приводний механізм.

В оливних вимикачах контакти розмикаються в трансформаторній оливі. Електрична дуга, яка виникає при цьому, має високу температуру

(3000–5000 °С). Прилегли до неї шари оливи випаровуються і розкладаються, в газовому середовищі виникає дуговий розряд. Приблизно половину цього газу за об'ємом становлять пари оливи.

Інша частина складається з водню (близько 70%) і вуглеводню різного складу. Кількість оливи, яка розкладена дугою, невелика, але гази, що утворюються, мають великий об'єм (1 грам оливи дає приблизно 1500 см<sup>3</sup> газу при атмосферному тиску та температурі 10 °С). В результаті в газовому об'ємі виникає високий тиск (0,5–5 МПа і вище).

Високий тиск газів, що утворилися, використовують для інтенсивної деіонізації дугового проміжку. З цією метою в зоні горіння дуги розміщують спеціальні жорсткі дугогасильні камери, що мають робочі канали. Цими каналами за рахунок високого тиску в зоні горіння дуги створюється направлений рух утвореної газооливної суміші відносно палаючої дуги [6].

Залежно від розташування робочих каналів розрізняють камери з поперечним, поздовжнім і зустрічно-поперечним рухом (дугтям) газооливної суміші. Чим більший вимикальний струм, тим інтенсивніше дугтя і гасіння дуги. Тому оливні вимикачі називають ще автогазовими.

На рис. 2.1 схематично показано баковий вимикач без спеціальних пристроїв для гасіння дуги. Сталевий бак вимикача підвішений до відлітої чавунної кришки 3 за допомогою болтів. Через кришку проходять шість фарфорових ізоляторів 4, на нижніх кінцях струмопровідних стрижнів закріплено нерухомо контакти 7. Рухомі контакти 8 знаходяться на контактному мості або траверсі. Рух їм передається за допомогою ізолювальної тяги від приводного механізму, який знаходиться під кришкою вимикача. У ввімкненому стані траверса піднята і контактний міст замикає коло між нерухомими контактами. При цьому вимикальна пружина 5 стиснута. Вимикач у ввімкненому стані утримується засувкою привода, з яким він зв'язаний валом 6.

Бак вимикача залитий оливою. Під кришкою залишається деякий об'єм повітря. Шар оливи над гасильними камерами повинен бути достатнім для надійного охолодження газів, що утворюються в процесі вимкнення.

Конструктивна схема оливного бакового вимикача на напругу 110 кВ наведена на рис. 2.1.

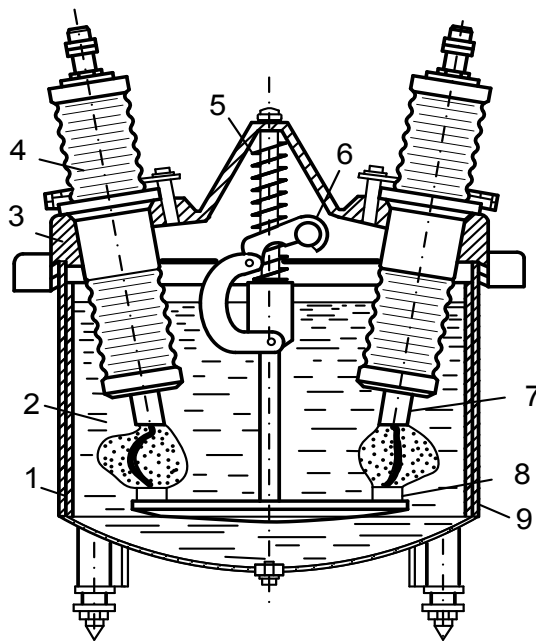


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема оливного бакового вимикача:  
 1 – сталевий бак; 2 – олива; 3 – відлита чавунна кришка; 4 – фарфорові ізолятори; 5 – вимикальна пружина; 6 – вал; 7 – нерухомі контакти; 8 – рухомі контакти, 9 – захисне ізоляційне покриття

При вимиканні вимикача спочатку розмикаються контакти дугогасильних камер, в яких поперечним дугтям гаситься дуга. Струм у колі при погашенні дуги обмежується шунтувальними опорами. Потім розриваються контакти траверси, і дуга, що утворюється, гаситься у відкритому розриві в оливі. Аналогічно виконаний і вимикач У220 (рис. 2.2). Конструктивно У220 відрізняється розмірами і кількістю розривів – в нього в дугогасильних камерах є по 3 розриви.

Траверса 3 приводиться в рух ізолювальною тягою 5, зв'язаною з приводним механізмом 8. На дні бака встановлено кригоуловлювальний пристрій 1, який запобігає процесу спливання замерзлого конденсату. Для нагрівання оливи при низьких температурах до дна кріпиться пристрій електропідігріву 10, який вмикається при температурі повітря, нижчій мінус 15 °С. Це необхідно, щоб не знижувалась швидкість переміщення рухомих частин вимикача при збільшенні в'язкості оливи. У вимикачі серії У220 на три полюси маса оливи становить 27000 кг.

Основні переваги бакових вимикачів:

- простота конструкції;
- висока вимикальна здатність;
- придатність для зовнішнього встановлення;
- можливість установлення вбудованих трансформаторів струму.

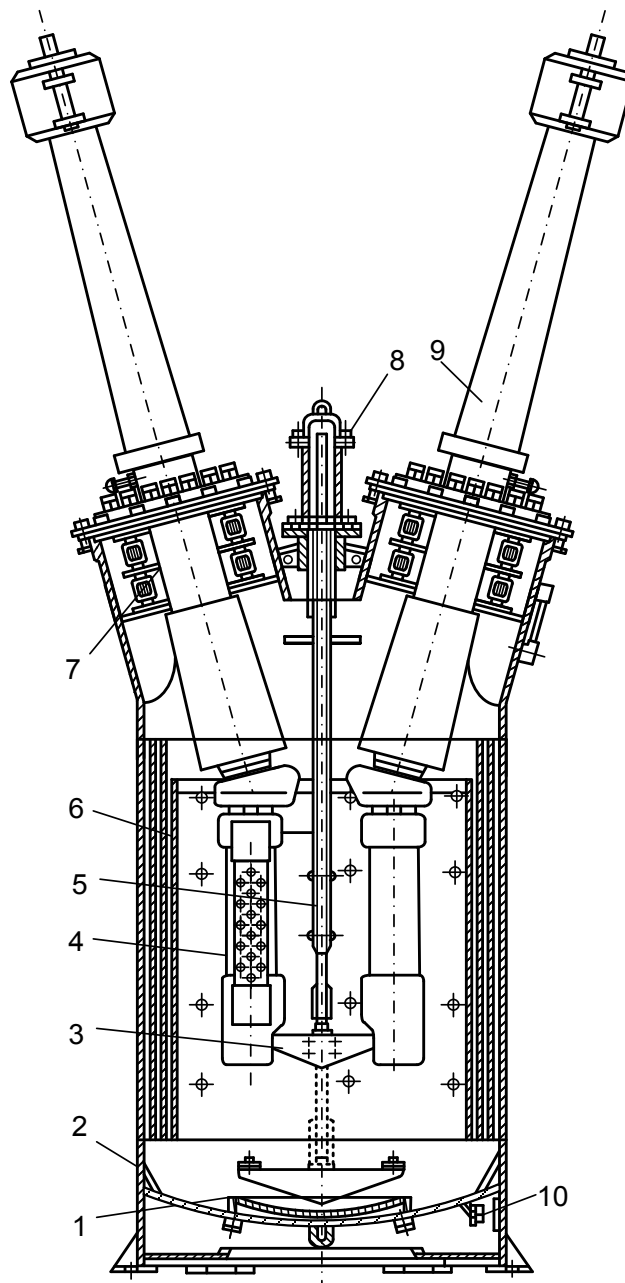


Рисунок 2.2 – Поліус оливного бакового вимикача У220–2000–40У1

Недоліки бакових вимикачів:

- вибухо- і пожежонебезпека;
- необхідність періодичного контролю за станом і рівнем оливи;
- великий об'єм оливи;
- необхідність великих запасів оливи;
- непридатність до розміщення всередині приміщень;
- непридатність для виконання швидкодійного АПВ;
- велика витрата металу;
- велика маса;
- незручність транспортування, монтажу і налагодження.

Переважним застосуванням бакових оливних вимикачів є розподільні мережі напругою 35 кВ та 110÷220 кВ, де їх останнім часом поступово витісняють нові типи елегазових вимикачів.

Пожежо- та вибухонебезпечність, великий об'єм оливи є суттєвими недоліками бакових вимикачів. Перевагами їх є простота конструкції, висока надійність і наявність вбудованих трансформаторів струму. В даний час сфера їх застосування обмежена а випуск припинений. Вони застосовуються, в основному, у відкритих РП 35–220 кВ [7].

## 2.1 Малооб'ємні оливні вимикачі

У малооб'ємних оливних вимикачах трансформаторна олива використовується як дугогасильне середовище і тільки частково служить ізоляцією між контактами. Ізоляція струмопровідних частин одна від одної і від заземлених конструкцій виконується фарфором або іншими твердими ізолювальними матеріалами (пластмасою та ін.).

Малооб'ємні оливні вимикачі виготовляються на напругу до 500 кВ включно і особливо широко застосовуються при напругах 6–35 кВ. Перевагами їх є: мала кількість оливи, невеликі габарити і маса, менша вибухо- і пожежонебезпека, відносно низька вартість.

У закритих і комплектних розподільних пристроях 6–10–35 кВ найчастіше використовується вимикач типу «оливний підвісний».

Вимикач ВМП–10 (рис. 2.3) має три полюси, закріплених за допомогою ізоляторів ОМБ–11Т на загальній рамі. Кожен полюс зв'язаний ізоляційною тягою з валом вимикача. Між полюсами встановлено ізоляційні перегородки.

Полюс вимикача складається з міцного вологостійкого ізоляційного циліндра, на кінцях якого армуються металеві фланці. На верхньому фланці закріплений корпус з алюмінієвого сплаву, всередині якого розташовані рухомий контакт з приводним механізмом, роликовий струмознімальний пристрій з напрямними стержнями і оливовіддільник. Зверху корпус закритий кришкою з отвором для випускання газів. Корпус зв'язаний з зовнішнім струмопровідним виводом. В нижньому фланці розміщені гасильна камера поперечного оливного дуття, буферна камера і оливопокажчик. Знизу фланець закритий кришкою, всередині якої закріплений нерухомий розетковий контакт. Кришка одночасно служить другим контактним виводом.

Гасильна камера зібрана з пластин ізоляційного матеріалу з фігурними отворами. При наборі пластин утворюється три поперечних канали, відкритих зверху, а у верхній частині камери – оливні кишені. В ввімкненому положенні стрижень знаходиться в розетковому контакті, щільно перекриваючи канали камери гасіння.

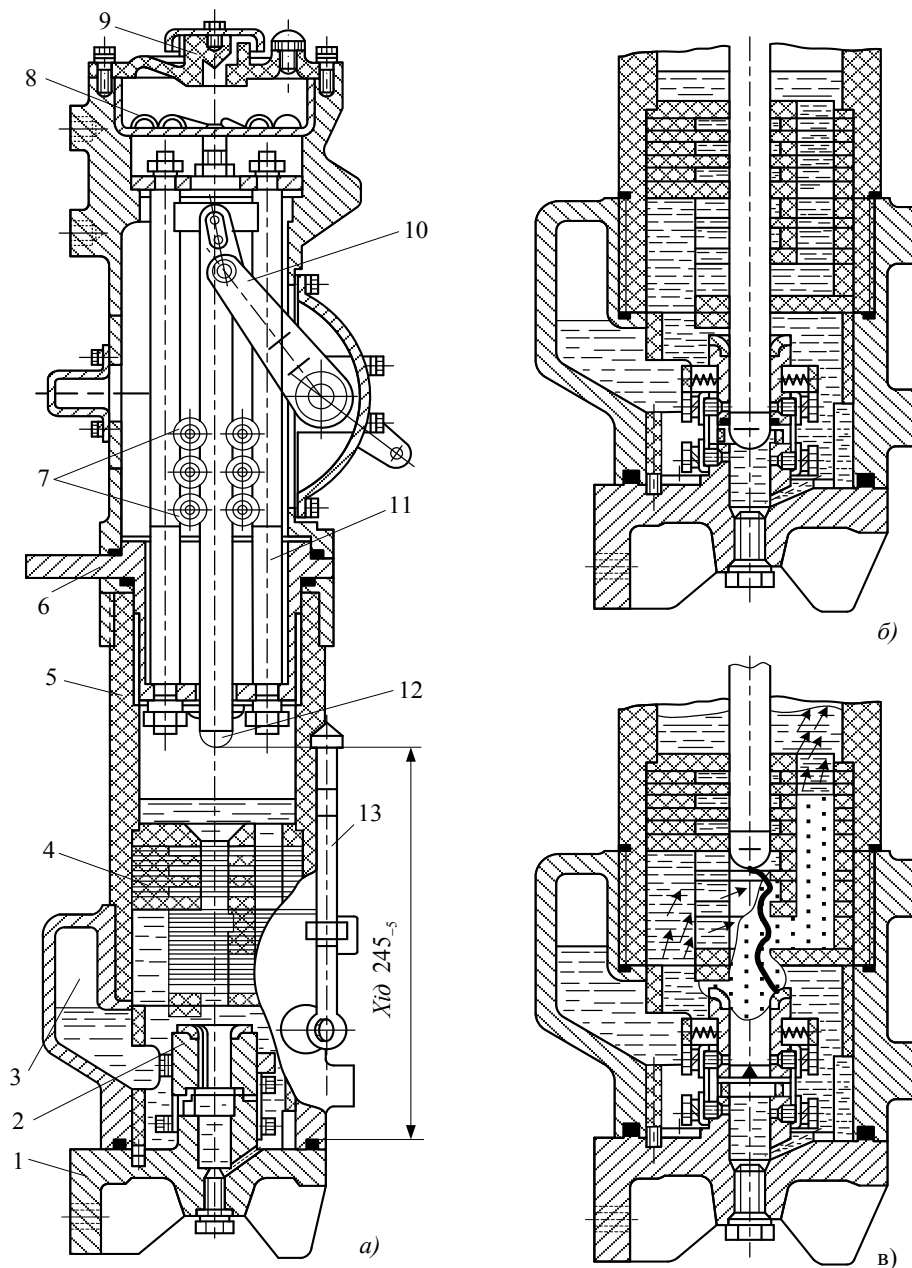


Рисунок 2.3 – Переріз полюса вимикача ВМП–10

На рис. 2.3 зображено переріз полюса вимикача ВМП–10 в трьох положеннях : а – положення «Вимкнено»; б – положення «Ввімкнено»; в – процес вимикання. 1 – нижній вивід і кришка вимикача; 2 – нерухомі контакти; 3 – повітряна подушка; 4 – гасильна камера; 5 – ізоляційний циліндр; 6 – верхній вивід; 7 – роликострумознімальний контакт; 8 – оливоділювальний пристрій; 9 – кришка; 10 – приводний механізм; 11 – напрямний стрижень; 12 – рухомий контакт; 13 – оливопоказчик

При вимкненні вимикача привод звільняє вимикальну пружину і під дією її сили вал вимикача повертається. Через ізоляційну тягу рух передається приводному механізму і контактному стрижню, який піднімається вгору. При розмиканні контактів між ними виникає дуга, випаровуючи і розкладаючи трансформаторну оливу. На початку процесу вимкнення поперечні канали гасильної камери перекриті рухомими контактними стрижнями, і тиск в нижній частині камери різко зростає до 0,4–0,5 МПа, при цьому частина оливи заповнює буферну камеру, стискаючи в ній повітря. З подальшим рухом рухомого контакту вгору по черзі відкриваються поперечні канали, в які спрямовується газопарова суміш, створюючи інтенсивне поперечне дуття. При переході струму через нуль тиск в парогазовому пухирі знижується, стиснене повітря буферного об'єму подібно до поршня нагнітає свіжу оливу в область горіння дуги.

При вимкненні великих струмів утворюється енергійне поперечне дуття, і дуга гасне в нижній частині камери. При вимкненні малих струмів дуга тягнеться за стрижнем і у верхній частині камери розкладає оливу в кишнях, створюючи зустрічно-радіальне дуття, а при виході стрижня з камери – поздовжнє дуття.

Після гасіння дуги пари оливи і газу проходять через оливовіддільник, де пари оливи конденсуються, а газ через газовідвідний отвір виходить назовні.

Для пом'якшення удару при ввімкненні та вимкненні вимикача на його рамі розташовуються пружинний і масляний буфери.

Вимикачі ВМП–10 випускаються на номінальну напругу 10 кВ і номінальний струм: 630, 1000, 1600 А. Вимикач ВМП–10 з номінальним струмом 3200 А має додаткові робочі контакти, розташовані зовні вимикача (ВМПЕ–10).

В закритих розподільних пристроях 6–10 кВ застосовується також вимикач ВМГ–10 (вимикач оливний горшковий) на номінальний струм 630 і 1000 А (випускається замість вимикача ВМГ–133). Вимикач має на кожну фазу металевий бачок циліндричної форми, на дні якого закріплений нерухомий розетковий контакт. Рухомий контакт, у вигляді круглого мідного стрижня, проходить через прохідний ізолятор, заармований в кришці бачка вимикача. Всередині бака, над нерухомим контактом, розміщена камера поперечного оливного дуття. Полюси вимикача за допомогою опорних ізоляторів монтуються на загальній сталевій рамі.

Крім вимикачів ВМП–10 і ВМГ–10, в комплектних розподільних пристроях використовуються вимикачі колонкового типу ВК–10 і ВКЕ–10. Дуга в цих вимикачах гаситься подібно розглянутому вище, але в результаті використання ряду вдосконалень в конструкції маса і габарити їх менші, ніж вимикачів ВМП.



На великі номінальні струми (2000–9500 А) виготовляються вимикачі МГГ (оливний генераторний горшковий) і МГ (оливний генераторний). Вимикачі цих серій мають на фазу по два сталевих бачки і по дві пари робочих і дугогасильних контактів. Робочі контакти розміщені зовні вимикача, а дугогасильні – всередині баків. Ці вимикачі мають два контури струму: головний і дугогасильний. Струм головного контуру протікає від контактних виводів по кришці бака, робочих контактах і траверсі. Струм дугогасильного контуру проходить від контактного виводу по стінках першого бака через дугогасильні контакти, траверсу, дугогасильні контакти другого бака, по стінках цього бака по другому контактному висновку. Коли вимикач ввімкнений, більша частина струму проходить по головному контуру. При вимкненні першими розмикаються робочі контакти, але дуги на них не утворюється, оскільки струм продовжує протікати по дугогасильному контуру. При розмиканні дугогасильних контактів між ними виникає дуга, яка гаситься в камері зустрічно-поперечним дуттям. Тиск у гасильній камері при гасінні дуги досягає 0,8 МПа. Для зменшення тиску при вимкненні великих струмів камера має буферні об'єми.

Подальшим розвитком вимикачів цієї серії є вимикач ВГМ–20–90/11200, призначений для встановлення в колах потужних генераторів. Великий номінальний струм забезпечується за рахунок коробчастих виводів і малого перехідного опору на шляху проходження струму.

В розподільних пристроях споживачів при напругах 110 і 220 кВ застосовуються малооливні вимикачі серії ВМТ. Три полюси вимикача ВМТ встановлюються на загальній звареній основі і керуються пружинним приводом. Кожен полюс являє собою порцелянову колонку, всередині якої знаходиться дугогасильний пристрій, рухомий і нерухомий контакти. Рухомий контакт зв'язаний з механізмом керування ізоляційними тягами. Як дугогасильний пристрій використовуються камери зустрічно-поперечного дуття.

Оливонаповнені колони мають у верхній частині незаповнений оливою об'єм, герметизовані і знаходяться під надлишковим тиском повітря або азоту. Це забезпечує високу електричну міцність міжконтактного проміжку і дозволяє надійно вимикати як струми КЗ, так і ємнісні струми ненавантажених ліній.

У вимикачів ВМТ–110 і ВМТ–220 використовуються однакові модулі – для 110 кВ – один на фазу, для 220 кВ – два на фазу. Така уніфікація дозволяє мати резервні модулі і при ремонтах вимикачів замінювати їх справними.

Малооливні вимикачі колонкового типу ВК–10 з пружинним приводом і ВКЕ–10 (рис. 2.4) з електромагнітним приводом використовуються в КРП внутрішнього та зовнішнього встановлення[8].

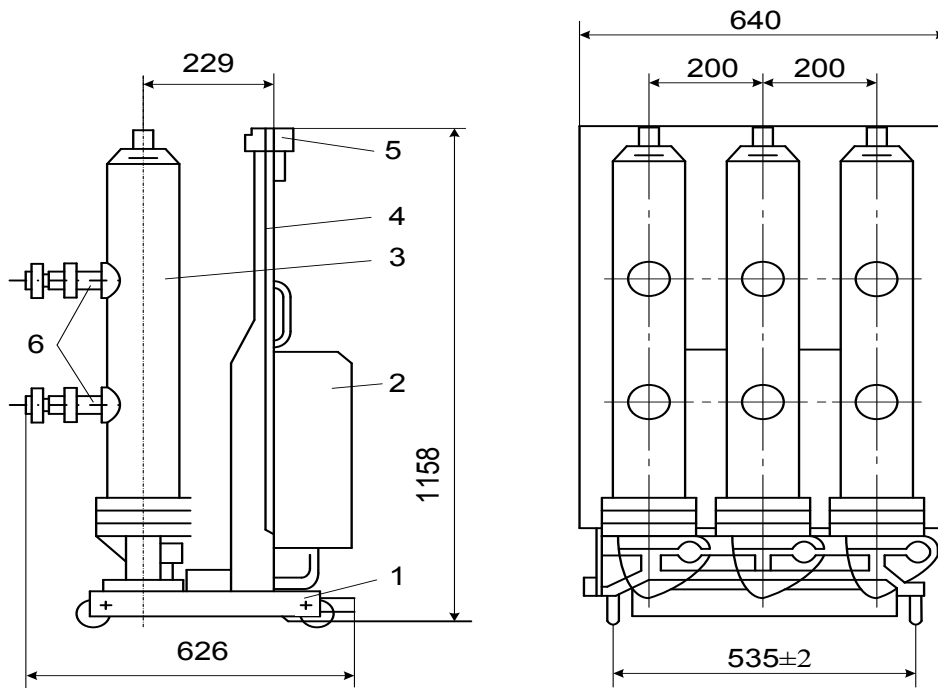


Рисунок 2.4 – Конструкція вимикача ВКЕ–10

Вимикач ВКЕ–10 (рис. 2.4) складається зі збірної основи 1, на якій встановлено три полюси 3, привод 2, фасадна перегородка 4, а на вимикачах з номінальним струмом 1250 і 1600 А – ізоляційний кожух на верхній частині вимикача. Основу вимикача встановлюють на колеса, і вона має пристрій для піднімання шторного механізму в КРП, його вкочування та викочування, фіксації в крайніх положеннях та стаціонарного заземлення для встановлення електромагнітних блок-замків та перемикачів блокувальних контактів КРП.

Полюси вимикача мають штирьові виводи первинних з'єднань з розетковими контактами. Проводи кола управління, сигналізації і блокування розміщені в гнучких металевих рукавах і розпаяні в штепсельні роз'єми 5. Робота вимикача ґрунтується на гасінні дуги, яка виникає при розмиканні контактів потоком газооливної суміші, створюваної в результаті інтенсивного розкладання трансформаторної оливи під дією температури дуги. Розглянутий вимикач має менші габарити і масу, ніж вимикачі серії ВМП на відповідні параметри, тому він широко використовується в нових типах КРП.

### 3 ВИМИКАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ

Вимикачі навантаження – це триполюсні комутаційні апарати високої напруги, призначені для автоматичного вмикання та вимикання робочих струмів навантажень електричних кіл. Вони не можуть відмикати струми коротких замикань, але мають велику вмивальну здатність, відповідну струму електродинамічної стійкості при наскрізному КЗ. Розірвання кола ВН при КЗ здійснюється силовим вимикачем, встановленим на початку лінії живлення (рис. 3.1), або запобіжниками, розташованими ближче до джерела живлення.

ВН широко застосовуються замість дорогих силових вимикачів на підстанціях розподільних мереж напругою до 750 кВ [9]. Крім того вони можуть встановлюватися в поєднанні з вимикачами на системних підстанціях (рис. 3.1, а та рис. 3.1, г) і в колах потужних генераторів (рис. 3.3). У всіх випадках застосування ВН дозволяє значно знизити витрати на спорудження електроустановки при забезпеченні достатньої гнучкості схеми та надійності електропостачання споживачів.

На рис. 3.1 наведені схеми підстанцій з ВН, які найчастіше застосовуються у світовій практиці. У кожній з цих схем ВН встановлюються в різних колах з різною метою. Встановлення ВН в колах високої напруги трансформаторів підстанцій дозволяє виконувати експлуатаційні їх вмикання та вимикання без від'єднання вимикачів на початку живильних ліній. При КЗ в трансформаторі спрацьовує короткозамикач або запускається пристрій телевимикання (ТВ) і від'єднання пошкодження буде здійснюватися вимикачами живильних ліній. В період беструмової паузи першого циклу трифазного автоматичного повторного вмикання (ТАПВ) цих вимикачів відбудеться вимикання чи від'єднання ВН. Тим самим буде відділений пошкоджений трансформатор від кола. При вмиканні Q1 і Q2 від ТАПВ електропостачання інших споживачів, що живляться від цих ліній, буде відновлено.

Оскільки ВН мають малий власний час вимкнення ( $t_{\text{влас.}}$ ), то можна скоротити до мінімуму час першого циклу ТАПВ ЛЕП. Це дозволяє підвищити стійкість роботи навантаження і надійність електропостачання споживачів в цілому (порівняно з використанням роз'єднувачів зовнішньої конструкції) [10].

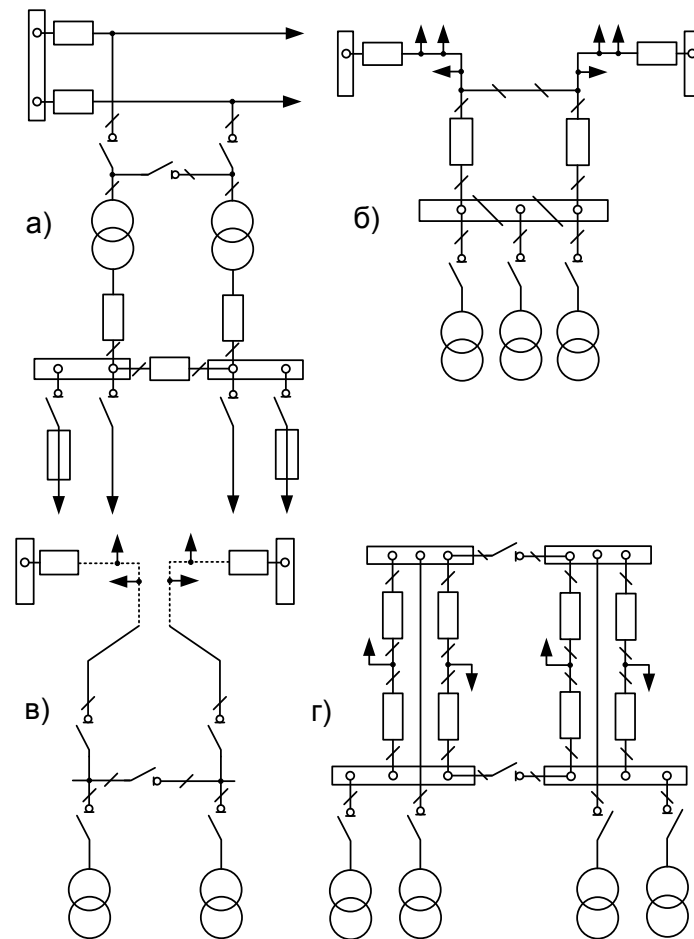


Рисунок 3.1 – Схеми з'єднання підстанцій з ВН

У випадку встановлення ВН в колах відхідних ліній, вони, крім вмикання та вимикання ЛЕП, можуть використовуватися для автоматичного секціонування ліній з двостороннім живленням (рис. 3.1, в та рис. 3.2).

Це дозволяє автоматично видаляти пошкоджену ділянку лінії в другому циклі ТАПВ вимикачів. Тривалість беструмової паузи другого циклу ТАПВ також можна виконати мінімально можливою, що забезпечує умови самозапуску електродвигунів споживачів і підвищує стійкість їх роботи.

Особливо ефективним є застосування ВН для автоматичного секціонування з двостороннім живленням, до яких відгалужені підстанції (КТП) під'єднані через роз'єднувач (рис. 3.2). За даними фахівців США заміна силових вимикачів ВН у схемі верхнього містка на підстанціях мережі 132 кВ дозволяє знизити витрати на 76% при збільшенні розрахункової пошкоджуваності схеми електропостачання всього на 9%.

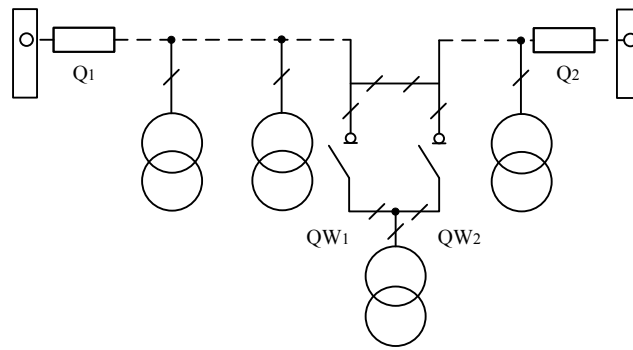


Рисунок. 3.2 – Схеми з'єднання підстанцій з ВН

При встановленні ВН в перемичці відгалуженої підстанції (рис. 3.2) він використовується для автоматичного вмикання резервного живлення на вищій напрузі. В даному випадку в нормальному режимі роботи  $QW_2$  вимкнений і вмикається тільки після автоматичного відімкнення пошкодженої лінії. Тим самим забезпечується нормальна робота споживачів.

Вимикачі навантаження успішно застосовуються в системах електропостачання міст і промислових підприємств при напругах 6–10 кВ (див. рис. 3.1, б).

На електричних станціях з потужними генераторами ( $P_{\text{ном}} \geq 1000$  МВт), що працюють у блоці з підвищувальними трансформаторами, можна встановлювати ВН біля генератора (рис. 3.3). Тут ВН використовується для експлуатаційних вмикань і вимикань генератора при збереженні живлення споживачів власних потреб блока від свого робочого трансформатора  $T_2$ . При КЗ в генераторі або трансформаторах  $T_1$  і  $T_2$  вимикання пошкодження проводиться вимикачем  $Q$  і автоматичним гасінням магнітного поля ротора генератора.

У схемах підстанцій з ВН роз'єднувачі встановлюються тільки у випадку, коли ремонт не можна поєднати з повним відключенням від'єднанням кола. Крім того, роз'єднувачі можуть бути складовою частиною вимикача навантаження (коли роз'єднувач поєднується з дугогасильною камерою). При цьому на схемах окремо роз'єднувачів не показують.

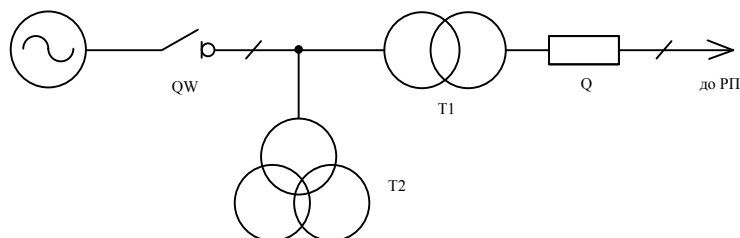


Рисунок 3.3 – Схема блоку генератор-трансформатор з установленням вимикача навантаження в ланцюзі генератора

### 3.1 Конструкції вимикачів навантаження

Вимикачі навантаження застосовують в приєднаннях силових трансформаторів на стороні вищої напруги замість силових вимикачів, якщо це можливо за умов роботи електроустановки. Оскільки вони не розраховані на відмикання струму КЗ, функції автоматичного відмикання трансформаторів у разі їх пошкодження покладають на плавкі запобіжники або на вимикачі, що належать попереднім ланкам системи, наприклад, на лінійні вимикачі, розташовані ближче до джерела енергії. У зв'язку з удосконаленням конструкцій вимикачів навантаження сфера їх застосування поширюється.

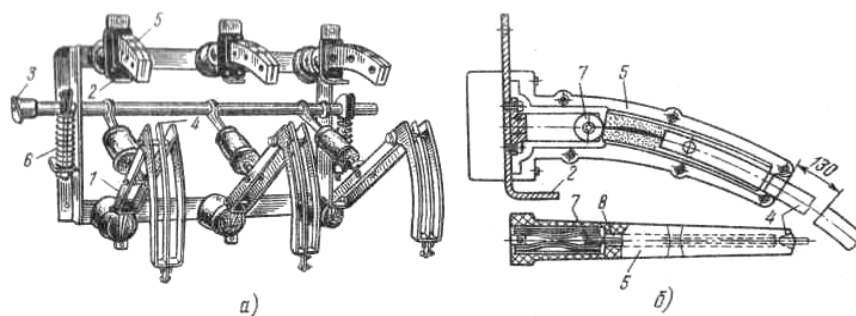


Рисунок 3.4 – Вимикач навантаження з гасильними пристроями генерувального типу: а) загальний вигляд вимикача; б) гасильна камера

На рис. 3.4 показані елементи триполюсного роз'єднувача для внутрішнього встановлення. На опорних ізоляторах роз'єднувача укріплені дугогасильні камери 5. До ножів роз'єднувача 1 прикріплені допоміжні ножі 4. Змінений також привод роз'єднувача, щоб забезпечити необхідну швидкість руху ножів при вмиканні та вимиканні, не залежну від оператора. Для цього передбачені пружини 6, які розтягуються при повороті вала 3 роз'єднувача, а при звільненні передають свою енергію рухомим частинам апарата. У положенні «ввімкнено» допоміжні ножі входять в дугогасильні камери. Контакти роз'єднувача 2 і ковзні контакти дугогасильних камер 7 замкнуті. Велика частина струму проходить через контакти роз'єднувача. В процесі відімкнення (рис. 3.4, б) спочатку розмикаються контакти роз'єднувача; при цьому струм зміщується через допоміжні ножі 4 в дугогасильні камери. Далі розмикаються контакти в камері. Дуга, що виникає, гаситься в потоці газів — продуктів розкладання вкладишів 8 з органічного скла. У положенні «вимкнено» допоміжні ножі знаходяться поза дугогасильних камер; при цьому забезпечуються достатні ізоляційні розриви. Найбільший струм вимикання вимикача типу ВН дорівнює 800 А при номінальній напрузі 6 кВ і 400 А при напрузі 10 кВ, номінальні тривалі струми в 2 рази менші і відповідають робочим струмам роз'єднувача.

## 4 ПОВІТРЯНІ ТА ЕЛЕГАЗОВІ ВИМИКАЧІ

Порівняно з оливою і твердими діелектриками газу мають певні переваги, головні з яких – винятково мала провідність і практично відсутні діелектричні втрати, незалежність електричної міцності від частоти в однорідному полі, слабка забрудненість під дією дуги і корони.

З підвищенням тиску газу електрична міцність в однорідних або слабо неоднорідних полях збільшується і за певних умов може перевищити електричну міцність трансформаторної оливи, вакууму та порцеляни.

Для спрощення конструктивного виконання обладнання з газовою ізоляцією бажано, щоб необхідна електрична міцність була забезпечена при порівняно невеликому надлишковому тиску.

При застосуванні газу в електротехнічному обладнанні (крім ізоляційних) необхідно враховувати й інші властивості газів, а саме: сам газ і його продукти розкладання не мають бути токсичними; щодо застосованих в даному обладнанні матеріалів, газ має бути хімічно нейтральним; мати низьку температуру спалювання, що дозволило б використовувати його при підвищених тисках і при низьких температурах навколишнього середовища; газ має бути зі значною тепловідвідною здатністю, незначною дисоціацією, бути пожежо- і вибухобезпечним, легкодоступним і недорогим. Крім того, газ має мати добру дугогасну здатність [11–13].

Найдоступнішим газом є повітря, однак, за сукупністю вимог, воно не завжди прийнятне. Електрична міцність деяких газів і парів значно вища, ніж повітря. Але лише деякі з них задовольняють вимоги, що висуваються до електричної газової ізоляції.

Багато речовин більш-менш інтенсивно розкладаються в умовах електричного розряду, більшість з них у звичайних умовах знаходяться в рідкому стані, і нарешті, деякі з них при розкладанні виділяють вільний вуглець, який осідає на поверхні твердих елементів ізоляційних конструкцій, роблячи їх провідними.

На сьогоднішній день на об'єктах Мінпаливенерго України перебуває в експлуатації значна кількість повітряних вимикачів напругою 110–750 кВ. Так, на підстанціях 220–750 кВ їх встановлено близько 2420 одиниць, з них у 30% закінчився нормативний термін служби, а понад 10% вимикачів 220 кВ не відповідають струмам короткого замикання. Аналогічна ситуація на підстанціях 35–10–6 кВ «Обленерго».

Експлуатація повітряних вимикачів пов'язана зі значними матеріальними витратами: компресорне господарство, повітропроводи, запасні частини тощо. Багато типів вимикачів давно зняті з виробництва, відсутність запасних частин суттєво ускладнює капітальні й поточні ремонти цих вимикачів. Величезні витрати на ремонти вимикачів,

компресорного господарства дають можливість лише підтримувати їх у робочому стані, але не знижують кількості їхніх відмов у роботі [14–18].

У повітряних вимикачах дуга гаситься стисненим повітрям у спеціальних дугогасильних камерах. Струмopровідні частини і дугогасильні пристрої ізолюються порцеляною або іншими твердими ізолювальними матеріалами. [19]

Розрізняють камери повздовжнього дуття, у яких повітряний потік спрямований повздовж дугового стовпа, і поперечного дуття, у яких повітряний потік спрямований поперек дугового стовпа.

Дугогасильні камери поперечного дуття застосовуються при  $U_{\text{ном}} = 10 \dots 20$  кВ і  $I_{\text{вимк}} = 120$  кА. При розмиканні контактів між ними виникає дуга, яка гаситься поперечним потоком повітря, що подається повітропроводом. Під дією повітря в перегородках дугогасильної камери дуга приймає форму зигзагу, при цьому мають місце її подовження й ефективне охолодження. До того ж між контактами, на яких, після проходження змінного струму через нульове значення, згасає дуга та починає зростати прикладена напруга, лише частина діелектрика потребує відновлення електричної міцності, що значно зменшує можливість повторного запалювання електричної дуги. Але при цьому великі габаритні розміри камери, застосування органічної ізоляції, що стикається з дугою, обмежують її використання при напругах до 20 кВ.

Переваги камер поперечного дуття: простота, велика потужність вимикання; недоліки: великі габаритні розміри і суттєвий знос контактів через винос парів металу в атмосферу.

#### **4.1 Дугогасильні камери повздовжнього дуття**

У вимикачах на напругу більше 35 кВ застосовуються камери повздовжнього дуття з порожніми контактами. При вимкненні вимикача стиснене повітря, діючи на поршень, відводить рухомий контакт з великою швидкістю. Між нерухомим і рухомим контактами утворюється дуга. Стиснене повітря надходить до дуги перпендикулярно, а потім змінює напрямок руху на  $90^\circ$  і виходить з камери через порожнини контактів в атмосферу, створюючи могутнє повздовжнє дуття. При цьому дуга здувається з робочої поверхні контактів, завдяки чому досягається їхній малий знос. Ділянка, де відновлюється електрична міцність після проходження струму через нуль, майже повністю знаходиться між контактами, що збільшує можливість повторного запалювання електричної дуги. Ізоляційні матеріали не використовуються для спрямування розкладених продуктів дуги. Через нагрівання дугою повітря у зоні сопла, що має певний переріз (обмежену площу), відбувається притискання. У результаті швидкість потоку повітря через сопло зменшується і при певному значенні струму може знизитися до нуля, тобто відбудеться «закупорка» сопла. Подібні явища спостерігаються при вимкненні невід-



далених коротких замикань. Ефект «закупорки» залежить від трьох факторів: тиску стиснутого повітря, перерізу сопла і потужності дуги (струму).

Зі збільшенням тиску і перерізу сопла ефект «закупорки» зменшується, сила струму вимикання збільшується, однак зростає витрата повітря та об'єм баків вимикача.

Струм, що вимикається камерою повздовжнього дуття, приблизно обернено пропорціональний швидкості відновлення напруги кола. Тому при високих швидкостях відновлення напруги камера шунтована низькоомним резистором, що переводить процес відновлення в аперіодичний. Струм, обмежений резистором, вимикається допоміжним розривом.

При тиску в бакові 2 МПа найбільша напруга, при якій може працювати одна камера, не перевищує 50...60 кВ. Удосконалення камери і збільшення тиску в бакові до 4 МПа – дозволяють підвищити напругу до 125 кВ. При більшій напрузі вимикача кілька камер з'єднують послідовно і застосовують шунтувальні дільники, що забезпечують рівномірний поділ напруги між камерами.

Переваги камер повздовжнього дуття – малий знос контактів і довговічність. Вимикачі з такими камерами і віддільниками, що наповнені повітрям, легко послідовним з'єднанням елементів. Недоліком є чутливість до високої швидкості відновлення напруги. Це має особливе значення при вимкненні невіддалених коротких замикань. Для полегшення гасіння дуги швидкість відновлення напруги на проміжку зменшують послідовним з'єднанням розривів.

Конструктивні особливості схем повітряних вимикачів різні і залежать від номінальної напруги, способів створення ізоляційного проміжку між контактами у вимкненому положенні і подачі повітря в камеру, вимог до швидкодії.

У вимикачах на великі номінальні струми є контури: головний і дугогасильний. У вимкненому положенні основна частина струму проходить по головних контактах, розташованих відкрито. При вимкненні вимикача контакти розмикаються першими, після чого весь струм проходить по дугогасильних контактах, розташованих у камері. До моменту розмикання цих контактів у камеру з резервуара подається стиснене повітря, що гасить дугу. Дуття може бути повздовжнім або поперечним [20–23].

Необхідний ізоляційний проміжок між контактами створюється в камері розведенням їх на достатню відстань або спеціальним віддільником. Після вимкнення віддільника подача стисненого повітря в камери припиняється, і дугогасильні контакти замикаються. Вимикачі такої конструктивної схеми виготовляють для внутрішнього встановлення на напругу 10...20 кВ і 35 кВ (серія ВВЕ) і силу струму до 20 кА (серія ВВГ).

#### 4.1.1 Бакові повітряні вимикачі серії ВНВ

Вимикачі серії ВНВ мають збільшений дворозривний дугогасильний модуль на напругу 220÷250 кВ. Всі вимикачі цієї серії напругою 110÷1150 кВ компонуються резервуаром, шафою керування і опорною ізоляційною колоною, на якій змонтований дугогасильний модуль. Поліс вимикача на 220 кВ має одну опорну колонку з одним дворозривним модулем (рис. 4.1), на 500 кВ – дві опорні колонки і два модулі, на 750 кВ – три колонки і три модулі, на 1150 кВ – п'ять колонок і п'ять модулів.

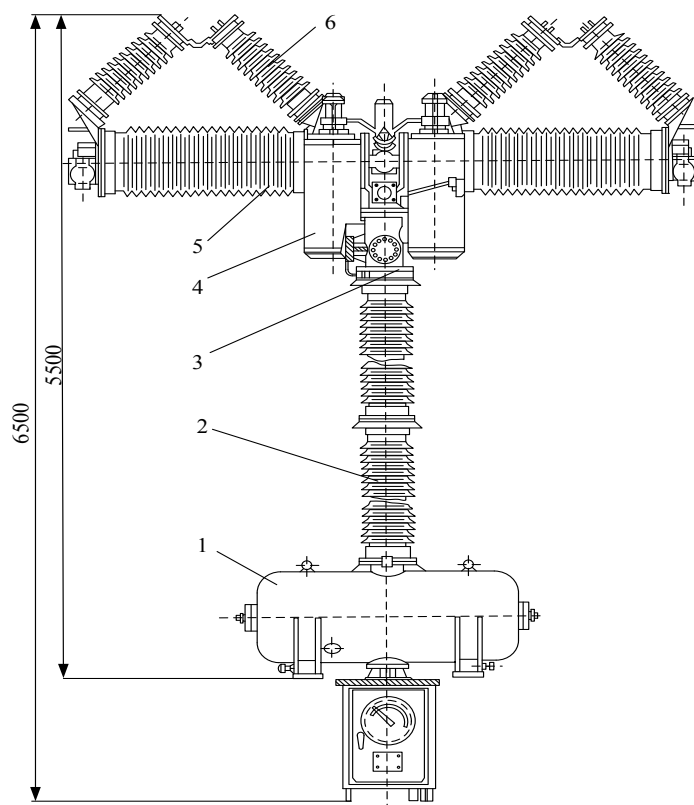


Рисунок 4.1 – Поліс повітряного вимикача ВНВ–220: 1 – резервуар; 2 – ізолятор; 3 – механізм привода; 4 – блок шунтувальних резисторів; 5 – гасильна камера; 6 – конденсатор

Дугогасильний модуль – це дворозривна дугогасильна камера, контактна система якої знаходиться постійно в середовищі стисненого повітря (4 МПа) як у ввімкненому, так і у вимкненому станах. Контакти змонтовані в металевому резервуарі, на якому розміщені контейнери з шунтувальними резисторами і механізмами їх комутування, також заповненими стисненим повітрям. Струмоведучі частини приєднані до контактної системи за допомогою ізолювальних введів. Гасіння дуги в камері здійснюється двостороннім дуттям стиснутим повітрям, яке викидається через внутрішні порожнисті контакти і вихлопні клапани в атмосферу. Контакти мають двокроковий рух: при гасінні дуги розрив між контактами має мінімальне значення, чим забезпечується інтенсивне дуття.

Після закінчення гасіння дуги рухомий контакт зміщується на максимальну відстань, забезпечуючи необхідну електричну міцність повітряного проміжку [24–25].

Позначення вимикача цієї серії розшифровується так: вимикач зовнішнього встановлення, повітряний. Числа, що йдуть за цими буквами, позначають: перше – номінальна напруга, кВ; друге – номінальний струм, А; третє – номінальний струм відключення, кА. Після чисел, що вказують номінальний струм, можуть стояти літери, що позначають спеціальне виконання (Б – категорія за довжиною шляху витoku по поверхні зовнішньої ізоляції; ХЛ – кліматичне виконання категорії 1, характерне для мікрокліматичних районів з холодним кліматом, в яких середня температура в найбільш холодний період протягом доби  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; категорія один означає, що вимикач призначений для роботи на відкритому повітрі за ГОСТ 15543–70 і 15150–69). Наприклад, тип вимикача ВНВ–330–3200Б–40У1 розшифровується так: вимикач зовнішнього встановлення, повітряний, на номінальну напругу 330 кВ, номінальний струм 3200 А, категорія ізоляції Б за ГОСТ 9920–75; номінальний струм відключення 40 кА, кліматичне виконання У за ГОСТ 15150–69, категорія розміщення 1 за ГОСТ 15150–69.

Вимикач призначений для комутаційних операцій (вмикань і вимикань) в нормальних і аварійних режимах електричних мереж змінного струму частотою 50 Гц при номінальній напрузі відповідно 500, 750 і 1150 кВ і струмі вимикання 40 і 63 кА. Кліматичне виконання за ГОСТ 15150–69, робочу температуру навколишнього повітря беруть від  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  для виконання У і від  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  для виконання ХЛ до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Висота над рівнем моря не більше 1000 м.

Кожен вимикач містить три окремих полюси, які механічно не зв'язані між собою. Винятком є вимикач 110 кВ, що має триполюсне виконання. Вимикач комплектується однією розподільною шафою, розділеною на електричну і пневматичну секції. Дугогасильні пристрої вимикачів шунтовані конденсаторами і одночасно виконують функції відділювачів. Дугогасильний пристрій двостороннього дуття має два головних розриви. Розмикання допоміжних контактів відбувається через 0,02 с після розмикання головних контактів. Дугогасильний пристрій розташований на ізоляторі, всередині якого проходять ізоляційні трубки для подачі стисненого повітря в дугогасильні камери і для управління дуттьовим клапаном.

Таким чином, дугогасильна камера, в якій контакти постійно знаходяться в середовищі стисненого повітря як у ввімкненому, так і у вимкненому положенні, ізолювана від опорних частин вимикача.

Фарфорові ізолятори вимикача не піддаються тиску стисненого повітря. Вимикачі розраховані на виконання циклу швидкодійного автоматичного повторного вмикання (БАПВ). Час вимикання вимикача 0,04 с, час вмикання – 0,1 с. Вимикачі серії ВНВ уніфіковані. Один дугогасильний модуль – це вимикач 250 кВ. Вимикачі на напруги 500 кВ

складаються з двох модулів, на 750 кВ – з трьох модулів. Вимикач ВНВ–750–3200 складається з дугогасильного пристрою, опорної колонки, високовольтних екранів, фарфорових розтяжок, резервуару стисненого повітря, розподільної шафи і розташованої на візку вимикача шафи керування.

#### **4.1.2 Повітряні вимикачі генераторної напруги**

Повітряні вимикачі серії ВВГ–20 використовуються для встановлення в колах потужних генераторів і розраховані на струм до 20000 А (рис. 4.2).

У вимикачах для дугогасильна камера може бути розташована всередині порцелянового ізолятора, причому на напругу 35 кВ досить мати один розрив, на напругу 110 кВ – два розриви на фазу. У вимикачах на напругу 35 кВ ізоляційний проміжок створюється в камері 2, а у вимикачах на напругу 110 кВ і вище після гасіння дуги контакти віддільника 5 розмикаються, і камера віддільника залишається заповненою стисненим повітрям на весь час вимкнення, при цьому в дугогасильну камеру повітря не подається і контакти в ній замикаються. За конструктивною схемою створені вимикачі серії ВВ на напругу до 500 кВ. Чим більше  $U_{\text{НОМ}}$  і вимикальна потужність, тим більше розривів потрібно мати в дугогасильній камері і у віддільнику (на 330 кВ – 8, на 500 кВ – 10).

У розглянутих конструкціях повітря подається в камери з ізолятора 1, розташованого на фундаменті вимикача. Якщо контактну систему помістити в резервуар стисненого повітря, ізольований від землі, швидкість гасіння дуги значно збільшиться. Цей принцип закладений в основу вимикачів серії ВВБ, у яких немає віддільника. При вимкненні вимикача дугогасильна камера 2, що є одночасно резервуаром стисненого повітря 1, сполучається з атмосферою через дуттєві клапани, завдяки чому створюється дуття, що гасить дугу. У вимкненому положенні контакти знаходяться в середовищі стисненого повітря. За такою конструктивною схемою створені вимикачі напругою до 1150 кВ. Кількість дугогасильних камер (модулів) залежить від напруги: 110 кВ – одна; 220, 330 кВ – дві; 500 кВ – чотири; 750 кВ – шість (ВВБК).

Для рівномірного розподілу напруги на розривах дугогасильних камер застосовують омичні 3, а на розривах камер віддільників – ємнісні 6 дільники напруги.

Головний струмоведучий контур складається з контактних виводів 4 і роз'єднувача 5. Дугогасильний контур складається з двох камер 3 і 8, резисторів 2 та відділювача 9. Послідовно з резистором 2 другої камери ввімкнена допоміжна камера 6 зі своїм резистором 7 та іскровим проміжком. У ввімкненому положенні основна частина струму проходить по головному контуру.

Вимикання відбувається в такому порядку: розмикаються контакти роз'єднувача 5, і весь струм переходить в дугогасильний контур, де розмикаються дугогасильні контакти в камерах 3 і 8. До цього в камери

подається стиснене повітря (2 МПа), створюючи поздовжнє дуття, через що дуга гасне за 0,01 с. Струм, який проходить через резистори 2, розривається контактами допоміжної камери 6. При цьому можливі 2 випадки.

Якщо вимикач вимикає великий струм КЗ, а реактивний опір кола значно менший активного опору шунтувальних резисторів 2, то швидкість відновлювальної напруги на контактах допоміжної камери велика. В цьому випадку після гасіння дуги на контактах камери 6 пробивається іскровий проміжок і паралельно контактам вмикається шунтувальний резистор 7. При подальшому переході струму через нуль дуга на іскровому проміжку гаситься потоком стисненого повітря.

Останнім вимикається ніж відділювача, створюючи остаточний розрив електричного кола. Після вимкнення відділювача переривається подавання повітря в камери 3 і 8, і рухомі контакти під дією пружини повертаються у ввімкнене положення. Повний час вимкнення такого вимикача не перевищує 0,17 с. При вмиканні вимикача замикається спочатку ніж відділювача 9, а потім ніж роз'єднувача 5. Гасильні камери та резистори закріплені на опорних ізоляторах 1.

Виконання операцій увімкнення і вимкнення та послідовність роботи окремих вузлів вимикача забезпечується пневматичною системою керування полюсом. Розглянутий вимикач не використовується для виконання операцій АПВ. В колах генераторів знаходять застосування спеціальні вимикачі навантаження типу ВНСГ номінальною напругою  $U_{ном} = 15$  кВ. Такі вимикачі розраховані на увімкнення генераторів при самосинхронізації ( $i_{вкл} = 115$  кА) і витримують великі наскрізні струми КЗ ( $i_{пр,с} = 480$  кА). Таким вимикачем можна вмикати і вимикати генератор під навантаженням ( $I_{ном} = 12000$  А), а також вимикати струми коротких замикань до 31,5 кА. Вимикач ВНСГ компактно встановлюється в комплектний струмопровід генераторного розподільного пристрою. Гасіння дуги здійснюється стисненим повітрям під тиском 0,6 МПа.

#### 4.2 Умови вибору повітряних вимикачів серій ВНВ-220 та ВВГ-20

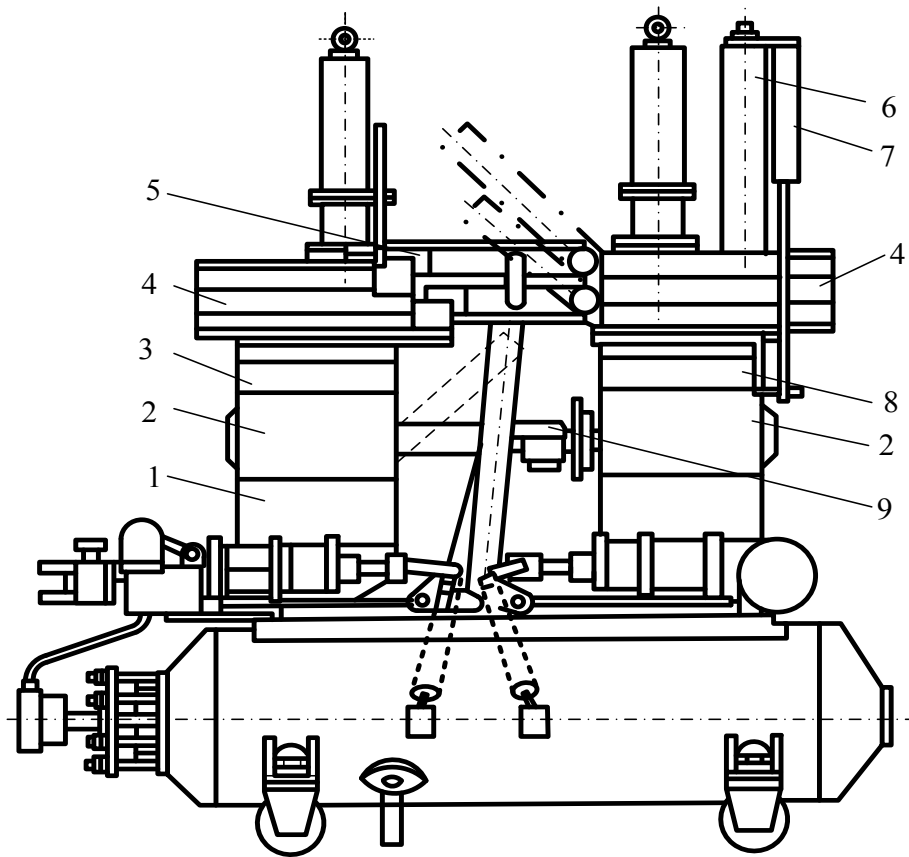
У загальних відомостях про вимикачі розглянуті ті параметри, що характеризують вимикачі за ГОСТ 687–78Е. При виборі вимикачів необхідно врахувати 12 різноманітних параметрів, але, оскільки заводами-виробниками гарантується певна залежність параметрів, наприклад:

$$I_{вкл,ном} \geq I_{вим,ном}; \quad (4.1)$$

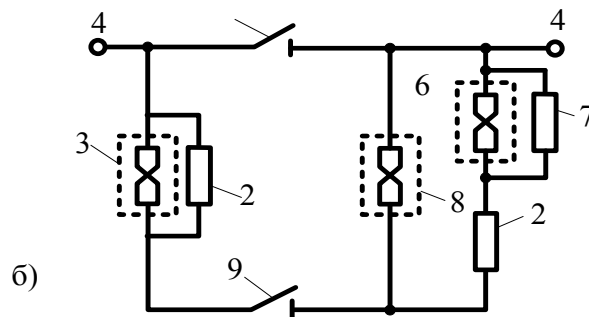
$$i_{вкл,ном} \geq 1,8\sqrt{2} I_{вим,ном}, \quad (4.2)$$

то припустимо робити вибір вимикачів за найважливішими параметрами:

- напругою встановлення  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
- тривалим струмом  $I_{ном} \leq I_{ном}$ ;  $I_{тах} \leq I_{ном}$ ;
- вимикальною здатністю.



а)



б)

Рисунок 4.2 – Повітряний вимикач ВВГ–20: а – загальний вигляд, б – схема електрична функціональна

В першу чергу проводиться перевірка на симетричний струм вимкнення за умовою:

$$I_{n, \tau} \leq I_{\text{вим, ном}} \quad (4.3)$$

Потім перевіряється можливість вимкнення аперіодичної складової струму КЗ

$$i_{a, \tau} \leq i_{a, \text{ном}} = \sqrt{2} \beta_{\text{н}} I_{\text{отк, ном}} / 100, \quad (4.4)$$

де  $i_{a,ном}$  – номінальне допустиме значення аперіодичної складової вимикального струму для часу  $\tau$ ,

$\beta_n$  – нормоване значення кількості аперіодичної складової у вимикальному струмі, %;

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

$\tau$  – найменший час від початку КЗ до моменту розходження дугогасильних контактів:

$$\tau = t_{3,min} + t_{c,в}; \quad (4.5)$$

де  $t_{3,min} = 0,01$  с – мінімальний час дії релейного захисту;

$t_{c,в}$  – власний час вимкнення вимикача.

Якщо дотримується умова

$$I_{n,\tau} \leq I_{вимк,ном}, \quad (4.6)$$

а  $i_{a,\tau} > i_{a,ном}$ , то можна перевірку робити за вимикальною здатністю при повному струмі КЗ:

$$(\sqrt{2} I_{n,\tau} + i_{a,\tau}) \leq \sqrt{2} I_{вимк,ном} (1 + \beta_n/100). \quad (4.7)$$

За вимикальною здатністю перевірка проводиться за умови:

$$i_y \leq i_{вв}; \quad I_{n,0} \leq I_{вв}, \quad (4.8)$$

де  $i_y$  – ударний струм КЗ у ланці вимикача;

$I_{n,0}$  – початкове значення періодичної складової струму КЗ у ланці вимикача;

$I_{вв}$  – номінальний струм вмикання (діюче значення періодичної складової);

$i_{вв}$  – найбільший пік струму вмикання (за каталогом).

Заводи-виробники дотримуються умови

$$i_{вв} \geq 1,8 \sqrt{2} I_{вв}, \quad (4.9)$$

де  $1,8 = k_y$  – ударний коефіцієнт, нормований для вимикачів. Перевірка за двома умовами необхідна тому, що для конкретної системи  $k_y$  може бути більший за 1,8.

На електродинамічну стійкість вимикач перевіряється за граничними наскрізними струмами КЗ:

$$I_{n,0} \leq I_{дин}; \quad i_y \leq i_{дин}, \quad (4.10)$$

де  $i_{дин}$  – найбільший пік струму (струм електродинамічної стійкості) за каталогом;

$I_{дин}$  – діюче значення періодичної складової граничного наскрізного струму КЗ.

Перевірка за двома умовами проводиться з тих же міркувань, що й зазначені вище.

На термічну стійкість вимикач перевіряється за тепловим імпульсом струму КЗ:

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}, \quad (4.11)$$

де  $B_k$  – тепловий імпульс струму КЗ за розрахунком;

$I_{тер}$  – середньоквадратичне значення струму за час його протікання (струм термічної стійкості) за каталогом;

$t_{тер}$  – тривалість протікання струму термічної стійкості за каталогом.

Перевірка вимикачів за параметрами відновлюваної напруги на контактах вимикача в навчальному проектуванні зазвичай не проводиться, оскільки в більшості енергосистем реальні умови відновлення напруги відповідають умовам випробування вимикача. Якщо виникає необхідність перевірки вимикача за параметрами відновлюваної напруги, то за конкретними даними електроустановки – потужністю джерел, реактивними опорами, ємностями трансформаторів, шин, апаратів і т. д. – роблять розрахунок і побудову кривої перехідного процесу відновлюваної напруги (ПВН). Відповідно до ГОСТ 687–78Е ця крива не має перетинатися з нормованими кривими ПВН.

Елегаз являє собою сполуку, що має хімічну формулу  $SF_6$ . Це безбарвний газ без запаху щільністю 6,52 кг/м<sup>3</sup> при нормальному атмосферному тиску і температурі 0 °С, приблизно в п'ять разів важчий повітря. Елегаз містить 21,95% сірки і 78,05% фтору.

Як і вуглекислий газ, при атмосферному тиску елегаз може знаходитися тільки в газоподібному і твердому станах. При тиску 10<sup>5</sup> Па температура переходу з твердого стану в газоподібне (температура сублімації) дорівнює 63,8 °С. При тисках вище 2,28×10<sup>5</sup> Па, залежно від температури, елегаз може знаходитися в усіх трьох агрегатних станах. При такому тиску температура точки скраплення дорівнює –50,8 °С (для води, вільної від повітря, точка скраплення має місце при температурі +0,01 °С і тиску 611 Па).

Елегаз може бути зріджений тиском, що дозволяє транспортувати його в балонах у рідкому стані. Порівняно з повітрям елегаз має такі переваги:

- електрична міцність у 2,3–2,5 раза вища ніж у повітря. При тиску 2×10<sup>5</sup> Па міцність елегазу наближається до міцності трансформаторної оливи;



- висока питома об'ємна теплоємність (майже в 4 рази вища, ніж повітря) дозволяє збільшити навантаження струмоведучих частин, зменшити масу міді в комутаційному апараті;

- дугогасна здатність камери подовжнього дуття з елегазом у 5 разів вища, ніж з повітрям;

- мала напруженість електричного поля в стовпі дуги, завдяки чому різко скорочується знос контактів. Зменшується ефект термодинамічної «закупорки» сопла. Це дозволяє збільшити відстань між контактами, підвищити напруги на кожному контактному проміжку, збільшити допустиму швидкість відновлення напруги на проміжку;

- елегаз є інертним газом, який не вступає в реакцію з киснем, воднем, слабо розкладається дугою. Сам елегаз не токсичний, хоча деякі його продукти розкладу небезпечні.

До недоліків елегазу варто віднести високу температуру його скраплення. Так при тиску  $13,1 \times 10^5$  Па з газоподібного стану в рідкий елегаз переходить при температурі  $0^\circ\text{C}$ . Це вимагає або підігріву, або використання елегазу при більш низькому тиску. При тиску  $3,5 \times 10^5$  Па температура скраплення складає мінус  $40^\circ\text{C}$ . До недоліків також варто віднести складність і енергозатратність одержання гарних результатів – потрібен елегаз з високою чистотою (без домішок).

Елегазові вимикачі – це замкнена система без викидів газу в навколишнє середовище. В елегазі при атмосферному тиску можна погасити електричну дугу зі струмом у 100 разів більшим, ніж у повітрі за тих же умов. Виняткова електрична міцність елегазу пояснюється тим, що його молекули стримують рух електронів у дуговому стовбурі і утворюють відносно нерухомі негативні іони. Втрата електронів робить електричну дугу нестійкою, і її значно легше погасити.

Дугогасна здатність елегазу, як і будь-якого газу, найбільш ефективно використовується в тому випадку, коли потік газу з великою швидкістю обтікає палаючу дугу. В елегазових вимикачах застосовують такі конструктивні виконання:

– вимикачі з автогазовим дуттям (примусове дуття в таких апаратах створюється за рахунок енергії дуги);

– вимикачі з переміщенням дуги в елегазі (за рахунок взаємодії струму дуги з магнітним полем);

– вимикачі, в яких гасіння дуги здійснюється за рахунок інтенсивного дуття, створюваного при переході газу з резервуара з високим тиском у резервуар з низьким (система з подвійним тиском).

### 4.3 Дугогасильні системи елегазових вимикачів

В елегазових вимикачах застосовуються, в основному, два принципи гасіння дуги. Перший принцип такий же, що і в повітряному вимикачі, тобто, дуга охолоджується елегазом при перетіканні його з резервуара високого тиску (близько 2 МПа) в резервуар низького тиску (0,3 МПа). Другий принцип – автокомпресійний, тобто перепад тиску, необхідний для гасіння дуги, створюється спеціальним компресійним пристроєм, механічно зв'язаним з рухомим контактом вимикача. Початковий тиск –  $0,3 \div 0,4$  МПа, а в процесі гасіння маємо перепад тиску  $0,6 \div 0,8$  МПа [26–28].

Крім цих двох основних способів, в елегазових дугогасильних камерах іноді застосовуються й деякі інші способи дугогасіння. Зокрема, останнім часом застосовується спосіб, оснований на принципі електромагнітного дуття в камерах з елегазом та на тепловій дії дуги. Наприклад, у дугогасильних пристроях, що використовують теплову дію дуги, одночасно виникають дві дуги. Одна – головна, вимикальна, і допоміжна, які горять одночасно в двох різних відсіках. Причому, вимикальна дуга зазнає обдування елегазом, що витікає з відсіку допоміжної дуги під впливом тиску газу, який там генерується. Іноді для вимкнення відносно невеликих навантажувальних струмів застосовується нехитрий спосіб комутації, оснований на простому розриві кола в середовищі нерухомого елегазу, що знаходиться під помірним тиском.

Такий спосіб електромагнітного дуття застосовують переважно у вимикачах навантажень.

Вимикачі з двома рівнями тисків були обладнані автономною системою компресорного господарства, яка починає діяти автоматично після кожного вимкнення. При цьому компресор відкачує надмірний елегаз з резервуарів низького тиску і, пропускаючи його через фільтр з активованим окислом алюмінію, направляє його знову в систему високого тиску, поповнюючи запас. Оскільки елегаз при абсолютному тиску 1,6 МПа перетворюється на рідину вже при температурі близько  $+10$  °С, передбачено спеціальну систему обігріву.

Для рівномірного розподілу напруги на кожному з трьох послідовно ввімкнених дугогасильних розривах полюса на вимикачі передбачено ємнісні подільники напруги. Створення належного електричного поля в проміжках між частинами апарата, що знаходяться під високим потенціалом, і заземленим баком досягається за допомогою електростатичних екранів.

Для запобігання конденсації елегазу при низьких температурах вимикач оснащений спеціальними підігрівачами, розташованими у

резервуарах високого тиску, встановлених на візку. Система підігрівання вмикається при зниженні температури навколишнього повітря нижче чи до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і підтримує температуру елегазу в системі високого тиску на цьому рівні незалежно від навколишньої температури аж до її граничного нижнього значення для цього вимикача, що дорівнює  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При комутації вимикачем номінального струму вимкнення час дугогасіння становить  $5\div 10$  мс, при цьому дуга витягується на  $15\div 50$  мм. Час вимкнення вимикача – два або три періоди.

Елегазові вимикачі з автокомпресійними дугогасильними камерами свого час були не зовсім точно класифіковані як вимикачі з одним тиском газу, оскільки елегаз, що знаходиться в цих апаратах протягом більшого часу, залишається під одним і тим самим постійним тиском. Абсолютний тиск елегазу в цих вимикачах найчастіше лежить в діапазоні від 0,3 до 0,6 МПа, причому одне з основних призначень елегазу тут – це належна ізоляція окремих елементів вимикача, що знаходяться в робочому стані під різними електричними потенціалами [29].

Короткочасне стиснення елегазу виконується в цих апаратах автоматично при виконанні ними операції вимикання, коли із просуванням рухомої контактної системи одночасно відбувається імпульсне стиснення газу в обмеженій порожнині дуттєвої системи. Останнє досягається насунанням рухомого циліндра разом із закріпленими на ньому контактами на нерухомий поршень або, навпаки, переміщенням поршня всередині нерухомого циліндра. Незалежно від способу створення підвищеного тиску стислий елегаз в обох випадках спрямовується з дуттєвої системи по напрямних каналах в зону дугогасіння. Витікаючи через систему дугогасильних сопел назовні, в порожнину камери, стислий елегаз обдуває на своєму шляху дугу, сприяючи інтенсивній деіонізації міжконтактного проміжку.

На рис. 4.3 верхня половина дугогасильного пристрою показана у ввімкненому положенні, а нижня – у вимкненому. Всередині герметичної ізоляційної камери 1, заповненої елегазом, встановлено два соплоподібних нерухомих контакти 2 і 4 та нерухомий дуттєвий поршень 5. Коло струму при ввімкненому положенні вимикача утворено ковзним нерухомим контактним містком 3, жорстко приєднаним до пересувного дуттєвого циліндра 6. При вимкненні струму тяга 7 пересуває дуттєвий циліндр і контактний місток вправо. В робочому об'ємі циліндра підвищується тиск. Дуга, що виникає між контактним містком і лівим соплом, потоком стислого елегазу затягується всередину сопел. Двостороннє поздовжнє дуття інтенсивно впливає на стовбур дуги, яка гасне під час одного з переходів струму через нуль.

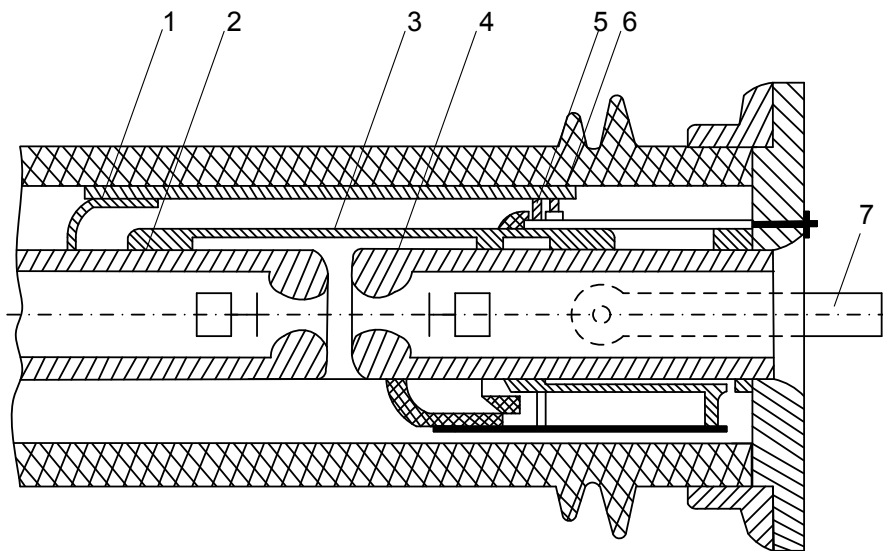


Рисунок 4.3 – Дугогасильний пристрій елегазового вимикача  
 1 – ізоляційна камера, 2, 4 – нерухомі контакти, 3 – контактний місток,  
 5 – дугтєвий поршень, 6 – дугтєвий циліндр, 7 – тяга

В кінці ходу циліндра на вимкнення між соплами залишається вільний ізоляційний проміжок, що забезпечує необхідну електричну міцність. Відпрацьований елегаз скидається під оболонку ізоляційної камери.

На рис. 4.4 наведена інша схема дугогасильної камери елегазових вимикачів (з ізоляційним соплом).

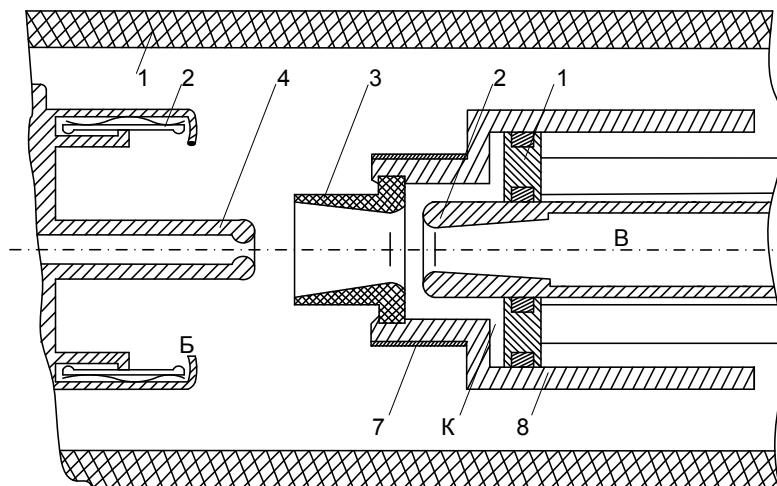


Рисунок 4.4 – Дугогасильний пристрій елегазового вимикача з ізоляційним соплом: 1 – поршні; 2, 4 – дугогасильні контакти; 3 – ізоляційне сопло; 7 – головні контакти; 8 – дугогасильний циліндр; К, Б, В – порожнини

Апарат знаходиться у вимкненому положенні. Головні контакти і дугогасильні контакти знаходяться в розімкненому стані. У порожнинах К, Б, В тиск елегазу однаковий. Ізоляційна покривка відокремлює

порожнини елегазового вимикача від зовнішнього простору. При подачі команди на ввімкнення зовнішній привод забезпечує переміщення справа наліво рухомої системи елегазового вимикача: пересувного дугогасильного циліндра 8, пересувного головного 7 і дугогасильного 2 контактів, які жорстко зв'язані через тягу з силовим приводним механізмом. Спочатку замикаються дугогасильні контакти; потім – головні контакти. Вся пересувна система рухається відносно нерухомого поршня нерухомих контактів. У положенні «ввімкнено» струм проходить по головних контактах, а тиск в порожнинах однаковий. При подачі команди на вимкнення зовнішній привод забезпечує переміщення рухомої системи з великою швидкістю зліва направо. Спочатку розмикаються головні контакти, потім – дугогасильні. Зменшення об'єму порожнини К камери (поршень 1 нерухомий) викликає підвищення тиску елегазу в цій порожнині. Як впливає з рис. 4.4, дугогасильні контакти розмикаються з затримкою часу ходу. Після розмикання контактів 2, 4 починається витікання елегазу через сопло пересувного контакту 2 та ізоляційне сопло 3, де і відбувається гасіння дуги під дією двостороннього поздовжнього дуття. Додаткове дуття через канал невеликого діаметра (порівняно з діаметром основного сопла) в нерухомому дугогасильному контакті 4 може сприяти вимиканню малих струмів на початковій стадії вимкнення, а також створювати сприятливі умови для залишкового стовбура дуги поблизу краю дугогасильного контакту 4. Після закінчення переміщення рухомої системи витікання елегазу припиняється, тиск в порожнинах дугогасильної камери стає таким, що дорівнює початковому.

#### **4.3.1 Конструкції елегазових вимикачів ВАТ «Уралэлектротяжмаш» та «Электроаппарат»**

В даний час в розподільні мережі постачаються елегазові вимикачі для генераторних установок та вимикачі напругою 35 кВ, 110÷750 кВ російського виробництва ВАТ «Уралэлектротяжмаш» та «Электроаппарат». В розподільних мережах напругою 35 кВ застосовують елегазові бакові зовнішнього встановлення серії ВГБ–35, які призначені для комутації електричних кіл при нормальних і аварійних режимах, а також для роботи в стандартних циклах при АПУ в мережах трифазного змінного струму частотою 50 і 60 Гц. Вимикачі можуть працювати в широкому діапазоні кліматичних умов: від районів Крайньої Півночі (нижнє робоче значення температури навколишнього середовища до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до районів з тропічним кліматом (верхнє робоче значення температури  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Основні переваги ВГБ-35:

– повна заводська готовність, що забезпечує простий і швидкий монтаж, вимикач постачається повністю відрегульованим, заповненим елегазом до робочого тиску;

– відсутність динамічних навантажень на фундамент при роботі (встановлення на одній опорі з полегшеним фундаментом);

– прості і надійні дугогасильні пристрої, що містять мінімально можливу кількість рухомих елементів і обертання електричної дуги. Цей спосіб гасіння гарантує відсутність перенапруг навіть при вимкненні малих індуктивних струмів і вимкненні без повторних пробоїв ємнісних струмів до 630 А;

– великий механічний і комутаційний ресурси, що забезпечують за нормальних умов експлуатації роботу без ремонту протягом всього терміну служби вимикача;

– наявність єдиного на вимикач динамічного ущільнення з «рідинним затвором» і високотехнологічного алюмінієвого зварного бака гарантує знижений рівень природних витоків елегазу;

– висока надійність: навіть при спаді надмірного тиску елегазу до нуля вимикач витримує тривалу дію напруги 52 кВ і вимикає струми навантаження до 630 А;

– використання чистого елегазу у виконанні ХЛ1 (до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ );

– 12 вбудованих трансформаторів струму, що дозволяють в більшості випадків відмовитися від застосування виносних трансформаторів струму зовнішнього встановлення;

– вибухо- та пожежобезпека.

До складу вимикача (рис. 4.5) входять привод, шість високовольтних вводів з вбудованими трансформаторами струму і один газощільний алюмінієвий зварний бак, усередині якого розміщені трифазні дугогасильні пристрої. Дугогасильні пристрої, що містять нерухомий і рухомий контакти, а також котушки магнітного дуття, використовують для гасіння спосіб обертання електричної дуги в магнітному полі, створюваному струмом, такому, що протікає через котушки. Рухомі контакти, розташовані під кутом  $120^{\circ}$ , жорстко закріплені на кінцях трипроменевої ізоляційної траверси, встановленої безпосередньо на центральному поворотному валові бака вимикача. Простота дугогасильних пристроїв, що мають мінімально можливу кількість рухомих елементів, є основою їх надійної роботи.

Підігрівальний пристрій, розміщений під дном бака, забезпечує можливість роботи вимикача, заповненого чистим елегазом, в умовах низьких температур (до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Єдине на вимикач динамічне ущільнення розміщене на центральному поворотному валові. Вал, встановлений на підшипниках кочення, ущільнюється системою з чотирьох манжет і «рідинного затвора». Багаторічна практика успішного застосування такого способу герметизації газу гарантує надійність тривалої роботи динамічного ущільнення в будь-якому діапазоні температур навколишнього повітря.

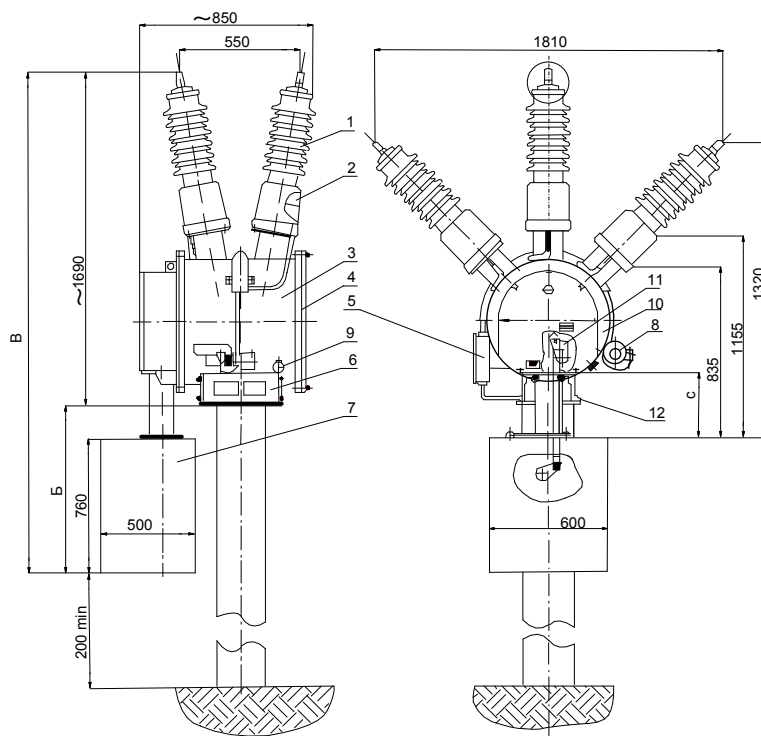


Рисунок 4.5 – Загальний вигляд і габаритні розміри вимикача ВГБ–35:

- 1 – вводи; 2 – трансформатор струму; 3 – бак; 4 – фланець;  
 5 – клемна коробка; 6 – пристрій підігрівача; 7 – шафа з приводом;  
 8 – сигналізатор густини; 9 – клапан автономної герметизації; 10 – кришка;  
 11 – механізм; 12 – болт заземлення

Вимикач забезпечений сигналізатором густини елегазу з пристроєм температурної компенсації, що приводить показники тиску до температури +20 °С. Сигналізатор забезпечує візуальний контроль за рівнем густини елегазу і має дві уставки: попереджувальний сигнал про необхідність поповнення елегазу і сигнал на блокування (заборона операції або примусового вимкнення з заборорою на ввімкнення). Уставки спрацьовують на замикання при зниженні густини елегазу (спаді тиску).

З'єднання сигналізатора густини з газовою порожниною забезпечується через клапан автономної герметизації, який дозволяє, за необхідності, знімати сигналізатор для перевірки або заміни без розгерметизації порожнини бака вимикача.

Для заповнення бака елегазом і його спорожнення також є клапан автономної герметизації. Високовольтні вводи вимикача мають комбіновану ізоляцію. Основою вводу служить епоксидна втулка з залитим центральним струмоведучим мідним стрижнем.

На розташованій поза баком вимикача стороні втулки вводу розміщений блок вбудованих трансформаторів струму, закритий захисним кожухом, і фарфоровий ізолятор. Порожнина між литою епоксидною

втулкою і фарфоровим ізолятором загерметизована – заповнена спеціальною густою ізоляційною рідиною (вініполом).

Можливість доступу до клемних рядів блоків вбудованих трансформаторів струму дозволяє, за необхідності, проводити зміну коефіцієнта трансформації простим перемиканням відгалужень без розбирання вимикача.

Вимикач комплектується електромагнітним приводом, виготовленим в одному з трьох виконань:

- ПЕМ–1 (позначення вимикача ВГБЕ–35) – привод з живленням електромагнітів від джерела постійного струму;

- ПЕМ–2 (позначення вимикача ВГБЕ–35) – привод з живленням електромагніту вимкнення і контактора від джерела постійного струму та електромагніту ввімкнення від джерела змінного струму (зокрема залежного) через вбудований в привод випрямляч;

- ПЕМ–3 (позначення вимикача ВГБЕП–35) – привод з живленням електромагнітів і контактора від джерела змінного струму (зокрема залежного) через вбудовані у привод випрямлячі. Цей привод укомплектований блоком розчеплювачів (реле прямої дії): два струмових розчеплювачі на 5 А (або 3 А) і один розчеплювач незалежного живлення на 220 В (або 110 В) змінного або постійного струму. На додаткове замовлення привод може комплектуватися пружинною приставкою, що дозволяє виконувати оперативне ввімкнення вимикача за відсутності живлення вторинних кіл. Такий набір функцій забезпечує в приводі ПЕМ–3 поєднання якостей, властивих як електромагнітним приводам (простота і надійність), так і пружинним приводам (автономність).

Вимикач має такі показники надійності й довговічності:

- ресурс за механічною стійкістю до капітального ремонту – 5000 циклів «увімкнення – довільна пауза – вимкнення» ( $U-t_{\text{дп}}-B$ ).

- кількість операцій вимкнення (ресурс за комутаційною стійкістю), що допускається для кожного полюса вимикача без огляду і ремонту дугогасильних пристроїв, контактів і заміни елегазу, становить не менше:

- при струмах в діапазоні понад 60 до 100% номінального струму вимкнення – 33 операції;

- при струмах в діапазоні від 30 до 60% номінального струму вимкнення – 70 операцій;

- при номінальному струмі навантаження – 2000 операцій (зокрема операцій вимкнення струмів ємностей до 600 А окремих конденсаторних батарей).

Допустиме додаткове число операцій увімкнення становить 50% від вказаного числа операцій вимкнення (при номінальному струмі навантаження – 100%).



### 4.3.2 Конструкції елегазових вимикачів компанії АВВ

Дедалі ширше застосування в Україні знаходять елегазові вимикачі напругою 110÷750 кВ, які виготовляє всесвітньо відома компанія АВВ Power Technology Products (Швеція). Нині АВВ випускає два типи вимикачів: серії LTB – з автокомпресійною дугогасильною камерою та серії HPL – з компресорною дугогасильною камерою [30–31]. Обидва типи вимикачів оснащені механізмом керування, що має моторно-пружинний привод. Технічні характеристики обох типів вимикачів відповідають вимогам міжнародних стандартів (МЕК) і ГОСТ 687–87 (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вимикачі серії LTB та HPL та їх технічні характеристики

Номенклатура	Тип	Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А	Номінальний струм, вимикання А
Колонковий вимикач серії LTB - елегазовий з автокомпресійною дугогасильною камерою, з механізмом, що має моторно-пружинний або електромоторний привод	LTB D1/B	170	3150	40
	LTB E1	245	4000	50
	LTB E2	550	4000	50
Колонковий вимикач серії HPL - елегазовий з компресійною дугогасильною камерою, з механізмом, що має моторно-пружинний привод	HPL B1	300	4000	63
	HPL B2	550	4000	63
	HPL B4	800	4000	63

Компанія АВВ розробляє і випускає елегазові колонкові вимикачі HPL (рис. 4.6) на напругу 72,5÷800 кВ.

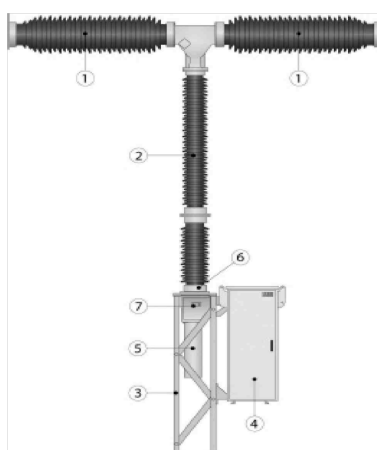


Рисунок 4.6 – Вимикач типу HPL B2 напругою 500 кВ:

- 1 – дугогасильна камера; 2 – опорний ізолятор; 3 – опорна конструкція;  
4 – шафа з приводом типу BLG; 5 – вимикальна пружина; 6 – монітор щільності газу (з протилежного боку); 7 – показчик положення вимикача

Основна серія вимикачів HPL охоплює діапазон номінальної напруги 123÷800 кВ, має номінальні струми до 5 кА і номінальні струми вимкнення до 63 кА. Серія вимикачів типу HPL на номінальну напругу 72÷800 кВ і струм вимкнення до 63 (80) кА задовольняє високі вимоги. Вони створені на базі останніх розробок в галузі дослідження властивостей діелектриків і фізики дуги.

Вимикачі HPL працюють від приводів типу BLG зі зведенням пружин електродвигунами. Конструкція вимикачів HPL створена на основі добре відпрацьованої і перевіреної технології (у експлуатації знаходиться більше 12700 таких виробів).

Вимикачі HPL можуть працювати з одно- та триполюсним. Вимикачі, що мають один дугогасильний пристрій на полюс, можуть працювати в обох режимах. Вимикачі з двома дугогасильними пристроями на полюс допускають тільки на один полюс, тобто – пофазне.

Три полюси вимикача вмонтовуються на окремих полюсних опорах (див. рис. 4.6). При триполюсному режимі управління полюси вимикача і привод з'єднані між собою тягою. Кожен полюс вимикача обладнаний своєю окремою вимикальною пружиною.

Кожен полюс вимикача поміщений в заповнену елегазом герметичну колонку, що складається з дугогасильної камери, порожнистого опорного ізолятора і корпусу механізму. Експлуатаційна надійність і термін служби елегазового вимикача багато в чому залежать від здатності забезпечити герметизацію об'єму з елегазом і нейтралізувати вплив вологи та газу всередині камери.

Ризик витоку газу незначний завдяки застосуванню подвійних кільцевих ущільнень і хрестоподібних кільцевих ущільнень з нитрильного каучуку. У кожній дугогасильній камері поміщається фільтр (дисикант) абсорбції, який поглинає з елегазу залишкову вологість і затримує елегазу дугою, що утворюються в процесі горіння.

Оскільки вимикальна здатність залежить від густини елегазу, полюс вимикача HPL обладнаний монітором густини. Монітором густини є реле тиску з температурною компенсацією, тому попереджувальний сигнал і функція блокування вмикаються тільки у тому випадку, коли тиск елегазу знижується через його витікання.

Конструкція відповідає вимогам стандартів MEK і ANSI. Існують також спеціальні конструкторські рішення, відповідні вимогам інших стандартів і/або специфікацій.

Всі вимикачі типу HPL здатні вимикати струми КЗ протягом максимум 40 мс. Завдяки оптимізації конструкції контактів і швидкості їх руху також гарантовано вимикання емкісних струмів з дуже низькою вірогідністю повторних пробоїв. При вимиканні індуктивних струмів значення перенапруг невеликі завдяки оптимальному режиму гасіння дуги під час переходу струму через нульове значення.

Вимикач HPL 800 з найбільшою робочою напругою 750 кВ експлуатується в ОЕС України на підстанції Вінницька–750.

## 5 ПРИВОДИ ВИМИКАЧІВ

Привод вимикача призначений для операцій вмикання, утримання у ввімкненому положенні та вимикання вимикача. Привод – це спеціальний пристрій, що створює необхідне зусилля для здійснення перерахованих операцій. У деяких вимикачах привод конструктивно зв'язаний в одне ціле з його контактною системою (повітряні вимикачі).

Найбільша робота в існуючих конструкціях вимикачів відбувається приводом при вмиканні, оскільки при цій операції переборюється власна маса рухомих контактів, опір відмикальних пружин, тертя і сили інерції в рушійних частинах. При вмиканні на існуюче КЗ механізм приводу, крім того, має перебороти електродинамічні зусилля, які відштовхують контакти один від одного.

Операція вмикання, щоб уникнути приварювання контактів вимикача, має проводитись швидко. Чим менший час вмикання, тим менша пауза при АПВ. При вимиканні робота приводу зводиться до звільнення засувки, що утримує механізм у ввімкненому стані. Саме вимикання відбувається за рахунок сили стиснутих або розтягнутих вимикальних пружин. Залежно від джерела енергії, що витрачається на вмикання і вимикання, є ручні, пружинні, вантажні, електромагнітні та пневматичні приводи [8].

Ручні приводи застосовуються для малопотужних вимикачів, коли мускульної сили оператора достатньо для здійснення роботи вмикання. Вимикання може бути автоматичним за допомогою реле, вмонтованих у привод.

Привод ПРА–17 призначений для керування вимикачами навантаження ВВП–16, ВВП–17. Привод облаштований механізмом вільного розчіплювання і має електромагніт для дистанційного вимикання вимикача. Якщо дистанційне вимикання не передбачається, то застосовують привод без електромагніту вимикання типу ПР–17.

Вмикання та вимикання комутаційних апаратів високої напруги досягається за рахунок переміщення їх рухомих контактів: при вмиканні – до повного зіткнення з нерухомими контактами; при вимиканні – до видалення на необхідну відстань. Для виконання цих операцій кожен комутаційний апарат має приводний механізм. Цей механізм складається з вала апарата, плоских шарнірних частин, важелів, ізоляційних тяг та ін., які перетворюють обертальний рух вала апарата в переміщення його рухомих контактів.

Приведення в дію приводного механізму комутаційного апарата (поворот вала апарата) здійснюється спеціальним силовим пристроєм, так званим приводом. Привод отримує енергію від зовнішнього джерела,

перетворює її в механічну енергію і створює необхідні зусилля для переміщення ланок приводного механізму і, відповідно, контактів апарата.

Приводи комутаційних апаратів в більшості випадків являють собою окремий силовий апарат, який використовує енергію, що надходить від енергосистеми, і дозволяє проводити операції з вмикання та вимикання апаратів дистанційно. У зв'язку зі специфікою роботи комутаційних апаратів енергія від енергосистеми не надходить безпосередньо в привод в процесі виконання операції, а попередньо перетворюється і акумулюється з тим, щоб в аварійних умовах при відсутності напруги в енергосистемі забезпечити спрацьовування апарата. Акумулювання енергії може здійснюватися: в акумуляторних батареях; в ресиверах стисненого повітря; в напружених пружинах і ін.

Приводи за видом енергії поділяються на:

- ручні, які приводяться в дію мускульною силою людини-оператора;
- рухомі, які приводяться в дію енергією зовнішнього джерела.

В свою чергу рухомі приводи можуть бути:

- електромагнітні, які приводяться в дію електромагнітом;
- електродвигунні, які приводяться в дію електродвигуном;
- пневматичні, які приводяться в дію енергією стисненого повітря;
- пневмогідролічні, які приводяться в дію рідиною, що знаходиться під високим тиском, створюваним стисненим повітрям;
- пружинні, які приводяться в дію енергією, запасеною в попередньо напруженій пружині (спіральной або пластинчастій) та ін.

Енергія може підводитися до приводу в процесі виконання операції або запасатися заздалегідь. У першому випадку це привод залежної дії, в другому – незалежної дії. Потужність, що споживається приводом залежної дії, повинна бути великою; настільки більшою, наскільки коротша тривалість операції. В приводах незалежної дії потужність джерела може бути невеликою, але для створення необхідного запасу енергії потрібний досить великий проміжок часу. В результаті тривалість виконання операції незалежним приводом, складаючись з часу вмикання і часу запасання енергії для наступної операції вмикання (після вимикання), відносно велика.

До приводів комутаційних апаратів висуваються такі вимоги:

- вони мають бути виключно надійними в експлуатації;
- операції вмикання, вимикання, багаторазового повторного вмикання мають протікати впродовж мінімального часу;
- має бути можливість вимикання та вмикання при відсутності енергії в енергосистемі живлення;
- потрібні механічні вказівники стану апарата;

– потрібні допоміжні контакти напругою нижче 1000 В (для використання в ланцюгах сигналізації стану, автоматики і блокування апарата).

Основними елементами приводу є: силовий пристрій; операційний, замикальний і передавальний механізми; пристрій вимикання і пристрій для ручного вмикання при ремонті. Силовий пристрій перетворює енергію, що підводиться до приводу, в механічну енергію (важіль, електромагніт, електродвигун та ін.).

Операційний механізм передає рух провідної ланки силового пристрою до ланки передавального механізму. Він складається з механізму, що перетворює вид руху (наприклад, на рис. 5.1 поступальний рух штока 2 в обертальний вала приводу 13), замикального механізму і механізму керування допоміжними контактами. Замикальний механізм утримує механізм приводу, зв'язаний з ним приводний механізм апарата у ввімкненому стані. Цей механізм з'єднує одну з ланок операційного механізму з тимчасово нерухомою ланкою. Сила, яка прагне вивести рухомі частини апарата із заданого положення, сприймається цією нерухомою ланкою, і механізм опиняється замкненим.

В більшості приводів вимикачів в операційному механізмі є механізм вільного розчеплення. Він дозволяє безперешкодно вимикати вимикач в ході операції вмикання в будь-який момент. Це зменшує тривалість протікання струмів короткого замикання і обгорання контактів вимикача при ввімкненні його на коротке замикання. Механізм керування допоміжними контактами забезпечує передачу руху від однієї з ланок механізму приводу до їх рухомих контактів. Передавальний механізм передає рух від силового пристрою до приводного механізму апарата. Він складається з ряду плоских шарнірних частин, валів, важелів, тяг та інших елементів. При роботі ланки передавального механізму сприймають великі статичні і динамічні навантаження. Характер цих навантажень (їх величини і напрямки в конкретні моменти операцій) може бути визначений за кінетичною схемою механізму вимикача, з'єданого з приводом (наприклад, рис. 5.2).

Пристрій відмикання приводу звільняє замикальний механізм, під дією відмикальних пружин апарата. Для звільнення замикального механізму зазвичай використовуються електромагніти невеликої потужності. У ручних приводах вмикання та вимикання здійснюється мускульною силою оператора. Для цього повертається важіль приводу, через передавальний механізм рух передається до рухомих контактів. Кінематична схема проста та наочна. При ремонтах приводів необхідно мати можливість їх ручного вмикання. Це може здійснюватись окремим спеціальним важелем або домкратом.

## 5.1 Електромагнітні приводи вимикачів

Принципи влаштування і роботи електромагнітних приводів (ЕП) базуються на електродинамічній взаємодії між феромагнітним сердечником і струмом, що протікає по обмотці електромагніту (котушці). В результаті взаємодії сердечник втягується в котушку. Рух сердечника через операційний і передавальний механізми передається на приводний механізм вимикача.

Електромагнітні приводи виготовляються для роботи на постійному або випрямленому струмі. Основними перевагами ЕП є: простота конструкції, компактність, висока надійність, можливість здійснення багаторазового автоматичного повторного вмикання вимикача (багаторазове АПВ).

Однак ЕП споживають великі струми при вмиканні (100–700 А) і потребують потужних джерел живлення. Більша ж індуктивність котушок, що уповільнює наростання струму в них при вмиканні, і неможливість регулювання швидкості руху сердечника, обумовлюють відносно великий час вмикання цих приводів.

Заводи-виробники оснащують ЕП вимикачами різних типів напругою до 220 кВ включно. Найбільш часто для оливних і електромагнітних вимикачів застосовуються приводи типу ПС (привод соленоїдний) і ПЕ (привод електромагнітний), призначені для внутрішнього встановлення. Для зовнішнього встановлення їх поміщають у шафи з листової сталі, а в типові позначення вводять букву Ш, наприклад, ШПС, ШПЕ. Обидві серії приводів працюють на постійному оперативному струмі 110 або 220 В і виготовляються на різне тягове зусилля: ПС–10; ПС–20; ПС–30; ПС–31; ПЕ–11; ПЕ–12; ПЕ–21; ПЕ–31; ПЕ–44; ПЕ–46. Приводи серії ПЕ мають покращені техніко-економічні показники і підвищену надійність.

Конструктивно ПЕ (рис. 5.1) складаються з корпусу з операційним механізмом, електромагнітної системи підставки. У корпусі операційного механізму закріплені: електромагніт вимикання 9, допоміжні контакти ланцюгів керування вимикачем 5, 6, механізм ручного вимикання і механічний покажчик положення вимикача. Електромагнітна система розташована в нижній частині привода і складається з магнітопроводу, обмотки 15 і сердечника 1 зі штоком 2. Магнітопровод виготовляється з м'якої низьковуглецевої сталі або чавуну (в приводі ПС) і складається з двох товстих плит і корпусу, стягнутих шпильками. В середині магнітопроводу розташовується обмотка вмикання 15, внутрішня поверхня її захищена від пошкодження під час руху сердечника сталеву гільзою.

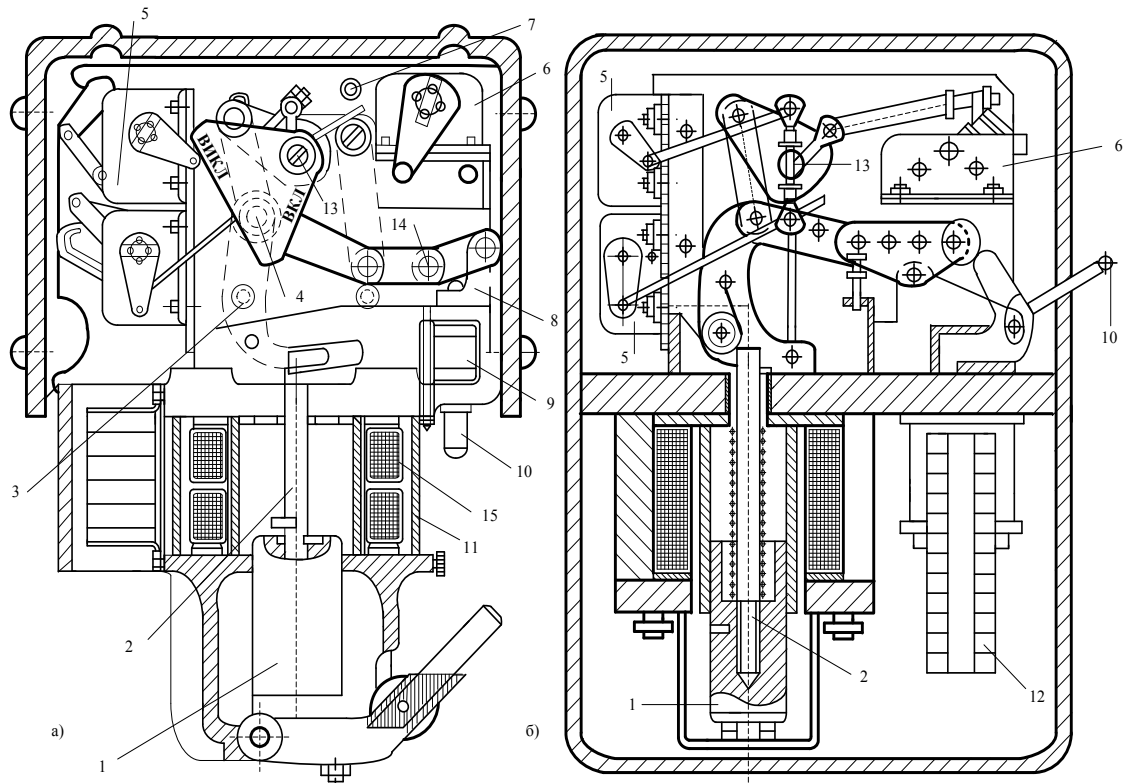


Рисунок 5.1 – Привод електромагнітний:

- а) – привод соленоїдний ПС–10; б) – привод електромагнітний ПЕ–11;  
 1 – сталевий сердечник; 2 – шток сердечника; 3 – утримувальна засувка;  
 4 – ролик і його вісь; 5 – блок-контакти сигнальні СКБ; 6 – блок-контакти управління КБВ і КВО; 7 – вал з приводним важелем; 8 – механізм вільного розчеплення; 9 – електромагніт вимкнення;  
 10 – важіль (кнопка) ручного вимкнення; 11 – електромагніт вмикання; 12 – затискна рейка; 13 – вал привода; 14 – вісь «ламаючої» ланки механізму вільного розчеплення; 15 – обмотка вмикання

Сердечник зі штоком сталеві, мають циліндричну форму. Для запобігання прилипання сердечника до верхньої плити при стиканні з нею на шток надіта відтискальна пружина. Але одна відтискальна пружина не може усунути прилипання сердечника до верхньої плити магнітопроводу. Тому до нижньої поверхні верхньої плити магнітопроводу прикріплена шайба з немагнітного матеріалу товщиною 0,5–1,5 мм. Розміри магнітної системи визначаються необхідною для вмикання тягової силою. Відповідно маса сердечника в різних приводах різна і змінюється в межах від одиниці до ста кг і більше.

Після завершення операції вмикання під дією сил тяжіння та відтискальної пружини сердечник опускається зі швидкістю тіла, що вільно падає. Для поглинання кінетичної енергії сердечника, що падає чи опускається, в нижній частині корпусу привода передбачається гумовий

або пружинний буфер. Всі складові частини привода встановлюються на сталевій або чавунній підставці.

При цьому передбачається закріплення привода в вертикальному положенні.

При вмиканні вимикача струм подається в електромагніт вмикання (див. рис. 5.1), сердечник 1 втягується в котушку. Шток сердечника 2 впирається в ролик 4 операційного механізму і піднімає його вгору разом з двома шарнірно зв'язаними важелями. При цьому відбувається поворот вала привода 13. Через передавальний механізм рух вала привода передається на вал вимикача і через приводний механізм вимикача – на його рухомі контакти. Одночасно розтягуються пружини вмикання 14 (рис. 5.2).

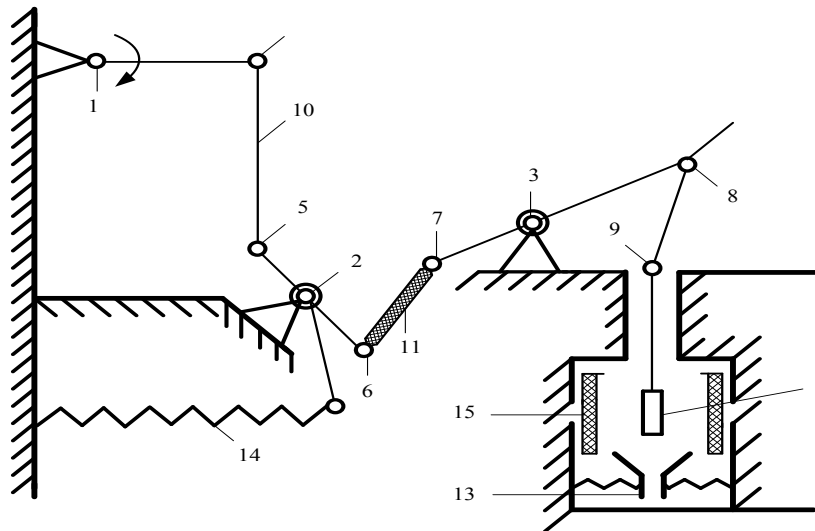


Рисунок 5.2 – Кінематична схема механізму вимикача ВМП–10, встановленого на викочуваному візку шафи КРП і оснащеного приводом ПЕ–11: 1 – вал привода; 2 – вал вимикача; 3 – вісь обертання двоплечевого важеля верхньої частини полюса; 10 – тяга передавального механізму; 11 – із оляційна тяга полюса вимикача; 12 – рухомий контакт полюса вимикача; 13 – нерухомий розетковий контакт; 14 – вимикальна пружина; 3–8–9 – ланки кулісно-ковзного механізму, що перетворює обертальний рух ланки 3–8 в поступальний рух ланки 9–12; 15 – ізоляційний циліндр полюса вимикача

Піднімаючись вгору, ролик 4 ковзає по поверхні засувки 3, відсуваючи її вліво. В кінці ходу сердечника після закінчення процесу вмикання верхній зріз засувки заходить під ролик і утримує механізм у ввімкненому стані. В кінці вмикання допоміжні контакти 5 розривають ланцюг електромагніту вмикання, протікання струму по котушці припиняється, сердечник 1 опускається на гумовий буфер і стає в своє початкове положення.

В пристрої ЕП застосовується механізм вільного розподілу. У приводів серії ПС він виконаний з ланкою, що «ламається». У положенні



«Ввімкнено», «Вимкнено» вісь ланки, що «ламається», 14 розташовується нижче лінії осей обертання складових ланок. При цьому ліва ланка притиснута до гвинтового упору. Для вимикання вимикача подається струм в обмотку електромагніту вимикання. Його сердечник втягується в котушку і впирається в ланку 8. Вісь 14 піднімається вище лінії центрів обертання сусідніх ланок, і механізм вільного розчеплення «зламується». Ролик 4 скочується з упору і під дією вимикальних пружин вимикається.

Привод ПС–10 додатково має механічне блокування проти повторення вмикання та вимикання, коли команда на вмикання не знята. Блокування обумовлюється спеціальним профілем внутрішнього контуру засувки, який не дозволяє операційному механізму повністю скластися до тих пір, поки вісь, до якої прикріплений ролик, не опиниться напроти вирізу в засувці, а саме: до положення «повністю вимкнено».

Таким чином, якщо вимикання вимикача відбувається в момент, коли рукоятка ключа керування вимикачем знаходиться ще в положенні «ввімкнути», то ланцюг електромагніта вимикання замикається, і його сердечник знову піднімається. Однак він піднімається вхолосту, оскільки механізм привода ще не встиг повністю скластися і вмикання не відбувається. У положенні сердечник залишається до моменту розмикання ланцюга електромагніту вмикання ключем керування. У приводах ПЕ застосоване електричне блокування проти повторення вмикання та вимикання, коли команда на вмикання не знята.

Керування вимикачем здійснюється дистанційно, а саме: подачею відповідної команди зі щита керування. Для цього на щиті керування встановлений ключ керування вимикачем. Поворотом рукоятки ключа замикається ланцюг, і по електромагніту або вмикання чи вимикання привода протікає струм, і вимикач вмикається чи вимикається. У випадку пошкодження на лінії вимикач вимикається автоматично від дії пристроїв релейного захисту. Принципова спрощена схема дистанційного керування вимикачем з електромагнітним приводом наведена на рис. 5.3.

Схема керування наведена для вимкненого положення Q. Його допоміжні контакти Q:2, Q:4 замкнені, а Q:1, Q:3 розімкнені. Ключ SA знаходиться в положенні «0» (вимкнено), і його контакти 24–22 – замкнені.

При цьому горить зелена лампа НЛГ, оскільки через неї протікає струм по ланцюгу: + ЕС, плавкий запобіжник FU1, контакти 4–22 SA, лампа НЛГ, допоміжний контакт вимикача Q:2, запобіжник FU2, – ЕС. Загорання зеленої лампи сигналізує про те, що вимикач Q вимкнений. Для вмикання вимикача необхідно подати струм на електромагніт вмикання YAC. Але він споживає струм величиною десятки чи навіть сотні ампер. Пропустити такий струм через контакти ключа керування неможливо.

В зв'язку з цим вмикання струму в ланцюзі, який вмикає електромагніт YAC, здійснюється проміжним контактором КМ. При вмиканні вимикача Q повертають рукоятку ключа керування SA на 90° за годинниковою стрілкою в положення В1 (попередньо ввімкнено). Зелена лампа гасне.

Продовжуючи повертати рукоятку ключа ще на 45°, переводять його в позицію В2 (ввімкнуті). При цьому замикаються контакти 8–5 SA і спрацьовує контактор КМ. Контакти контактора КМ:1, КМ:2 замикаються, по УАС привода протікає струм, сердечник втягується в котушку, і вимикач Q вмикається. Його допоміжні контакти Q:2, Q:4 розмикаються, а контакти Q:1, Q:3 замикаються, одночасно розтягується відмикальна пружина підмикання.

Ввімкнене положення вимикача фіксується механічною засувкою В. При розмиканні контакту Q:4 переривається струм в ланцюзі котушки проміжного контактора КМ, і його контакти також розмикаються. Розімкненими контактами КМ:1, КМ:2 розривається ланцюг струму по вмикальному електромагніту УАС, і його сердечник повертається у вихідне положення.

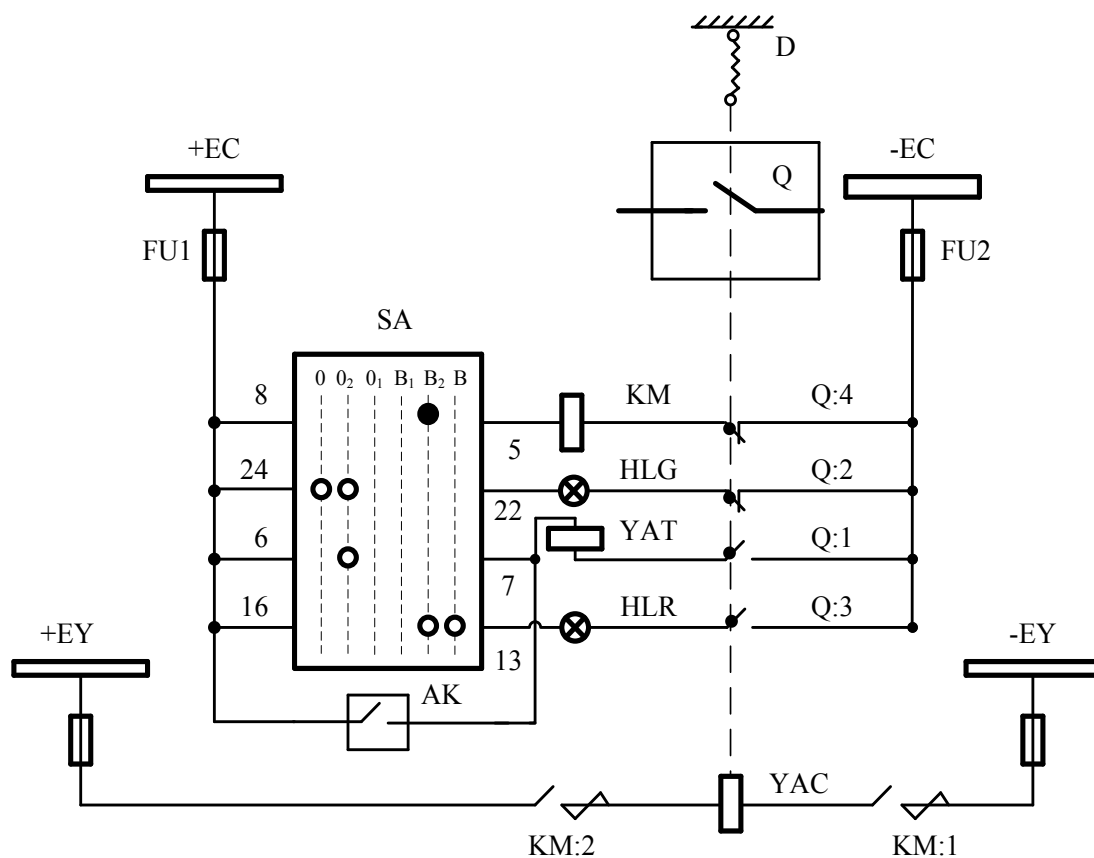


Рисунок 5.3 – Принципова спрощена схема дистанційного керування вимикачем з електромагнітним приводом: SA – ключ керування вимикачем; КМ – контактор проміжний; Q – високовольтний вимикач; Q:1–Q:4 – допоміжні контакти ланцюгів керування і сигналізації вимикача; HLG – сигнальна лампа з зеленою лінзою; HLR – сигнальна лампа з червоною лінзою; YAT – електромагніт вимикання; YAC – електромагніт вмикання; ЕС – живлення ланцюгів керування; EY – шини живлення електромагніта вмикання; FU1 FU2 – запобіжники плавкі; АК – пристрій релейного захисту; D – відмикальна пружина

Замкненими контактами Q:1 готується ланцюг на вимкнення вимикача, а контакти Q:3 забезпечують загорання червоної лампи HLR. Після вмикання вимикача рукоятку ключа SA відпускають, і вона встановлюється в положення В – (ввімкнено).

Для вимкнення вимикача рукоятку ключа SA повертають проти годинникової стрілки спочатку на 90°, а потім ще на 45°, переводячи її в положення Q2 – (вимкнути). При цьому по відмикальному електромагніту УАТ протікає струм. Його сердечник втягується в котушку, ударяючи під ланку механізму вільного розчеплення (звільняється засувка В). Під дією відмикальної пружини D вимикач Q вимикається.

Допоміжні контакти Q:1, Q:3 при цьому розмикаються, а контакти Q:2, Q:4 замикаються. Гасне червона лампа і загоряється зелена. Після виконання операції вмикання рукоятку ключа опускають, і вона встановлюється в положення «В» (вимкнено). Автоматичне вмикання вимикача здійснюється при спрацьовуванні пристроїв релейного захисту АК. При цьому замикається контакт АК, по відмикальному електромагніту УАТ протікає струм, сердечник втягується в котушку, звільняється замикальний механізм В і вимикач Q вимикається.

Розглянута спрощена схема дистанційного керування вимикачем дозволяє зрозуміти принципи керування вимикачем з електромагнітним приводом, але на практиці не застосовується. Застосовувані на практиці схеми значно складніші, хоча в їх основі лежить розглянутий принцип. У сучасних електромагнітних приводах для зменшення часу спрацьовування використовуються напівпровідникові елементи, а для вмикання застосовується розряд попередньо зарядженого конденсатора.

## 5.2 Пружинні приводи

Пружинний привод є приводом непрямої дії. Енергія, необхідна для вмикання, запасється в потужній пружині, що заводиться від руки або електродвигуном невеликої потужності. Після кожного вмикання необхідно знову завести пружину. Зазвичай привод доповнюється спеціальним електродвигуном, що здійснює заведення пружини. Такий привод дозволяє здійснювати АПВ [32].

Недоліком пружинних приводів є зменшення тягового зусилля наприкінці ходу вмикання внаслідок зменшення деформації пружин. Щоб усунути цей недолік, пружинні приводи доповнюються маховиком, який поглинає надлишкову енергію на початку вмикання і віддає накопичену енергію наприкінці вмикання. Приводи подібного типу ППМ–10 застосовуються для вимикачів ВМГ–10 і ВМП–10.

У пружинних приводах двигуном і акумулятором енергії є попередньо напружена пружина. Заведення пружини здійснюється невеликим електродвигуном з редуктором або багаторазовим зворотно-поступальним рухом сердечника електромагніту, з'єднаних з механізмом, який

заводиться. Операція вмикання здійснюється тільки після того, як пружина повністю заведена. Для цього передбачається невеликий електромагніт, при спрацьовуванні якого вмикальна пружина звільняється. Під її дією вимикач вмикається. Як тільки процес вмикання завершено, автоматично відбувається ввімкнення пружини знову. Таким чином, привод готується до повторного вмикання. Час заведення пружини становить менше 10 с. Відповідно, вимикач з пружинним приводом може виконувати багаторазове автоматичне повторне вмикання через 10 с.

Пружинні приводи застосовуються для вимикачів, що вимагають для роботи до 400 Н·м і мають некруту тягову характеристику. Вони виготовляються виносними і вбудованими. Вбудовані приводи спрощують конструкцію вимикача, зменшують його габарити і масу. Зазвичай вони застосовуються для приводу малооливних вимикачів 10–35 кВ комплектних розподільних пристроїв. Кінематична схема цих приводів досить складна.

Вбудований пружинний привод вимикача ВМП–10П складається з корпусу, вала приводу, механізмів вмикання і вимикання, що вмикають і вимикають пружини електромагнітів управління і реле захисту. На валу приводу встановлений барабан з пластинчастими пружинами вмикання. Заведення пружин здійснюється електромагнітом заведення через важіль і обгінну муфту. При вмиканні вимикача подається напруга на вмикальну котушку (або при натисканні кнопки ручного вмикання) і під дією вмикальних пружин вал приводу повертається, вимикач вмикається. За допомогою тяг і важелів запірний пристрій стає на засувку і утримує вимикач у ввімкненому положенні. Вимикання вимикача відбувається при подачі імпульсу на вмикальну котушку, або на один з елементів релейного блока, або при натисканні кнопки ручного вмикання. При цьому запірний пристрій звільняє вал вимикача і під дією вмикальної пружини вимикач вмикається.

На приводі є ряд електромеханічних блокувань, які перешкоджають нормальній роботі. У верхній частині приводу встановлені котушки електромагнітів керування і реле прямої дії. Застосовуються реле максимального струму миттєвої дії (РТМ) і реле з витримкою часу (РТВ). Конструктивно струмові реле прямої дії являють собою електромагніт з сердечником. При досягненні струму уставки сердечник втягується в електромагніт, шток вдаряє в вал запірного пристрою, звільняє запірну засувку і вимикач вмикається. Струм спрацьовування РТМ змінюється в межах від 5 до 120 А шляхом перемикання відгалужень обмотки електромагніту. Реле РТВ має діапазони струмів уставок від 5 до 35 А, час спрацьовування від 2 до 16 с. Обмотки реле прямої дії живляться від трансформаторів струму або від незалежного джерела змінного струму.

Крім того, для автоматичного вмикання в установках, де як оперативний струм використовується струм від трансформаторів струму, передбачений окремий електромагніт 8. В інших конструкціях пружинних

приводів і вмикання, і вимикання здійснюється від одного барабана з пружинами. Залежно від особливостей конструкції ці приводи можуть забезпечити виконання однієї, або більшого числа операцій (вмикання та вимикання) при повністю заведених пружинах без їх підзаведення. Час заведення пружин на 2 операції не перевищує 20 с, а на 5 операцій – 50 с.

### 5.3 Приводи роз'єднувачів

Роз'єднувачі призначені для створення видимого розриву в електричному колі при ремонтах обладнання. Вони мають головні і заземлювальні ножі. Для керування головними і заземлювальними ножами застосовуються окремі ручні, рухові і пневматичні приводи. Ручні приводи використовуються для керування головними ножами роз'єднувачів напругою до 220 кВ і заземлювальними ножами роз'єднувачів всіх типів і напруг. Рухомі і пневматичні приводи дозволяють здійснювати дистанційне вмикання та вимикання роз'єднувачів і застосовуються для апаратів всіх напруг. Триполюсні роз'єднувачі внутрішнього встановлення зазвичай керуються ручними важільними приводами ПР-2 і ПР-3 (рис. 5.4).

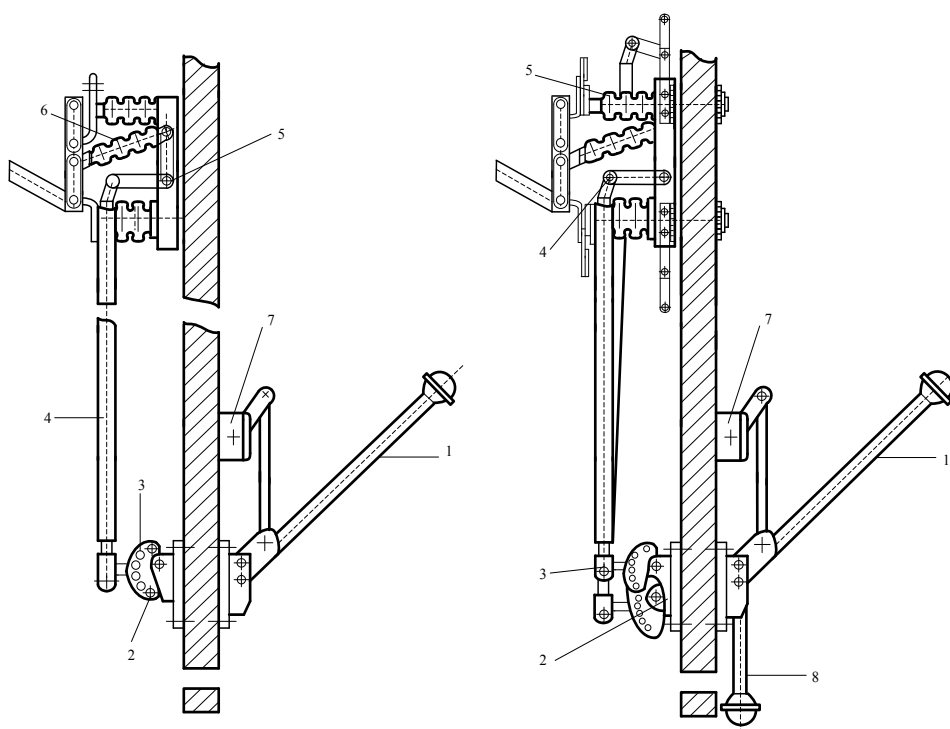


Рисунок 5.4 – Привод важільного типу ПР-2: без та з заземлювальними ножами: 1 – важіль; 2 – тяга, яка передає рух від важеля до двох поворотних секторів 3; 4 – тяга, що передає рух від секторів до вала роз'єднувача 5; 6 – тяга-ізолятор, яка передає рух від вала роз'єднувача до його ножів; 7 – допоміжні контакти (блок-контакти); 8 – важіль вмикання заземлювальних ножів

Ці приводи встановлюються на стінках вертикально і мають важіль 1, який оператор може повертати навколо осі приблизно на  $150^\circ$ . Через тягу 2 рух подається поворотним секторам 3, від них – до тяги 4 і через важіль – до вала роз'єднувача. При повороті вала роз'єднувача рух передається через ізоляційну тягу ножів. Коли рухомі контакти роз'єднувача досягають крайнього положення, привод механічно фіксується підпружиненим фіксатором. Чим більший номінальний струм роз'єднувача, тим більша сила тертя в контактах. В зв'язку з цим як приводи головних ножів роз'єднувачів внутрішнього встановлення на струми 4000 А і більше застосовуються черв'ячні приводи. Заземлювальні ж ножі управляються, як і в попередньому випадку, важільним приводом.

Між приводами головних і заземлювальних ножів в роз'єднувачах обов'язково передбачаються блокування. Ці блокування унеможливають вмикання заземлювальних ножів при ввімкнених головних і навпаки. Вони виконуються механічно і можуть доповнюватися електромагнітними блокуваннями. У найпростішому випадку замикання приводів у ввімкненому і вимкненому положеннях здійснюється навісними замками. Дужка замка протягується крізь отвори спеціально передбачених елементів, і замок закривається, фіксуючи положення роз'єднувача.

Для контролю положення роз'єднувачів приводи оснащуються допоміжними контактами. Рухомі контакти їх механічно з'єднують з одним з елементів привода, а при зміні його положення змінюється і положення допоміжних контактів. Приводи для роз'єднувачів зовнішнього встановлення виготовляються з поворотом важеля в горизонтальній площині (привод типу ПР–У1). Всі елементи привода – диски, фіксатори, блокувальна рейка, блок-замки – розміщуються всередині корпусу привода і закриваються від атмосферних впливів кожухом. При оперуванні роз'єднувачем цей кожух відкривається.

Для оперування ножами роз'єднувача, що мають велику масу і момент інерції, ручні приводи виконуються з вбудованим циліндровим редуктором (ПРН–1). Редуктор має два ступеня передачі і приводиться в рух рукояткою, що обертається. Дистанційне керування колонковими роз'єднувачами зовнішнього встановлення на 110–750 кВ здійснюється електродвигунними приводами ПДН–1У1 або ПДН–1ХЛ1, що працюють на змінному струмі 220/380 В. Всі елементи цих приводів розташовані всередині металевій шафі. Передача руху від вала електродвигуна до вала привода здійснюється через редуктор, що складається з черв'ячної передачі і двох пар зубчастих коліс. Рух від вала привода до провідної колонки роз'єднувача передається горизонтальною тягою.

Для керування підвісними роз'єднувачами використовуються пневматичні приводи. Найчастіше при цьому використовується поршневий привод. Для його роботи потрібне стиснене повітря 2 (0,6) МПа. Стиснене повітря до привода надходить від компресорної установки по трубопроводах.

## 5.4 Гідравлічні приводи Siemens

В сучасних типах елегазових вимикачів останнім часом віддають перевагу гідравлічним приводам. Так, наприклад, силові елегазові вимикачі з гідравлічним приводом виробництва фірми Siemens мають такі переваги:

- здатні забезпечувати приводною енергією великої потужності;
- дозволяють проводити подвійну послідовність комутаційних операцій;
- дозволяють у будь-який час проводити надійний контроль запасів енергії;
- гарантують збереження комутаційного положення за відсутності допоміжної напруги;
- знижують вимоги до фундаменту;
- вмикаються з малим шумом;
- оливонепроникні і, таким чином, екологічно нешкідливі;
- не потребують технічного обслуговування.

Всі гідравлічні приводні системи для силових високовольтних вимикачів виконані в компактній формі за методом блокового виконання і складені з взаємозамінних однакових частин (рис. 5.5, 5.6).

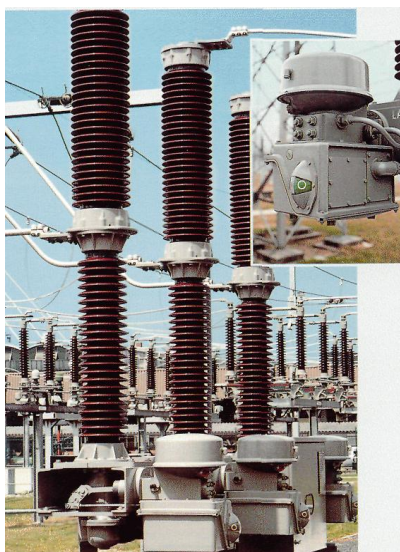


Рисунок 5.5 – Елегазовий вимикач з гідравлічним приводом

До основних конструктивних елементів належать:

- циліндр привода;
- клапанна коробка;
- оливний бак;
- розчіплювач;
- блок управління з пристроєм контролю тиску оливи;
- гідравлічний акумулятор.

Головною складовою частиною гідравлічного привода (рис. 5.5) є металевий циліндр. У ньому рухається диференціальний поршень з поршневим стержнем, керованим за допомогою блока клапанів. Привод керується блоком клапанів, головний клапан і клапани розчеплювача скомбіновані. Запатентована система з кульковою заціпкою у вигляді подвійного самозатримувального гідравлічного запобіжника, забезпечує надійне положення комутації і при тиску, значення якого нижче за робоче. Потрібна для приводної системи гідравлічна олива надходить в масляний бак без тиску. Для запобігання конденсації води масляний бак виготовлено з подвійними стінками. Вентиляційні отвори забезпечують необхідну циркуляцію повітря, фільтр запобігає потраплянню пилу й інших забруднень.

За допомогою магнітних розчеплювачів, які регулюються механічно, можна електричним шляхом керувати гідравлічними клапанами з випередженням.

Блок керування має всі вузли, необхідні для керування і контролю гідравлічною приводною системою і для контролю газу силового вимикача. Тут також розташовані електричні виводи для з'єднання з системою керування підстанцією.

У пристрій керування силового вимикача вбудований двигун з масляним насосом. Він призначений для перекачування оливи з масляного бака назад в акумулятор після завершення операцій ввімкнення та вимкнення силового вимикача.

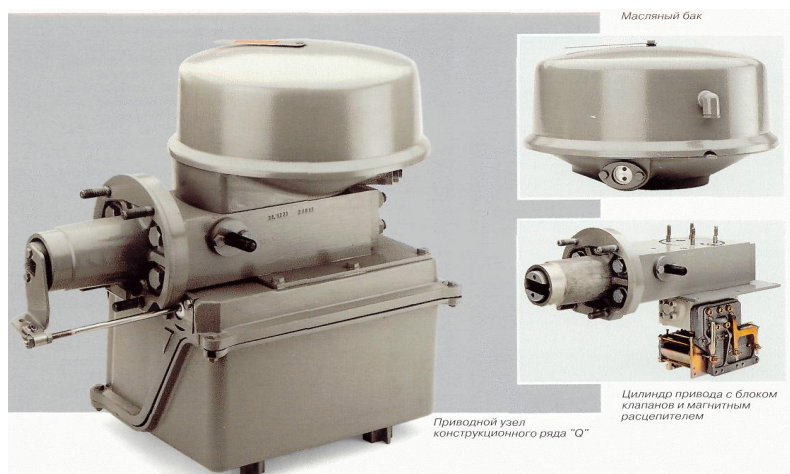


Рисунок 5.6 – Загальний вигляд гідравлічного привода вимикача ЗАР

Робочий тиск гідравлічного привода підтримується автоматично за допомогою масляного насоса. Не дивлячись на малу потужність насоса – живлення двигуна може проводитися від надійної автономної мережі – акумулятор за короткий час знову заповнюється. Контроль за тиском оливи, потрібним для перемикачів, проводиться автоматично: як мінімум два реле тиску контролюють тиск оливи в гідравлічній системі. При



зменшенні або спаді тиску спрацьовує попереджувальний сигнал. Силовий вимикач зберігає здатність до перемикавання. Якщо ж тиск спадає нижче за мінімальне значення, то спрацьовує автоматичне блокування: будь-яке перемикавання блокується. Окрім тиску контролюється і необхідна для перемикавання енергія в акумуляторі. Такий контроль може проводити виключно гідравлічний привод.

Завдяки застосуванню спеціальних систем ущільнювачів гідравлічні приводи не потребують технічного обслуговування протягом всього терміну служби.

## 5.5 Цифровий електропривод Motor Drive

Револьюційний переворот в технології високовольтних елегазових вимикачів зробила концепція створення цифрового електропривода компанією Motor Drive, що використовується в конструкціях елегазових вимикачів компанії АВВ. В даний час електропривод застосовується у вимикачах серії LTB D.

Електропривод Motor Drive є електронно-цифровою системою з мікропроцесорним керуванням (рис. 5.7).

Необхідні оперативні рухи (ввімкнення та вимкнення) програмуються в цифровій формі в блоці керування. Необхідні операції виконуються за командою відповідно до збереженої в пам'яті програми ходу контактів, а подача енергії на електродвигун здійснюється мікропроцесорним блоком керування так, щоб відповідним чином впливати на основні параметри руху головних контактів вимикача. Енергоживлення привода, накопичення в ньому енергії, її подача до виконавчого механізму – все це виконується під наглядом електронної системи керування, тобто електричним способом, тоді як механічна частина системи зведена лише до однієї рухомої деталі – ротора електродвигуна.



Рисунок 5.7 – Загальний вигляд електропривода Motor Drive

Простота механічної частини електропривода забезпечує його основні переваги:

- відсутність деталей, що зношуються;
- менші робочі зусилля;
- істотне зниження рівня шумів при операції;
- істотне підвищення надійності завдяки вилученню численних механічних деталей, що взаємодіють між собою.

Електропривод Motor Drive забезпечує нові можливості елегазовим вимикачам:

- пряме активне керування рухом контактів із зворотним зв'язком;
- гнучке вільне і логічне керування вимикачем;
- значне зниження завад від перехідних перенапружень в мережах живлення власних потреб підстанції;
- підвищена експлуатаційна надійність і підвищення рівня контролю за станом устаткування за рахунок використання оперативного моніторингу в режимі реального часу.

Електропривод призначений для застосування в різних кліматичних зонах, від полярних умов до умов пустелі. Вбудований оперативний контроль – мікрорух контактів. Щоб отримати інформацію про стан усіх електричних і механічних компонентів в системі керування вимикачем, можна перемістити головні контакти на невелику відстань без їх розмикання. Ця дія може виконуватися автоматично за запрограмованою інструкцією або за командою через службовий інтерфейс.

Принцип роботи електропривода Motor Drive проілюстровано на рис. 5.8.

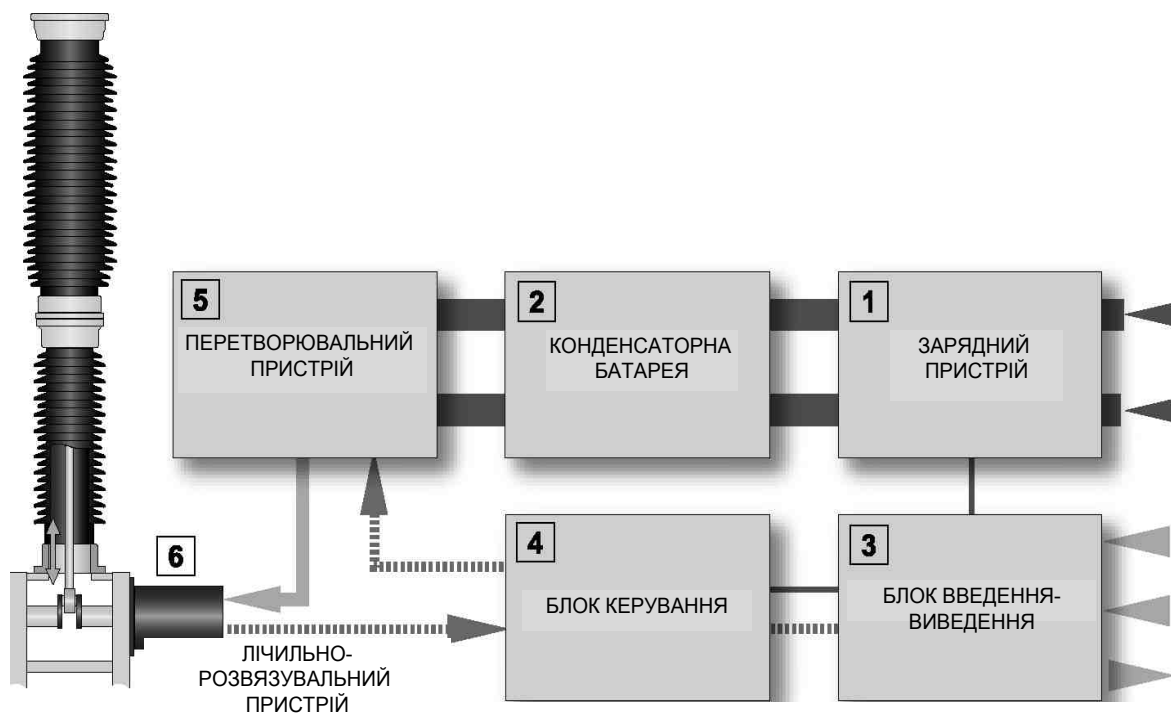


Рисунок 5.8 – Блок-схема керування приводом

Блок 1 – зарядний пристрій допускає під'єднання дубльованих вводів живлення змінним і постійним струмом і він же є внутрішнім джерелом живлення для конденсаторної батареї (2), блоків введення-виведення (3) і керування 4. Вимоги навантажень щодо живлення вельми незначні (менше 1 А в нормальному режимі роботи), з малими втратами на навантаженнях.

Блок 2 – енергія для спрацьовування привода накопичується в буферному блоці конденсаторів.

Блок 3 – введення-виведення команд приймає всі оперативні команди на вимикачі і забезпечує видачу сигналів в систему керування підстанцією. Блок введення-виведення містить двопозиційні реле, які замінюють традиційні механічні допоміжні контакти.

Після того, як команда на спрацьовування (ввімкнення або вимкнення) перевіряється в блоці введення-виведення 3, вона передається в блок керування 4. Блок керування аналізує і визначає режим умовно-дозвільного логічного керування командами на оперування вимикачем. Він же формує і виконує запрограмовану криву ходу контактів вимикача. Блок вибирає відповідну команду для руху контактів (на вимкнення або вмикання) і передає внутрішні команди в перетворювальній пристрій 5. Блок-конвертор, тобто перетворювач живлення, отримує енергію постійного струму від конденсаторної батареї 2, перетворює її на змінну напругу і в цифровому алгоритмі керування подає струм на електродвигун 6, щоб ротор електродвигуна зробив необхідний поворот ротора.

Ротор електродвигуна безпосередньо приєднано до ізоляційної тяги полюса вимикача. Вбудований в електродвигун синусно-косинусний перетворювач (сенсор положення ротора) безперервно контролює положення ротора. Ця інформація подається назад в блок керування, який перевіряє виміряне датчиком положення, порівнює його з положенням, заданим на даний момент програмою ходу контактів і обчислює похибку. Блок керування видає додаткові сигнали керування в блок-конвертор для подачі енергії на продовження подальшого руху контактів вимикача. Таким чином, за допомогою постійного зворотного зв'язку рух контактів весь час регулюється з високою точністю, згідно з заздалегідь запрограмованою кривою ходу контактів.

## 6 ВИПРОБОВУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙНИХ АПАРАТІВ

Під час розробки, виготовлення, зберігання, введення в експлуатацію, експлуатації, виведення з експлуатації високовольтних електричних апаратів виникає задача їх випробовувань. Актуальність задачі зростає в умовах, коли високовольтне обладнання експлуатується понад 25 років, що часто перевищує паспортний ресурс.

Водночас вводяться в експлуатацію нові електричні апарати різних вітчизняних та багатьох закордонних виробників, досвід експлуатації яких в Україні відсутній.

Продовження надійної експлуатації застарілого обладнання та безаварійна експлуатація нового високовольтного обладнання можливі за умов широкого використання методів і засобів технічного діагностування та контролю такого обладнання, які неможливі без сучасних й ефективних випробовувань [33].

Це дозволить вирішити такі задачі, як:

- визначення (розпізнання, оцінювання) технічного стану, у якому перебуває об'єкт на момент діагностування;
- оцінювання відповідності чи невідповідності технічного стану об'єкта діагностування та, у разі невідповідності, визначення причини невідповідності, дефекту, граничного ступеня зношеності, відхилення від налаштувань тощо;
- виявлення ушкоджень чи дефектів на початковій стадії їх розвитку, виявлення конкретних дефектних вузлів чи деталей, визначення та усунення причин, що викликали дефект;
- оцінювання допустимості та доцільності подальшої експлуатації обладнання з урахуванням прогнозування його технічного стану при виявленні дефекту, оптимізація режимів експлуатації, що дозволяє безпечно експлуатувати агрегат з виявленими дефектами до моменту його виведення у плановий ремонт;
- організація обслуговування та ремонту обладнання за технічним станом (замість регламентного обслуговування та ремонту), забезпечення підготовки й виконання якісних ремонтів.

Якісне, ефективне та безпечне проведення випробовувань електричного обладнання потребує створення нових методів і засобів, наприклад, вимірювальних трансформаторів для пересувних випробувальних лабораторій [34, 35] та мікропроцесорних приладів і систем контролю часових характеристик високовольтних вимикачів [36, 37].

Випробуванням підлягають дослідні зразки (партії) і продукція серійного, масового та одиничного виробництва. Дослідний зразок або дослідну партію піддають попереднім і приймальним випробуванням (перевіркам) за спеціально розробленими програмами.

Попередні випробування проводять для визначення відповідності продукції технічним завданням, вимогам стандартів, технічної документації і для вирішення питання про можливість подання її на приймальні випробування.

Приймальні випробування проводять з метою визначення відповідності продукції технічним завданням, вимогам стандартів та технічної документації; оцінювання технічного рівня продукції; визначення можливості виробництва продукції; надання рекомендацій щодо встановлення категорії якості.

## **6.1 Випробування високовольтних вимикачів**

### **6.1.1 Випробування масляних вимикачів**

Об'єктом випробування в масляних вимикачах є, насамперед, фазна ізоляція вимикачів, стан контактів вимикачів, часові характеристики і, при випробуванні вимикачів на викочуваному елементі (візку), збіг осей входження вимикачів на візку з приймальними елементами комірки КРП, глибина входження і рівномірність входження по фазах, а також стан контактів комірки і вимикача. Такі випробування, зазвичай, проводяться саме для викочуваного елемента комірки, а не для вимикача [38].

Для високовольтних вимикачів (на напругу більше 35 кВ) додавали вимірювання швидкості руху траверсів і тангенса кута діелектричних втрат ізоляції.

Обсяг випробувань масляних вимикачів:

- вимірювання опору ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування;
- вимірювання опору ізоляції силових частин вимикачів;
- випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти;
- випробування ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування;
- випробування введів;
- оцінювання стану всередині бакової ізоляції та ізоляції дугогасильних пристроїв бакових масляних вимикачів 35 кВ;
- перевірка стану контактів вимикача – вимірювання опору з використанням постійного струму (вимірювання «опору постійному струму»);
- вимірювання опору постійному струму шунтувальних резисторів дугогасильних пристроїв;
- перевірка часових характеристик вимикачів;
- вимірювання ходу рухомих контактів з контролем одночасності замикання контактів і визначення, за необхідності, втискальних контактів;
- перевірка спрацьовування електромагнітів керування при зниженій напрузі;
- випробування вимикачів багаторазовим увімкненням і вимкненням;

- випробування трансформаторного масла;
- випробування вбудованих трансформаторів струму;
- тепловізійний контроль.

Зовнішній вигляд масляного вимикача типу ВМГ-133 подано на рис. 6.1.



Рисунок 6.1 – Вимикач ВМГ-133



Рисунок 6.2 – Вимикач на викочуваному елементі

Вимикач встановлений в комірці розподільного пристрою. Привод вимикача електромагнітний, встановлений в низьковольтному відсіку, а сам вимикач відділений від низьковольтного відсіку розділовою стінкою.

Масляні вимикачі можуть встановлюватися на викочувані елементи комірок КРП (рис. 6.2).

Застосування масляних вимикачів в розподільних пристроях обмежене незручностями експлуатації, саме: необхідний контроль рівня масла, потрібна заміна масла після вимикання струмів КЗ, низький комутаційний ресурс і великі розміри вимикачів.

**Види випробувань і контролю параметрів. Контроль опору ізоляції.** В процесі експлуатації масляних вимикачів вимірювання опору ізоляції проводяться:

- на масляних вимикачах напругою 6–10 кВ – при ремонтних роботах в комірках (з'єднаних), де вони встановлені, при цьому перевірка ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування може проводитися спільно з перевіркою пристроїв релейного захисту;

- на масляних вимикачах 35 кВ і вище – при проведенні ремонтних робіт на приєднанні.

Опір ізоляції вимірюється в процесі пусконаладжувальних робіт на вимикачах всіх напруг і при капітальних ремонтах.

Вимірні значення опору ізоляції повинні бути не менші значень, наведених у таблиці 6.1.

У таблиці 6.1 опір основної ізоляції наведений без дужок – при пусконаладжувальних роботах і при капітальних ремонтах, в дужках –

під час вимірювань в міжремонтний період. Опори ізоляції вторинних обмоток наведені: без дужок – при відімкнутих вторинних колах, в дужках – з підімкнутими вторинними колами.

Таблиця 6.1 – Значення опору ізоляції масляних вимикачів

Клас напруги (кВ)	Допустимі опір ізоляції (МОм) не менше	
	Основна ізоляція	Вторинні кола і кола електромагнітного керування
3–10	1000 (300)	1(1)
15–150	3000(1000)	1(1)
220	5000 (3000)	1(1)

**Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти.** Випробування ізоляції підвищеною напругою проводиться при капітальних ремонтах вимикачів. Випробування вторинних кіл і електромагнітів керування може при перевірці кіл релейного захисту приєднання в обсязі, відповідному виду перевірки. Значення випробувальної напруги промислової частоти наведені в таблиці 6.2. Значення випробувальної напруги для вторинних кіл і електромагнітів керування має бути 1 кВ, за умови, що дані пристрої розраховані на напругу не нижче 60 В.

Таблиця 6.2 – Значення випробувальної напруги промислової частоти

Клас напруги (кВ)	Випробувальна напруга (кВ) для масляних вимикачів		
	На заводі виробника	Перед введенням в експлуатацію та в експлуатації	
		Фарфорова ізоляція	Інші види ізоляції
До 0,69	2,0	1	1
3	24,0	24,0	21,6
6	32,0	32,0	28,8
10	42,0	42,0	37,8
15	55,0	55,0	49,5
20	65,0	65,0	58,5
35	95,0	95,0	85,5

В оливних вимикачів на напругу 6÷10 кВ випробуванню підлягають міжконтактні проміжки – так зване випробування «на розрив». При випробуванні вимикача «на розрив» випробувальна напруга дорівнює напрузі для випробування основної ізоляції. Вимикачі на напругу вище 35 кВ не підлягають випробуванню підвищеною напругою промислової частоти.

Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат вводів проводиться на повністю складеному вимикачі. Допустимі значення кута втрат ізоляції вводів наведені в таблиці 6.3. При зниженні значення тангенса високовольтних вводів більше, ніж на 5% нижче допустимого ізоляція підлягає сушінню.

Таблиця 6.3 – Допустимі значення ізоляції вводів і прохідних ізоляторів при температурі +20 °С

Вид і зона ізоляція входу	Граничне значення $\text{tg}(\delta)$ , %, для вводів ізоляції напруги кВ		
	35	110	220
Паперово-масляна ізоляція: основна ізоляція й ізоляція вимірювального конденсатора останній шар ізоляції	–	1,5 3,0	1,2 2,0
Тверда ізоляція з масляним заповненням – основна ізоляція	1,5	1,5	–
Оливобакелітова з масляним заповненням – основна ізоляція	9,0	–	–
Масляно-бар’єрна ізоляція вводів – основна ізоляція	–	5	4

**Вимірювання опору постійному струму.** Стан силових контактів визначають шляхом вимірювання опору постійному струму полюсів вимикачів. Опір постійному струму кожного полюса вимикача має бути не більше нормованого в технічній документації на відповідне обладнання.

Орієнтовні дані опорів полюсів вимикачів, залежно від номінального струму, вимикачів вказані в таблиці 6.4.

Для деяких типів вимикачів заводом-виробником може нормуватись інше значення опору, тому необхідно орієнтуватися на дані паспорта саме даного вимикача.

Дані таблиці 6.4 наведені для одного полюса вимикача. При вимірюванні необхідно звертати увагу на відсутність додаткових струмоведучих елементів у колі, наприклад, струмоведучих шин, під’єднаних до полюсів вимикача. За наявності додаткових елементів необхідно вносити поправки у вимірювані дані.

Виміряні опори шунтувальних резисторів і електромагнітів керування мають відповідати заводським даним на даний вид обладнання.



Таблиця 6.4 – Значення опорів постійному струму струмоведучого контуру контактної системи масляних і електромагнітних вимикачів

Тип вимикача	Номинальний струм, А	Опір контактів, мкОм, не більше	Тип вимикача	Номинальний струм, А	Опір контактів, мкОм, не більше
ВІМ-10	630	78	С-35	630	310
	1000	72		3200	60
МГ-10, МГ-20	5000	300*	МКП-35	1000	250
	6000	–	ВГ-35.ВГД-35	630	550
МГГ-10	3150	18: 240*	МКП-110Б	630	1300
	4000	14:240*		1000	800
	5000	12;240*	У-110-2000-40	2000	800
ВМ-14, ВМ-16	200	350	У-110-2000-50	2000	365
	600	150	У-220-1000/2000-25	2000	600
	1000. 1250	100	У-220-2000-40	2000	450
ВМ-22, ВМ-23	600	150	ВМГ-110	-	115/85***
	1000. 1500	100	ВМГ-220	-	115/85***
ВМГ-133	600	100	ММО-110	1250	180
	1000	75	ВМПЭ-10	3150	10
ВМГ-10	630	75	ВММ-10	400	55
	1000	70	МКП-220	600	1200
ВІМП-10	630	78	МКП-274	600	800
	1000	72	М КП-110М	630	800
ВМПЭ-10	630	50	МКП-110-5	1000	800
	1000	40	ВКЭ-М-10	1600	25
	1600	30			
ВМІП-10	630	55			
	1000	45			
	1600	32			
ВМП-10. ВМП-10П	600	55			
	1000	40			
	1500	30			
ВММ-10	630	85			
ВК-10. В10-10	630	50/45**			
	1000	45/40**			
	1600	25			
ВЭ-10, ВЭС-6	1600	30			
	2000-2500	20			
	3200-3600	15			

В таблиці 6.4 позначені:

\* – опір дугогасильних контактів;

\*\* – в чисельнику вказано дані для вимикачів на номінальний струм вимикання 20 кА, в знаменнику – на 31,5 кА;

\*\*\* – у чисельнику вказано опір дугогасильного пристрою для вимикачів на номінальний струм вимкнення 25 кА, в знаменнику – на 40 кА.

### Перевірка часових і швидкісних характеристик вимикачів.

Перевірка часових характеристик масляних вимикачів проводиться при номінальній напрузі оперативного струму. Часові параметри ввімкнення і вимкнення вимикачів повинні відповідати паспортним даним на конкретний тип вимикачів і даним, які наведені в таблиці 6.5.

Швидкісні характеристики визначаються за допомогою вібрографа або сучасних мікропроцесорних пристроїв (наприклад, Рекон 08ВВ) на вимикачах на номінальну напругу 35 кВ і вище. Аналогічні вимірювання можуть проводитися і на вимикачах 6–10 кВ.

Перевірка регульовальних характеристик вимикачів (вимірювання ходу рухомих контактів, визначення втискання контактів і одночасності замикання фаз).

Перевірка проводиться в обсязі, визначеному в заводській інструкції на даний тип вимикача. За відсутності заводських даних орієнтуватися слід на дані таблиці 6.6. У кожному разі, заводським даним надається перевага.

Таблиця 6.5 – Швидкісні і часові характеристики масляних електромагнітних вимикачів

Тип вимикача	Швидкість руху контактів, м/с		Власний час, с, не більше	
	при ввімкненні/ вимкненні	максимальна, не більше	ввімкнення	вимкнення
ВПМ-10	2,3±0,3/2,4±0,3	2,6/3,9	0,3	0,12
МГ-10	2,2±0,2/1,8±0,3	– /2,4	0,75	0,135
МГ-20	2,0±0,3/1,8±0,3	– /2,3	0,8	0,155
МГГ-10-45 УЗ	2,3±0,3/2,5±0,2	2,6/3,6	0,4	0,12
МГТ-10-5000-63УЗ	3,0±0,3/2,5±0,2	3,6/3,6	0,4	0,11
ВМ-14, ВМ-16	1,65/1,22	1,8/1,24	0,24	0,12
ВМ-22	1,6/1,5	–	0,24	0,15
ВМ-23	1,8/1,75	–	0,28	0,15
ВМГ-10	2,0+2,6/2,1+2,7	2,6/3,9	0,3	0,12
ВПМП-10	2,4+2,8/2,2*0,3	3,2/3,2	0,3	0,12
ВМПЭ-10-630 (1000, 1600)	4,7+0,3/3,0+0,3	5,7/5,0	0,3	0,07
ВМП10-10-3150	4+0,4/3,1+0,3	5,7/4,5	0,3	0,09
ВМП-10	4,5±0,5/3,4±0,4	5,0/5,0	0,3	0,1
ВМП-10П	4,5±0,4/3,5±0,3	6,0/5,0	0,2	0,1
ВММ-10	–/2,3	–	0,2	0,1
ВМПП-10-20	4,2+0,4/2,5+0,2	–	0,2	0,1
ВМПП-10-31,5	4,5+0,4/2,8+0,2	–	0,2	0,1
ВК-10-20-630 (1000)	3,5+0,3/2,5±0,2	–	0,075	0,05
ВК-10-20-1600	3,2±0,3/2,3±0,2	–	0,075	0,05
ВК-10-31,5-630 (1000)	4,2+0,4/2,5±0,2	–	0,075	0,05
ВК-10-31,5-1600	4,0-0,4/2,3±0,2	–	0,075	0,05
ВЭ-10-1250 (1600)-20	5,2+0,5/ 3,5+0,4	–	0,075	0,06

ВЭ-10-2500 (3600)-20	4,8+0,5/ 3,0+0,3	–	0,075	0,06
ВЭ-10-1250 (1600)-31,5	6,5+0,6/ 3,5+0,4	–	0,075	0,06
ВЭ-10-2500 (3600)-31,5	5,8+0,6/ 3,0+0,3	–	0,075	0,06
ВЭ(С)-6	5,8+0,6/3,0+0,3	–	0,075	0,06
ВКЭ-10-20-630 (1000)	4,0–0,4/2,5±0,2	–	0,3	0,07
ВКЭ-10-20-1600	3,8+0,4/2,3±0,3	–	0,3	0,07
ВКЭ-10-31,5-630 (1000)	4,0–0,4/2,5±0,3	–	0,3	0,07
ВКЭ-10-31,5-1600	3,8+0,4/2,3±0,3	–	0,3	0,07
С-35-630 з приводом ШПЭ-12	2,7±0,3/1,0±0,3	3,0-0,3/1,6±0,3	0,34	0,05
С-35-630 з приводом ПП-67	2,7±0,3/1±0,3	3,0-0,3/1,6±0,3	0,4	0,12
С-35-3200-50 з приводом ШПЭ-38	2,3+0,3/ 1,5+0,3	3,2-0,3/2,4-0,2	0,64	0,055
ВМГ-133	2,4+3/1,75+2	3,2/3,2	0,23	0,1
МКП-35	1,7+0,2/1,6+0	3,2-0,3/3,6-0,2	0,4	0,05
ВТ-35	1,8±0,3/1,1±0,2	2,1±0,3/2,7±0,3	0,35	0,12
ВТД-35	2,2±0,3/1,1±0,2	2,5±0,3/3,1±0,3	0,35	0,12
МКП-110	1,7+0,3/1,3+0,3	3,8-0,4/2,9-0,3	0,6	0,05
У-110-2000-10	1,7+0,3/1,3+0,3	3,3-0,4/3,7-0,4	0,3 (ШПВ)	–
			0,7 (ШПЭ)	0,06
У-110-2000-50	1,7+0,3/2,1+0,3	3,5-0,4/3,9-0,4	0,3(ШПВ)	-
			0,7 (ШПЭ)	0,05
У-220-1000/2000-25	1,9+0,3/1,3+0,3	4,6-0,4/3,8-0,4	0,8	0,05
У-220-2000-10	1,3+0,3/2,0+0,3	4,3-0,4/3,6-0,4	0,75	0,045
ВМТ-110, ВМТ-220 (25 кА)	2,7+3,3/2,3+2,9	–	0,13	0,035
ВМТ-110, ВМТ-220 (40 кА)	2,7+3,3/2,3+2,9	–	0,13	0,03
ММО-110	6,0±0,2/5,3±0,2	–	0,15	0,05
ВМГ-133 з приводом ПС- 10	–	–	0,35	0,1
ВМГ-133 з приводом ПШМ	–	–	0,2+0,3	0,1
ВМГ-133 з приводом ПВ- 10	2,0/3,0	3,0/3,3	0,16	0,1
ВМГ-133 з приводом ПЭ- 11	3,2/3,8	5,0/5,0	0,3	0,12
ВМН-10 з пружинным приводом	4,5/3,8	5,0/5,0	0,2	0,1
МКП-35 з приводом ШПС- 30	1,5+2,1/1,5+1,7	2,0+2,5/2,8+3,5	0,43	0,05
ВМП-110 з пружинным приводом	4,5/3,8	5,0/5,0	0,2	0,1
МКП-35 з приводом ШПС- 30	1,5+2,1/1,5+1,7	2,0+2,5/2,8+3,5	0,43	0,05
МКП-110-5 з приводом ШПЭ-37	2,1 ±0,3/1,6±0,3	3,7±0,4/3,3±0,4	0,75+0,85	0,06
МКП-110-5 з приводом ШПЭ-44	2,2 ±0,3/1,4±0,2	3,0+3,3/3,2±0,4	0,4+0,5	0,055
МКП-35 з приводом ШПЭ-2	1,7+2,5/2,0±0,3	2,9/3,7	0,43	0,05

Таблиця 6.6 – Норми на хід рухомих частин вимикачів

Тип вимикача	Хід руху частин, мм	Хід контактів (втиск), мм	Різномасність замикаання і розмикаання контактів, мм, не більше
ВІМ-10	210±5	45±5	5
МГ-10	425±15	90±2	5
МГ-20	475+500	90±2	5
МГГ-10-3150 (4000, 5000)- 45	295±5	90+95	4
		(18±2)	4
МГГ-10-5000-63	290±5	90+95	6(4)
		(22±4)	–
ВМ-14	–	–	4
ВМ-16	133±3	50±5	5
ВМ-22, ВМ-23	200±5	40±5	6
ВМГ-133	250±5	40±5	2
ВМГ-10	210±5	45±5	5
ВІМІІ-Ю	210±5	45±5	5
ВМІІ-10-630 (1000, 1600)	204±3	55±4	5
ВМІІ-10-3150	235±5	77±6	7
ВМІІ-10	240+245	59±4	5
ВММ-10	180	35±3	5
ВМІІІ-10	207±4	59±4	5
ВК-10, ВК-10	158±2	29+32	3
В-10, В(С)-6		26+31	-
		(7,5+9)	1
С-35-630-10	228±6	10±1	1
С-35-3200-50	280±5	20±1	1
МКІІ-35	260-275	15±1	2
ВТ-35, ВТД-35	230±10	8+13	2
МКІІ-110	465±10	8±1	2
У-110-2000-10	465±10	10±1	2
У-110-2000-50	485±15	20±1	2
У-220-1000/2000-25	795±10	7+10	2
У-220-2000-10	730±10	20±1	2
ВМТ-110, ВМТ-220	492±3	57+60	–
ММО-110	420±7	80±5	5
МКІІ-35 з приводом ШПІС- 30	280±10	–	2
МКІІ-110М з приводом ШП-33	500±20	7÷10	1
МКІІ-110М з з приводом ШП-31	500±10	7÷10	1
МКІІ-110-5 з приводом ШП-44	500±10	7÷10	1
МКІІ-110-5 з приводом ШП-44	500±10	7÷10	1
МКІІ-220	800±10	7÷10	1
МКІІ-274	1160±25	16±2	2

У таблиці 6.6 в дужках вказані норми для головних контактів.

**Перевірка спрацьовування привода при зниженій напрузі.** Електромагніти керування мають спрацьовувати при напрузі:

– увімкнення –  $0,85 \cdot U_{\text{ном}}$  при змінному струмі і  $0,8 \cdot U_{\text{ном}}$  при постійному струмі;

– вимкнення –  $0,7 \cdot U_{\text{ном}}$  при постійному струмі і  $0,65 \cdot U_{\text{ном}}$  при змінному струмі.

**Перевірка вимикачів багаторазовим увімкненням і вимкненням.** Дане випробування проводиться при номінальній напрузі на виводах електромагнітів керування. Кількість циклів увімкнення-вимкнення для масляних вимикачів дорівнює  $3 \div 5$ .

**Випробування трансформаторного масла з баків вимикача.** Олива з баків масляних вимикачів на напругу до 35 кВ після виконання ними граничного числа вимикань струмів КЗ замінюється свіжим без проведення випробувань. На практиці число вимикань струмів КЗ для вимикачів типу ВМГ–133 і їм подібних установлюється в межах 7–8. У бакових масляних вимикачів на напругу 110 кВ і вище олива випробовується також після виконання ними гранично допустимого числа комутацій струмів КЗ або навантаження. Кількість вимикань струмів КЗ для вимикачів такого типу встановлюється відповідно до вимог заводських інструкцій.

**Випробування вбудованих трансформаторів струму вимикача** Випробування проводиться згідно з відповідною методикою. Полярність трансформаторів струму вимикача визначається при увімкненому положенні вимикача.

**Умови випробувань і вимірювань.** Випробування проводять при температурі навколишнього середовища не нижчій  $+10$  °С.

Вологість навколишнього повітря має значення при проведенні високовольтних випробувань, тому конденсат на ізоляторах може привести до пробію ізоляції і, відповідно, до виходу з ладу обладнання (як випробувального, так і випробовуваного).

Атмосферний тиск особливого впливу на якість проведених випробувань не має, але фіксується для занесення даних в протокол.

**Засоби вимірювання.** Вимірювання опору ізоляції виконують мегомметром на напругу 2500 В.

Вимірювання опору постійному струму полюсів вимикачів проводиться мостами постійного струму (наприклад Р333), які дозволяють виконати вимірювання з точністю до 0,001 Ом за допомогою мікроомметра типу Ф4104-М1. За відсутності даних приладів можна використовувати метод амперметра–вольтметра з джерелом постійного струму, який може забезпечити достатній струм для проведення даних випробувань. Аналогічні прилади використовуються для перевірки характеристик контактів елемента викочування і комірки.

Випробування підвищеною напругою промислової частоти виконують за допомогою різних установок, які складаються з таких елементів: випробувального трансформатора, регулювального пристрою, контрольно-вимірювальної та захисної апаратури. До таких апаратів можна віднести установки АИИ – 70, АИД – 70, а також різні високовольтні випробувальні трансформатори, які мають достатній рівень захисту та належним чином підготовлені для проведення випробувань.

Для перевірки співвісності входу контактів використовують спеціальні пристосування, що постачаються в комплекті з КРП. Ці пристосування мають вигляд металевого прута з розміткою. За поділками можна орієнтовно визначити глибину проникання рухомих контактів в нерухомі.

Всі прилади мають бути повірені, а випробувальні установки – атестовані у відповідних державних органах (ЦСМ).

**Вимірювання опору ізоляції.** Вимірювання опору силових частин вимикачів проводиться за схемою, поданою на рис. 6.3.

Вимірювання проводиться пофазно. Вимикач вмикається, і на всі фази вимикача встановлюється заземлення. Мегомметр під'єднується до однієї з фаз, заземлення з цієї фази знімається і проводиться вимірювання. Значення опору ізоляції фіксується через 60 секунд.

Аналогічним чином проводиться вимірювання опору ізоляції стаціонарно встановлених вимикачів.

Опір ізоляції вторинних кіл вимикача та електромагнітів керування може перевірятися як окремо (на повністю виведеному вимикачі з від'єднаними вторинними колами), так і в складеному вигляді, наприклад, спільно з перевіркою пристроїв релейного захисту та кіл сигналізації. Причому, для вимикачів стаціонарного виконання другий варіант кращий.

А для вимикачів на викочуваних елементах (візках комплектних розподільних пристроїв) простіше вимірювати опір ізоляції на повністю викочених (і від'єднаних від усіх кіл) вимикачах.

Вимірювання опору ізоляції на вимкненому вимикачі (на розрив) не проводиться.

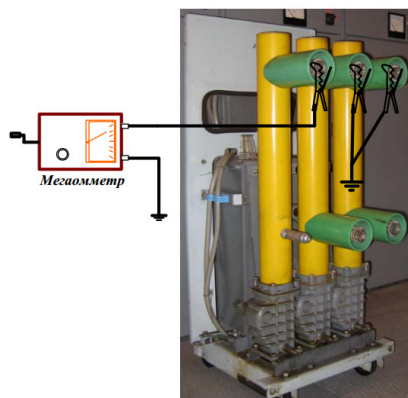


Рисунок 6.3 – Вимірювання опору основної ізоляції масляного вимикача на викочуваному елементі

**Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти.** Випробування проводиться в два етапи – спочатку проводиться пофазно випробування основної ізоляції вимикача, потім проводиться випробування вимикача «на розрив».

Для проведення випробування основної ізоляції вимикач так само, як і в досліді вимірювання опору ізоляції, включається, а всі фази заземлюють.

Готується випробувальна установка, під'єднується до випробуваного об'єкта. Знімається встановлене раніше заземлення. Здійснюється плавне підняття напруги до необхідного рівня (напруга піднімається стрибком до  $1/3$  необхідної величини, потім збільшення проводиться плавно зі швидкістю  $1 \div 2$  кВ в секунду, аж до необхідного рівня випробувальної напруги), напруга витримується 1 хвилину, потім плавно знижується до нуля. На випробувану фазу вимикача встановлюється заземлення, випробувальна установка від'єднується і під'єднується до наступної фази.

Для проведення випробування вимикача «на розрив» складається аналогічна схема, тільки в цьому випадку вимикач вимкнений, фази об'єднані, з одної сторони встановлено заземлення, а на іншу сторону вимикача подається випробувальна напруга.

Мета випробування вимикача «на розрив» – перевірка ізоляційних властивостей масла в баці. Якщо з оливою все нормально – випробування пройде успішно. Тривалість випробування і в тому і в іншому випадку – 1 хвилину.

Перевірка стану контактів вимикача (вимірювання опору постійному струму силових контактів) та вимірювання опору електромагнітів керування. Перевірка зводиться до вимірювання опору основних контактів вимикача за допомогою мегомметрів або мостів постійного струму. Місця замірів на вимикачах такі, як показано на рисунку 6.3. Вимірювання проводиться безпосередньо на полюсі, вимірюється опір контактів самого вимикача. Вимірний опір порівнюється з нормованими значеннями і за результатом порівняння оцінюється стан контактної системи вимикача.

Під час вимірювання використовують міст постійного струму. Вимірювання виконується аналогічним чином. Головним є те, що необхідно забезпечити надійний контакт з вимірюваним колом. Для оцінювання стану контактів викочуваного елемента вимірюють опір повного полюса. Вимірювання проводиться аналогічним чином як і при вимірюванні полюса вимикача, але в даному випадку необхідно виміряти опір якомога ближче до розеткових груп викочуваного елемента.

Значення опору повного полюса викочуваного елемента не має перевищувати значення опору полюса вимикача більше, ніж на 50 мкОм.

Вимірювання опору електромагнітів (соленоїдів увімкнення і вимкнення) вимикача виконують за допомогою моста постійного струму, повністю виділивши вимірювану частину зі схеми керування. Вимірювання є актуальним для електромагнітних приводів (на постійному струмі) і менш актуальним (але все одно проводиться) для пружинних та

інших конструкцій приводів вимикачів. У першому випадку (для постійного струму) значення опору використовується, в подальшому, для перевірки роботи вимикача при зниженій напрузі (напругу зменшують і з метою подальшої перевірки відсутності замкнутих витків). У другому випадку вимірювання проводиться для визначення працездатності котушки увімкнення або вимкнення.

**Перевірка часових і регулювальних характеристик вимикачів**  
Дана перевірка проводиться при номінальній напрузі оперативного струму.

Використовуючи секундомір, який під'єднують до силових контактів вимикача, фіксується час увімкнення вимикача після подачі сигналу від ключа. При цьому ключ має одночасно подати сигнал на пуск секундоміра та на ввімкнення вимикача.

Схема не наводиться тому, що все залежить від використовуваного устаткування. Перевірка регулювальних характеристик вимикачів (повного ходу) на вимикачах типу ВМГ-133 і їм подібних проводиться з відкритим розміщенням рухомого контакту – свічки.

Попередньо до кожного полюса вимикача під'єднується лампа розжарювання (або будь-якого іншого типу, наприклад світлодіодні індикатори тощо). На лампи через полюси вимикача подається напруга (часто 12 В для безпеки) таким чином, щоб у момент замкнення контактів лампи засвітились. У вимкненому стані вимикача на свічці (рухомому контакті) в місці входу в ставиться відмітка (звичайною викруткою проводиться лінія).

За допомогою привода вручну починається операція ввімкнення вимикача (у пружинному приводі для цього необхідно розвантажити пружину). У момент, коли лампа почне світити (свічка доторкнеться до розеткового контакту) на свічці проводиться ще одна лінія.

Далі вимикач вмикається до фіксації. Потім рисується третя лінія на свічці.

Вимикач вимикається, і лінійкою вимірюється відстань між лініями. Повний хід контакту – відстань між крайніми лініями. Втискання – між верхньою і середньою лініями.

При проведенні регулювальних випробувань можна провести ще й випробування на одночасність замикання різних фаз вимикача. Для цього при спрацьовуванні індикатора на першій фазі (точніше при спрацьовуванні першого з індикаторів або лампочки на будь-якій з фаз) на свічці цього полюса ставлять відмітку, як це було описано вище. Продовжуючи плавно вмикати вимикач до спрацьовування індикатора на іншій або на інших фазах, в момент спрацьовування індикаторів на тій фазі, де індикатор ввімкнувся першим, на свічці ставлять ще одну допоміжну позначку. Якщо ввімкнення двох інших фаз відбулося неодноразово, то такі ж додаткові позначки ставлять і на тій фазі, на якій спрацьовування індикатора відбулося другим. Після повного ввімкнення і



вимкнення вимикача вимірюють відстань між цими додатковими відмітками – це і буде різний час замикання контактів перемикача в мм.

Всі перераховані вище випробування можливі на вимикачах з зовнішнім ходом свічки (рухомих контактах). На вимикачах бакового виконання корпус бака опускається (олива зливається до рівня, необхідного для подальшого опускання бака, або зливається зовсім). Подальші випробування аналогічні вищеописаним і відповідають таким станам вимикача:

1. Стан вимикача, при якому рухомий контакт вимикача знаходиться у вимкненому положенні;

2. Стан вимикача в момент дотику рухомого контакту до розеткового контакту;

3. Стан вимикача, при якому вимикач знаходиться в увімкненому положенні;

4. Стан вимикача, при якому рухомий контакт вимикача знаходиться у вимкненому положенні і на ньому вже проставлені відмітки, які відповідають положенню рухомого контакту вимикача під час ручного увімкнення вимикача. Далі за допомогою вимірювального інструмента вимірюються: хід контактів і різниця часу увімкнення фаз вимикача.

**Перевірка спрацьовування привода при зниженій напрузі**  
Перевірка проводиться на масляних вимикачах, оснащених електромагнітними приводами, а також на вимикачах, які оснащені пружинними приводами за умови стисненого положення пружини привода.

Принцип перевірки оснований на перевірці можливості увімкнення і вимкнення вимикача при зниженій напрузі оперативного струму. Перевірка проводиться в такому порядку:

– проводиться оцінювання споживаної потужності електромагніту з урахуванням параметрів опору котушки;

– відповідно до споживаної потужності підбирається автотрансформатор (ЛАТР) для регулювання напруги та випрямний пристрій; а за наявності потужного електромагніту увімкнення (наприклад, для приводів типу ПС-10 і ПЕ-11, не кажучи вже про приводи потужних вимикачів типу МКП) підбирається додатковий резистор (при вмиканні додаткового опору в коло вимикача і при подаванні сигналу на увімкнення напруга на соленоїді увімкнення має бути не більшою допустимою);

– складається схема і проводиться пробне увімкнення (вимкнення) вимикача.

За допомогою ЛАТРа напруга знижується до рівня  $0,85 \cdot U_{\text{ном}}$  для електромагнітів увімкнення на змінному струмі і  $0,8 \cdot U_{\text{ном}}$  для електромагнітів увімкнення на постійному струмі. Для електромагнітів вимкнення напруга відповідно має бути  $0,65 \cdot U_{\text{ном}}$  і  $0,7 \cdot U_{\text{ном}}$ .

При ввімкненні вимикача напруга на затискачах електромагнітів керування (котушок керування) знизиться до необхідної величини за рахунок спаду напруги в схемі випробувальної установки.

Випробувальна установка під'єднується до затискачів живлення ШЖ (шини живлення електромагнітів керування, якщо шини живлення виконані окремо) або безпосередньо до контактів проміжного реле керування електромагнітом увімкнення вимикача. При цьому необхідно перевірити, чи штатне живлення від цих затискачів від'єднане.

Для електромагніту вимкнення необхідно виділити коло з загальної схеми РЗА для ввімкнення випробувальної схеми.

За наявності в схемі оперативного струму акумуляторної батареї дане випробування можна виконати без застосування ЛАТРа і випрямного блока. Для цього живлення на випробовувану схему подають від відповідної кількості акумуляторів, або від відповідної акумуляторної батареї.

Далі перевіряють співвісність контактів викочуваного елемента і комірки, а потім вимірюють перехідний опір їх силових контактів.

**Обробка даних, отриманих при випробуваннях.** Первинні записи робочого зошита мають містити такі дані:

- дата вимірювань;
- температура, вологість і тиск;
- номінальні дані об'єкта випробувань;
- результати випробувань;
- результати зовнішнього огляду;
- використовувана схема.

Всі дані випробувань порівнюються з вимогами нормативної технічної документації (НТД) і на основі порівняння робиться висновок про придатність вимикача до експлуатації.

### **6.1.2 Випробування вакуумних вимикачів**

Об'єктом випробування у вакуумних вимикачах є, насамперед, фазна ізоляція вимикачів, стан вакууму в камері, стан контактів вимикачів, часові характеристики вимикачів, і, під час випробувань вимикачів на викочуваному елементі (візку), співвісність входження вимикачів на візку з приймальними елементами комірки комплектного розподільного пристрою (КРП), глибина входження та рівномірність входження по фазах, а також стан контактів комірки і вимикача. Останні випробування зазвичай проводяться саме для викочуваного елемента комірки, а не для вакуумного вимикача.

Обсяг випробувань вакуумних вимикачів:

- вимірювання опору ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування вимикачем;
- вимірювання опору ізоляції силових частин вимикачів (К);
- випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти (К);

- випробування ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування (К);
- перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування (К);
- випробування вимикачів багаторазовими ввімкненнями і вимиканнями (К);
- перевірка стану контактів вимикача (К, М);
- перевірка часових (за необхідності і швидкісних) характеристик вимикачів (К);
- тепловізійний контроль (М).

Обсяг випробувань вимикачів разом з викочуваним елементом КРП:

- вимірювання опору ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування (К);
- вимірювання опору ізоляції силових частин вимикачів і опорної ізоляції викочуваного елемента (К);
- випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти (К);
- випробування ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування (К);
- перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування (К);
- випробування вимикачів багаторазовими ввімкненнями і вимиканнями (К);
- перевірка стану контактів вимикача (К, М);
- перевірка часових (за необхідності) характеристик вимикачів (К);
- перевірка співвідношення контактів вимикача і контактів комірки (К);
- перевірка характеристик контактів викочуваного елемента і комірки при вкочуванні (К).

Примітка. К – капітальний ремонт, випробування при прийнятті в експлуатацію; М – міжремонтні випробування.

Зовнішній вигляд вакуумного вимикача ВВ/TEL наведено на рис. 6.4. Вимикач встановлюється на штатне місце експлуатації і комплектується блоком керування, а також, у разі потреби, блоком живлення і (або) захисту.

Вакуумні вимикачі можуть встановлюватися на викочувані елементи комірок КРП. Ними можуть замінюватися масляні вимикачі, комплектуватися пункти секціонування ПЛ і т. п. На рисунку 6.4 показано вимикач ВВ/TEL, встановлений в комірці К–112. У даному випадку випробування слід виконувати за нормами для вимірювальних трансформаторів.



Рисунок 6.4 – Вакуумний вимикач, встановлений в комірці К–112

**Опір ізоляції.** У процесі експлуатації вимірювання проводяться на вакуумних вимикачах 6–10 кВ – при ремонтних роботах в комірках, де вони встановлені; перевірка ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування може проводитися спільно з перевіркою пристроїв релейного захисту.

Вимірні значення опору ізоляції повинні бути не менші значень, наведених у таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Значення опору ізоляції вакуумних вимикачів

Клас напруги (кВ)	Допустимий опір ізоляції (МОм), не менше	
	Основна ізоляція	Вторинні кола і електромагніти керування
3–10	300	1 (1)
15–110	1000	1 (1)
220	3000	1 (1)

Примітка. Опори ізоляції вторинних обмоток наведені: без дужок – при вимкнених вторинних колах, в дужках – з увімкненими вторинними колами.

**Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти.** Випробування ізоляції підвищеною напругою проводиться після перших двох років експлуатації вимикачів і надалі через п'ять років експлуатації. Випробування вторинних кіл і електромагнітів керування може проводитися спільно з силовими колами вимикачів або при перевірці кіл релейного захисту приєднання в обсязі, відповідному виду перевірки.

Значення випробувальної напруги для вторинних кіл і електромагнітів керування має становити 1 кВ, за умови, що дані пристрої розраховані на напругу не нижче 60 В. Таким чином, електромагніти керування вакуумних вимикачів ВВ/TEL, які працюють від блока керування типу ВВ/TEL, випробуванню не підлягають.

При випробуванні вимикача «на розрив» випробувальна напруга дорівнює напрузі для випробування основної ізоляції.

Таблиця 6.8 – Значення випробувальної напруги промислової частоти

Клас напруги (кВ)	Випробувальна напруга (кВ) для вакуумних вимикачів		
	На заводі-виробнику	Перед введенням в експлуатацію і в експлуатації	
		Фарфорова ізоляція	Інші види ізоляції
До 0,69	2,0	1	1
3	24,0	24	21,6
6	32,0	32	28,8
10	42,0	42	37,8
15	55,0	55	49,5
20	65,0	65	58,5
35	95,0	95	85,5

**Перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування.** Електромагніти керування мають спрацьовувати при нарузі:

– ввімкнення –  $0,85 U_{\text{ном}}$ ;

– вимикання –  $0,7 U_{\text{ном}}$ .

Вимикачі ВВ / TEL, які працюють від блока керування типу БУ/TEL, даному випробуванню не піддавалися, оскільки для ввімкнення вимикача використовувалася енергія, накопичена спеціально призначеними для цього конденсаторами великої ємності, встановленими безпосередньо в блоці керування.

#### **Перевірка вимикачів багаторазовим увімкненням і вимиканням**

Стан контактів визначають шляхом вимірювання опору при постійному струмі полюсів вимикачів, зовнішньому огляду контакти не піддаються – вакуумну камеру розбирати забороняється. Опір постійного струму кожного полюса вимикача має бути не більшим нормованого в технічній документації на відповідне обладнання.

Орієнтовні дані опору полюсів вимикачів залежно від номінального струму вимикачів вказані в таблиці 6.9 Для деяких типів вимикачів заводом-виробником може нормуватись інше значення опору, тому необхідно орієнтуватися на паспортні дані саме цього вимикача.

Таблиця 6.9 – Опір полюса вимикача залежно від номінального струму

Номінальний струм вимикача (А)	Опір полюса (мкОм)
630	50
1000	40

При випробуванні вакуумних вимикачів виробництва фірми «Таврида Електрик» можна орієнтуватися на значення опору залежно від номінального струму вимикача (рис. 6.5). Значеннями цих же кривих можна керуватися при переведенні вимикача в розряд з меншим номінальним струмом в разі погіршення стану контактів.

Вимірювання проводиться якнайближче до контактів самого вимикача. Дані умови дозволяють оцінити стан саме контактів вимикача, вилучаючи при вимірюванні контактні з'єднання, наприклад, розеткових груп елемента викочування або контактні з'єднання вимірювальних трансформаторів струму і ошиновки розподільних пристроїв (при встановленні вимикачів безпосередньо у розріз шин).

Якщо проводиться випробування вакуумного вимикача, встановленого на викочуваному елементі, можна провести вимірювання опору всього полюса вимикача і контактів розеткових груп. У цьому випадку вимірювання проводиться спочатку самого вимикача, а потім повний опір всього полюса однієї фази викочуваного елемента. Значення повного опору полюса викочуваного елемента нормується в технічній документації безпосередньо на конкретний вид обладнання.

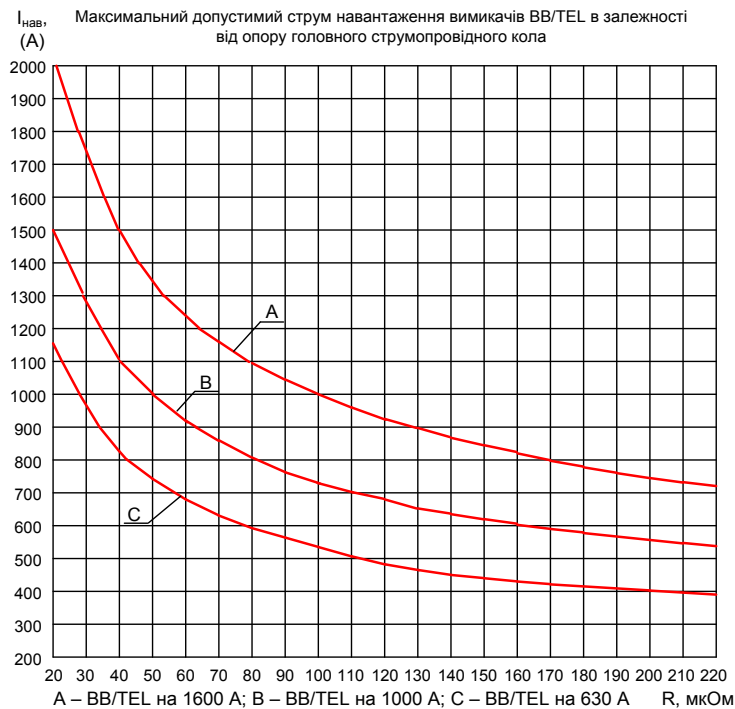


Рисунок 6.5 – Значення перехідного опору головних контактів вимикачів серії ВВ/TEL

**Перевірка часових характеристик вимикачів.** Перевірка часових характеристик вакуумних вимикачів проводиться при номінальній напрузі оперативного струму. Часові параметри увімкнення і вимикання вимикачів мають відповідати паспортним даним на конкретний тип вимикачів.

Орієнтовно час увімкнення вакуумного вимикача коливається в межах 0,05–0,08 с, час вимикання – в межах 0,05–0,07 с.

Швидкісні характеристики визначаються за допомогою вібрографа на вимикачах старих конструкцій з траверсами від привода до рухомого контакту дугогасильної камери.

#### **Перевірка співвісності контактів вимикача і контактів комірки**

Співвідношення визначається після викочування візка викочуваного елемента та після вкочування його на штатне місце (в комірку). Перевірка проводиться за допомогою спеціальних інструментів і пристосувань, одночасно визначається глибина входження рухомих контактів в нерухомі і рівномірність цього входження відносно сусідніх фаз вимикача.

**Перевірка характеристик контактів викочуваного елемента і комірки.** Даний вид перевірки проводиться для визначення стану контактних з'єднань в комірці КРП. Цей вид перевірки дозволяє впевнитися в надійності і якості контактної з'єднання між викочуваним елементом і нерухомими контактами комірки КРП. Застосовувати даний вид вимірів доцільно разом з визначенням співвісності контактів і глибини їхнього входження.

Значення опорів контактів постійному струму елементів КРП наведені в таблиці 6.10.

Ці вимірювання проводяться тільки в тому випадку, коли це дозволяє конструкція розподільного пристрою (тоді можна дістатися до контактів комірки при ввімкненому положенні вимикача).

Таблиця 6.10 – Допустимі значення опорів постійному струму елементів КРП

Вимірювальний елемент	Номінальний струм контактів (А)	Опір (мкОм)
Вхідні контакти первинного кола	400	75
	630	60
	1000	50
	1600	40
	2000 і більше	33

**Умови випробувань і вимірювань.** Випробування проводять при температурі навколишнього середовища, не нижчій +10 °С.

Вологість повітря має значення при проведенні високовольтних випробовуваних обмоток, тому що конденсат на ізоляторах може призвести до пробоя ізоляції і відповідно до виходу з ладу обладнання (як випробувального, так і випробуваного).

Атмосферний тиск особливо на якість проведених випробувань не впливає, але фіксується для занесення даних в протокол.

**Засоби вимірювання.** Вимірювання опору ізоляції виконують мегомметром на напругу 2500 В. Вимірювання опору постійному струму полюсів вимикачів проводиться мостами постійного струму (наприклад Р333), які дозволяють виконати вимірювання з точністю до 0,001 Ом, мікроомметром типу Ф4104–М1 і т. п. За відсутності даних приладів можна використовувати метод амперметра–вольтметра з джерелом постійного струму, яке може забезпечити достатній струм для проведення даних випробувань. Аналогічні прилади використовуються для перевірки характеристик контактів викочуваного елемента і комірки.

Випробування підвищеною напругою промислової частоти виконують за допомогою різних установок, які складаються з таких елементів: випробувального трансформатора, регульовального пристрою, контрольно-вимірювальної та захисної апаратури. До таких апаратів можна віднести установки АИИ-70, АИД-70, а також різні високовольтні випробувальні трансформатори, які мають достатній рівень захисту та належний рівень підготовленості для проведення випробувань.

Для перевірки входу контактів використовують спеціальні пристосування, що постачаються в комплекті з КРП. Ці пристосування мають вигляд металевого прута з розміткою. За поділками можна орієнтовно визначити глибину входу рухомих контактів в нерухомі. Всі

прилади повинні бути повірені, а випробувальні установки атестовані у відповідних державних органах (наприклад, органах Метрологічної служби України, ДП «Укрметртестстандарт»).

### **Порядок проведення випробувань і вимірювань**

**Вимірювання опору ізоляції.** Вимірювання опору силових частин вимикачів проводиться за схемою, поданою на рис. 6.6. Як видно з рисунка, вимірювання проводиться відносно землі і двох інших заземлених фаз.

Вимикач вмикається, всі фази заземлюються, до однієї фази вимикача під'єднується мегомметр. Заземлення з цієї фази вимикача знімається, проводиться вимірювання опору ізоляції. Потім заземлення відновлюється, мегомметр перемикається на іншу фазу вимикача. Виконуються аналогічні операції для всіх фаз послідовно. Весь час проведення вимірювань вимикач залишається ввімкненим.

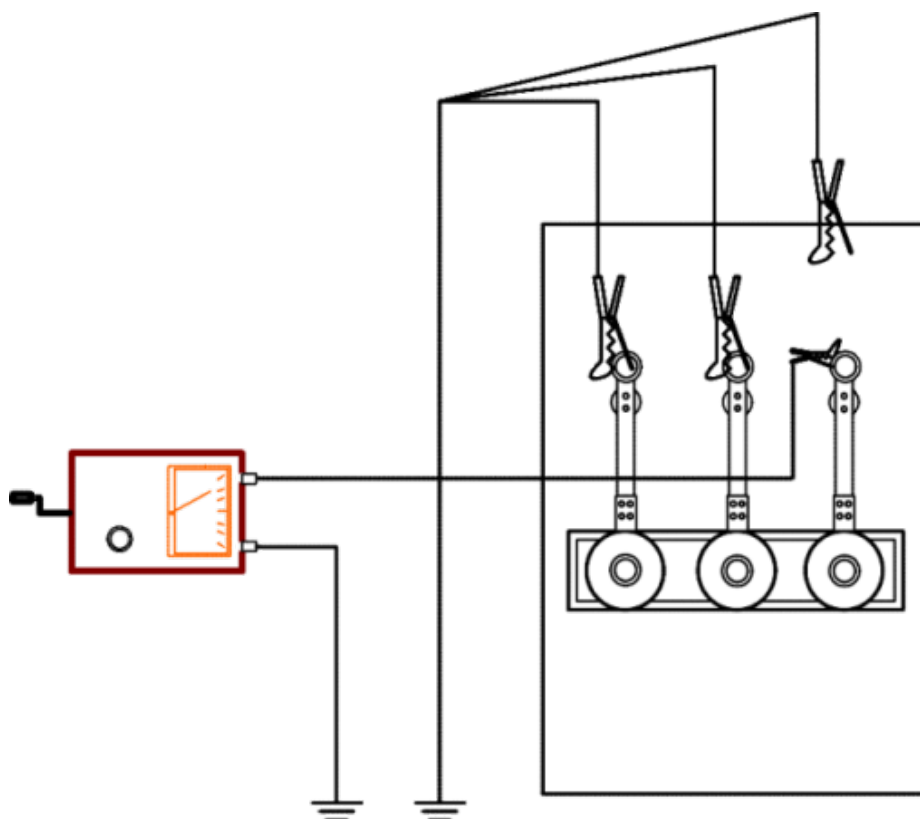


Рисунок 6.6 – Вимірювання опору ізоляції силових частин вимикача на викочуваному елементі

Опір ізоляції електромагнітів керування виконують залежно від внутрішньої схеми привода вимикача. Вимірювання проводиться відносно землі на одному з полюсів електромагнітів (електромагніту), при цьому цілісність котушки перевіряється окремо шляхом вимірювання опору омметром (або іншим способом).

**Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти.** Випробування проводиться в два етапи – спочатку здійснюються



пофазні випробування основної ізоляції вимикача, потім проводиться випробування вимикача «на розрив».

Для проведення випробування основної ізоляції вимикач, так само, як і в досліді з вимірювання опору ізоляції, вмикається. Всі його фази заземлюються.

Готується випробувальна установка, яка під'єднується до випробовуваного об'єкта. Знімається встановлене раніше заземлення. Виконується плавне підняття напруги до необхідного рівня (напруга піднімається стрибком до 1/3 необхідної величини, потім збільшення здійснюється плавно зі швидкістю  $1 \div 2$  кВ в секунду аж до необхідного рівня випробувальної напруги), напруга витримується протягом однієї хвилини і потім плавно знижується до нуля. На випробовувану фазу вимикача встановлюється заземлення. Випробувальна установка від'єднується і під'єднується до наступної фази.

На рисунку 6.7 показано схему проведення випробування основної ізоляції вакуумного вимикача на викочуваному елементі напругою промислової частоти.

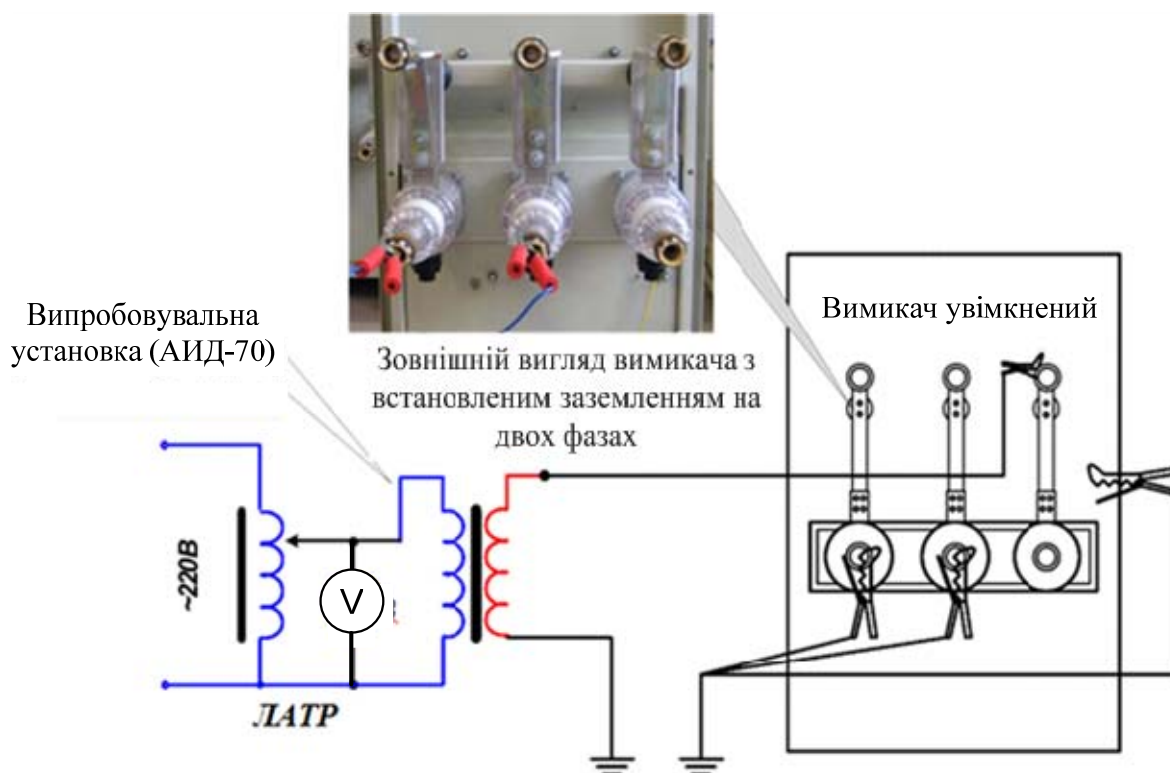


Рисунок 6.7 – Випробування ізоляції силових частин вимикача на викочуваному елементі підвищеною напругою промислової частоти

Для проведення випробування вимикача «на розрив» складається аналогічна схема, тільки в цьому випадку вимикач вимкнений. Фази

з'єднані між собою перемичкою. З одного боку встановлено заземлення, а на іншу сторону вимикача подається випробувальна напруга (рис. 6.8).

Задача випробування вимикача «на розрив» – перевірка стану вакууму у вакуумній камері вимикача. Якщо з камерою все нормально, то випробування пройде успішно. Під час проведення випробування можливі іскрові пробої у вакуумній камері. В цьому випадку необхідно плавно знизити випробувальну напругу до моменту припинення пробоеів, почекати 3–4 хвилини, а потім знову продовжити випробування з необхідною величиною напруги. Тривалість випробування – 1 хвилина.

Експериментально встановлено, що при проведенні випробування вакуумного вимикача «на розрив» на відстані трьох метрів від випробуваного вимикача (довжина проводів установки до АИД-70) не відбувається підвищення рівня радіації вище фонового значення в 30 мікрорентгенів. Тому побоюватися високого рівня радіації не варто.

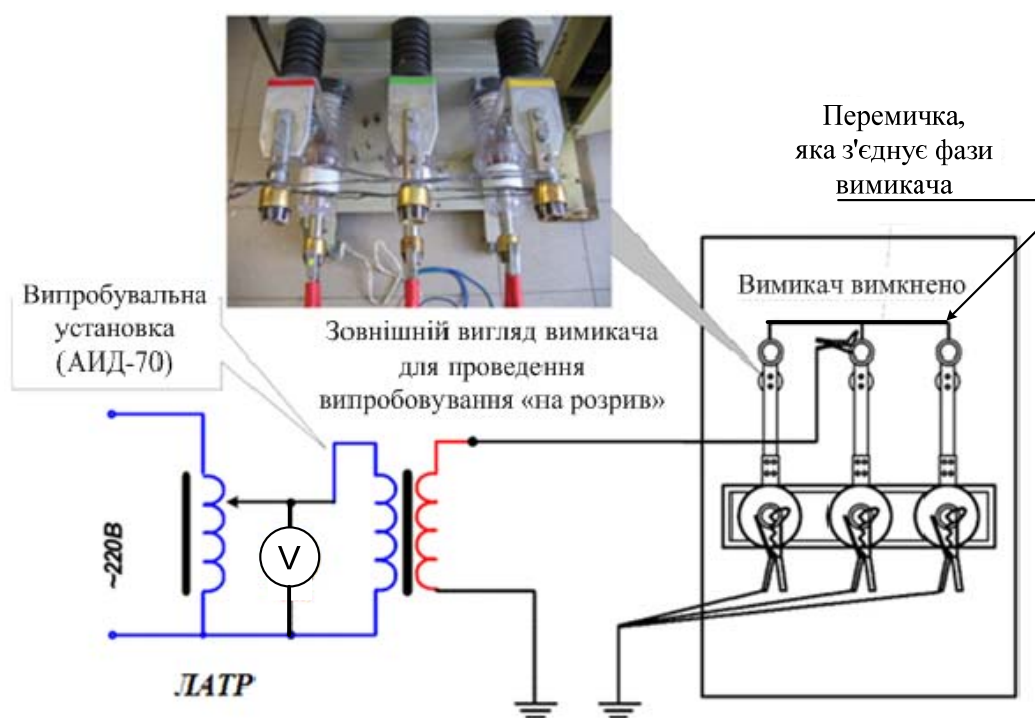


Рисунок 6.8 – Випробування ізоляції вимикача на викочуваному елементі підвищеною напругою промислової частоти «на розрив»

**Перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування.** Перевірка проводиться на вакуумних вимикачах, оснащених електромагнітним приводом. Дана перевірка не проводиться з вимикачами, оснащеними приводами на основі магнітної заціпки.

Принцип перевірки базується на перевірці можливості ввімкнення і вимкнення вимикача при зниженій напрузі. Перевірка проводиться в такому порядку:

- проводиться оцінювання споживаної потужності електромагніту за параметрами виміряного опору котушки;
- відповідно до споживаної потужності підбирається автотрансформатор (ЛАТР) для регулювання напруги та випрямний пристрій;
- складається схема згідно з рисунком 6.9 і виробляється пробне ввімкнення (вимикання) вимикача.

Увімкнення в коло електромагнітів керування активного опору неприйнятно, тому що в початковий момент за рахунок індуктивності котушки до неї буде прикладено повну напругу оперативного струму.

За допомогою ЛАТРа напруга знижується до рівня  $0,9U_{ном}$  для електромагнітів увімкнення і  $0,7U_{ном}$  для електромагнітів вимикання. При вмиканні вимикача напруга на затискачах ЕМУ знизиться до необхідної величини за рахунок спаду напруги в схемі випробувальної установки. Електромагніт вимикання набагато менший електромагніту ввімкнення, тому при вимиканні вимикача напруга установки відразу встановлюється на нормованому рівні.

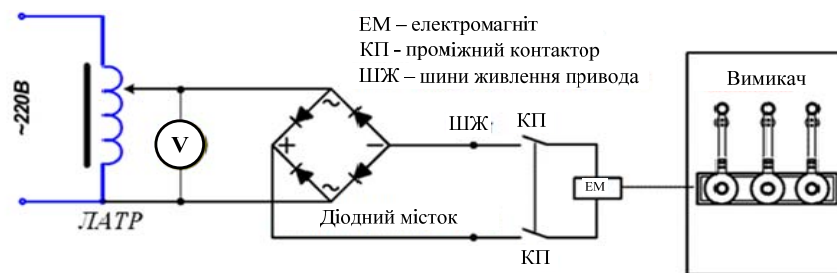


Рисунок 6.9 – Перевірка мінімальної напруги спрацювання ЕМУ

Випробувальна установка під'єднується до затискачів живлення ШЖ (шин живлення електромагнітів керування, якщо такі виконані окремо) або безпосередньо на контакти проміжного реле керування електромагнітом увімкнення вимикача. При цьому необхідно перевірити, що живлення на цих затискачах вимкнено.

Для електромагніту вимикання необхідно виділити коло з загальної схеми РЗА для ввімкнення випробувальної схеми.

За наявності в схемі оперативного струму акумуляторної батареї дане випробування можна провести без застосування ЛАТРа і випрямного блока. Для цього живлення випробувальної схеми подають від відповідної кількості акумуляторів батареї.

Перевірка зводиться до вимірювання опору основних контактів вимикача з використанням мікрометрів або мостів постійного струму. Місця вимірювань на вимикачах показані на рисунку 6.10.

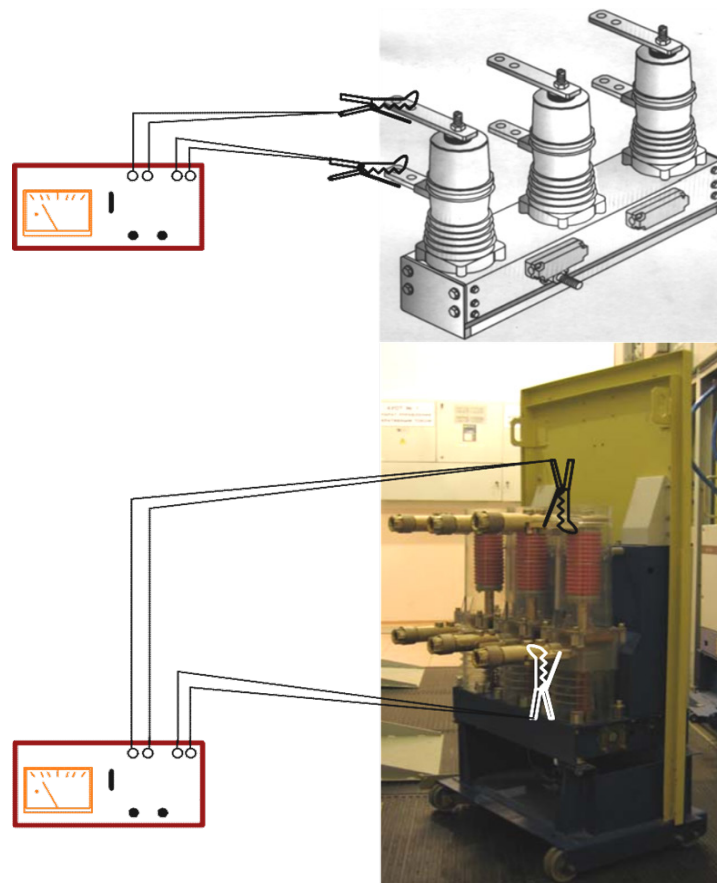


Рисунок 6.10 – Вимірювання опору основних контактів вимикачів

Вимірювання проводиться безпосередньо в вакуумній камері, якій вимірюється опір контактів самого вимикача.

Вимірний опір порівнюється з нормованими значеннями, і за результатами порівняння оцінюється стан контактної системи вимикача.

Вимірювання можна виконати за допомогою моста постійного струму. Вимірювання проводиться аналогічним чином, головне – необхідно забезпечити надійний контакт з вимірюваним колом.

Для оцінювання стану контактів викочуваного елемента проводиться вимірювання повного полюса. Вимірювання проводиться аналогічним чином, як і при вимірюванні полюса вимикача, але в даному випадку необхідно виміряти опір якомога ближче до розеткових груп викочуваного елемента. Значення опору повного полюса викочуваного елемента не має перевищувати значення опору полюса вимикача більше, ніж на 50 мкОм.

**Перевірка часових характеристик вимикачів.** Дана перевірка проводиться при номінальній напрузі оперативного струму. Використовуючи секундомір, який під'єднують до силових контактів вимикача, засікають час увімкнення вимикача після подачі сигналу від ключа. При цьому ключ повинен одночасно подати сигнал на пуск секундоміра і на ввімкнення вимикача.

**Перевірка співвісності контактів викочуваного елемента і комірки та характеристик цих контактів (опору).** Ця перевірка проводиться тільки в тому випадку, якщо є можливість відкрити доступ до контактів при вкоченій комірці. Така можливість є у комірок К-104, К-304.

**Обробка даних, отриманих при випробуваннях.** Первинні записи робочого зошита повинні містити такі дані:

- дату вимірів;
- температуру, вологість і тиск;
- найменування, тип, заводський номер вимикача;
- номінальні дані об'єкта випробувань;
- результати випробувань;
- результати зовнішнього огляду;
- використовувану схему.

Всі дані випробувань порівнюються з вимогами НТД, і на підставі порівняння робиться висновок про придатність вимикача до експлуатації.

### **6.1.3 Випробування повітряних вимикачів**

Випробування повітряних вимикачів необхідно проводити з дотриманням загальних і спеціальних заходів техніки безпеки. Персонал, який виконує налагоджувальні роботи, має знаходитися при випробуваннях в захищеному місці (випробувальні лабораторії, пересувні майстерні і т. п.), не ближче 15÷20 м від крайньої фази. Доступ до вимикача, на якому ведуться випробування, обгороджують канатом в радіусі 50÷60 м [39].

Відповідно до вимог ПУЕ, повітряні вимикачі, що вводяться в експлуатацію, піддаються випробуванням в такому обсязі.

**Вимірювання опору ізоляції.** Вимірювання опору ізоляції повітряних вимикачів передбачає вимірювання опору ізоляції опорних ізоляторів дугогасильних камер і відділювачів та вторинних кіл, а саме: обмоток електромагнітів увімкнення і вимкнення.

**Випробування підвищеною напругою промислової частоти.** Випробування ізоляції повітряних вимикачів підвищеною напругою промислової частоти передбачає випробування: ізоляції вимикачів, ізоляції вторинних кіл і обмоток електромагнітів керування.

**Вимірювання опору постійному струму.** Вимірювання опору ізоляції повітряних вимикачів постійному струму передбачає вимірювання опору ізоляції контактів повітряних вимикачів всіх класів напруги, обмоток електромагнітів увімкнення і вимкнення вимикачів, подільників напруги і шунтувальних резисторів вимикача.

**Перевірка характеристик вимикача.** Перевірка характеристик повітряного вимикача передбачає: перевірку спрацьовування привода вимикача при зниженій напрузі, випробування вимикача багаторазовим увімкненням і вимкненням, випробування конденсаторів подільників

напруги повітряних вимикачів, перевірку ходу якоря електромагніту керування.

**Проведення періодичних перевірок, вимірювань та випробувань повітряних вимикачів, що знаходяться в експлуатації**

**Вимірювання опору ізоляції.** Вимірювання опору ізоляторів, ізоляторів дугогасильних камер, відділювачів і ізолювальних тяг проводиться, без винятку, для всіх класів напруг мегомметром на напругу 2,5 кВ або від джерела напруги випрямленого струму.

У разі необхідності, особливо при вимірюваннях в сиру погоду, для усунення впливу струмів витoku на покази мегомметра на зовнішній поверхні ізоляторів встановлюються охоронні кільця (рис. 6.11).

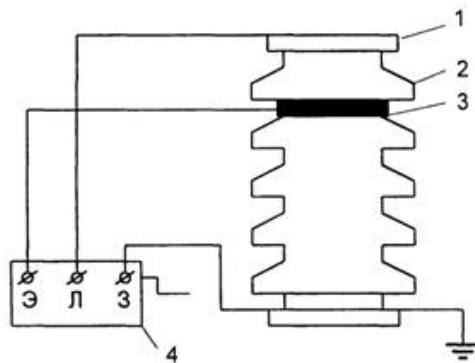


Рисунок 6.11 – Схема вимірювання ізоляції ізоляторів із застосуванням вихрових кілець: 1 – металевий фланець; 2 – верхнє ребро ізолятора; 3 – охоронне кільце; 4 – мегомметр

Позначення клем на корпусі мегомметра: «Э» – для приєднання до екрана; «Л» – для приєднання до лінії, опір ізоляції якої вимірюється; «З» – для приєднання до заземлення. Замість позначення «З» може бути позначення «-» (у мегомметрах ЭСО210/1, ЭСО210/3, ЭСО210/1-Г, ЭСО210/3 -Г, Е6-22 і т. п.), а замість позначення «Л» – «Rx, Ux» (у мегомметрах ЭСО210/1, ЭСО210/3, ЭСО210/1-Г, ЭСО210/3 -Г).

Граничні значення опору ізоляції наведено в табл. 6.11.

Таблиця 6.11 – Найменший допустимий опір опорної ізоляції та ізоляції рухомих частин повітряних вимикачів

Об'єкт випробування	Опір ізоляції, МОм, при номінальній напрузі вимикача, кВ		
	До 15	20-35	110 і вище
Опорний ізолятор, повітропровід і тяга (кожен окремо), виготовлені з фарфору	1000	1000	5000
Тяга, виготовлена з органічних матеріалів		3000	

Вимірювання проводяться з усіма приєднаними колами керування, захисту та сигналізації мегомметром на напругу 500÷1000 В. Опір ізоляції не має бути меншим 1 МОм.

#### **Випробування підвищеною напругою підвищеної частоти**

Випробування підвищеною напругою підвищеної частоти ізоляції вимикачів обов'язково проводиться для вимикачів напругою до 35 кВ включно.

Випробування підвищеною напругою промислової частоти опорної ізоляції вимикача, що складається з багатоелементних ізоляторів, виконується напругою 50 кВ, яка прикладається до кожного елемента ізолятора. Опорну ізоляцію з суцільного фарфору випробовують напругою промислової частоти за нормами, наведеними в табл. 6.12. Випробувальна напруга для апаратів і КРП поширюється як на їх ізоляцію відносно землі і між полюсами, так і на проміжок між контактами з одним або двома (значення в дужках) розривами на полюс. Тривалість прикладання нормованої випробувальної напруги 1 хв.

Випробування підвищеною напругою підвищеної частоти ізоляції вторинних кіл і обмоток електроприймачів керування проводиться напругою 1 кВ з усіма приєднувальними апаратами протягом 1 хв.

#### **Вимірювання опору постійному струму**

**Випробування контактів повітряних вимикачів.** Вимірювання виконуються для вимикачів усіх класів напруг. Вимірюванню підлягає опір всього струму провідного контуру, а також опір контактних розривів кожної камери, відділювача, ножа і т. п. окремо. Для вимірювання застосовують мікроомметри, подвійні мости або метод ампер-вольтметра. Опір постійному струму контактів має бути не більшим допустимих значень, зазначених у табл. 6.12 або у заводській документації.

Таблиця 6.12 – Випробувальні напруги промислової частоти електрообладнання класів напруги до 35 кВ

Номінальна напруга, кВ	Випробувальна напруга, кВ		
	на заводі-виробнику	Апарати, КРП, КТП	
		перед введенням в експлуатацію	перед введенням в експлуатацію і в експлуатації
		Фарфорова ізоляція	Інші види ізоляції
3	24	24	21,6
6	32(37)	32(37)	28,8 (33,3)
10	12(48)	42(18)	37,8 (43,2)
15	55(63)	55(63)	49,5 (56,7)
20	65(75)	65(75)	58,5 (67,5)
35	95(120)	95(120)	85,5 (108)

Таблиця 6.13 – Опір постійному струму обмоток електромагнітів повітряних вимикачів

Тип вимикача	З'єднання електромагнітів фаз	Напруга, В	Опір обмоток, Ом	
ВВН-110, ВВН-35 ВВН-154, ВВ-220 ВВУ-35, ВВБ-110-6 ВВБМ-110, ВВБ-150 ВВБ-220-12 ВВД-220Б, ВВУ-110	Роздільне або паралельне	220	1-а обмотка – $10 \pm 1,5$ 2-а обмотка – $45 \pm 2,0$ Обидві обмотки – $55 \pm 3,5$	
ВВБ-22-У-15		110	1-а обмотка – $2,4 \pm 0,05$ 2-а обмотка – $11,3 \pm 0,55$ Обидві обмотки – $13,7 \pm 0,55$	
ВВН-110, ВВ-220 ВВН-220	Роздільне або паралельне	220	64	+3% -8%
ВВН-110, ВВН-154 ВВН-220, ВВ-220	Послідовне	220	83	+3% -8%
ВВН-35, ВВН-110 ВВН-154, ВВ-220	Роздільне або паралельне	110	16,3	+3% -8%
ВВН-110, ВВН-154 ВВ-220	Послідовне	110	1,68	+3% -8%
ВВ-35, ВВН-35	Роздільне	220	49	+1,47% -3,92%

Вимірювання величини опору постійному струму повинно відповідати нормам, наведеним в табл. 6.14, або заводським даним.

Таблиця 6.14 – Найбільші допустимі опори постійному струму елементів омичних подільників напруги і шунтувальних резисторів повітряних вимикачів

Тип вимикача	Опір, Ом
ВВН-154/800-4000, ВВН-154/2000-6000	$180\ 000 \pm 2\%$
ВВН-154/800-6000, ВВ-220	
ВВН-220/1000-7000, ВВН-220/2000-7000	
ВВН-220-10, ВВН-154-8, ВВН-220-15	$15\ 000 \pm 150$
ВВН-110-6	$150 \pm 5$
ВВУ-35	$4,6 - 0,25$
ВВУ-110, ВВБ-220У-15	$5 \pm 0,3$
ВВБ-110-6, ВВБ-220-12	$100 \pm 2\%$ ; $100 - 0,5\%$
ВВБМ-110Б-31,5/2000	$50 \pm 0,5$
ВВБ-1 50Б-25/2000	$100 \pm 0,5$
ВВБ-150Б-31,5/2000	$100 \pm 0,5$
ВВД-220Б-40/2000	$50 \pm 0,5$



**Випробування обмоток електромагнітів увімкнення і вимкнення вимикачів.** Вимірювання проводиться за допомогою одинарного моста. Значення опорів вказується для кожного типу вимикача згідно з даними заводу-виробника.

Методика вимірювань опору постійному струму наведена у випробуваннях ізоляції електрообладнання підвищеною напругою.

#### **Перевірка характеристик вимикача**

Вимірювання часових характеристик при налагодженні повітряних вимикачів проводять за допомогою електричного мілісекундоміра, світлопроменевого осцилографа або таких сучасних мікропроцесорних пристроїв, як «Регіна», «Рекон», «Парма», «АРВВН» та інших.

**Перевірка спрацьовування привода вимикача при зниженій напрузі**  
**Випробування вимикача багаторазовим увімкненням і вимиканням**  
 Кількість операцій, що виконуються при різних значеннях тиску повітря, наведено в табл. 6.15.

Таблиця 6.15 – Кількість операцій при випробуваннях повітряних вимикачів багаторазовими циклами (операціями)

Найменування операцій або циклів	Тиск випробування вимикача	Кількість виконуваних операцій або циклів
Вмикання і вимикання Цикл Вмик – Вимк	Мінімальний спрацьовування	3
	Мінімальний робочий	3
	Номінальний	3
	Максимальний робочий	2
	Мінімальний спрацьовування	2
	Мінімальний робочий*	2
Цикл Вим – Вмик (АПВ вдале)	Мінімальний для АПВ	2
	Номінальний *	2
	Максимальний робочий *	2
Цикл Вимк – Вмик – Вимк (АПВ невдале)	Мінімальний для АПВ	2
	Максимальний робочий	2

\* – потрібно знімати осцилограми роботи вимикачів.

*Випробування конденсаторів подільників напруги повітряних вимикачів* проводиться згідно з відповідними вказівками.

*Перевірка ходу якоря електромагніту керування.* Хід якоря електромагнітів має дорівнювати  $8^{-1}$  мм.

*Проведення періодичних перевірок, вимірювань і випробувань повітряних вимикачів, що знаходяться в експлуатації.* Перевірка і випробування повітряних вимикачів проводиться при контактному та поточному ремонтах, а також у міжремонтний період при профілактичних випробуваннях.

Згідно з нормами випробувань повітряних вимикачів, що знаходяться в експлуатації, для повітряних вимикачів К, П, М випробування проводяться в терміни, що встановлюються системою ППР, за К – не рідше 1 разу на шість років. «К» – випробування під час капітальних ремонтів, «П» – випробування під час поточних ремонтів, «М» – міжремонтні випробування.

Обсяг перевірок і випробувань охоплює такі роботи:

1. Вимірювання опору ізоляції:
  - а) повітропроводів, опорних і рухомих частин;
  - б) багатоелементних ізоляторів;
  - в) вторинних кіл обмоток електромагнітів ввімкнення та вимкнення.
2. Випробування підвищеною напругою промислової частоти:
  - а) ізоляції вимикачів;
  - б) ізоляції вторинних кіл і обмоток електромагнітів ввімкнення та вимкнення.
3. Вимірювання опору контактів постійного струму.
4. Вимірювання опору постійному струму обмоток електромагнітів ввімкнення та вимкнення, подільників напруги і шунтувальних резисторів.
5. Перевірка характеристик вимикачів.
6. Перевірка спрацьовування привода вимикача при зниженій напрузі.
7. Випробування вимикача багаторазовим увімкненням і вимкненням.
8. Випробування конденсаторів подільників напруги.
9. Перевірка ходу якоря електромагнітів керування.

#### **6.1.4 Випробування елегазових вимикачів**

Об'єктом випробування в елегазових вимикачах є, насамперед, фазна ізоляція вимикачів, стан самих камер (випробування на розрив), стан контактів вимикачів як основних, так і дугогасильних, часові характеристики вимикачів, і, при випробуванні вимикачів на викочуваному елементі (візку), співвісність входження вимикачів на візку та приймальних елементів комірки КРП, глибина входу і рівномірність входження по фазах, а також стан контактів комірки і вимикача. Останні випробування зазвичай проводяться саме для викочуваного елемента комірки, а не для елегазового вимикача.

#### **Обсяг випробувань елегазових вимикачів**

1. Вимірювання опору ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування.
2. Вимірювання опору ізоляції силових частин вимикачів.
3. Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти.
4. Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти вторинних кіл і електромагнітів керування.
5. Перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування.
6. Перевірка стану контактів вимикача (вимірювання опору головного кола).

7. Вимірювання опору обмоток електромагнітів керування і додаткових опорів.
8. Контроль наявності витоків елегазу.
9. Випробування конденсаторів подільників напруги (за наявності).
10. Перевірка вмісту вологи в елегазі.
11. Перевірка часових (за необхідності, і швидкісних) характеристик вимикачів.
12. Випробування вбудованих трансформаторів струму (за наявності).
13. Тепловізійний контроль.

### **Обсяг випробувань вимикачів спільно з викочуванням елементом КРП**

Випробування вимикачів спільно з викочуванням елементом КРП передбачають:

1. Вимірювання опору ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування;
2. Вимірювання опору ізоляції силових частин вимикачів;
3. Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти;
4. Випробування ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування;
5. Перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування;
6. Перевірка стану контактів вимикача (вимірювання опору головного кола);
7. Вимірювання опору обмоток електромагнітів керування і додаткових опорів.
8. Контроль наявності витоків елегазу;
9. Випробування конденсаторів подільників напруги (за наявності);
10. Перевірка вмісту вологи в елегазі;
11. Перевірка часових (за необхідності, і швидкісних) характеристик вимикачів;
12. Випробування вбудованих трансформаторів струму (за наявності);
13. Тепловізійний контроль;
14. Перевірка співвідношення контактів вимикача і контактів комірки;
15. Перевірка характеристик контактів викочуваного елемента і комірок при вкочуванні.

**Вимірювання опору ізоляції.** В процесі експлуатації вимірювання проводяться на елегазові вимикачі 6÷10 кВ – при ремонтних роботах в комірках (приєднаннях), де вони встановлені, перевірка ізоляції вторинних кіл і електромагнітів керування може проводитися спільно з перевіркою пристроїв релейного захисту. Виміряні значення опору ізоляції мають бути не менші допустимих.

**Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти.** Випробування ізоляції підвищеною напругою проводиться перед введенням вимикачів в експлуатацію і надалі через п'ять років експлуатації. Випробування вторинних кіл і електромагнітів керування

може проводитися спільно з силовими колами вимикачів або при перевірці кіл релейного захисту приєднання в обсязі, відповідному виду. Елегазові вимикачі на номінальну напругу 110 кВ і більше випробуванню підвищеною напругою промислової частоти не піддають підлягають. Значення випробувальної напруги для вторинних кіл і електромагнітів керування має становити 1 кВ за умови, що дані пристрої розраховані на напругу не нижче 60 В. При випробуванні вимикача «на розрив» випробувальна напруга дорівнює напрузі для випробування основної ізоляції.

**Перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування.** Перевірка мінімальної напруги спрацьовування електромагнітів керування проводиться перед введенням в експлуатацію вимикача, а також при капітальному ремонті (через 10 років експлуатації).

Електромагніти керування мають спрацьовувати при напрузі:

– ввімкнення –  $0,7U_{\text{ном}}$  (при живленні привода від мережі постійного струму) і  $0,6U_{\text{ном}}$  (при живленні привода від змінного струму);

– вимикання –  $0,7U_{\text{ном}}$  (при живленні привода від мережі постійного струму) і  $0,6U_{\text{ном}}$  (при живленні привода від змінного струму).

Випробування проводиться за зведеної вимикальної пружини привода (якщо привод вимикача пружинний).

**Перевірка стану контактів вимикачів.** Перевірка стану контактів вимикачів проводиться перед введенням в експлуатацію і надалі через п'ять років експлуатації і при капітальному ремонті вимикача. Термін капітального ремонту вимикача необхідно встановлювати на підставі рекомендацій заводу-виробника. Стан контактів визначають шляхом вимірювання опору постійному струму полюсів вимикачів. Зовнішньому огляду контакти не піддаються – елегазовий вимикач розбирати забороняється. Опір постійному струму кожного полюса вимикача має бути не більшим нормованого в технічній документації на відповідне обладнання.

**Орієнтовні дані опорів полюсів вимикачів залежно від номінального струму вимикачів.** Для деяких типів вимикачів заводом-виробником може нормуватись інше значення опору, тому необхідно орієнтуватися на дані паспорта саме даного вимикача. Вимірювання проводиться якомога ближче до контактів самого вимикача. Дана умова дозволяє оцінити стан контактів вимикача, розмикаючи при вимірюванні контактні з'єднання, наприклад, розеткових груп викочуваного елемента або контактні з'єднання вимірювальних трансформаторів струму і ошиновки розподільних (при встановленні вимикачів безпосередньо у розріз шин). Якщо проводиться випробування елегазового вимикача, встановленого на елементі викочування, можна провести вимірювання опору всього полюса вимикача і контактів розеткових груп. У цьому випадку вимірювання проводиться спочатку самого вимикача, а потім повний опір всіх полюсів однієї фази викочуваного елемента. Значення

повного опору полюсів викочуваного елемента нормується в технічній документації безпосередньо на конкретний вид обладнання.

**Контроль наявності витоків елегазу.** В даний час всі елегазові вимикачі оснащуються пристроями контролю тиску елегазу всередині камери. Ці пристрої можуть відрізнятися за конструкцією і відповідно можуть забезпечувати або візуальне відображення тиску (манометри), або забезпечують контроль тиску з виведенням сигналу (датчики тиску). І в тому, і в іншому випадку контроль наявності витоків елегазу проводиться за показаннями (або за відсутністю сигналу з датчика) контрольних приладів вимикача [40]. Контроль тиску елегазу за показаннями контрольно-вимірювальних приладів має проводитися постійно. Якщо ці пристрої обладнані контактами сигналізації, то ці контакти мають бути ввімкнені в загальну систему сигналізації розподільного пристрою.

**Перевірка часових характеристик вимикачів.** Перевірка часових характеристик вимикачів проводиться перед введенням в експлуатацію і надалі через п'ять років експлуатації, а також при капітальному ремонті вимикача. Термін капітального ремонту вимикача необхідно встановлювати на підставі рекомендацій заводу-виробника. Перевірка часових характеристик елегазових вимикачів проводиться при номінальній напрузі оперативного струму. Часові параметри ввімкнення і вимкнення вимикачів мають відповідати паспортним даним на конкретний тип вимикачів.

Орієнтовно час увімкнення елегазового вимикача коливається в межах  $0,05 \div 0,08$  с, час вимкнення – в межах  $0,05 \div 0,07$  с.

**Випробування конденсаторів подільників напруги.** Випробування конденсаторів подільників напруги проводиться при введенні в експлуатацію вимикачів і при їх капітальному ремонті. За наявності даних пристроїв у вимикачі необхідно виконати вимірювання ємності конденсатора. Значення ємності має відповідати паспортним значенням. Випробування проводиться перед введенням в експлуатацію та при капітальному ремонті вимикача.

#### **Перевірка співвісності контактів вимикача і контактів комірки**

Даний вид випробувань проводиться при введенні в експлуатацію розподільного пристрою з елегазовими вимикачами і надалі за необхідності, якщо є підозра на порушення співвісності або знос напрямних контактів комірки. Співвісність визначається після вкочування візка викочуваного елемента на штатне місце в комірку. Перевірка проводиться за допомогою спеціальних інструментів і пристосувань, одночасно визначається глибина входження рухомих контактів в нерухомі і рівномірність цього входження відносно сусідніх фаз вимикача.

**Перевірка характеристик контактів викочуваного елемента і комірки.** Даний вид перевірки проводиться для визначення стану контактних з'єднань в комірці КРП. Цей вид перевірки дозволяє впевнитися в надійності і якості контактної з'єднання між викочуваним

елементом і нерухомими контактами комірки КРП. Застосування даного виду вимірювань є доцільним разом з визначенням співвідношення контактів і глибини їх входжень.

### **Умови випробувань і вимірювань**

Випробування проводять при температурі навколишнього середовища нижче +10 °С. Вологість навколишнього повітря має значення при проведенні високовольтних випробувань обмоток, тому що конденсат на ізоляторах може призвести до пробоя ізоляції і, відповідно, до виходу з ладу обладнання (як випробувального, так і випробуваного). Атмосферний тиск особливого впливу на якість проведених випробувань не має, але фіксується для занесення даних в протокол.

**Засоби вимірювання.** Для вимірювання опору ізоляції використовують мегомметр на напругу 2500 В. Вимірювання опору постійному струму полюсів вимикачів проводиться мостами постійного струму (наприклад Р333), які дозволяють виконати вимірювання з точністю до 0,001 Ом, мікроомметром типу Ф4104–М1. За відсутності даних приладів можливе використання методу амперметра–вольтметра з джерелом постійного струму, яке може забезпечити достатній струм для проведення даних вимірювань. Аналогічні прилади використовуються для перевірки характеристик контактів викочуваного елемента і комірки.

Випробування підвищеною напругою промислової частоти проводять за допомогою різних установок, які складаються з таких елементів: випробувального трансформатора, регульовального пристрою, контрольно-вимірювальної та захисної апаратури. До таких апаратів можна віднести установки АИИ–70, АИД–80, а також різні високовольтні випробувальні трансформатори, які мають достатній рівень захисту та належний рівень підготовленості для проведення випробувань.

**Алгоритм проведення випробувань і вимірювань.** Вимірювання здійснюється відносно землі (заземленого корпусу вимикача, викочуваного елемента) і відносно двох інших заземлених фаз. Вимикач вмикається, всі фази заземлюються, до однієї фази вимикача під'єднується мегомметр. Заземлення з цієї фази вимикача знімається, проводиться вимірювання опору ізоляції. Потім заземлення відновлюється, мегомметр перемикається на іншу фазу вимикача. Виконуються аналогічні операції для всіх фаз послідовно. Весь час проведення вимірювань вимикач залишається ввімкненим. Опір ізоляції електромагнітів керування виконують залежно від внутрішньої схеми привода вимикача. Вимірювання проводиться відносно землі на одному з полюсів електромагнітів (електромагніту), при цьому цілісність котушки перевіряється окремо шляхом вимірювання опору омметром (або іншим способом). Випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти проводиться в два етапи – спочатку здійснюються пофазні випробування основної ізоляції вимикача, потім проводиться випробування вимикача «на розрив».

Для проведення випробування основної ізоляції вимикач, як і при вимірюванні опору ізоляції, вмикається, всі фази заземлюються. Готується випробувальна установка, під'єднується до випробуваного об'єкта випробування. Знімається встановлене раніше заземлення. Здійснюється плавне підняття напруги до необхідного рівня (напруга піднімається стрибком до 1/3 необхідної величини, потім збільшення проводиться плавно зі швидкістю 1÷2 кВ в секунду аж до необхідного рівня випробувальної напруги), напруга витримується протягом 1 хвилини, потім плавно знижується до нуля. На випробувану фазу вимикача встановлюється заземлення, коли установка від'єднується і під'єднується до наступної фази.

Для проведення випробування вимикача «на розрив» складається аналогічна схема, однак в цьому випадку вимикач вимкнений, фази об'єднані з двох сторін, з одного боку встановлено заземлення, а на іншу сторону вимикача подається випробувальна напруга. Сенс випробування вимикача «на розрив» – перевірка стану ізолювальних властивостей елегазу в камері вимикача. Якщо з камерою все нормально – випробування пройде успішно. Тривалість випробування і в тому, і в іншому випадку – 1 хвилина.

#### **Перевірка часових характеристик вимикачів**

Перевірка часових характеристик вимикачів проводиться при номінальній напрузі оперативного струму. Використовують секундомір, який під'єднують до силових контактів вимикача. Далі визначають час увімкнення вимикача після подавання сигналу від ключа. При цьому ключем одночасно подається сигнал на пуск секундоміра і на ввімкнення вимикача. Такі самі дії відбуваються під час вимкнення вимикача.

### **6.2 Випробування вимірювальних трансформаторів струму та напруги**

Об'єктом випробування у вимірювальних трансформаторах струму і напруги є, перш за все, ізоляція трансформаторів, обмотки трансформаторів (як первинна, так і вторинна), також трансформаторне залізо сердечника.

Трансформатори струму виготовляються з таким виконанням внутрішньої ізоляції:

– паперово-бакелітова (трансформатори серії ТП 6 – 35 кВ); керамічна (трансформатори струму 6–10 кВ типів ТПОФ, ТПФ та ін.); лита епоксидна (трансформатори струму типів ТПОЛ, ТПШЛ, ТШЛ та ін. – 6–35 кВ);

– паперово-масляна ланкового типу (трансформатори струму ТФН 35–500 кВ);

– паперово-масляна конденсаторна (трансформатори струму типу ТФКН 330 і трансформатори струму серії ТРН 330 – 750 кВ).

Трансформатори напруги виготовляються з такими типами внутрішньої ізоляції:

- суха (трансформатори напруги до 10 кВ включно типу НОСК–6, ЗНОЛТ–3, ЗНОЛТ–6, ЗНОЛТ–10 та ін.);

- паперово-масляна (трансформатори напругою до 35 кВ включно типу НОМ–10, НОМ–35) з ізоляцією кінців обмотки на повну номінальну напругу;

- паперово-масляна, градуйована (трансформатори напруги ЗНОМ на напругу 15, 20, 24, 35 і 110 кВ та серії НКФ на номінальну напругу 110, 220, 330 і 500 кВ);

- лита епоксидна (чеські однофазні трансформатори напруги і трансформатори типу НОЛ).

Обсяг випробувань трансформаторів струму:

- вимірювання опору ізоляції первинної і вторинної (вторинних) обмоток (К, М);

- вимірювання  $\text{tg } \delta$  ізоляції (К, М);

- випробування підвищеною напругою ізоляції обмоток (М);

- зняття характеристик намагнічування трансформаторів (К);

- вимірювання коефіцієнта трансформації (К);

- вимірювання опору обмоток постійному струму (К);

- випробування трансформаторного масла (М);

- перевірка полярності обмоток (К).

Обсяг випробувань трансформаторів напруги:

- вимірювання опору ізоляції обмоток первинної та вторинної (вторинних) (К, М);

- випробування підвищеною напругою трансформаторів напруги з литою ізоляцією (К, М);

- вимірювання коефіцієнта трансформації (К);

- вимірювання опору обмоток постійному струму (К);

- випробування трансформаторного масла (К, М);

- визначення групи з'єднання трифазних трансформаторів напруги (К);

- вимірювання струму і втрат холостого ходу (К).

Примітка. К – капітальний ремонт, випробування при прийнятті в експлуатацію; М – міжремонтні випробування.

#### **Обумовлені характеристики**

**Опір ізоляції.** У процесі експлуатації вимірювання проводяться:

- на трансформаторах струму 3÷35 кВ – при ремонтних роботах в комірках (приєднаннях), де вони встановлені;

- на трансформаторах струму 110 кВ з паперово-масляною ізоляцією (без зрівнювальних обкладинок) – при незадовільних результатах випробувань масла;

- на трансформаторах струму 220 кВ і вище з паперово-масляною ізоляцією (без зрівнювальних обкладинок) – за відсутності контролю



ізоляції під робочою напругою і незадовільний результат випробувань масла. Виміряні значення опору ізоляції мають бути не менші значень, наведених у таблиці 6.17;

– для трансформаторів напруги 3÷35кВ – при проведенні ремонтних робіт в комірках, де вони встановлені, якщо роботи проводяться не рідше 1 разу на 4 роки;

– для трансформаторів напруги 110÷500 кВ – 1 раз на 4 роки.

Виміряні значення опору ізоляції при введенні в експлуатацію і в експлуатації мають бути не менші значень, наведених у таблицях 6.16 та 6.17.

Таблиця 6.16 – Значення опору ізоляції трансформаторів струму

Клас напруги	Граничний опір ізоляції (МОм) не менше				
	Основна ізоляція	Вимірювальний вхід	Зовнішні Шари	Вторинні обмотки*	Проміжні обмотки
3–35	1000/500	–	–	50(1)/50(1)	–
110–220	3000/1000	–	–	50(1)/50(1)	–
330–750	5000/3000	3000/1000	1000/500	50(1)/50(1)	1/1

\* Опори ізоляції вторинних обмоток наведені: без дужок – при вимкнених вторинних колах, в дужках – з під'єднаними вторинними колами. У чисельнику вказані значення опору ізоляції трансформаторів струму при введенні в експлуатацію, в знаменнику – в процесі експлуатації.

Таблиця 6.17 – Значення опору ізоляції трансформаторів

Клас напруги (кВ)	Граничний опір ізоляції (МОм) не менше		
	Основна ізоляція	Вторинні обмотки*	Зрівнювальні обмотки
3–35	100	50(1)	1
110–500	300	50(1)	1

\* Опори ізоляції вторинних обмоток наведені: без дужок – при вимкнених чи від'єднаних вторинних колах, в дужках – з ввімкненими чи під'єднаними вторинними колами.

**Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат ( $\text{tg } \delta$ ) ізоляції обмоток.** Вимірювання  $\text{tg } \delta$  у трансформаторів струму з основною паперово-масляною ізоляцією проводиться при напрузі 10 кВ.

У процесі експлуатації вимірювання проводяться:

– на трансформаторах струму 35 кВ – при ремонтних роботах в комірках (приєднаннях), де вони встановлені;

– на трансформаторах струму 110 кВ з паперово-масляною ізоляцією – при незадовільних результатах випробувань масла;

– на трансформаторах струму 220 кВ і вище з паперово-масляною ізоляцією – при відсутності контролю ізоляції під робочою напругою і незадовільних випробуваннях масла.

Вимірні значення, наведені для температури 20 °С, мають бути не більші зазначених у таблиці 6.18.

Таблиця 6.18 – Значення  $\text{tg } \delta$  для ізоляції різних видів

Тип ізоляції	Граничні значення $\text{tg } \delta\%$ основної ізоляції трансформаторів струму на номінальній напрузі (кВ) наведені для температури 20 °С						
	3–15	20–35	110	220	330	500	750
Паперово-бакелітова	3,0/12,0	2,5/8,0	2,0/5,0	-	Не більше 150% від виміряного на заводі, але не вище 0,8.		
Основна паперово-масляна і конденсаторна	-	2,5/4,5	2,0/3,0	1,0/1,5	Не більше 150% від виміряного при вводі в експлуатацію, але не вище 1,0.		

У каскадних трансформаторах струму  $\text{tg } \delta$  основної ізоляції вимірюється для трансформатора в цілому. При незадовільних результатах таких вимірювань  $\text{tg } \delta$  основної ізоляції додатково вимірюється ступенями. Значення випробувальної напруги для ізоляції вторинних обмоток, разом з приєднаними до них колами, приймається таким, що дорівнює 1 кВ. Тривалість прикладення випробувальної напруги – 1 хвилина.

**Випробування підвищеною напругою.** Значення випробувальної напруги основної ізоляції трансформаторів струму і напруги наведені в таблиці 6.19. Тривалість випробування трансформаторів струму і напруги з фарфоровою ізоляцією – 1 хвилина, з органічною ізоляцією – 5 хвилин. Допускається проведення випробувань трансформаторів струму спільно з ошиновкою. При спільному випробуванні вимірювальних трансформаторів з елементами ошиновки або іншими апаратами, тривалість випробування приймається такою, що дорівнює часу випробування для тих елементів мережі, до яких під'єднані трансформатори. Наприклад, при випробуванні трансформаторів струму, встановлених в комірці КРП, тривалість випробування встановлюється такою, що дорівнює 1 хвилині (ізолятори ошиновки комірки – фарфорові). Трансформатори струму напругою вище 35 кВ не підлягають випробуванням підвищеною напругою.

У каскадних трансформаторах струму  $\text{tg } \delta$  основної ізоляції вимірюється для трансформатора в цілому. При незадовільних результатах таких вимірювань  $\text{tg } \delta$  основної ізоляції додатково вимірюється по рівнях.

Значення випробувальної напруги для ізоляції вторинних обмоток, разом з приєднаними до них колами, приймається таким, що дорівнює 1 кВ. Тривалість прикладення випробувальної напруги – 1 хвилина.

Таблиця 6.19 – Значення випробувальної напруги промислової частоти

Клас напруги трансформатора	Випробувальна напруга (кВ) для трансформатора струму і напруги		
	На заводі-виробнику	Перед вводом в експлуатацію і в експлуатації	
		Фарфорова ізоляція	Інші види ізоляції
До 0,69	2,0	1	1
3	24,0	24,0	21,6
6	32,0	32,0	28,8
10	42,0	42,0	37,8
15	55,0	55,0	49,5
20	65,0	65,0	58,5
35	95,0	95,0	85,5

**Зняття характеристик намагнічування трансформаторів струму**  
Характеристика знімається методом підвищення напруги на вторинних обмотках до початку насичення (але не вище 1800 В), з одночасним вимірюванням струму в випробуваній обмотці за допомогою амперметра.

За наявності у обмоток відгалужень характеристика знімається на робочому відгалуженні, при цьому на неробочих відгалуженнях заміри не виконуються.

Знята характеристика зіставляється з типовою характеристикою намагнічування або з характеристиками намагнічування справних трансформаторів струму, однотипних з перевірюваним.

Відмінності від значень, виміряних на заводі-виробнику або від виміряних на справному трансформаторі струму, однотипному з перевірюваним, не мають перевищувати 10%.

**Вимірювання коефіцієнта трансформації.** Відхилення виміряного коефіцієнта трансформації від зазначеного в паспорті або від виміряного на справному трансформаторі струму чи напруги, однотипному з перевірюваним, не має перевищувати 2%.

**Вимірювання опору обмоток постійному струму.** Відхилення виміряного опору обмотки постійному струму від паспортних значень або від виміряних на інших фазах не має перевищувати 2%. Для порівняння виміряних значень з паспортними даними, виміряні значення опору мають бути знятими при заводській температурі. При порівнянні з іншими фазами вимірювання мають проводитися за однакової температури. Вимірювання опору обмоток постійному струму виконують у

трансформаторах струму на напрузі 110 кВ і вище і у сполучних обмотках каскадних трансформаторів напруги. Як додаткові вимірювання при комплексних випробуваннях даний вид вимірювання може використовуватися для трансформаторів струму і напруги всіх типоміналів.

**Випробування трансформаторної оливи.** Випробування трансформаторного масла виконують перед введенням обладнання в експлуатацію (перед заливанням в трансформатори струму або напруги).

У процесі експлуатації трансформаторну оливу з трансформаторів струму і напруги до 35 кВ включно допускається не випробовувати. Олива з трансформаторів струму напругою 110÷220 і 330÷500 кВ, не оснащених системою контролю ізоляції під робочою напругою, випробовується 1 раз на два роки.

У трансформаторах напругою 110 кВ і вище встановлюється така періодичність випробувань трансформаторної оливи:

- для трансформаторів напруги 110÷220 кВ – 1 раз на 4 роки;
- для трансформаторів напруги 330÷500 кВ – 1 раз на 2 роки.

**Визначення полярності обмоток трансформаторів струму і перевірка групи з'єднань трансформаторів напруги.** Визначення полярності обмоток трансформаторів струму виконується для перевірки відповідності кінців обмоток заводському маркуванню. Полярність обмоток має відповідати заводському маркуванню.

**Вимірювання струму і втрат холостого ходу трансформаторів напруги.** Такі вимірювання проводяться перед вводом в експлуатацію або після капітального ремонту для визначення якості внутрішніх з'єднань, характеристик трансформаторної сталі. Виміряні дані не повинні відрізнятися від заводських (паспортних) більше ніж на 2%, за умови проведення вимірювань при однакових температурах.

### **6.2.1 Умови випробувань і вимірювань**

Випробування вимірювальних трансформаторів струму і напруги проводять при температурі навколишнього середовища не нижчій +10 °С, з контролем температури обмоток. При проведенні випробувань слід пам'ятати, що температура обмоток трансформаторів може бути вищою температури навколишнього середовища, тому контроль температури обмоток здійснюють безпосередньо всередині корпусу трансформатора або за температурою масла. Дана вимога не поширюється на трансформатори струму та напруги з органічною ізоляцією, оскільки у них мало (порівняно, наприклад, з силовими трансформаторами) ізоляції і вона швидко охолоджується до температури навколишнього середовища.

Вологість навколишнього повітря має значення при проведенні високовольтних випробувань обмоток, тому що конденсат на ізоляторах може призвести до пробію ізоляції і, відповідно, до виходу з ладу обладнання (як випробувального, так і випробуваного).

Трансформатори піддаються випробуванням в складеному вигляді, з встановленими на них усіма деталями і вузлами, які можуть вплинути на результат випробувань. Високовольтне випробування трансформаторів струму спільно з ошиновкою комірки, в якій вони встановлені, проводиться при повністю складеній ошиновці, за відсутності всіх сторонніх предметів. Випробування (коли випробуванню піддаються вимірювальні трансформатори з ошиновкою комірки) допускається проводити, орієнтуючись на менше значення випробувальної напруги, наприклад, випробування литих трансформаторів струму типу ТПЛ–10 з номінальною напругою 10 кВ в комірці розподільного пристрою 6 кВ з ізоляторами, розрахованими на робочу напругу 6 кВ, потрібно проводити напругою 32 кВ, але протягом 5 хвилин.

Перед проведенням високовольтних випробувань ізолятори трансформаторів (або литий корпус, який сам по собі ізолятор) слід протерти від пилу, бруду і вологи. Якщо випробування проводиться спільно з ошиновкою, то необхідно очистити від пилу і вологи ізолятори в комірці.

Перед випробуванням проводиться зовнішній огляд, перевірка цілісності ізоляторів, відсутності течі оливи, цілісності ізоляції. Атмосферний тиск не особливо впливає на якість проведених випробувань, але фіксується для занесення даних в протокол.

### **6.2.2 Засоби вимірювання**

Вимірювання опору ізоляції виконують мегомметром на відповідні напруги: для обмотки НН (вторинні обмотки трансформаторів струму та напруги) використовують мегомметри на 1000 В, а мегомметри на напругу 2500 В – для обмоток ВН.

Вимірювання опору обмоток постійному струму здійснюється мостами постійного струму (наприклад Р 333), які дозволяють виконати вимірювання з точністю до 0,001 Ом. За відсутності даних приладів можна використовувати метод амперметра–вольтметра з джерелом постійного струму, який може забезпечити достатній струм для проведення даних випробувань. При проведенні замірів методом амперметра–вольтметра робочий струм не має перевищувати номінальний струм обмотки випробуваного об'єкта. Випробування підвищеною напругою промислової частоти здійснюють за допомогою установок, які складаються з таких елементів:

- випробувального трансформатора;
- регульовального пристрою;
- контрольно-вимірювальної та захисної апаратури.

До таких апаратів можна віднести установку АИИ–70, АИД–70, а також різні високовольтні випробувальні трансформатори, які мають достатній рівень захисту та належний рівень підготовки для проведення випробувань.

При проведенні випробувань трансформаторів напруги на втрати холостого ходу зручно застосовувати вимірювальні мости і комплекти (типу К-50). За відсутності даних приладів можна використовувати вольтметр, амперметр і ватметр. Всі прилади мають бути перевірені, а випробувальні установки – атестовані.

### 6.2.3 Порядок проведення випробувань і вимірювань

**Вимірювання опору ізоляції.** Вимірювання опору ізоляції обмоток трансформаторів струму і напруги виконують згідно зі схемами, наведеними на рис. 6.12 і 6.13.

При проведенні вимірювань опору ізоляції вторинних кіл трансформаторів необхідно попередньо зняти заземлення з цих кіл. У трансформаторах напруги може заземлюватися і первинна обмотка, тому перед вимірюванням опору ізоляції схему трансформатора потрібно уважно вивчити. Це не стосується трансформаторів напруги, ввімкнених на міжфазну напругу, у них виходи первинної обмотки не заземлюють. У будь-якому разі потрібно виходити з місцевих умов.

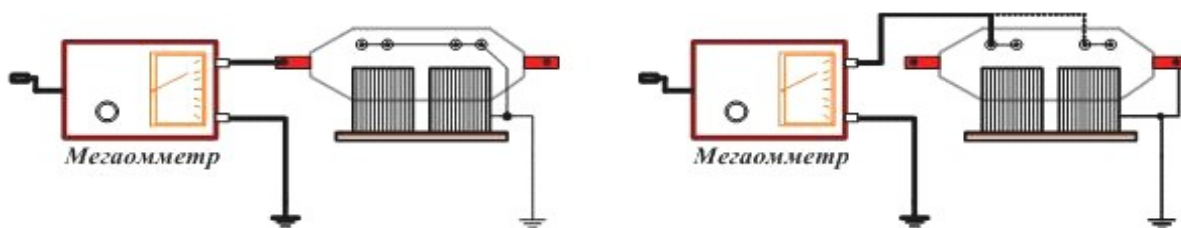


Рисунок 6.12 – Вимірювання опору ізоляції обмоток ВН та НН трансформатора струму

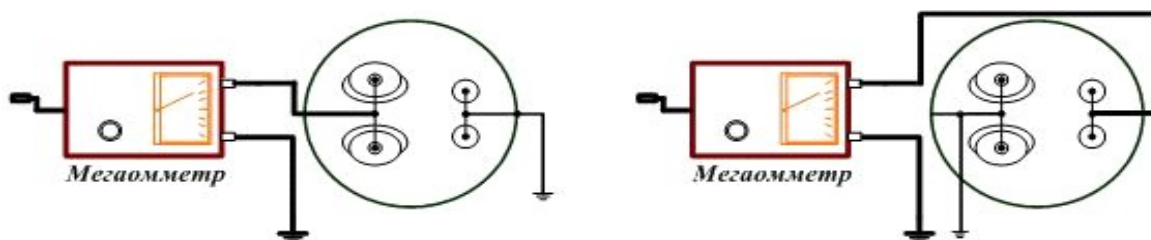


Рисунок 6.13 – Вимірювання опору ізоляції обмоток ВН трансформатора напруги

Вимірювання проводиться на закороченій обмотці відносно корпусу, при цьому інша обмотка трансформатора (вторинна або первинна) має бути закорочена і заземлена. Для трансформаторів струму первинну обмотку можна не закорочувати – занадто малий опір. Відлік показів мегомметра проводиться через 60 секунд після початку вимірювання.

У трифазних трансформаторах напруги всі три фази первинної обмотки перед вимірюванням закорочуються, аналогічно чинять з

вторинними обмотками. Вимірювання проводиться у первинній обмотці відносно корпусу та у закорочених і заземлених вторинних обмотках, потім у вторинних обмотках відносно закороченої та заземленої первинної обмотки.

**Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат ( $\text{tg } \delta$ ) ізоляції обмоток.** Вимірювання проводиться у трансформаторах струму при напрузі 10 кВ. Схема з'єднання випробувальної установки з застосуванням моста змінного струму показана на рис. 6.14.

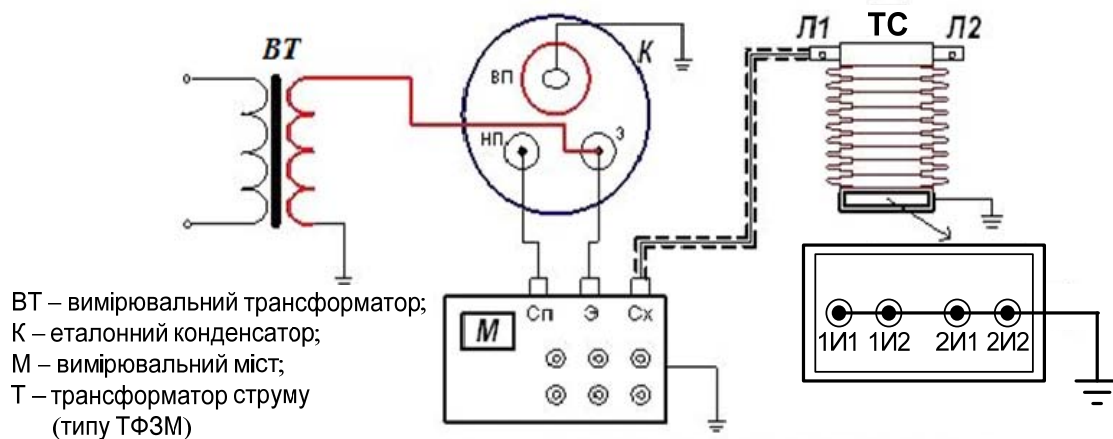


Рисунок 6.14 – Схема вимірювання  $\text{tg } \delta$  ізоляції трансформатора струму за «перевернутою схемою»

Застосування «перевернутої» схеми виправдано, тому що основа трансформатора струму в більшості випадків приєднана до контуру заземлення.

Необхідно виконати два вимірювання для усунення впливу полярності живильної напруги (для зміни полярності необхідно поміняти нуль і фазу на штирьовому роз'ємі – «вилці» живлення). На рисунку 6.15 показано схему вимірювання  $\text{tg } \delta$  із застосуванням приладу «Вектор–2М».

«Вектор–2М» є вимірювачем параметрів ізоляції (мостом змінного струму). Цей прилад призначений для вимірювання ємності і тангенса кута діелектричних втрат високовольтною ізоляції (конденсаторів, вводів, трансформаторів, ізоляторів і т. п. об'єктів) та рідких діелектриків з використанням зовнішньої міри ємності як в лабораторних, так і в «польових» умовах; вимірювання можуть проводитися за «прямою» та за «інверсною» (перевернутою) схемою вимірювання (ДСТУ 2225-95).

Для проведення вимірювання прилад «Вектор–2М» переводиться в режим «Діелектричні параметри». У цьому режимі можна натисканням на кнопку «Вибір» перейти в додаткові режими з «Компенсацією струмів впливу» і з «Компенсацією завод загального виду». Для вибору того або іншого режиму вимірювань потрібно натискати кнопку «Вибір».

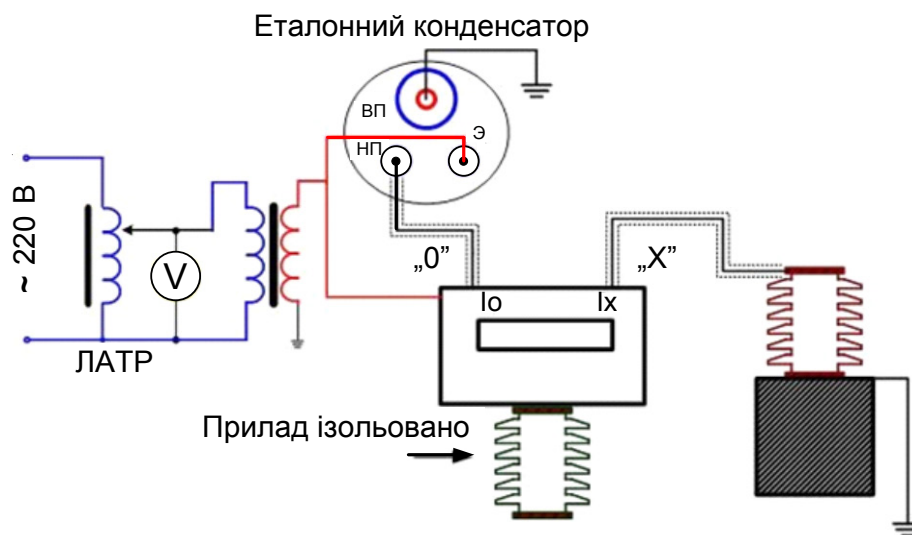


Рисунок 6.15 – Схема вимірювання  $\text{tg } \delta$  ізоляції трансформатора напругою 110 кВ з допомогою приладу «Вектор–2М» за зворотною (інверсною) схемою

За допомогою приладу «Вектор–2М» безпосередньо проводять вимірювання параметрів вхідних сигналів на промисловій частоті, а саме: частоти, діючих значень перших гармонік струму і напруги, кута фазового зсуву між першими гармоніками сигналів.

Інші параметри (ємність, тангенс кута діелектричних втрат, потужність, комплексний опір, коефіцієнт трансформації, група з'єднання обмоток, напруга джерела живлення) є розрахунковими.

При вимірюванні ємності і тангенса кута діелектричних втрат конденсатора він має бути під'єднаний до входу «Ix», а до входу «Io» має бути під'єднана зовнішня міра ємності з відомими параметрами – ємністю і тангенсом кута діелектричних втрат.

Перед вимірюванням оператор має ввести за допомогою кнопок значення ємності і кута діелектричних втрат зовнішньої міри ємності. За результатами вимірювань вбудований мікропроцесор розраховує значення ємності і тангенса кута діелектричних втрат об'єкта вимірювань.

Вимірювальний блок автоматично здійснює процедуру вимірювання і виводить результати вимірювань на індикатор. Виміряні величини виводяться на дисплей попарно. Перемикання діагностованих параметрів здійснюється оператором з клавіатури.

При вимірюванні за «інверсною» схемою оператор не повинен торкатися корпусу вимірювального блока, тому що цей блок знаходиться під високим потенціалом. Для оперативного керування приладом є пульт дистанційного керування, що дозволяє оператору вибирати потрібний режим роботи за допомогою світлових сигналів керування в інфрачервоному діапазоні, не торкаючись корпусу вимірювального блока. Для передавання результатів вимірювання в персональний комп'ютер



(також і в портативний типу «Notebook») організовано інфрачервоний канал зв'язку, що містить два інфрачервоних приймачі-передавачі. Один з них вбудований у вимірювальний блок, інший розміщений в блоці приймача інфрачервоного каналу, який під'єднується до персонального комп'ютера.

**Випробування підвищеною напругою.** Випробування підвищеною напругою трансформаторів струму і напруги проводиться в складеному вигляді трансформатора зі встановленням усіх деталей, які можуть вплинути на результат випробувань. Випробування первинних обмоток трансформаторів проводиться напругою промислової частоти за схемою, поданою на рис. 6.16.

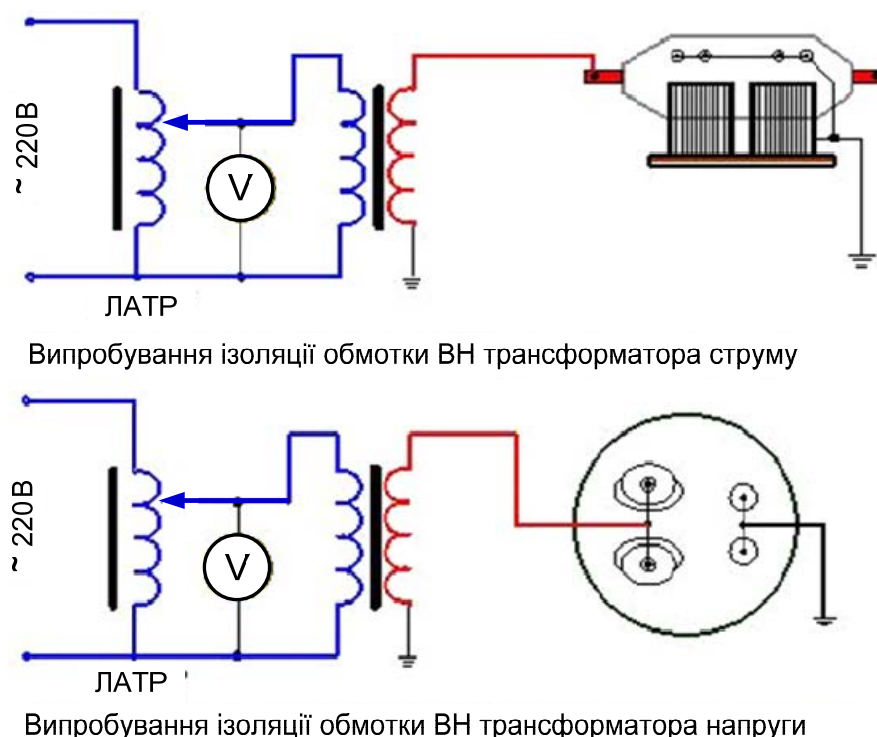


Рисунок 6.16 – Схема випробування ізоляції прикладеною напругою частотою 50 Гц

При проведенні випробувань ізоляції вторинних обмоток трансформаторів струму та напруги складають схему, аналогічну схемі на рис. 6.16, тільки заземляють і закорочують первинну обмотку вимірювального трансформатора. Вторинні кола, у разі випробувань за місцем експлуатації, не від'єднують.

#### **Зняття характеристик намагнічування трансформаторів струму**

Характеристики намагнічування знімаються для перевірки справності трансформаторів струму. При цьому переконуються в тому, що немає накоротко замкнутих витків і пошкодження осердя, оцінюють можливості використання трансформатора в схемі релейного захисту в конкретних умовах.

Характеристика намагнічування являє собою залежність підведеної до вторинної обмотки напруги від струму в цій обмотці. Схема для зняття характеристики намагнічування подана на рис. 6.17.

Характеристику намагнічування знімають до номінального струму трансформатора (струму вторинної обмотки) в тих випадках, коли це потрібно (для особливо відповідальних трансформаторів), характеристику знімають до початку насичення трансформатора струму (для п'ятиамперних трансформаторів – до досягнення струму 10 А).

Якщо при знятті характеристики необхідна напруга вища 250 В, використовують підвищувальні трансформатори з більш високою напругою.

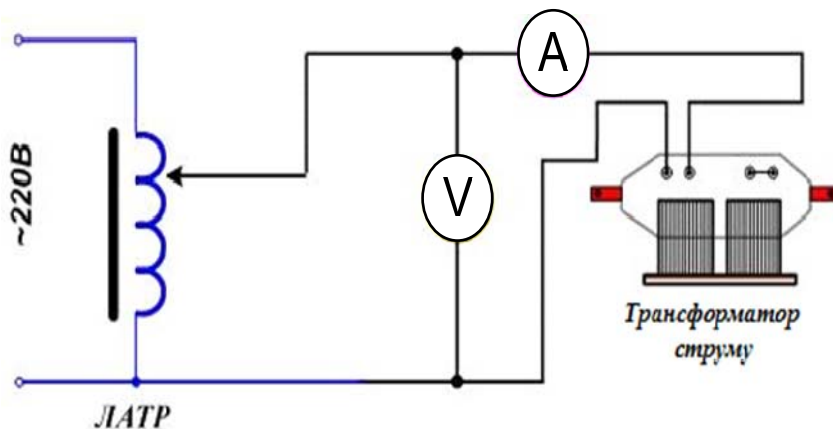


Рисунок 6.17 – Зняття характеристик намагнічування трансформаторів струму

**Вимірювання коефіцієнта трансформації.** Для перевірки коефіцієнта трансформації трансформаторів струму складають схему, наведену на рис. 6.18. У вбудованих трансформаторах струму коефіцієнт трансформації перевіряють тільки на робочих відгалуженнях, інші частини обмоток не перевіряються.

Струм у первинному колі трансформатора пропорційний струму у вторинному колі. Коефіцієнт пропорційності струмів і буде шуканим коефіцієнтом трансформації.

Розділовий трансформатор створює на своїй вторинній обмотці напругу близько 5 В і струм близько 1000 А (залежно від випробуваного трансформатора струму). Коефіцієнт трансформації трансформаторів напруги визначається аналогічно, але без використання розділового (навантажувального) трансформатора. При випробуванні напруга від ЛАТРа подається на первинну обмотку трансформатора напруги, а з вторинної обмотки знімається напруга (вольтметр з малим діапазоном вимірювань). Напруга на первинній обмотці пропорційна напрузі на вторинній обмотці.

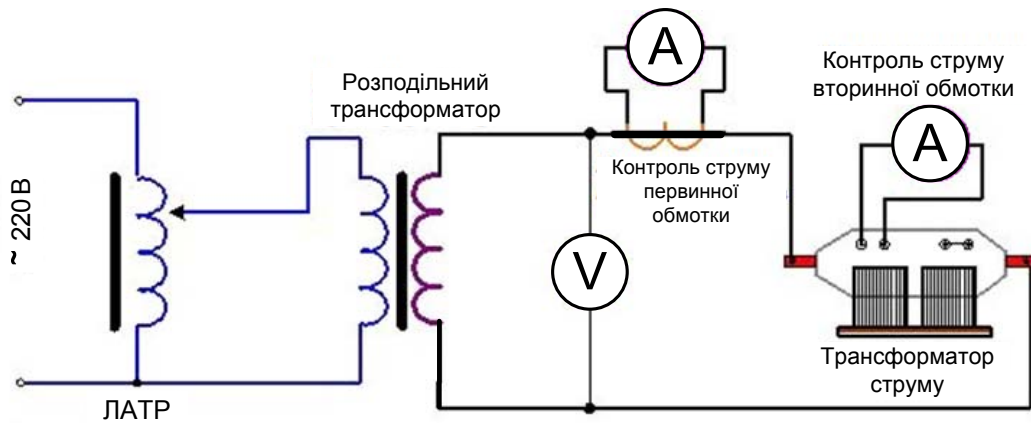


Рисунок 6.18 – Вимірювання коефіцієнта трансформації трансформаторів струму

При перевірці коефіцієнта трансформації в трифазних трансформаторах на первинну обмотку подається трифазна напруга 380÷400 В. На вторинній обмотці вимірюється напруга для проведення розрахунків.

**Вимірювання опору обмоток постійному струму.** Вимірювання проводиться для виявлення неякісних з'єднань, пайок і контактів в обмотках трансформаторів. Для проведення вимірювань складають схему, наведену на рис. 6.19.

Підведена напруга постійного струму має забезпечити у вимірювальній обмотці струм, який не перевищуватиме номінальний для цієї обмотки

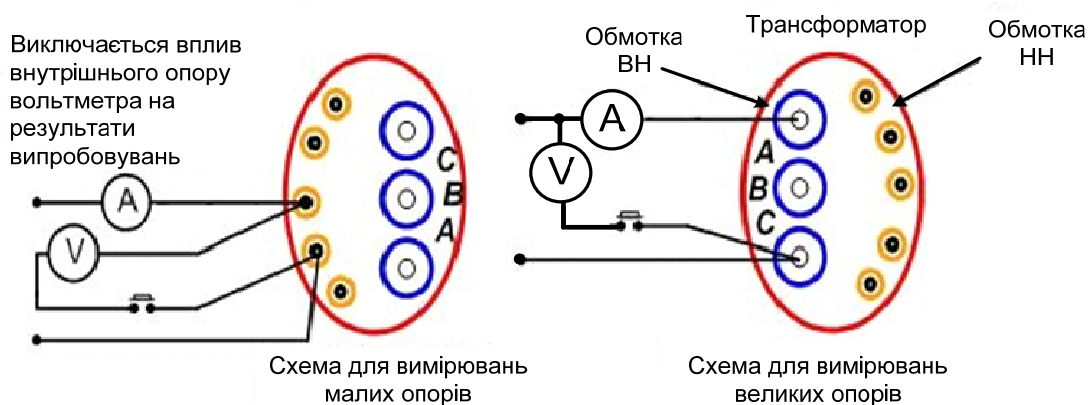


Рисунок 6.19 – Схема вимірювання опору обмоток постійного струму

На рисунку зображено схему вимірювання опору обмоток постійному струму трифазного трансформатора напруги. Опір вимірюється як на високовольтній обмотці, так і на низьковольтній.

Для проведення випробувань однофазних трансформаторів напруги і трансформаторів струму схеми аналогічні.

Вимірювання за допомогою вольтметра і амперметра на практиці не дуже зручні через те, що необхідна велика кількість приладів і джерело постійного струму достатньої потужності. Тому простіше проводити вимірювання із застосуванням таких мостів постійного струму, як Р333, Р4833 і т. п., а для оцінних вимірювань можна застосовувати й інші. Необхідно забезпечити гарний контакт на кінцях обмоток, тому закріплювати дроти вимірювального приладу слід із застосуванням штатних кріплень, очистивши затискачі від бруду.

**Визначення полярності обмоток і визначення групи трансформаторів напруги.** Маркування затискачів вимірювальних трансформаторів виконується на заводі-виробнику і при введенні в експлуатацію піддається перевірці.

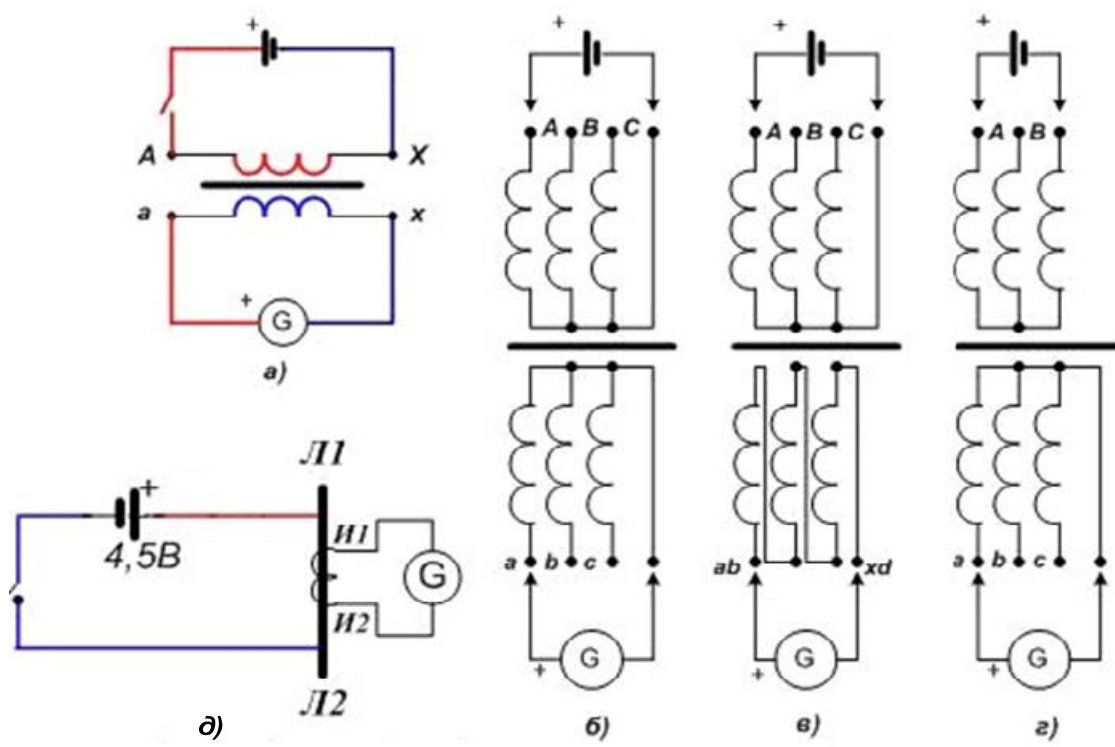
Для визначення полярності виводів чи групи з'єднань обмоток трансформатора напруги використовують схеми, наведені на рис. 6.20.

При перевірці полярності однофазних трансформаторів напруги і трансформаторів струму затискачі гальванометра під'єднується до затискачів вторинних обмоток, а джерело живлення (у вигляді батарейки) під'єднується до первинної обмотки. При короткочасному замиканні елементів живлення на первинну обмотку, стрілка гальванометра відхилиться вправо, якщо елемент живлення і гальванометр під'єднані до однойменних затискачів, і вліво, якщо під'єднання неоднойменне (рис. 6.20).

При перевірці полярності обмоток трифазних трансформаторів напруги, зі з'єднанням обмоток за схемою «зірка – нуль» з високої і низької сторін, джерело живлення також під'єднується до первинної обмотки (мінусом до нуля). Тоді при короткочасному замиканні джерела живлення на обмотку стрілка гальванометра відхилиться вправо, якщо мінус приладу під'єднаний до нуля вторинної обмотки (рис. 6.21).

При перевірці полярності обмоток трансформаторів напруги зі з'єднанням обмоток за схемою «зірка–нуль» – «розімкнутий трикутник», затискачі гальванометра постійно під'єднуються плюсом до виводу трансформатора, а джерело живлення по черзі під'єднується плюсом до первинних обмоток фаз «А», «В» і «С» вимірювального трансформатора. Тоді, при замиканні кола джерела живлення стрілка гальванометра буде відхилятися вправо (рис. 6.20).

Перевірка трансформаторів напруги зі схемою з'єднань «зірка» – «зірка–нуль» здійснюється аналогічно перевірці трансформаторів зі схемою з'єднання «зірка – нуль» на обох обмотках. Джерело живлення в цьому випадку під'єднується до виводів обмоток фаз «А», «В» і «С» плюсом, а мінусом – виводів «С», «В» і «А» по черзі. Стрілка гальванометра буде відхилятися вправо.



- а) – однофазного двообмоткового;
- б) – п'ятистержневого, обмотки ВН і НН з'єднані в зірку;
- в) – обмотки НН з'єднані в трикутник;
- г) – трифазного двообмоткового;
- д) – трансформатора струму;

Рисунок 6.20 – Схема перевірки полярності виводів трансформаторів напруги і струму та групи з'єднань трансформаторів напруги

**Вимірювання струму і втрат холостого ходу трансформаторів напруги.** Струм і втрати холостого ходу вимірюють за номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора напруги. Схема для проведення вимірювань наведена на рис. 6.20.

При вимірюваннях слід враховувати, що у однофазних трансформаторах напруги, у яких другий кінець первинної обмотки заземлюється, номінальна напруга основної вторинної обмотки становить  $100/\sqrt{3}$  В, а додаткової – 100 В або  $100/3$  В. При вимірюванні струму холостого ходу потрібно надійно заземлити корпус, вторинну обмотку, а також первинну обмотку, у якій вивід має ослаблену ізоляцією і приєднаний до землі.

При вимірюванні струму холостого ходу трансформаторів напруги (ТН) понад 35 кВ необхідно застосовувати регульовальні пристрої великої потужності, оскільки струм холостого ходу (ХХ) може досягати значень в 10 А і більше (у трансформаторів НКФ – 110–10 А, у НКФ – 220–25 А).

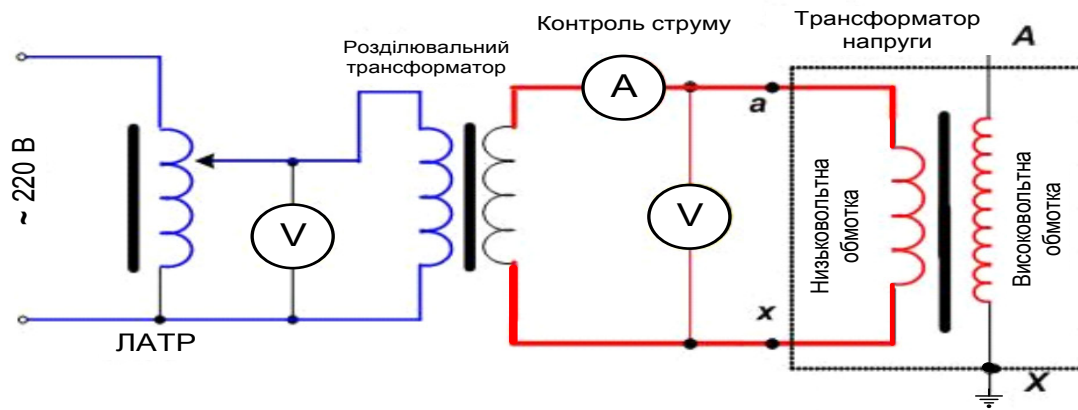


Рисунок 6.21 – Вимірювання струму XX трансформатора напруги

**Обробка даних, отриманих при випробуваннях.** Первинні записи робочого зошита повинні містити такі дані:

- дату проведення вимірювань;
- температуру;
- вологість і тиск;
- температуру ізоляції вимірювальних трансформаторів,
- найменування;
- тип;
- заводський номер трансформатора;
- номінальні дані об'єкта випробувань;
- результати випробувань;
- результати зовнішнього огляду;
- використовувану схему.

Дані, отримані при вимірюванні опору ізоляції обмоток і опору обмоток постійному струму, слід порівнювати з заводськими даними на даний трансформатор, з урахуванням температури. Крім того, дані за опором фаз не повинні відрізнятися один від одного більше, ніж на 2% (у трифазних трансформаторах напруги). Криві намагнічування трансформаторів струму не повинні відрізнятися від типових більше ніж на 10%. При більшому відхиленні потрібно розглянути можливість роботи трансформаторів струму в даній схемі (захист, облік, вимірювання і т. п.) [41]. Результати визначення полярності виводів обмоток трансформаторів струму потрібно враховувати під час монтажу трансформатора за місцем експлуатації і відповідного під'єднання обмоток трансформатора до вторинних кіл. Коефіцієнт трансформації і втрати холостого ходу мають відповідати паспортним даним трансформатора. Всі дані випробувань порівнюються з вимогами нормативно-технічної документації. На підставі порівняння робиться висновок про придатність вимірювального трансформатора до експлуатації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и систем. – М. : Энергия, 1978. – 224 с.
2. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М. : Высшая школа, 1987. – 646 с.
3. Васильев А. А. Электрическая часть станций и подстанций / Васильев А. А. и др. – М. : Высшая школа, 1990. – 419 с.
4. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Под ред. В. В. Афанасьева. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 544 с.
5. Афанасьев В. В., Адоньев Н.М. Справочник по расчёту и конструированию контактных частей силовых электрических аппаратов / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев ; под ред. В. В. Афанасьева. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 384 с.
6. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учебник для сред. проф. образования / Рожкова Л. Д., Карнеева Л. К., Чиркова Т. В. – М. : Академия, 2004. 448 с.
7. Лисовский Г. С. Главные схемы и электротехническое оборудование подстанций 35–750 кВ / Г. С. Лисовский, М. Э. Хейфиц. – М. : Энергия, 1977. – 464 с.
8. Грудинский П. Г. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций / П. Г. Грудинский, С. А. Мандрыкин. – М. : Энергия, 1974. – 575 с.
9. Афанасьева В. В. Приводы к выключателям и разъединителям высокого напряжения / Афанасьева В. В., Якунин Е. Н. –Л. : Энергоиздат, 1982.
10. Фоков К. И. Выбор проектных решений при разработке подстанции 10–500 кВ / Фоков К. И., Твердохлебов И. А., Григорьев Н. П. – Хабаровск, 2001. – 53 с.
11. Тепловые и атомные электрические станции : справочник / под. общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 624 с.
12. Электрическая часть электростанций / Под ред. С. В. Усова. – Л. : Энергия, 1977. – 556 с.
13. Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций / А. А. Антюшин, А. В. Гомберг, В. П. Караваев и др. ; под ред. Э. С. Мусальяна. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 384 с.
14. Справочник по наладке электрооборудования станций и подстанций / Под ред. Э. С. Мусальяна. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 244 с.
15. Сахновский Н. Л. Испытание и проверка электрического оборудования / Сахновский Н. Л. – М. : Энергия, 1975. – 105 с.
16. Филатов А. А. Фазировка электрического оборудования / Филатов А. А. – М. : Энергия, 1977. – 287 с.

17. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / Под ред. М. Г. Зименкова, Г. В. Розенберга, Е. М. Феськова. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.
18. Якобсон И. А. Испытания и проверки при наладке электрооборудования / Якобсон И. А. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 120 с.
19. Варварин В. К. Выбор и наладка электрооборудования : справочное пособие / Варварин В. К. – М., 2006. – 240 с.
20. Основы теории электрических аппаратов : учебное пособие для электротехнических специальностей вузов / [Б. К. Буль, Г. В. Буткевич, А. Г. Годжелло и др.]. ; под ред. Г. В. Буткевича. – М. : Высшая школа, 1970. – 600 с.
21. Чунихин А. А. Электрические аппараты. Общий курс : учебник для вузов. / Чунихин А. А. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
22. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А. А. Васильева. – М. : Энергия, 1980. – 608 с.
23. Афанасьев В. Математическая модель гашения дуги / В. Афанасьев, Н. Добрянская. // Изв. вузов. Электромеханика, – 1980. – № 3.
24. Регаллер К. Физика дуги и переходные процессы в сетях / К. Реггаллер, Р. Рейхарт. – М. : Энергоиздат, 1981. – 345 с.
25. Электрическая часть станций и подстанций : учебник для вузов / [А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова и др.]. ; под ред. А. А. Васильева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 567 с.
26. Родштейн Л. А. Электрические аппараты / Родштейн Л. А. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 304 с.
27. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций : учебник для техникумов / Л. Рожкова, В. Козулин. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
28. Бортник И. М. Характеристики зажигания заряда в шестифтористой сере при сверхвысоких напряжениях / И. Бортник, Ч. Кук. // ЖТФ. – 1972. – Т. 42– № 1. – 95 с.
29. Теория и конструкция выключателей / [под ред. Афанасьева В. В.]. – [пер. с англ.]. – Л. : Энергоиздат. Ленинградское отд., 1982. – 496 с.
30. Залесский А. М. Электрическая дуга отключения / Залесский А. М. – Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 267 с.
31. Полтев А. И. Конструкции и расчёт элегазовых аппаратов высокого напряжения / Полтев А. И. – Л. : Энергия, 1979. – 240 с.
32. Улиссова И. Н. Вакуумные коммутационные аппараты за рубежом / Улиссова И. Н. – М. : Информэлектро, 1983. – 80 с.
33. Зелінський В. Ц. Фізичні основи електричних апаратів : навчальний посібник / Зелінський В. Ц. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 134 с.
34. Инструкция по выбору, установке и эксплуатации дугогасящих катушек. – М. : Энергия, 1971. – 104 с.
35. Основы теории электрических аппаратов / [под ред. Ю. В. Буткевича]. – М. : Высшая школа, 1970. – 600 с.



36. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 года / под ред. Ю. Н. Старшинова ; пер. с англ. – М. : Энергия, 1980. – 256 с.
37. Кузнецов Ю. С. Аппараты распределения электрической энергии напряжением до 1000 В / Кузнецов Ю. С. – М. : Энергия, 1970. – 544 с.
38. Чунихин А. Аппараты высокого напряжения / А. Чунихин, М. Жаворонков – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
39. Основы теории электрических аппаратов : учеб. для вузов по спец. «Электрические аппараты» / [И. С. Таев, Б. К. Буль, А. Г. Годжелло и др.]. ; Под ред. И. С. Таева. – М. : Высшая школа, 1987. – 352 с.
40. TR-3000. Digital Circuit Breaker Test System. – USA : Doble Engineering Company, 1991. – P. 20.
41. CBA-32P. Circuit Breaker Analyzer. Zensol Automation Inc // Transmission & Distribution World. – 1998. – September. – P. 30.
42. Power Instrument // Transmission & Distribution World. – 2001. – April. – P. 67.
43. Обзор современных приборов контроля временных и скоростных характеристик высоковольтных выключателей / Институт систем энергетики Сибирского отделения Российской академии наук. – Иркутск, 2001. – С. 14.
44. Юхименко М. А. Аналізатор роботи вимикачів високої напруги АРВВН-4 / М. А. Юхименко, О. Є. Рубаненко, В. Л. Таловерья // Новини енергетики. – 2002. – № 8. – С. 48–49.
45. Юхименко М. А. Контроль часових характеристик повітряних вимикачів високої напруги / М. А. Юхименко, В. Л. Таловерья, О. Є. Рубаненко // Енергетика і електрифікація – 2002. – № 5. – С. 39–43.
46. Лежнюк П. Д. Розширення можливостей мікропроцесорних пристроїв контролю характеристик вимикачів / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Антонюк // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету – Кременчук : КДПУ, 2004. – № 2(25). – С. 119-121.
47. Борисенко Л. С. Запобігання ферорезонансу на ненавантажених шинах РУ 110-330 кВ / Л. С. Борисенко, Д. І. Панансюк, Г. А. Миронов // Електричні станції. – 1984. – № 3 – С. 51.
47. Кисаримов Р. Н. Наладка електрооборудования : справочник / Кисаримов Р. Н. – М. : ИП Радио Софт, 2006. – 352 с.

*Навчальне видання*

**Лесько Владислав Олександрович  
Нетребський Володимир Васильович  
Малогулко Юлія Володимирівна**

## **ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ**

Навчальний посібник

Рукопис оформила Ю. Малогулко

Редактор В. Дружиніна

Оригінал-макет виготовив О. Ткачук

Підписано до друку 17.09.2018.  
Формат 29,7×42<sup>1</sup>/<sub>4</sub>. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 7,26.  
Наклад 50 (1-й запуск 1-20) пр. Зам. 2018-162.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 65-18-06.  
**press.vntu.edu.ua**;  
*E-mail*: kivc.vntu@gmail.com.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.