В. В. Нетребський, Ю. В. Малогулко

ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. В. Нетребський, Ю. В. Малогулко

ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 621.311.4(076.5)
Н14

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 27.04.2017 р.)

Рецензенти:
В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор
В. А. Матвійчук, доктор технічних наук, професор
С. В. Матвієнко, кандидат технічних наук

Нетребський, В. В.

Н14 Електрична частина станцій та підстанцій : лабораторний практикум / В. В. Нетребський, Ю. В. Малогулко. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 99 с.

В лабораторному практикумі 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. Лабораторний практикум розроблено для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання, які вивчають курс «Електричні станції та підстанції».

УДК 621.311.4(076.5)

© ВНТУ, 2017

ЗМІСТ

Передмова……... 4
Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт в лабораторії «Електричних станцій та підстанцій»……...…. 5
Вступ……...……. 6
Лабораторна робота № 1
Принцип роботи та види малооб'ємних масляних вимикачів...…… 7
Лабораторна робота № 2
Дослідження принципу роботи вимикачів навантаження……. 19
Лабораторна робота № 3
Вакуумні вимикачі…….…… 24
Лабораторна робота № 4
Повітряні вимикачі серій ВНВ-220 та ВВГ-20…..……..…… 38
Лабораторна робота № 5
Елегазові вимикачі…….…… 49
Лабораторна робота № 6
Фазування силових трансформаторів…..…….. 61
Лабораторна робота № 7
Перевірка та випробування силових трансформаторів……..…… 70
Лабораторна робота № 8
Приводи вимикачів високої напруги і роз'єднувачів...……..…… 77
Список використаної літератури…….. 96
Додаток А…… 98

Передмова

Лабораторні роботи, що виконуються під час вивчення курсу «Електрична частина станцій та підстанцій», проводяться в лабораторії «Електричних станцій та підстанцій» кафедри «Електричних станцій та систем» Вінницького національного технічного університету. Внесені до практикуму лабораторні роботи покликані закріпити знання, отримані студентом в процесі вивчення теоретичного курсу «Електричні станції та підстанції».

Основним змістом лабораторних робіт є ознайомлення з конструкцією та методами післяремонтних випробувань високовольтного обладнання електричних установок, набуття навичок формування та аналізу схем головних електричних з'єднань і правил ввімкнення вимірювальних приладів.

Лабораторні роботи виконуються на натурних стендах з використанням типового високовольтного обладнання і мають на меті вироблення у студентів навичок проведення налагоджувальних робіт, випробування обладнання, а також підготовку студентів до вивчення спеціальних дисциплін навчального плану.

Для виконання лабораторних робіт необхідне самостійне вивчення рекомендованої навчальної та довідкової літератури. Особливу увагу потрібно приділити набуттю навичок читання схем керування комутаційними апаратами і випробування електрообладнання.

Порядок і обсяг виконання лабораторних робіт, форми звітності наведені в тексті лабораторного практикуму. Лабораторний практикум розроблено для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання, які вивчають курс «Електричні станції та підстанції».

Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт в лабораторії «Електричних станцій та підстанцій»

1. Наведені правила поширюються на всіх студентів, що виконують лабораторні роботи, і є обов'язковими.

2. Перед виконанням лабораторної роботи необхідно уважно вивчити методичні вказівки до неї, ознайомитися з випробувальною схемою і її параметрами.

3. Не приступати до роботи на несправному обладнанні. Про всі помічені несправності повідомляти викладачеві або лаборанту.

4. До збирання схеми переконатися в тому, що автомати живлення робочої схеми відключені.

5. Перед складанням схеми всі апарати і прилади необхідно розташувати в порядку, що забезпечує зручне і безпечне виконання роботи.

6. У процесі складання уважно стежити за станом контактів і з'єднувальних проводів. Провідники повинні бути надійно підключені до затискачів.

7. До подачі напруги робоча схема повинна бути перевірена викладачем або лаборантом. Без їхнього дозволу подавати напругу на робочий стенд забороняється.

8. Перед ввімкненням схеми необхідно переконатися, що ніхто з присутніх не торкається струмоведучих частин.

9. За наявності напруги в схемі закріплювати контакти, замінювати провідники або прилади забороняється.

10. Будь-які зміни в схемі повинні виконуватися при повному знятті напруги зі стенда. Після змін у схемі її необхідно повторно перевірити і напругу знову можна подавати тільки з дозволу викладача або лаборанта.

11. При роботі з вимірювальними трансформаторами струму забороняється розмикати кола вторинних обмоток, коли по первинній протікає струм.

12. Робота на установках повинна проводитися бригадами, які складаються не менше ніж з двох студентів.

13. Перед розбиранням схеми необхідно переконатися у відсутності напруги на випробувальному стенді.

14. Після закінчення лабораторної роботи робоче місце повинно бути приведено в повний порядок.

15. Результати вимірювань повинні бути подані для перевірки викладачеві.

16. При порушенні правил техніки безпеки і робочої дисципліни, псування приладів або обладнання матеріальна та моральна шкода покладається на винуватця події.

17. Після ознайомлення з викладеними вище правилами техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт і усного інструктажу викладача студент розписується в журналі з техніки безпеки лабораторії.

Вступ

Україна має потужний промисловий комплекс, для роботи якого потрібна електроенергія, оскільки це невід'ємна частка без якої його розвиток значно гальмується, а подекуди взагалі неможливий. На сьогодні, для того щоб вийти з економічної кризи, потрібно звернути увагу на енергетику, яка відіграє в житті країни не останню роль. Вона, як і більшість галузей промисловості, потерпає від кризи. І не потрібно закривати на це очі, оскільки майбутнє України та її незалежність повністю залежать від енергетики.

Основа електроенергетики країни – Об'єднана Енергетична Система (ОЕС), яка здійснює централізоване електрозабезпечення споживачів. ОЕС взаємодіє з енергетичними системами суміжних країн та забезпечує експорт та імпорт електроенергії. В міру обставин, які склалися нині, головне базове навантаження в енергопроблемі несуть атомні електричні станції (АЕС). Це зумовлено тим, що більшість теплових електричних станцій простоюють через відсутність палива. Централізоване виробництво електроенергії в об'єднаній енергосистемі виконують 14 теплових електростанцій, 8 гідроелектростанцій та 4 атомних, які входять до складу Національної Атомної Енергогенеруючої Компанії (НАЕК) «Енергоатом». Кількість АЕС в Україні становила п'ять, але в результаті виведення з експлуатації 15 грудня 2000 року Чорнобильської АЕС їхня кількість скоротилася до чотирьох.

Значна частина основного обладнання електричних станцій України відпрацювала встановлений стандартами термін їх роботи. 96% обладнання ТЕС відпрацювало свій проектний ресурс, 73% – перевищило граничний. Майже всі АЕС України повністю відпрацюють свій розрахунковий ресурс до 2026 року.

Тільки на основі сучасного електрообладнання електроенергетику України можна вивести на світовий рівень, який би забезпечив високу ефективність, надійність та безпеку функціонування за екологічної сприйнятності всього паливно-енергетичного комплексу України, а також інтеграцію ОЕС України з енергосистемами країн сходу і заходу. Національною енергетичною програмою України передбачено пріоритетний розвиток вугільної промисловості та теплової енергетики. Важливим для України найближчим часом є розвиток атомної енергетики. Перспективним є створення замкненого ядерного виробництва із застосуванням нового типу енергоблоків з уран-торієвим паливним циклом.

Лабораторна робота № 1

Принцип роботи та види малооб'ємних масляних вимикачів

1.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчення конструкцій масляних вимикачів, визначення тимчасових характеристик і дослідження ходу рухомих контактів вимикачів ВМП-10 та ВКЕ-10.

1.2 Короткі теоретичні відомості

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

1. Номінальна напруга – $U_{ном}$.

2. Номінальний струм – $I_{ном}$.

3. Номінальний струм вимкнення $I_{вимк.\ ном.}$ – найбільший струм короткого замикання (КЗ) (діюче значення), який вимикач здатний вимкнути за напруги, що дорівнює найбільшій робочій напрузі. Номінальний струм вимкнення визначається дійсним значенням періодичної складової в момент розходження контактів вимикача.

4. Допустимий відносний вміст аперіодичної складової в струмі вимкнення:

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

5. Номінальний струм ввімкнення – найбільший струм КЗ, який вимикач здатний ввімкнути без приварювання контактів та інших пошкоджень за $U_{ном}$ та заданому циклі операцій.

6. Власний час вимкнення – $t_{вл}$ – проміжок часу з моменту подавання команди на вимкнення до розмикання дугогасильних контактів.

7. Повний час вимкнення – $t_{пов}$ – проміжок часу від подавання команди на вимкнення до остаточного погашення дуги на всіх фазах вимикача.

8. Час ввімкнення – $t_{в}$ – проміжок часу від подавання команди на ввімкнення до завершення операції ввімкнення.

9. Стійкість за наскрізних струмів КЗ, яка визначається:

– струмом і часом термічної стійкості – $I_{тер}$– $t_{тер}$;

– струмом електродинамічної стійкості – $I_{дин}$.

10. Параметри відновлювальної напруги.

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

У наведеній роботі вивчаються тільки масляні вимикачі, які, залежно від конструктивних особливостей, поділяються на вимикачі з великим об'ємом масла і вимикачі з малим об'ємом масла (малооб'ємні).

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

В масляних вимикачах контакти розмикаються в трансформаторному маслі. Електрична дуга, яка виникає при цьому, має високу температуру (3000 – 5000 ºС). Прилеглі до неї шари масла випаровуються і розкладаються, дуговий розряд виникає в газовому середовищі. Приблизно половину цього газу за обсягом становить пари масла.

Інша частина складається з водню (приблизно 70%) і вуглеводню різного складу. Кількість масла, яка розкладена дугою, невелика, але гази, що утворюються, мають великий об'єм (1 грам масла дає приблизно 1500 $см^3$ газу за атмосферного тиску та температури 10 ºС). В результаті у газовому об'ємі виникає великий тиск (0,5 –5 МПа і вище).

Високий тиск газів, що утворились, використовують для інтенсивної деіонізації дугового проміжку. З цією метою в зоні горіння дуги розміщують спеціальні жорсткі дугогасильні камери, що мають робочі канали. По цих каналах за рахунок високого тиску в зоні горіння дуги створюється направлений рух утвореної газомасляної суміші відносно палаючої дуги.

Залежно від розташування робочих каналів розрізняють камери з поперечним, поздовжнім і зустрічно-поперечним рухом (дуттям) газомасляної суміші. Чим більший відключається струм, тим інтенсивніше дуття і гасіння дуги. Тому масляні вимикачі називають ще автогазовими.

На рис. 1.1 схематично показано баковий вимикач без спеціальних пристроїв для гасіння дуги. Сталевий бак вимикача підвішений до відлитої чавунної кришки 3 за допомогою болтів. Через кришку проходять шість фарфорових ізоляторів 4, на нижніх кінцях струмоведучих 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 маслом. Під кришкою залишається деякий об'єм повітря. Шар масла над гасильними камерами повинен бути достатнім для надійного охолодження газів, що утворюються в процесі вимикання.

Конструктивна схема масляного бакового вимикача на напругу 110 кВ наведена на рис. 1.1

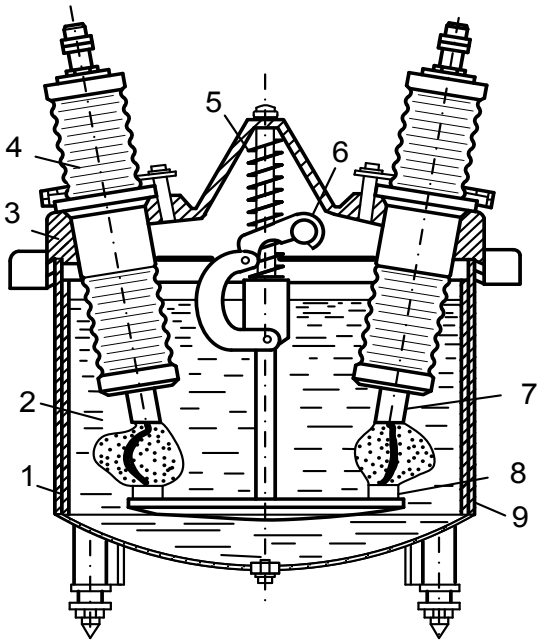


Рисунок 1.1 – Конструктивна схема масляного бакового вимикача:
1 – сталевий бак; 2 – масло; 3 – відлита чавунна кришка; 4 – фарфорові ізолятори; 5 – вимикальна пружина; 6 – вал; 7 – нерухомі контакти; 8 – рухомі контакти, 9 – захисне ізоляційне покриття

Під час вимикання вимикача спочатку розмикаються контакти дугогасильних камер, в яких поперечним дуттям гаситься дуга. Струм у колі при гасінні дуги обмежується шунтувальними опорами. Потім розриваються контакти траверси, і дуга, що утворюється, гаситься у відкритому розриві в маслі. Аналогічно виконаний і вимикач У-220 (рис. 1.2). Конструктивно У-220 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 масла за низьких температур до дна кріпиться пристрій електропідігріву 10, який вмикається за температури повітря нижче –15 °С. Це необхідно, щоб не знижувалась швидкість переміщення рухомих частин вимикача при збільшенні в'язкості масла. У вимикачі серії У-220 на три полюси маса масла становить 27000 кг.

Основні переваги бакових вимикачів:

– простота конструкції;

– висока вимикальна здатність;
– придатність для зовнішнього установлення;
– можливість встановлення влаштованих трансформаторів струму.

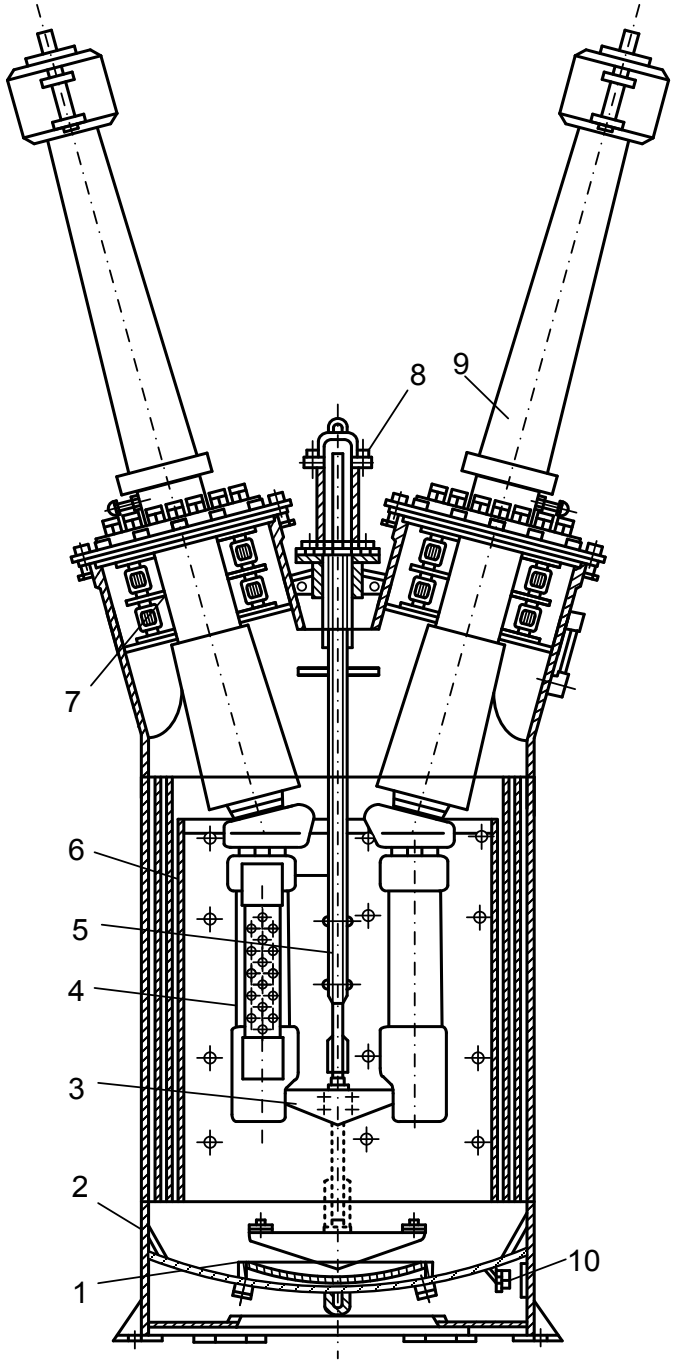


Рисунок 1.2 – Полюс масляного бакового вимикача У-220-2000-40У1

Недоліки бакових вимикачів:
– вибухо- і пожежонебезпека;
– необхідність періодичного контролю за станом і рівнем масла;
– великий об’єм масла;
– необхідність великих запасів масла;

– непридатність до розміщення всередині приміщень;
– непридатність для виконання швидкодійного АПВ;
– велика затрата металу;
– велика маса;
– незручність транспортування, монтажу і налагодження.

Переважним застосуванням бакових масляних 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 обсяг масла є суттєвими недоліками бакових вимикачів. Перевагами їх є простота конструкції, висока надійність і наявність вбудованих трансформаторів струму. Нині область їх застосування обмежена, і випуск їх припинений. Здебільшого вони застосовуються у відкритих РУ 35 – 220 кВ.

1.3 Малооб'ємні масляні вимикачі

У малооб'ємних масляних вимикачах трансформаторне масло використовується як дугогасильне середовище і тільки частково слугує ізоляцією між контактами. Ізоляція струмоведучих частин одна від одної і від заземлених конструкцій виконується фарфором або іншими твердими ізолювальними матеріалами (пластмасою та ін.)

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

У закритих і комплектних розподільчих пристроях 6 – 10 – 35 кВ найбільш широко використовується вимикач типу ВМП (вимикач масляний підвісний).

Вимикач ВМП-10 (рис. 1.3) має три полюси, закріплених за допомогою ізоляторів ОМБ-11Т на загальній рамі. Кожен полюс пов'язаний ізоляційною тягою з валом вимикача. Між полюсами установлено ізоляційні перегородки.

Полюс вимикача (рис. 1.3) складається з міцного вологостійкого ізоляційного циліндра 6, на кінцях якого армуються металеві фланці 4 і 15. На верхньому фланці закріплений корпус 9 з алюмінієвого сплаву, всередині якого розташовані рухливий контакт 16 з приводним механізмом 13, роликовий струмознімальний пристрій 8 з направляючими стрижнями 14 і масловіддільник 10. Зверху корпус 9 закритий кришкою 11 з отвором 12 для випуску газів. Корпус зв'язаний з зовнішнім струмоведучим виводом 7. В нижньому фланці 4 розміщені гасильна камера 5 поперечного масляного дуття, буферна камера 3 і масловказівник 17. Знизу фланець закритий кришкою 1, всередині якої закріплений нерухомий розетковий контакт 2. Кришка одночасно слугує 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 – масляні кишені. У ввімкненому положенні стрижень знаходиться в розетковому контакті, щільно перекриваючи канали камери гасіння.

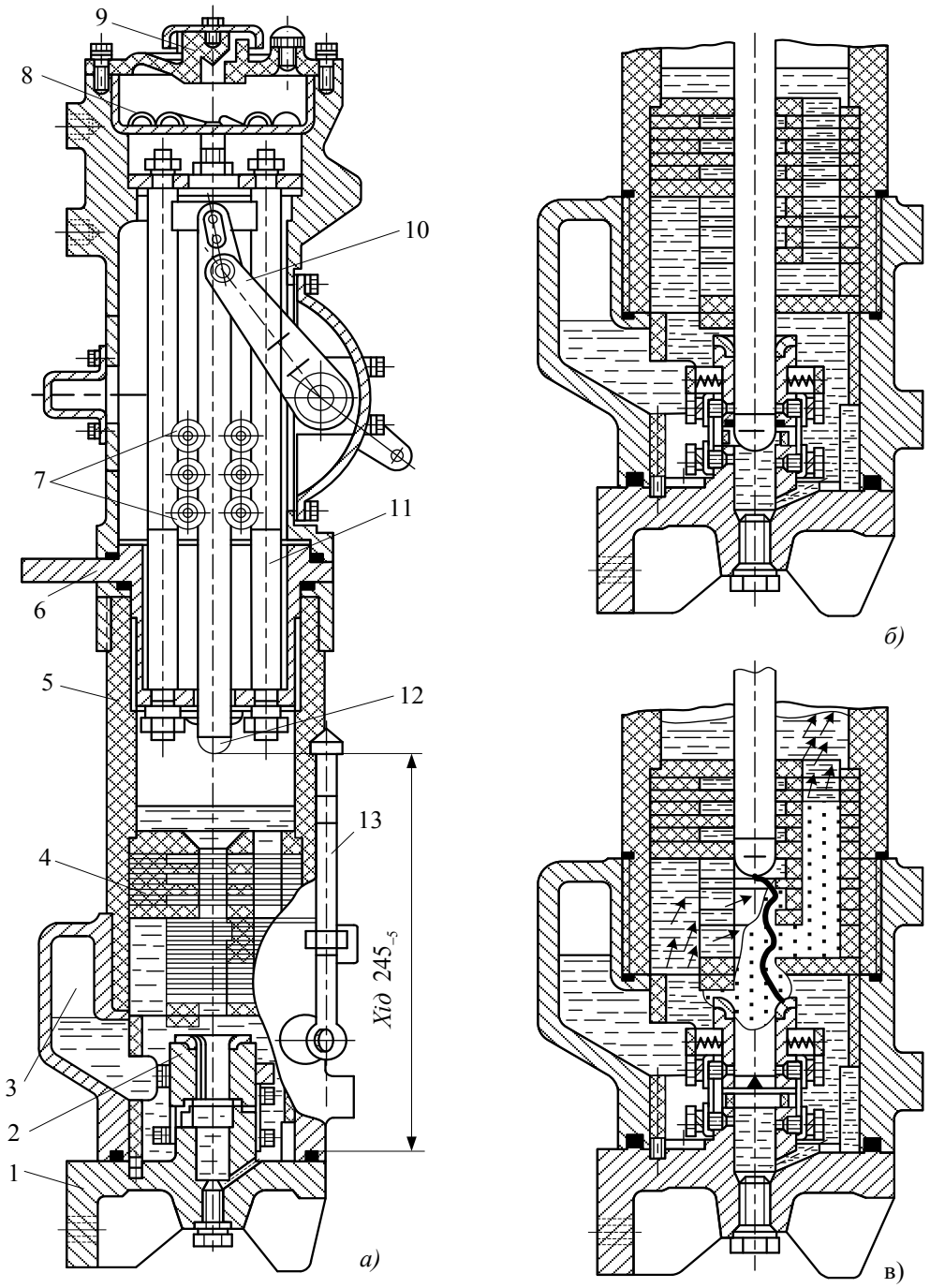


Рисунок 1.3 – Переріз полюса вимикача ВМП-10

На рис. 1.3 зображено переріз полюса вимикача ВМП-10 в трьох положеннях : а) – положення «Вимкнено»; б) – положення «Увімкнено»; 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 – роликовий струмознімальний контакт; 8 – масловідділювальний пристрій; 9 – кришка; 10 – приводний механізм; 11 – напрямний стрижень; 12 – рухомий контакт; 13 – маслопокажчик.

При вимкненні вимикача привод звільняє пружину, що вимикається, і під дією її сили вал вимикача повертається. Через ізоляційну тягу рух передається приводному механізму 13 і контактному стрижню 16, який піднімається вгору. При розмиканні контактів між ними виникає дуга, випаровуючи і розкладаючи трансформаторне масло. На початку процесу вимкнення, поперечні канали гасильної камери перекриті рухливими контактними стрижнями, і тиск в нижній частині камери різко зростає до 0,4 – 0,5 МПа, при цьому частина масла заповнює буферну камеру, стискаючи в ній повітря. Із 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 парогазовій бульбашці знижується, і стиснуте повітря буферного об’єму подібно до поршня нагнітає свіже масло 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 масло в кишенях, створюючи зустрічно-радіальне дуття, а при виході стрижня з камери – поздовжнє дуття.

Після гасіння дуги пари масла і гази проходять через масловіддільник, де пари масла 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 масляний 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 масляного дуття. Полюси вимикача за допомогою опорних ізолятів 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 менша, ніж у вимикачів ВМП.

На великі номінальні струми (2000 – 9500 А) виготовляються вимикачі МГГ (масляний генераторний горшковий) і МГ (масляний 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 дугогасильне – 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 протікає 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 установлення в колах потужних генераторів. Великий номінальний струм забезпечується за рахунок коробчастих виводів і малого перехідного опору на шляху проходження струму.

В розподільних пристроях споживачів за напруги 110 і 220 кВ застосуються маломасляні 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 пов’язаний з механізмом керування ізоляційними тягами. Як дугогасильний пристрій використовуються камери зустрічно-поперечного дуття.

Маслонаповнені колони мають у верхній частині незаповнений маслом 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 під час ремонту вимикачів замінювати їх справними.

Маломасляні вимикачі колонкового типу ВК-10 з пружинним приводом і ВКЕ-10 (рис. 1.4) з електромагнітним приводом використовуються в КРП внутрішньої і зовнішньої установки.

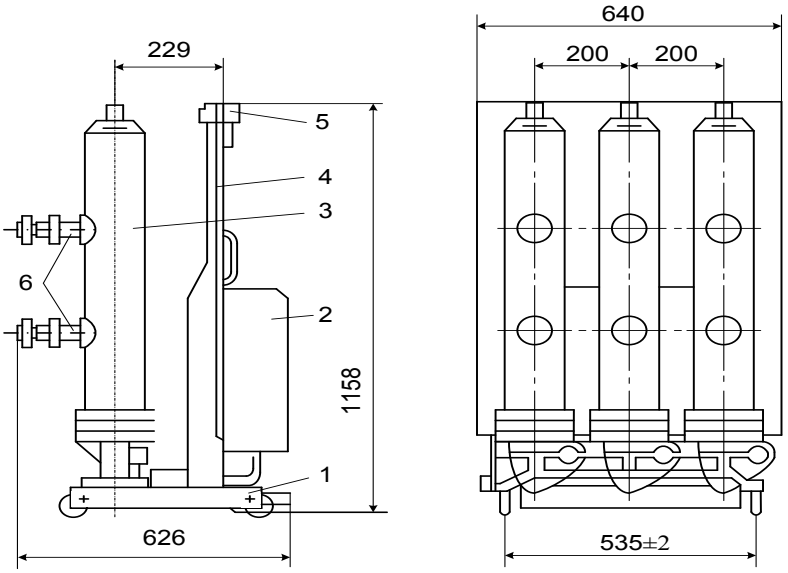


Рисунок 1.4 – Конструкція вимикача ВКЕ-10

Вимикач ВКЕ-10 (рис. 1.4) складається із 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 колесах, 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 перемикання блокувальних контактів КРП.

Полюси вимикача мають штирові 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 газомасляної суміші, створюваної в результаті інтенсивного розкладання трансформаторного масла 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.

1.4 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається зі зразків полюсів вимикачів ВМП-10 і ВКЕ-10 та стенда для визначення одночасності замикання контактів і зняття тимчасових характеристик вимикача ВМП-10. Стенд з приладами змонтований на лабораторному столі. Об’єктом дослідження є

вимикач ВМП-10, встановлений на викатному візку шафи комплектного розподільного пристрою (КРП). Вимикач і стенд з'єднані між собою двома джгутами проводів через штирові роз'єми. На лицьовій стороні стенда накреслені розгорнута схема ланцюгів керування вимикачем і схема вимірювань. Для керування вимикачем використовується ключ керування типу ПМОВ, що має два положення (ввімкнено, вимкнено). Тимчасові характеристики вимикача визначаються за допомогою двох електричних секундомірів. Секундомір (РТ1) підключається через тумблер SN2 і показує час ввімкнення, секундомір (РТ2) при ввімкненому тумблері SN3 показує час вимкнення. Одночасність замикання контактів вимикача визначається за допомогою трьох ламп, підключених до схеми тумблером SN4. Постійний струм напругою 220 В і змінною напругою 220 В для живлення схеми керування вимикачем і схеми вимірювання підводиться до стенда від щитка живлення за допомогою двох джгутів проводів, що мають штирові роз'єми.

При вивченні конструкцій масляних вимикачів потрібно звернути особливу увагу на:

– контактну систему, принцип роботи гасильної камери, розміщення вбудованих трансформаторів струму у вимикачі ВМП-10;

– пристрій і місце розташування гасильної камери, контактної системи, спосіб підведення струму до рухомого контакту у вимикача ВКЕ-10;

– місця підключення струмопроводів, конструкцію рухомих і нерухомих контактів, роликове струмознімання, призначення і взаємодію основних деталей приводного механізму вимикача ВМП-10; особливість конструкції вимикача ВКЕ-10.

Ввімкнення і вимкнення високовольтних вимикачів виконується за допомогою приводів. Поданий в лабораторії вимикач ВМП-10 має електромагнітний привод ПЕ-11, електромагніти ввімкнення і вимкнення якого живляться постійним струмом. Тимчасові характеристики вимикачів (власний час ввімкнення і вимкнення) містять в собі і час роботи привода. За цими характеристиками, порівнюючи їх із заводськими, роблять висновок про якість монтажу або ремонту вимикача.

Мале значення власного часу ввімкнення порівняно із заводськими даними означає, що швидкість руху рухомого контакту велика і може викликати надмірні ударні механічні навантаження на рухомі частини вимикача. Велике значення власного часу вимкнення може призводити до вібрації і зменшення вимикаючої здатності вимикача (причиною може бути послаблення пружин, підвищене тертя і т. д.).

Принципові схеми вимірювання часу ввімкнення і вимкнення вимикачів наведені на лабораторному стенді.

Поворотом рукоятки ключа SA за годинниковою стрілкою до упору подається команда (замикається коло) на ввімкнення вимикача і запускається секундомір РТ1. При замиканні контактів вимикача обмотка

секундоміра шунтується, і секундомір зупиняється, показуючи власний час ввімкнення вимикача.

При відключенні ключа SA (поворотом рукоятки проти годинникової стрілки) подається команда на вимикання вимикача і запускається секундомір РТ2. Розмикаючись, контакти вимикача розривають коло струму через обмотку секундоміра, він зупиняється і показує власний час вимкнення. Перед виконанням вимірювання потрібно детально вивчити розгорнуті схеми, зображені на стенді, звертаючи особливу увагу на положення тумблерів; стрілки секундомірів встановити в нульове положення.

1.5 Порядок виконання лабораторної роботи

1. При вимірюванні власного часу ввімкнення повинні бути ввімкнені тумблери SN1 і SN2, а тумблери SN3 і SN4 вимкнені.

2. При вимірюванні часу вимкнення тумблери SN1 і SN4 ввімкнені, а SN2 і SN4 вимкнені.

3. Визначення повного ходу рухомого контакту, хід в контакті проводиться при ввімкненні вимикача вручну важелем. Хід контакту контролюється за нижньою шкалою лінійки і стрілкою, закріпленою на валу привода.

4. Перевірка одночасності замикання і розмикання контактів вимикача проводиться за допомогою трьох ламп, ввімкнених за схемою, що зображена на стенді. Для цього вручну, за допомогою спеціального важеля, вісь якого укладається на виступи корпусу, а другий кінець заводиться під сталевий сердечник електромагніту ввімкнення привода, повільно піднімають сердечник, фіксуючи черговість запалювання ламп.

Одночасно за стрілкою, закріпленою на валу привода, і нижньою шкалою лінійки, визначається хід контакта в міліметрах, за якого загоряється кожна з трьох ламп. Різночасність торкання контактів для вимикача ВМП-10 не повинна перевищувати 5 мм. Для регулювання торкання контактів змінюють довжину ізоляційної тяги. Перевірка одночасності замикання контактів виконується при ввімкнених тумблерах SN1 і SN4 і вимкнених SN2 і SN3.

1.6 Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Паспортні дані вимикачів У-110, У-220, ВМП, ВК напругою 10 кВ з номінальним струмом 1000 А.

2. Конструктивну схему одного вимикача (за вказівкою викладача).

3. Результати вимірювань власного часу вмикання та вимкнення вимикача з приводом.

4. Результати перевірки ходу рухомих контактів фаз і одночасності ввімкнення та вимкнення, їх вимикання.

Таблиця 1.1 – Параметри вимикачів

Вимикач ВМП-10	Власний час	
	Ввімкнення, с	Вимкнення, с
Виміряне		
Каталожне		

Таблиця 1.2 – Результати перевірки

Фази	A	B	C
1	2	3	4
Повний хід контактів Хід в контактах Черговість ввімкнення фаз Різночасність торкання контактів, мм Черговість вимкнення фаз Різночасність розмикання контактів			

1.7 Контрольні питання

1. Назвіть типи вимикачів напругою вище 1000 В. Які вимоги висуваються до цих вимикачів і якими параметрами вони характеризуються?
2. Як конструктивно виконані вимикачі з великим об’ємом масла на напруги 110 і 220 кВ?
3. Розкажіть про конструктивний пристрій вимикачів ВМ-35, ВМГ-10, ВМП-10, МГГ-10, МГ-20, ВК-10, ВМТ-110.
4. Чим відрізняється гасіння дуги при вимкненні великих і малих струмів в малооб’ємних масляних вимикачах?
5. Чи залежить повний час вимкнення від величини вимикаючого струму? Чому на робочих контактах вимикачів МГ-10 і ВГМ-20 при їх вимиканні не загоряється дуга?
6. Чим небезпечна велика різночасність ввімкнення фаз вимикача і як можна відрегулювати одночасність замикання контактів фаз вимикача ВМП-10?
7. Як конструктивно виконані дугогасильні камери бакових масляних вимикачів У-110 і У-220?

Лабораторна робота № 2

Дослідження принципу роботи вимикачів навантаження

2.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчення конструктивного виконання вимикачів навантаження, їх призначення та застосування.

2.2. Короткі теоретичні відомості

Вимикачі навантаження (ВН) – це триполюсні комутаційні апарати високої напруги, призначені для автоматичного ввімкнення і вимкнення робочих струмів навантажень електричних кіл. Вони не можуть відключати струми коротких замикань (КЗ), але мають велику вмикаючу здатність, відповідну струму електродинамічної стійкості при наскрізному КЗ. Вимикання кола ВН при КЗ здійснюється силовим вимикачем, встановленим на початку лінії живлення (рис. 2.1), або запобіжниками, розташованими ближче до джерела живлення.

ВН широко застосовуються замість дорогих силових вимикачів на підстанціях розподільних мереж напругою до 750 кВ. Крім того, вони можуть встановлюватися в поєднанні з вимикачами на системних підстанціях (рис. 2.1, а та рис. 2.1, г) і в колах потужних генераторів (рис. 2.3). У всіх випадках застосування ВН дозволяє значно знизити витрати на спорудження електроустановки при забезпеченні досить гнучкої схеми та надійності електропостачання споживачів.

На рис. 1.1 наведені схеми підстанцій з ВН, які найчастіше застосовуються у світовій практиці. У кожній з цих схем ВН встановлюються в різних колах з різною метою. Установлення ВН в колах високої напруги трансформаторів підстанцій дозволяє виконувати експлуатаційні ввімкнення і вимкнення їх без вимкнення вимикачів на початку живильних ліній (Q1 і Q2 на рис. 2.1, а і 2.1, в). При КЗ в трансформаторі спрацьовує короткозамикач або запускається пристрій телевідключення (ТВ) і вимикання пошкодження буде здійснюватися вимикачами живильних ліній Q1 і Q2. В період безструмової паузи першого циклу трифазного автоматичного повторного ввімкнення (ТАПВ) цих вимикачів відбудеться вимкнення ВН. Тим самим буде відділений пошкоджений трансформатор від кола. При включенні Q1 і Q2 від ТАПВ електропостачання інших споживачів, що живляться від цих ліній, буде відновлено.

Оскільки ВН мають малий власний час вимикання ($t_{влас.}$), то можливо 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).

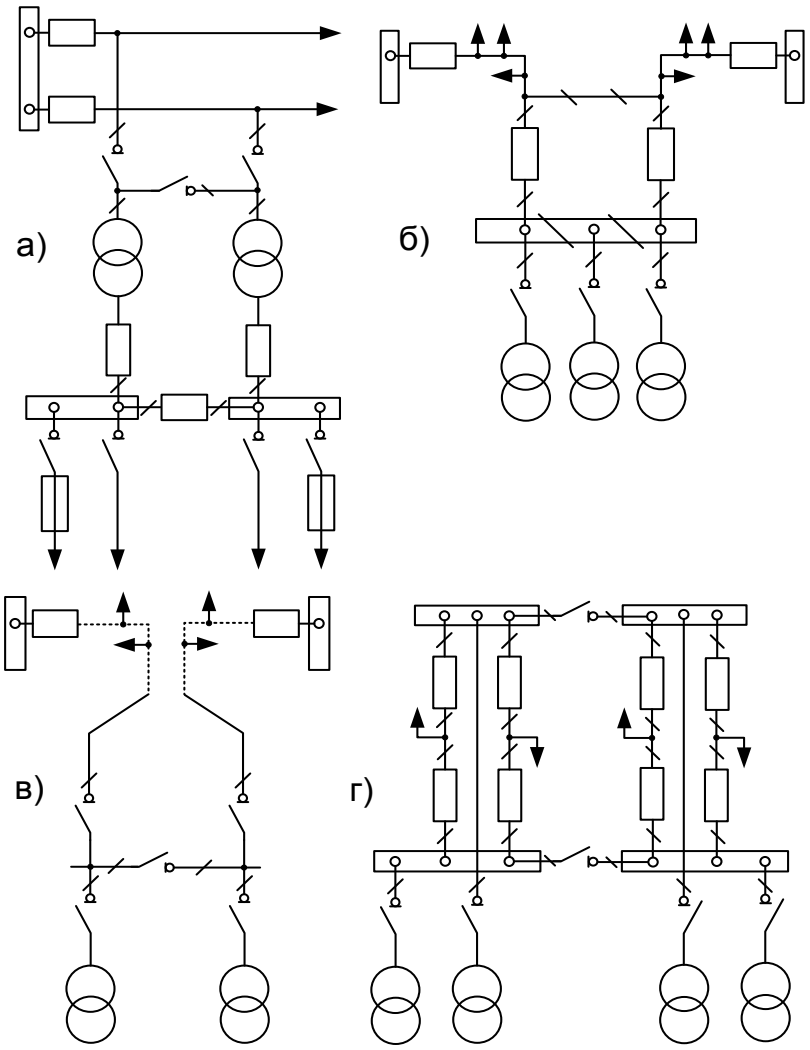


Рисунок 2.1 – Схеми з’єднання підстанцій з ВН

У випадку встановлення ВН в колах ліній, що відходять, вони, крім ввімкнення і вимкнення ЛЕП, можуть використовуватися для автоматичного секціонування ліній з двостороннім живленням (рис. 2.1, в та рис. 2.2).

Це дозволяє автоматично видаляти пошкоджену ділянку лінії в другому циклі ТАПВ вимикачів Q1 і Q2. 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) і підключені через роз’єднувач (рис. 2.2). За даними фахівців США заміна силових вимикачів ВН у схемі верхнього моста на підстанціях мережі 132 кВ дозволяє знизити витрати на 76% при збільшенні розрахункової пошкоджуваності схеми електропостачання всього на 9%.

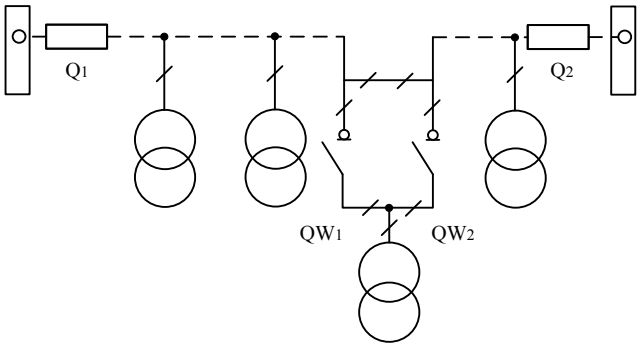


Рисунок 2.2 – Схеми з’єднання підстанцій з ВН

При встановленні ВН в перемичці відгалуженої підстанції (рис. 2.1) він використовується для автоматичного ввімкнення резервного живлення (АВР) на вищій напрузі. В цьому випадку в нормальному режимі роботи QW_2 вимкнений і вмикається тільки після автоматичного вимикання стійко пошкодженої лінії. Тим самим забезпечується нормальна робота споживачів.

Вимикачі навантаження успішно застосовуються в системах електропостачання міст і промислових підприємств за напруги 6 – 10 кВ (рис. 2.1, б).

На електричних станціях з потужними генераторами ($P_{ном} \geq 1000$ МВт), що працюють у блоці з підвищувальними трансформаторами, можна встановлювати ВН біля генератора (рис. 2.3). Тут ВН використовуються для експлуатаційних включень і відключень генератора при збереженні живлення споживачів власних потреб блока від свого робочого трансформатора Т2. При КЗ в генераторі або трансформаторах Т1 і Т2 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 вимиканням 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.

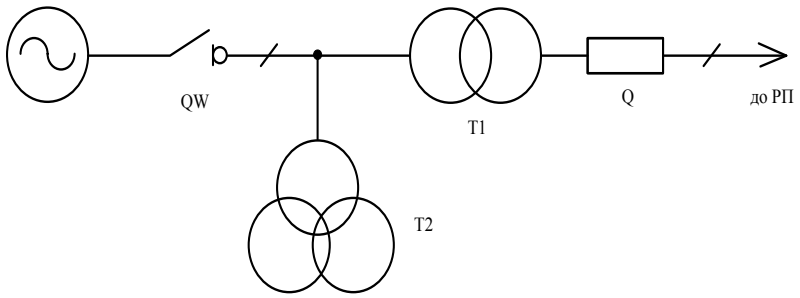


Рисунок 2.3 – Схема блока генератор-трансформатор з установленням вимикача навантаження в колі генератора

2.3 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з призначенням вимикача навантаження (ВН).
2. Розглянути застосування ВН і схеми електричних з'єднань підстанцій з використанням ВН.
3. Вивчити конструкції ВН, наявних в лабораторії.
4. Скласти звіт по роботі.

2.4 Зміст звіту

У звіті повинні бути: приведені основні відомості щодо конструкцій вимикачів навантаження; вивчені схеми з'єднання підстанцій з вимикачами навантаження.

2.5 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 вимикання струму КЗ, функції автоматичного вимикання 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 вдосконаленням конструкцій вимикачів навантаження область їх застосування поширюється.

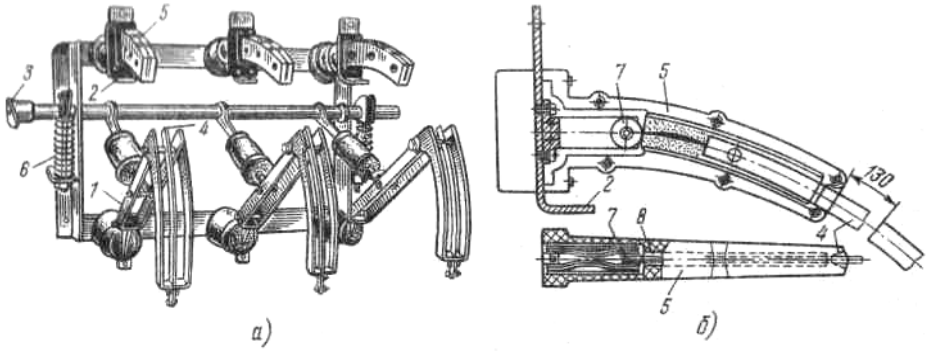


Рисунок 2.4 – Вимикач навантаження з гасильними пристроями генерувального типу: а) загальний вигляд вимикача; б) гасильна камера

На рис. 2.4 показані елементи триполюсного роз'єднувача для внутрішньої установки. 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 ввімкненні і вимиканні, не залежну від оператора. Для цього передбачені пружини 6, які натягаються при повороті

вала 3 роз’єднувача, а при звільненні передають свою енергію рухомим частинам апарата.

У положенні «Включено» допоміжні ножі входять в дугогасильні камери. Контакти роз’єднувача 2 і ковзаючі контакти дугогасильних камер 7 замкнуті. Велика частина струму проходить через контакти роз’єднувача. В процесі вимикання (рис. 2.4, 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 вкладок 8 з органічного скла. У положенні «Відключено» допоміжні ножі знаходяться поза дугогасильними камерами; при цьому забезпечуються достатні ізоляційні розриви. Найбільший струм вимикання вимикача типу ВН дорівнює 800 А за номінальної напруги 6 кВ і 400 А – за напруги 10 кВ, номінальні тривалі струми в 2 рази менші і відповідають робочим струмам роз’єднувача.

2.6 Контрольні питання

1. Чим обумовлено виготовлення та застосування вимикачів навантаження в різних країнах світу?
2. Які вимоги висуваються до параметрів вимикачів навантаження?
3. Поясніть призначення ВН в схемах підстанцій.
4. Розкажіть про конструктивне виконання ВН різних типів.
5. Які переваги мають елегазові вимикачі навантаження єдиної серії ВНЕ?
6. У чому полягають особливості вакуумних вимикачів навантаження?
7. Поясніть, з якою метою визначаються провал контактів і одночасність їх замикання в полюсах вимикача.

Лабораторна робота № 3

Вакуумні вимикачі

3.1 Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення з перспективами застосування вимикачів з вакуумними дугогасильними камерами (ВДК); вивчення конструкції та процесів, що протікають в дузі вимикання у ВДК; дослідження вакуумного вимикача типу ВР-1.

3.2 Короткі теоретичні відомості

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

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

Крім ВВ, в 70-ті роки багато фірм світу виготовляли вакуумні вимикачі навантаження (ВВН). ВВН були дешевші і широко застосовувалися в комплектних розподільчих пристроїв (РП) електричних мереж і в підземних установках. До середини 80-х років у зв'язку з прогресом вакуумних вимикачів різко знизилися техніко-економічні переваги ВВН і замість них стали застосовуватися ВВ. Таким чином, нині основна частка 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 цим можна стверджувати, що в найближчому майбутньому такими вимикачами буде комплектуватися більшість розподільних пристроїв напругою до 35 кВ.

3.3 Принцип роботи вакуумних дугогасильних камер

Основною частиною ВВ є вакуумна дугогасильна камера (ВДК). ВДК складається з ізоляційної циліндричної камери 5, що має на кінцях мета-

леві фланці 1 і 8. Всередині камери знаходяться рухомий 6 і нерухомий 3 контакти і електростатичні екрани 2, 4 і 7. 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 контакта при збереженні герметичності внутрішнього обсягу ВДК. Екрани кріпляться до оболонки або фланців і слугують для захисту внутрішньої поверхні оболонки від парів металу, що утворюються при горінні дуги, а також для вирівнювання розподілу напруги по камері. Ізоляційна оболонка 5 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 розрядна напруга залежить від довжини міжконтактного проміжку (рис. 3.1).

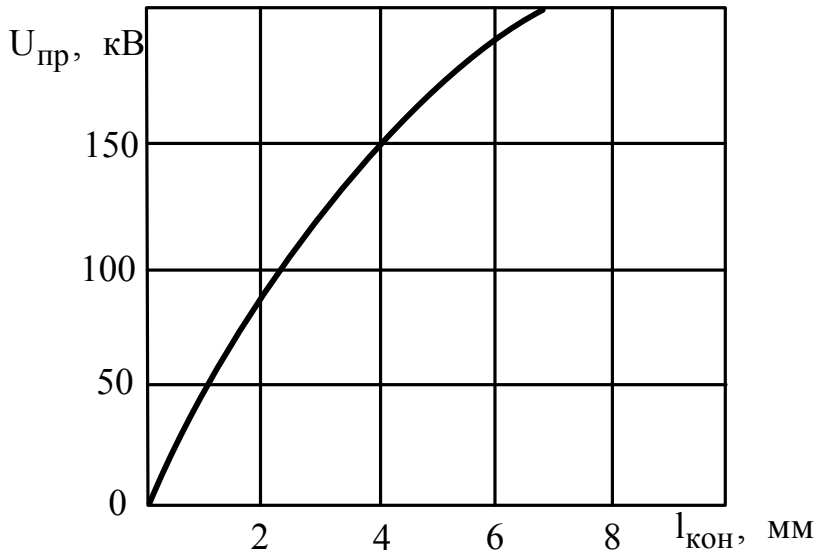


Рисунок 3.1 – Залежність пробивної напруги від відстані між контактами у вакуумі

У вакуумі практично відсутнє окислення контактних поверхонь, але значно зростає схильність металів до зварювання і коефіцієнт тертя. 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).

Матеріал контактів повинен мати малий питомий опір, незначний знос при включенні і відключенні, 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: CuBi, CuBiB, FeCuBi або композиції, які містять хром: CuCr, CrCuW та ін.

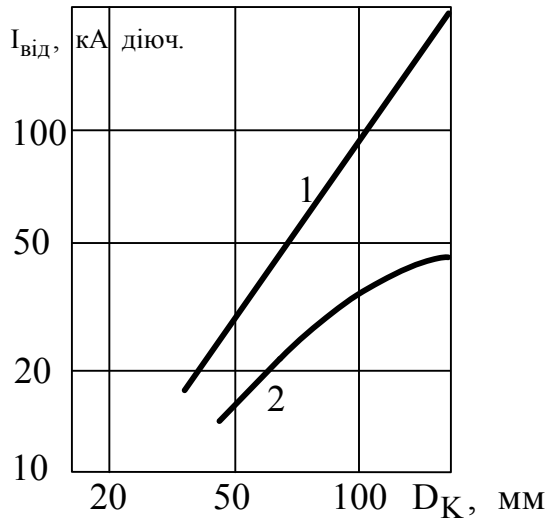


Рисунок 3.2 – Залежність відмикаючої здатності ВДК від діаметра контактів: 1 – контакти з поздовжнім магнітним полем; 2 – контакти зі спіральними прорізами

При відмикаючих струмах до 10 кА у 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 косі або спіральні прорізи. Або контакти виконують так, що утворюється виток, що створює поздовжнє магнітне поле. На рис. 3.2 наведено порівняння відмикаючої здатності ВДК з поздовжнім магнітним полем (крива 1) і ВДК з контактами, що мають спіральні прорізи (крива 2) залежно від діаметра контактів. Як випливає з рис. 3.2, камери з поздовжнім магнітним полем мають істотні переваги порівняно з камерами зі спіральними прорізами.

Дуговий розряд, що утворюється при розмиканні контактів, наводить струм у вакуумі завдяки наявності в міжконтактному проміжку парів металу, що виділяються дуже 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 в ньому з’являються сплески з великою амплітудою (рис. 3.3). Це пов’язано з формуванням анодних плям. В їх зоні відбувається значне сплавлення контактів, яке призводить до збільшення кількості металевих парів в проміжку і посиленому зносу контактів.

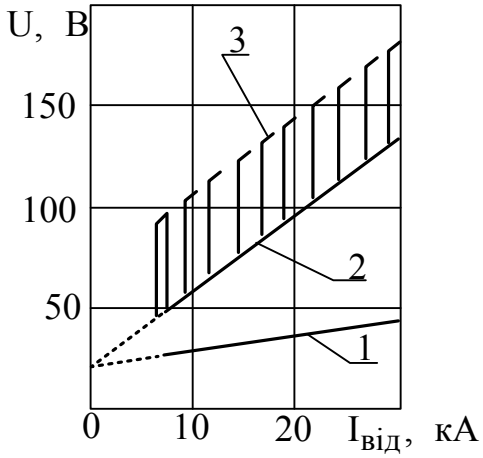


Рисунок 3.3 – Вольтамперні характеристики ВДК: 1 – контакти з поздовжнім магнітним полем; 2 – контакти зі спіральними прорізами; 3 – флуктуації напруги

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. Водночас відбувається зріз струму до його природного переходу через нуль і в колі 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 CuBi досягають значення 20 А, а CrCu – 5 А.

Струм зрізу ВДК залежить і від параметрів мережі. Ця залежність прямо пропорційна ємності мережі в степені 0,03. Таке повільне наростання струмів зрізу ВДК при збільшенні шунтувальної ємності не призводить до значного зростання перенапруг зі збільшенням ємності навантаження. Отже, з цим явищем можна не рахуватися. 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 контактного проміжку (рис. 3.4). Під час пробою 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 в стані відключити в перший нуль високочастотний струм,

поточний від ємності живлення до ємності навантаження. Але якщо електрична міцність проміжку недостатня, відбувається повторне запалювання. При цьому струм у вимикаючій індуктивності буде збільшуватись від одного повторного запалювання до іншого. Це призводить до поступового підвищення напруги на навантаженні, вище $U_ф$ (в 2,2 – 3,0 раза і більше). В результаті може пробитися ізоляція обмоток електродвигунів. Особливо важкі умови створюються для малопотужних електродвигунів, приєднаних довгими кабелями.

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 першогасному полюсі, в двох інших полюсах з'являються високочастотні струми. Вони протікають через паразитні ємності і полюси, в яких ще горить дуга, і мають напрямок, зворотній відключаючому 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 $U_ф$. У такому випадку від перенапруг потрібно захищати тільки малопотужні електродвигуни та сухі трансформатори.

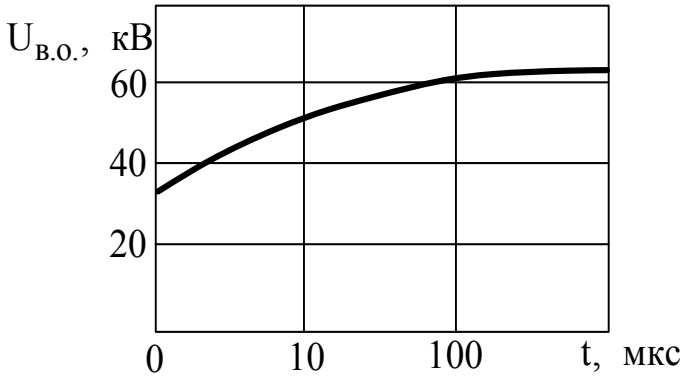


Рисунок 3.4 – Залежність міцності вакуумного проміжку, що відновлюється, від часу

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

3.4 Конструктивне виконання вакуумних вимикачів

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

Хоча переважно контакти ВДК виготовляються з матеріалів, що погано піддаються зварюванню і утворюють порівняно слабкі в механічному відношенні 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 при відключенні в рухомих частинах вимикача. При цьому енергія, необхідна для відриву один від одного приварених контактів, повинна становити незначну частину загальної кінетичної енергії, необхідної для забезпечення необхідної швидкості розбіжності контактів.

З цією метою вимикаючий механізм ВВ виконується таким чином, щоб рух рухомих частин починався раніше, ніж рух рухомого контакта. Для цього зчеплення рухомого контакта ВДК з механізмом ВВ відбувається після того, як коло, що з'єднується з рухомим контактом, пройде 3 – 4 мм (хід в контакті). Швидкість кола при з'єднанні перевищує швидкість рухомого контакта при вимиканні. За рахунок підвищеної кінетичної енергії в момент зчеплення відбувається відрив рухомого контакта від нерухомого і руйнування зварного з'єднання, якщо воно було. Частина кінетичної енергії рухомих частин, що залишилася невитраченою, забезпечує переміщення рухомого контакта 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 КРУ в 2 – 4 яруси. Тому конструктивно вакуумні вимикачі виконуються з малими розмірами на висоті 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 пожежобезпечність;

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 виді-

ленням енергії в ДП і відсутністю зовнішніх ефектів при вимиканні струмів КЗ;

11) відсутність забруднення навколишнього середовища;

12) порівняно малі маси і габаритні розміри, невеликі динамічні навантаження на конструкцію та фундамент;

13) висока швидкодія;

14) можливість організації високоавтоматизованого виробництва.

Недоліками вакуумних вимикачів є:

1) труднощі розробки і виготовлення, пов'язані із створенням спеціальних контактних матеріалів, складністю вакуумного виробництва, схильністю матеріалів контактів до зварювання в умовах вакууму;

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

3.5 Призначення вакуумних вимикачів серії ВР

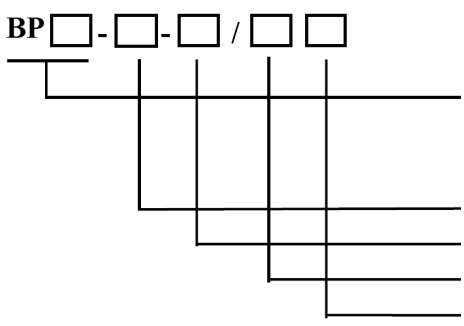
Вакуумні вимикачі серії ВР (ВР1, ВР2, ВРЗ, ВР6, ВР6В, ВР6К) призначені для комутації електричних кіл при нормальних і аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частоти 50 (60) Гц на номінальну напругу 6 – 10 кВ для систем з ізольованою і частково заземленою нейтраллю. Вимикачі використовуються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

Вимикачі ВР6-В переважно використовуються для заміни електромагнітних вимикачів ВЭС-6 в шафах КГ-6С на теплових і атомних станціях, вимикачі ВР6К – для заміни електромагнітних вимикачів ВЭМ-6 в шафах К-Х і К-XXV на теплових та атомних станціях.

Основні переваги вимикачів ВР – це:

- механічний ресурс до 100 000 циклів В;
- гарантійний термін експлуатації 4 роки;
- відсутність обслуговування;
- можливість використання в схемах на постійній і змінній оперативній напрузі.

Структура умовного позначення вимикачів серії ВР



Вимикач вакуумний з електромагнітним приводом серій ВР1, ВР2, ВРЗ, ВР6, ВР6В, ВР6К:
-номінальна напруга, кВ;
-номінальний струм вимикання вимикача, кА|;
-номінальний струм|тік|, А;
-кліматичне виконання і категорія розміщення згідно з ГОСТ 15150-69 і ГОСТ 15543.1-89

Приклад запису позначення вимикача серії ВР1 на номінальну напругу 10 кВ, номінальний струм вимикання 20 кА, номінальний струм 630 А, кліматичне виконання і категорія розміщення У2: ВР1-10-20/1600 У2.

3.6 Основні технічні параметри

Номінальні значення кліматичних умов для вимикачів за ГОСТ 15543.1-89 і ГОСТ 15150-69, при цьому:

а) висота над рівнем моря не більше 1000 м;

б) верхнє і ефективне значення температури оточуючого вимикач повітря приймають рівним для виконання У2+50 °С, для виконання ТЗ – +60 °С і 55 °С відповідно із урахуванням перевищення температури в КРУ;|;;

в) нижнє значення температури повітря, що оточує вимикач -25 °С. За нижчої температури необхідне підігрівання навколишнього повітря згідно з ГОСТ 14693-90;

г) навколишнє середовище вибухобезпечне, тип атмосфери II за ГОСТ 15150-69.

Робоче положення в просторі не регламентується.

Вимикачі призначені для роботи в операціях «О» та «В» і в циклах О – 0,3 с – ВО – 180 с – ВО, О – 0,3 с – ВО – 20 с – ВО та О – 180 с – ВО – 180 с – ВО.

Основні технічні параметри вакуумних вимикачів серій ВР приведені в табл. 3.1.

3.7 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить в собі вимикач серії ВР – ВР1 – 10 – 20/630 У2. Конструкція вимикача ВР1 показана на рис. 3.5. Вимикач складається з трьох полюсів із залитими вакуумними дугогасильними камерами (ВДК), що розміщені на спільній основі. Електромагнітний привод вимикача розміщений в корпусі вимикача. Осердя електромагнітного привода 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.

Таблиця 3.1 – Основні технічні параметри вакуумних вимикачів серій ВР

Найменування параметра	Норма для вимикачів серії				
	ВР1	ВР2	ВРЗ|	ВР6К	ВР6, ВР6В
1. Номінальна напруга кола електромагніту (YAT, YAC), В: – за постійного струму; – за випрямленого струму; – за змінного струму..	220 220 220	110; 220 110; 220 127; 220	220 220 220	220 – –	220 – –
2. Номінальна напруга кіл управління, В: – за постійного струму; – за випрямленого струму; – за змінного струму.	110; 220 110; 220 127; 220			220 – –	220 – –
3. Максимальний струм споживання кола електромагніту А, не більше: – при ввімкненні (YAC) (на протязі не більше 40 мс): при 220 В; при постійному 110 В, змінному 127 В; – при вимиканні (YAT) (на протязі не більше 25 мс): при 220; при постійному 110 В, змінному 127 В.	16 – 14* –	24 60 17 32	35 – 20 –	35 – 20 –	42 – 20 – –0
4. Струм спрацьовування кіл вимикання для схем з дешунтуванням (КСА), А.	3;5				
5. Струм споживання кіл ввімкнення (КМ або КСС), вимикання (КСТ), вимикання від незалежного живлення (KCV), А, не більше: – за постійної і випрямленої напруги 110 В; – за змінної напруги 127 В; – за постійної і змінної напруг 220 В.	3** 3** 1,5**				
6. Діапазон робочих напруг кола електромагніту (YAT, YAC), у відсотках від номінальної напруги: – при ввімкненні (YAC); – при вимиканні (YAT): - змінного або випрямленого струму; - постійного струму.	85–110 65–120 70–110				

7. Діапазон робочих напруг в колах управління, у відсотках від номінальної напруги: – кола ввімкнення (контактора КМ або реле КСС); – кола вимкнення (реле КСТ) і вимкнення від незалежного джерела живлення (реле KCV): - змінного або випрямленого струму; - постійного струму..	85–110 65–120 70–110

* струм від заздалегідь заряджених конденсаторів привода.

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

Ввімкнення вимикача:

- за командою «ВКЛ» 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 провертає 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 защібка») і тим самим забезпечує утримування контактів ВДК у включеному положенні з необхідним рівнем їх підтискання, котушка ввімкнення 13 знеструмлюється.

Вимкнення вимикача:

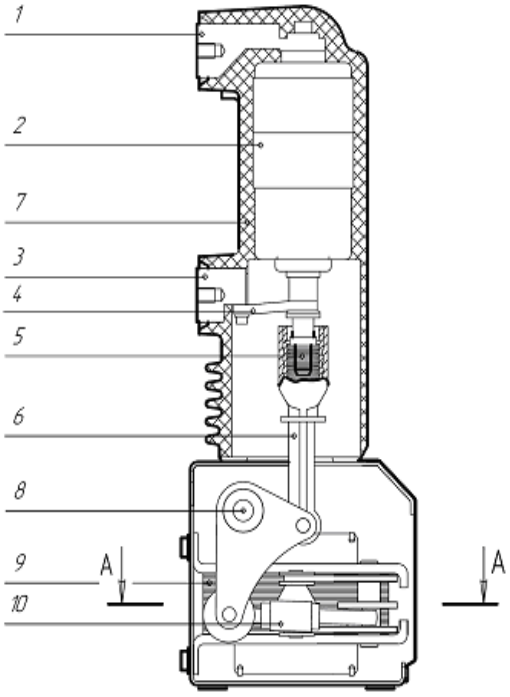
- за командою «ВІДКЛ» струм вимикання від блока управління протікає по котушці вимикання 15 і створює електромагнітне поле в контурі вимикання електромагніту значно більше, чим поле створюване постійними магнітами 14 у контурі вимикання;

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

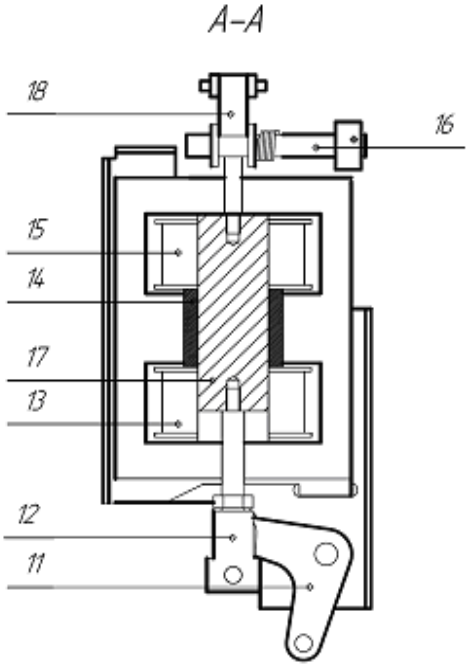
- електромагніт, а також енергія, накопичена в пружинах підтискання 5 в процесі ввімкнення, викликають прискорений рух ізоляційної тяги 6 і пов’язаного з нею рухомого контакта ВДК вниз;

- вимикач швидко відключається;

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



а) полюс вимикача



б) привод вимикача

Рисунок 3.5 – 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 увімкнення; 13 – котушка увімкнення; 14 – постійний магніт; 15 – котушка вимкнення; 16 – вал ручного вимкнення; 17 – осердя; 18 – вставка вимкнення

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 зв'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.

Вакуумна дугогасильна камера КДВ-10-1600-20 зображена на рис. 3.6.

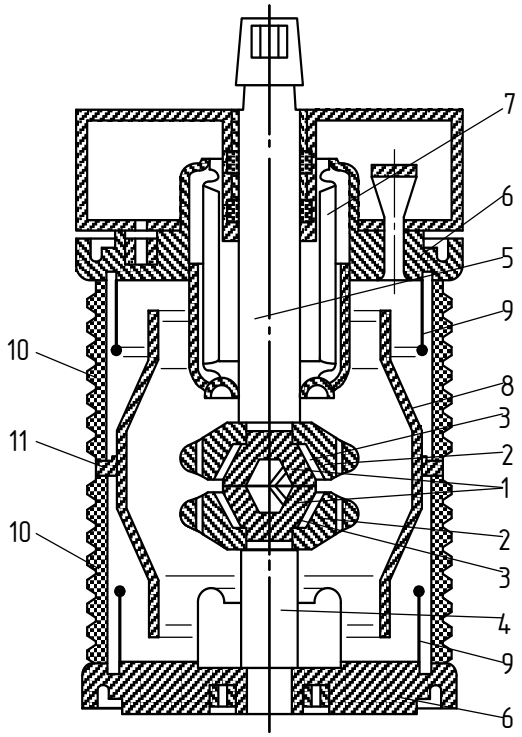


Рисунок 3.6 – Вакуумний ДП: $U_{ном}$ = 10 кВ; $I_{ном}$ = 630÷1600 А; $I_{відкл,ном}$ = 20 кА

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. Рухомий контакт 1, 2 укріплений на струмовводі 5, який пов'язаний з сильфоном 7. Завдяки цьому рухомий контакт може 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 слугують екрани 8 і 9. Екран 8 кріпиться до ізолятора за допомогою кільця 11. Нижче приводяться дані такого ДП.

Номінальна напруга, кВ……..……10
Номінальний струм, кА……...1,6

Опір струмоведучого кола при додатковому
натисканні 1600 Н, мкОм…….....16
Номінальний відносний зміст аперіодичної складової…….0,35
Тривалість дуги, с, не більше……..…….0,02
Граничний струм ввімкнення, 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 $I_{0,\text{ ном}}$ = 1,6 кА…….……..……100
при $I_{0,\text{ ном}}$ = 20 кА…….……..……25
Механічна зносостійкість, операцій…..……..$2 \cdot 10^4$
Хід рухомого контакта, мм…….....12
Допустимий знос контактів, мм…….……..4
Швидкість рухомого контакта, м/с:
при .відключенні……1,7 – 2,3
при включенні…….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. Випрямлені блоки, конденсатори ввімкнення і вимикання, 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 із зеленим і червоним склом. Якщо вимикач, вимкнений – горить зелена лампа, ввімкнений – горить червона лампа.

3.8 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитись з перевагами та недоліками вакуумних вимикачів порівняно з малооб'ємними масляними вимикачами, оцінити переваги їх застосування.

2. Дослідити процеси, які протікають при вимкненні ВДК. Вияснити фізичні причини виникнення перенапруг при вимкненні ВДК та способи захисту від них.

3. Проаналізувати конструктивні особливості вимикачів серії ВР.

4. Скласти схему дистанційного керування вимикачем та здійснити декілька його ввімкнень та вимкнень ключем керування, слідкуючи за роботою механізмів вимикача.

5. Скласти звіт по лабораторній роботі.

3.9 Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Паспортні дані та технічні характеристики вимикача ВР1-10-20/1600 У2.
2. Конструктивну схему вакуумного вимикача серії ВР (за вказівкою викладача).
3. Кінематичну схему передачі руху від вала вимикача до рухомого контакта ВДК.

3.10 Контрольні питання

1. В яких установках використовуються вакуумні вимикачі і які вони мають переваги перед іншими типами вимикачів?
2. Чому у ВДК не застосовуються контакти з монометалу?
3. Як впливає магнітне поле контактної системи ВДК на гасіння електричної дуги?
4. Що собою являє зріз струму при відключенні ВВ та якими процесами він обумовлюється?
5. Чому виникають перенапруги при відключенні малих струмів та струмів короткого замикання ВВ?
6. Як здійснюється захист споживачів від перенапруг при роботі ВВ?
7. В чому полягає різниця привода ВВ від приводів вимикачів інших типів?
8. Як конструктивно виконана камера ВДК?
9. Чому ВВ в основному виконуються напругою до 35 кВ?
10. Як здійснюється процес гасіння електричної дуги у вимикачах серії ВР?

Лабораторна робота № 4

Повітряні вимикачі серій ВНВ-220 та ВВГ-20

4.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчення конструктивного виконання повітряних вимикачів серій ВНВ-220 та ВВГ-20, принципу гасіння електричної дуги в них, а також їх призначення та застосування.

4.2 Короткі теоретичні відомості

Порівняно з маслом і твердими діелектриками гази мають визначені 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 слабко неоднорідних полях збільшується і за певних умов може перевищити електричну міцність трансформаторного масла, 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 розкладу не повинні бути токсичними; відносно до застосованого в цьому обладнанні матеріалу, газ повинний бути хімічно нейтральним; він повинен мати низьку температуру спалювання, що дозволило б використовувати його при підвищених тисках і за низьких температур навколишнього середовища; газ повинен мати значну тепловідвідну здатність, дисоціація газу повинна бути незначною, він повинний бути пожежо- і вибухобезпечним, легкодоступним і недорогим. Крім того, газ повинен мати добру дугогасну здатність.

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

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

На сьогодні 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 30% відробили свій 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, так відсутність запасних частин дуже сильно ускладнює капітальні й поточні ремонти цих вимикачів. Величезні витрати на ремонти вимикачів, компресорного господарства дають можливість тільки підтримувати їх у робочому стані, але не знижують кількості їхніх відмов у роботі.

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

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 за $U_{ном}$ = 10...20 кВ і $I_{вимк}$ = 120 кА. При розмиканні контактів між ними виникає дуга, яка гаситься поперечним потоком повітря, який подається по повітропроводу. 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 тільки 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, що вимикається. Недоліки: великі габаритні розміри і сильний знос контактів через винос парів металу в атмосферу.

4.3 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° 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. Область, що відновлює електричну 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 перетин (обмежений об'єм), створюється протитиск. 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 невіддалених коротких замикань. Ефект «закупорки» залежить від трьох факторів: тиску стиснутого повітря, перетину сопла і потужності дуги (струму).

Зі збільшенням тиску і перетину сопла ефект «закупорки» зменшується, сила струму вимикання збільшується, однак зростають витрата повітря й обсяг баків вимикача.

Струм, що вимикається камерою повздовжнього дуття, приблизно обернено пропорційний 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 баку 2 МПа найбільша напруга, за якої може працювати одна камера, не перевищує 50...60 кВ. Удосконалення камери і збільшення тиску в баку до 4 МПа дозволяють підвищити напругу до 125 кВ. За більшої напруги 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 повітрянаповненими віддільниками легко розвиваються за напругою послідовного з'єднання 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 подавання повітря в камеру, вимог до швидкодії.

У вимикачах на великі номінальні струми є контури: головний і дугогасильний. В увімкненому 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.

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

4.3.1 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. Полюс 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.

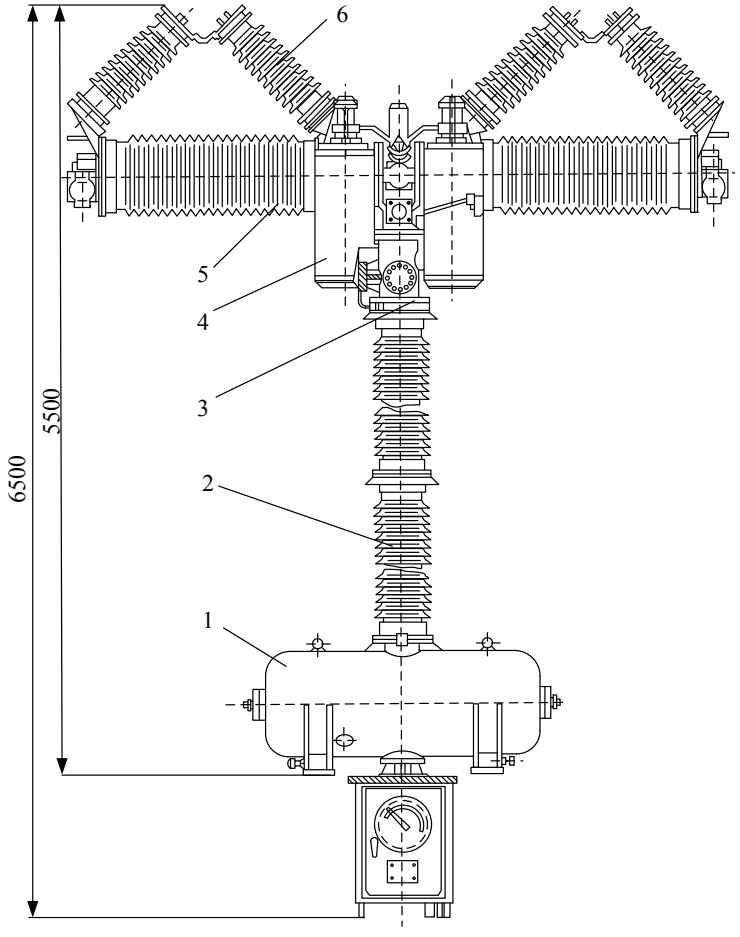


Рисунок 4.1 – Полюс повітряного вимикача ВНВ-220: 1 – резервуар; 2 – ізолятор; 3 – механізм привода; 4 – блок шунтувальних резисторів; 5 – гасильна камера; 6 – конденсатор

Дугогасильний модуль – це дворозривна дугогасильна камера, контактна система якої знаходиться постійно в середовищі стисненого повітря (4 МПа), як в увімкненому, так і у вимкненому стані. 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 вводів. 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.

Позначення вимикача цієї серії розшифровується так: вимикач зовнішнього установлення, повітряний. Цифри, що йдуть за цими буквами, позначають: перша – номінальна напруга, кВ; друга – номінальний струм, А; третя – номінальний струм вимикання, кА. Після цифр, що вказують номінальний струм, можуть стояти букви, що позначають спеціальне виконання (Б – категорія за довжиною шляху витоку 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 ^{o}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 установлення, повітряний, на номінальну напругу 330 кВ, номінальний струм 3200 А, категорія ізоляції Б за ГОСТ 9920-75; номінальний струм вимикання 40 кА, кліматичне виконання У за ГОСТ 15150-69, категорія розміщення 1 за ГОСТ 15150-69.

Вимикач призначений для комутаційних операцій (включень і відключень) в нормальних та аварійних режимах електричних мереж змінного струму частотою 50 Гц за номінальної напруги відповідно 500, 750 і 1150 кВ і струмі вимикання 40 і 63 кА. Кліматичне виконання за ГОСТ 15150-69, робочу температуру навколишнього повітря беруть рівною від -45 ^{o}C для виконання У і від -60 ^{o}C для виконання ХЛ до +40 ^{o}C. Висота над рівнем моря не більше 1000 м.

Кожен вимикач містить три окремих полюси, які механічно не зв’язані між собою. Виключення становить 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 віддільників. 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 подавання 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, ізольована від опорних частин вимикача.

Фарфорові ізолятори вимикача не піддаються тиску стисненого повітря. У віддільнику стиснене повітря подається при вимкненні вимикача і знаходиться там увесь час, поки вимикач не вимкнений.

Вимикачі розраховані на виконання циклу швидкодійного автоматичного повторного ввімкнення (ШАПВ). Час вимикання вимикача 0,04 с, час ввімкнення 0,1 с. Вимикачі серії ВНВ уніфіковані. Один дугогасильний модуль – це вимикач 250 кВ. Вимикачі на напруги 500 кВ складаються із двох модулів, на 750 кВ – із трьох модулів. Вимикач ВНВ-750-3200 складається із дугогасильного пристрою, опорної колонки, високовольтних екранів, фарфорових розтяжок, резервуару стисненого повітря, розподільної шафи і розташованої на візку вимикача шафи управління.

4.3.2 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 відкритої установки дугогасильна камера може бути розташована усередині порцелянового ізолятора, причому на напругу 35 кВ досить мати один розрив (рис. 4.2, в), на напругу 110 кВ – два розриви на фазу (рис. 4.2, г). 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 увесь час вимкнення, при цьому в дугогасильну камеру повітря не подається і контакти в ній замикаються. За конструктивною схемою (рис. 4.2, г) створені вимикачі серії ВВ на напругу до 500 кВ. Чим більше $U_{НОМ}$ і потужність, що вимикається, 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 із заземленого резервуара 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 омічні 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 із 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 два випадки.

Якщо вимикач вимикає великий струм КЗ, а реактивний опір кола значно менший за активний опір 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 та 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.

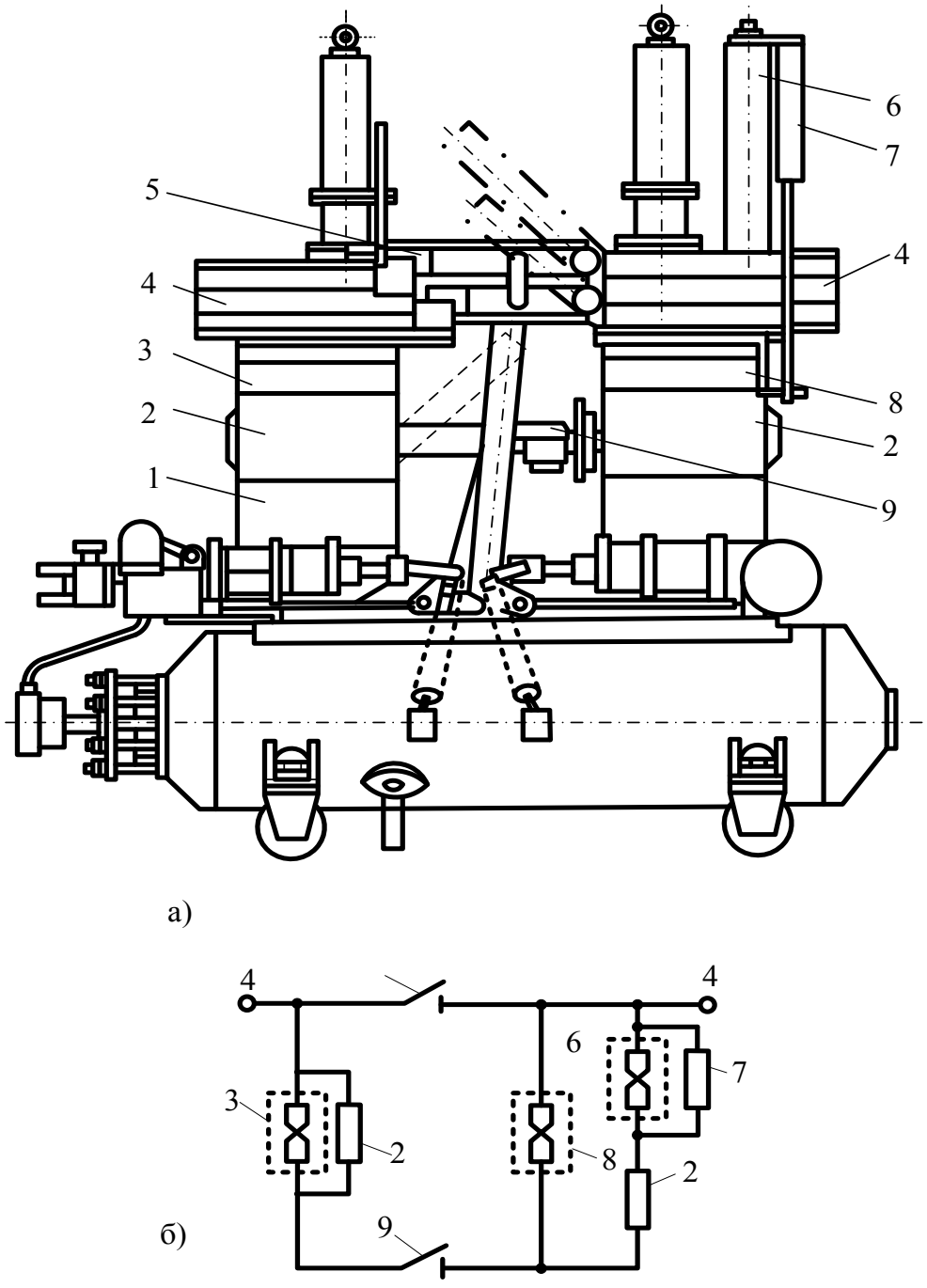


Рисунок 4.2 – Повітряний вимикач ВВГ-20: а) – загальний вигляд; б) – схема електрична функціональна

4.4 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:

$$I_{вкл,ном} \geq I_{вим,ном}; \tag{4.1}$$

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

то припустимо робити вибір вимикачів за найважливішими параметрами:

– за напругою установки $U_{уст} \leq U_{ном}$;

– за тривалим струмом $I_{норм} \leq I_{ном}$; $I_{max} \leq I_{ном}$;

– за вимикальною здатністю.

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

$$I_{п,\tau} \leq I_{вим,ном}. \tag{4.3}$$

Потім перевіряється можливість вимкнення аперіодичної складової струму КЗ

$$i_{а,\tau} \leq i_{а,ном} = \sqrt{2}\, \beta_н I_{вим,ном}/100, \tag{4.4}$$

де $i_{а,ном}$ – номінальне допустиме значення аперіодичної складової струму, що вимикається, для часу τ;

$\beta_н$ – нормоване значення кількості аперіодичної складової в струмі, що вимикається, %;

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

τ – найменший час від початку КЗ до моменту розходження дугогасильних контактів:

$$\tau = t_{з,min} + t_{с,в}; \tag{4.5}$$

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

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

Якщо дотримується умова

$$I_{п,\tau} \leq I_{вим,ном}, \tag{4.6}$$

а $i_{а,\tau} > i_{а,ном}$, то можна перевірку робити за вимикальною здатністю за повного струму КЗ:

$$(\sqrt{2}\, I_{п,\tau} + i_{а,\tau}) \leq \sqrt{2}\, I_{вим,ном}(1 + \beta_н/100). \tag{4.7}$$

За вимикальною здатністю перевірка проводиться за умови:

$$i_у \leq i_{вкл};\ I_{п,0} \leq I_{вкл}, \tag{4.8}$$

де i_y – ударний струм КЗ у ланці вимикача;

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

$I_{вкл}$ – номінальний струм ввімкнення (діюче значення періодичної складової);

$i_{вкл}$ – найбільший пік струму ввімкнення (за каталогом).

Заводи-виробники дотримуються умови

$$i_{вкл} \geq 1{,}8\sqrt{2}\, I_{вкл}, \tag{4.9}$$

де $k_y = 1{,}8$ – 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:

$$I_{п,0} \leq I_{дин}; i_y \leq i_{дин}, \tag{4.10}$$

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:

$$B_к \leq I^2_{тер} t_{тер}, \tag{4.11}$$

де $B_к$ – 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, с.

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 687-78 ця крива не має перетинатися з нормованими кривими ПВН.

4.5 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкції дугогасильних камер повітряних вимикачів.
2. Вивчити основні конструктивні схеми вимикачів.
3. Вивчити конструкції вимикачів, описаних у роботі.
4. Скласти звіт, виконати 2 – 3 ескізи конструкцій вивчених вимикачів, дати короткий опис роботи дугогасильних пристроїв, привести паспортні параметри вивчених вимикачів.
5. У висновках дати порівняльну характеристику конструктивних рішень вимикачів.

4.6 Зміст звіту

У звіті повинні бути приведені: основні відомості щодо конструкцій повітряних вимикачів; вивчені схеми з'єднання підстанцій з повітряними вимикачами, розрахунок вибору повітряних вимикачів.

4.7 Контрольні питання

1. Чим гаситься дуга в повітряних вимикачах? Що використовується для ізолювання струмоведучих частин від заземлених елементів та обслуговуючого персоналу?
2. Які фізичні властивості повітря використовуються для гасіння електричної дуги?
3. Як класифікуються дугогасильні камери за напрямом потоку стисненого повітря? Які з них мають більшу дугогасну здатність?
4. Обґрунтуйте на основі забезпечення умови успішного вимкнення кола (гасіння дуги змінного струму) переваги та недоліки повздовжнього та поперечного дуття і , відповідно, область їх застосування.
5. Поясніть на прикладі організацію повздовжнього дуття.
6. Для чого деякі вимикачі оснащуються віддільниками? Які конструкції віддільників застосовуються у повітряних вимикачах?
7. На прикладі ВВГ-20 поясніть порядок роботи елементів повітряних вимикачів при вимкненні. Які відмінності у вимикачів більш високої напруги серії ВВ (ВВН)?
8. Поясніть пристрій і принцип дії вимикачів, у яких контактна система знаходиться у резервуарі стисненого повітря ізольованого від землі. Які переваги дає ця конструкція порівняно з вимикачами, що мають заземлений бак зі стисненим повітрям?
9. Переваги, недоліки та межі застосування повітряних вимикачів.

Лабораторна робота № 5

Елегазові вимикачі

5.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчення конструкцій масляних вимикачів, визначення тимчасових характеристик і дослідження ходу рухомих контактів вимикачів ВМП-10 та ВКЕ-10.

5.2 Короткі теоретичні відомості

Елегаз являє собою з'єднання, що має хімічну формулу SF_6. Це безбарвний газ без запаху щільністю 6,52кг/м3 при нормальному атмосферному тиску і за температури 0° С, приблизно в п'ять разів важче повітря. Елегаз містить 21,95% сірки і 78,05% фтору.

Як і вуглекислий газ, за атмосферного тиску елегаз може знаходитися тільки в газоподібному і твердому стані. При тиску 10^5 Па температура переходу з твердого стану в газоподібний (температура сублімації) дорівнює -63,8° С. При тисках вище $2{,}28\times10^5$ Па, залежно від температури, елегаз може знаходитися у всіх трьох агрегатних станах. При такому тиску температура точки скраплення дорівнює -50,8° С (для води, вільної від повітря, точка скраплення має місце за температури +0,01° С і тиску 611 Па).

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

- електрична міцність у 2,3 – 2,5 раза вище, ніж у повітря. При тиску 2×105 Па міцність елегазу наближається до міцності трансформаторного масла;
- висока питома об'ємна теплоємність (майже в 4 раза вище, ніж у повітря) дозволяє збільшити навантаження струмоведучих частин, зменшити масу міді в комутаційному апараті;
- дугогасна здатність камери подовжнього дуття з елегазом у 5 разів вище, 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, слабко розкладається дугою. Сам елегаз не токсичний, хоча деякі його продукти розкладу небезпечні.

До недоліків елегазу потрібно віднести високу температуру його скраплення. Так при тиску $13,1\times10^5$ Па з газоподібного стану в рідке елегаз переходить за температури 0° С. Це потребує або підігріву, або використання елегазу при більш низькому тиску. При тиску $3,5\times10^5$ Па температура скраплення становить -40° С. До недоліків також потрібно віднести складність і енергозатратність одержання гарних результатів – потрібен елегаз з високою чистотою (без домішок).

Елегазові вимикачі – це замкнена система без викидання 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 у резервуар з низьким тиском (система з подвійним тиском).

5.2.1 Дугогасильні системи елегазових вимикачів

В елегазових вимикачах застосовуються, в основному, два принципи гасіння дуги. Перший принцип такий самий, 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÷0,4 МПа, а в процесі гасіння маємо перепад тиску 0,6÷0,8 МПа.

Крім цих двох основних способів, в елегазових дугогасильних камерах іноді застосовуються і деякі інші способи дугогасіння. Зокрема, останнім часом застосовується спосіб, оснований на принципі електромагнітного дуття в камерах з елегазом та на тепловій дії дуги. У дугогасильних пристроях, наприклад, що використовують теплову дію дуги, одночасно виникають дві дуги. Одна – головна, що вимикається, і допоміжна, які горять одночасно в двох різних відсіках. Причому дуга, що вимикається, 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 підключається в дію 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 за температури близько +10 °С, передбачено спеціальну систему обігріву.

Для рівномірного розподілу напруги по кожному з трьох послідовно увімкнених дугогасильних розривів 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 за низьких температур вимикач оснащений спеціальними підігрівачами, розташованими у резервуарах високого тиску, встановленого на візку. Система підігрівання вмикається при зниженні температури навколишнього повітря нижче +10 °С 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 °С. При комутації вимикачем номінального струму вимкнення час дугогасіння становить 5÷10 мс, при цьому дуга витягується на 15÷50 мм. Час вимкнення вимикача – два або три періоди.

Елегазові вимикачі з автокомпресійними дугогасильними камерами свого часу 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.

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 дуттьової системи. Останнє досягається насуванням 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 дуттьової 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. 5.1 верхня половина дугогасильного пристрою показана в увімкненому 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 увімкненому положенні вимикача утворений ковзним нерухомим контактним містком 3, жорстко приєднаним до пересувного дуттьового 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.

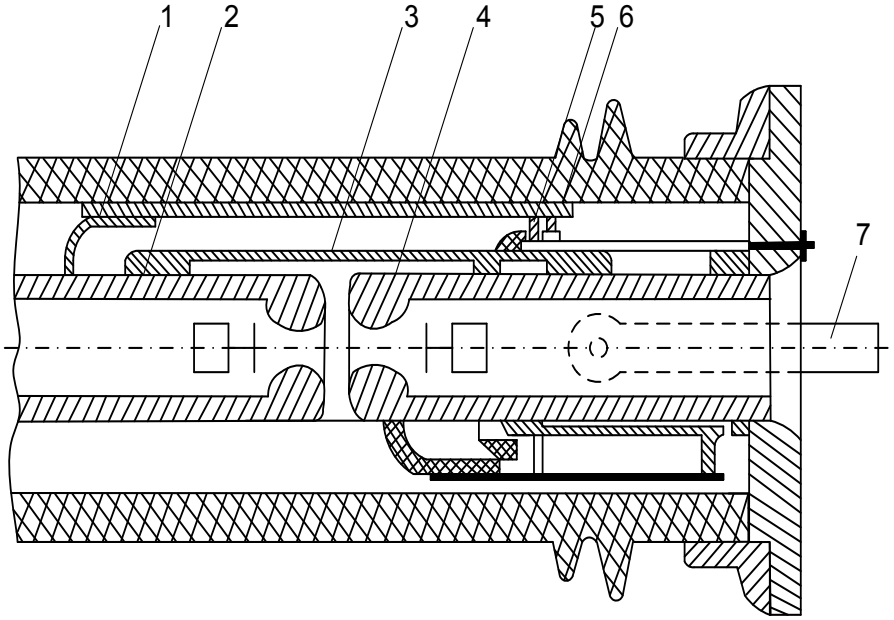


Рисунок 5.1 – Дугогасильний пристрій елегазового вимикача:
1 – ізоляційна камера; 2, 4 – нерухомі контакти; 3 – контактний місток;
5 – дуттєвий поршень; 6 – дуттєвий циліндр; 7 – тяга

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. 5.2 наведена інша схема дугогасильної камери елегазових вимикачів (з ізоляційним соплом).

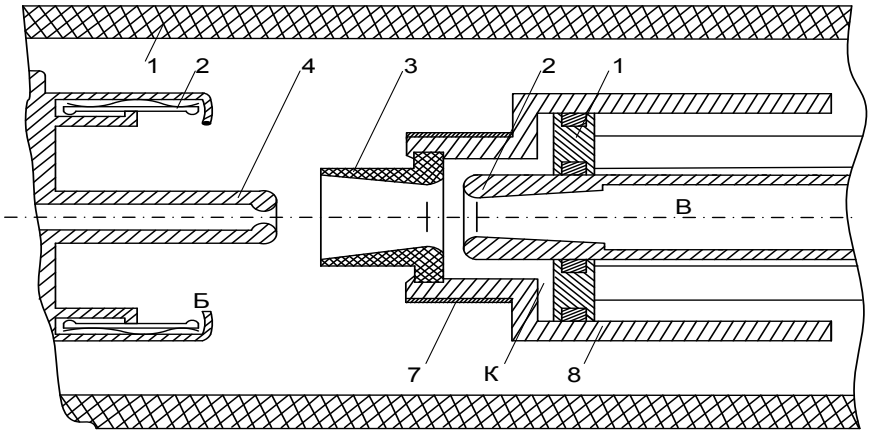


Рисунок 5.2 – Дугогасильний пристрій елегазового вимикача з ізоляційним соплом: 1 – поршень; 2, 4 – дугогасильні контакти; 3 – ізоляційне сопло; 5, 7 – головні контакти; 8 – дугогасильний циліндр; К, Б, В – порожнини

Апарат знаходиться у вимкненому положенні. Головні контакти 5, 7 і дугогасильні контакти 2, 4 знаходяться в розімкненому стані. У порожнинах К, Б, В тиск елегазу однаковий. Ізоляційна покришка 6 відокремлює порожнини елегазового вимикача від зовнішнього простору. При подаванні команди на увімкнення 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 2, 4, а потім – головні контакти 5, 7. Вся пересувна система рухається відносно нерухомого поршня 1 і нерухомих контактів 5 і 4. У положенні «увімкнено» 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 5, 7, а потім дугогасильні 4, 2. Зменшення об’єму порожнини К камери (поршень 1 нерухомий) викликає підвищення тиску елегазу в цій порожнині. Як випливає з рис. 5.2, дугогасильні контакти розмикаються з затримкою часу ходу. Після розмикання контактів 2, 4 починається витікання елегазу через сопло пересувного контакта 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 розпаду залишкового стовбура дуги поблизу краю дугогасильного контакта 4. Після закінчення переміщення рухомої системи витікання елегазу зупиняється і тиск в порожнинах дугогасильної камери стає рівним початковому.

5.2.2 Конструкції елегазових вимикачів ВАТ «Уралэлектротяжмаш» та «Электроаппарат»

Нині 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 установлення серії ВГБ-35, які призначені для комутації електричних кіл за нормальних і аварійних режимів, 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 °С) до районів з тропічним кліматом (верхнє робоче значення температури +55 °С).

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 (установка 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 вимкнення 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 °С);

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

– вибухо- та пожежобезпека.

До складу вимикача (рис. 5.3) входять привод, шість високовольтних вводів з вбудованими трансформаторами струму і один газощільний алюмінієвий зварний бак, усередині якого розміщені дугогасильні пристрої 3-х фаз. 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°, жорстко закріплені на кінцях трипроменевої ізоляційної траверси, встановленої безпосередньо на центральному поворотному валу бака вимикача. Простота дугогасильних пристроїв, що мають мінімально можливу кількість рухомих елементів, є основою їх надійної роботи.

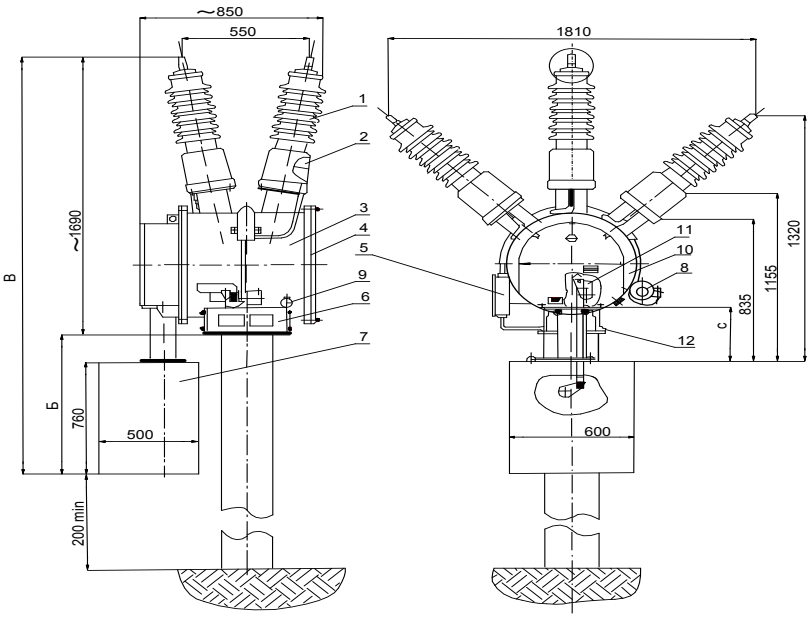


Рисунок 5.3 – Загальний вигляд і габаритні розміри вимикача ВГБ-35: 1 – вводи; 2 – трансформатор струму; 3 – бак; 4 – фланець; 5 – клемна коробка; 6 – пристрій підігрівача; 7 – шафа з приводом; 8 – сигналізатор густини; 9 – клапан автономної герметизації; 10 – кришка; 11 – механізм; 12 – болт заземлення

Підігрівальний пристрій, розміщений під дном бака, забезпечує можливість роботи вимикача, заповненого чистим елегазом, в умовах низьких температур (до -60 °С). Єдине на вимикач динамічне ущільнення розміщене на центральному поворотному валу. 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.

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 із забороною на увімкнення). 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 слугує епоксидна втулка із залитим центральним струмоведучим мідним стрижнем.

На розташованій поза баком вимикача стороні втулки вводу розміщені 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, виконаним 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 увімкнення 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 в привод випрямлячі. Цей привод укомплектований блоком розщіплювачів (реле прямої дії): два струмових розщіплювача на 5 А (або 3 А) і один розщіплювач незалежного живлення на 220 В (або 110 В) змінного або постійного струму. На додаткове замовлення привод може комплектуватися пружинною приставкою, що дозволяє виконувати оперативне увімкнення 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 і довговічності:

– ресурс за механічною стійкістю до капітального ремонту – 5000 циклів «увімкнення – довільна пауза – вимкнення» (У–$t_{дп}$–В);

– 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 одиночних конденсаторних батарей).

Допустима додаткова кількість операцій увімкнення становить 50% від вказаної кількості операцій вимкнення (за номінального струму навантаження – 100%).

5.2.3 Конструкції елегазових вимикачів компанії ABB

Дедалі більше застосування в Україні знаходять елегазові вимикачі напругою 110÷750 кВ, які виготовляє всесвітньо відома компанія ABB Power Technology Products (Швеція). Нині ABB випускає два типи вимикачів: серії LTB – з автокомпресійною дугогасильною камерою та серії HPL з компресорною дугогасильною камерою. 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. 5.1).

Компанія ABB розробляє і випускає елегазові колонкові вимикачі HPL (рис. 5.4) на напругу 72,5÷800 кВ.

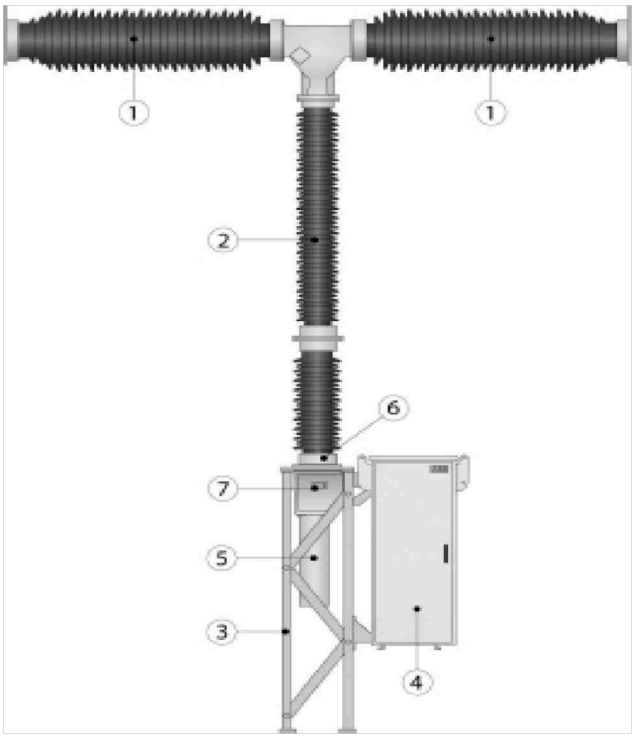


Рисунок 5.4 – Вимикач типу HPL B2 напругою 500 кВ:
1 – дугогасильна камера; 2 – опорний ізолятор; 3 – опорна конструкція; 4 – шафа керування з приводом типу BLG; 5 – вимикальна пружина; 6 – монітор щільності газу (з протилежного боку); 7 – покажчик положення вимикача

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 із зведенням пружин електродвигунами. Конструкція вимикачів HPL створена на основі добре відпрацьованої і перевіреної технології (у експлуатації знаходиться більше 12 700 таких виробів).

Таблиця 5.1 – Вимикачі серії LTB та HPL та їх технічні характеристики

Номенклатура	Тип	Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А	Номінальний струм вимкнення, кА
Колонковий вимикач серії LTB – елегазовий з автокомпресійною дугогасильною камерою, з механізмом керування, 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 керування, що має моторно-пружинний привод	HPL B1	300	4000	63
	HPL B2	550	4000	63
	HPL B4	800	4000	63

Кожен полюс вимикача складений в герметичну колонку, заповнену елегазом, 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 продуктів розкладання газу усередині камери.

Ризик витоку газу незначний завдяки застосуванню подвійних кільцевих ущільнень і хрестоподібних кільцевих ущільнень з нітрильного каучуку. У кожній дугогасильній камері поміщається фільтр (дисикант) абсорбції, який поглинає з елегазу залишкову вологість і затримує продукти розпаду 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 витік.

Конструкція відповідає вимогам стандартів МЕК і ANSI. Існують також спеціальні конструкторські рішення, що відповідають 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 вимкнення ємкісних струмів з дуже низькою вірогідністю повторних пробоїв. При вимкненні 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.

5.3 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити конструкції дугогасильних камер елегазових вимикачів.
2. Вивчити основні конструктивні схеми елегазових вимикачів .
3. Вивчити конструкції елегазових вимикачів, описаних у роботі.
4. Скласти звіт, виконати 2 – 3 ескізи конструкцій вивчених вимикачів, дати короткий опис роботи дугогасильних пристроїв елегазових вимикачів, привести паспортні параметри вивчених вимикачів.
5. У висновках дати порівняльну характеристику конструктивних рішень вимикачів ВАТ «Уралэлектротяжмаш» та «Электроаппарат» й вимикачів компанії АВВ.

5.4 Зміст звіту

У звіті повинні бути приведені: основні відомості щодо конструкцій елегазових вимикачів; вивчені схеми з’єднання підстанцій з елегазовими вимикачами, розрахунок вибору елегазових вимикачів ВАТ «Уралэлектротяжмаш» та «Электроаппарат» й вимикачів компанії АВВ.

5.5 Контрольні питання

1. Що є дугогасним середовищем в елегазових вимикачах? Який основний недолік елегазу?
2. Які фізичні властивості елегазу використовуються для гасіння дуги? Чи є гази з більш кращими показниками цих властивостей? Якщо є, то чому вони не використовуються в електроенергетиці?

3. За рахунок чого створюється умова гасіння дуги в елегазових вимикачах?

4. Охарактеризуйте схему вимкнення дугогасної камери з автопневматичним та магнітним дуттям (як створюється дуття, область застосування).

5. Охарактеризуйте схему вимкнення дугогасної камери з подвійним тиском.

Лабораторна робота № 6

Фазування силових трансформаторів

6.1 Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення з методами фазування силових трансформаторів в умовах експлуатації.

6.2 Короткі теоретичні відомості

Перед увімкненням силових трансформаторів на паралельну роботу з системою повинна бути перевірена тотожність фаз напруг трансформатора, який вмикають і системи. У протилежному випадку можлива поява значних зрівнювальних струмів, які призведуть до обмеження потужності або значного перевантаження трансформатора, а при незбіганні чергування фаз – до короткого замикання.

Така перевірка називається фазуванням і полягає у вимірюванні напруги між різнойменними фазами трансформатора, який включається, і системою (або іншого, працюючого трансформатора) і визначення відсутності напруги між однойменними фазами. Фазування проводиться за допомогою вольтметрів, розрахованих на напругу до 380 В або за допомогою вольтметрів та трансформаторів напруги, якщо фазовані напруги вищі 380 В. На напруги 2 – 10 кВ фазування може проводитись за допомогою показників напруги, на низькій напрузі – за допомогою ламп розжарювання.

В усіх випадках під час фазування, для уникнення помилок, фазовані напруги мають бути однакові (допускаються відхилення не більше 10%). Вимірювання або перевірка повинні проводитись між всіма однойменними фазами, а також між кожною з них та двома іншими різнойменними фазами.

6.2.1 Фазування трансформаторів, які мають обмотки НН до 380 В, без встановлення перемички між затискачами

Цим методом фазують силові трансформатори, вторинні обмотки яких з'єднані в зірку з виведеною нульовою точкою, а також вимірювальні трансформатори напруги, які мають вторинні обмотки з заземленою нейтраллю. Фазування проводять за допомогою вольтметра на стороні обмоток НН. Вольтметр повинен бути розрахованим на подвійну фазну напругу.

Фазовані трансформатори повинні бути ввімкнені за схемою, яка подана на рис. 6.1.

Перед початком фазування потрібно перевірити надійне заземлення нульових точок вторинних обмоток або приєднання їх до спільного

нульового провода. Це необхідно для створення між фазованими трансформаторами електричного зв'язку, який створює замкнений контур для проходження струму через вимірювальний прилад.

Далі перевіряють симетричність напруг трансформаторів. Для цього вольтметр почергово підключають до затискачів:

$$a_1 - b_1;\quad b_1 - c_1;\quad c_1 - a_1;\quad a_2 - b_2;\quad b_2 - c_2;\quad c_2 - a_2.$$

Якщо значення виміряних напруг значно відрізняються, то перевіряють положення перемикачів відгалужень обох трансформаторів. Перемиканням відгалужень зменшують різницю напруг. Фазування допускається, якщо різниця напруг не перевищує 10%.

Після проведення перерахованих операцій починають фазування. Його сутність полягає у знаходженні виводів, різниця напруг між якими практично дорівнює нулю. Для цього один з провідників вольтметра приєднують до виводу першого трансформатора, а іншим провідником торкаються трьох виводів другого трансформатора (наприклад, вимірюють напругу між виводами $a_1 - a_2$; $a_1 - b_2$; $a_1 - c_2$).

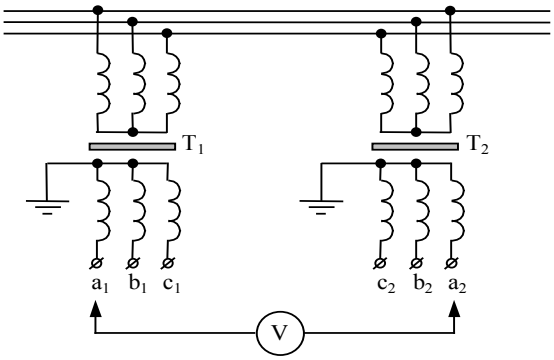


Рисунок 6.1 – Схема ввімкнення двох трансформаторів, які мають заземлені нульові точки вторинних обмоток

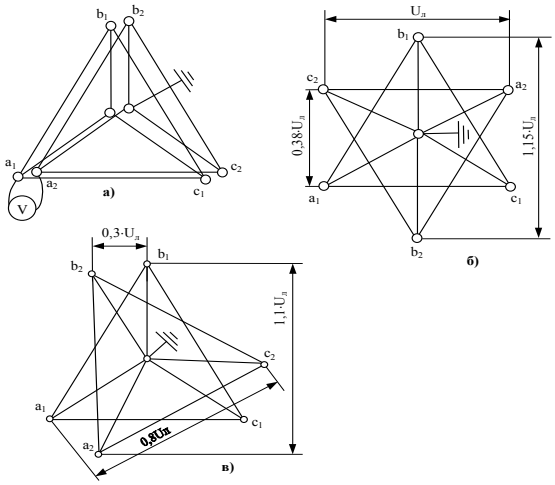


Рисунок 6.2 – Векторні діаграми напруг обмоток НН трансформаторів при їх фазуванні: а) при збіганні фаз; б) при зсуві векторів на 180°; в) при зсуві векторів на 30°

Подальший хід фазування залежить від отриманих результатів. Якщо при одному вимірі (наприклад, між виводами $a_1 – a_2$) показ вольтметра був близьким до нуля, то ці виводи помічають, а вольтметр приєднують до іншого виводу (наприклад, b_1) першого трансформатора і вимірюють напругу між виводами $b_1 – b_2$; $b_1 – c_2$. Якщо зняти один показ вольтметра (наприклад, між виводами $b_1 – b_2$) близьким до нуля, то фазування вважають закінченим (рис. 6.2, а). Особливої необхідності у вимірюванні напруги між виводами $c_1 – c_2$ немає, проте для підтвердження отриманих результатів про збігання фаз все ж проводять вимірювання напруги між виводами $c_1 – c_2$. Виводи, між якими не було різниці напруг, з'єднують при включенні трансформаторів на паралельну роботу. У кожного полюса комутаційного апарата такі виводи повинні знаходитись безпосередньо один навпроти одного.

Якщо після вимірювання ($a_1 – a_2$; $a_1 – b_2$; $a_1 – c_2$; $b_1 – a_2$; $b_1 – b_2$; $b_1 – c_2$) один з показів вольтметра не був близьким до нуля, то це вказує на те, що трансформатори належать до різних груп з'єднань і їх ввімкнення на паралельну роботу неможливе. На цьому фазування закінчують. На основі вимірів будують векторні діаграми і згідно з ними роблять висновки, чи можна вмикати трансформатори паралельно, і які з'єднання потрібно для цього виконати.

Характерними є два випадки. У першому з них:

$U\ a_1 – a_2 = 1{,}15U_л$; $U\ a_1 – b_2 = 0{,}58U_л$; $U\ a_1 – c_2 = 0{,}58U_л$;
$U\ b_1 – a_2 = 0{,}58U_л$; $U\ b_1 – b_2 = 1{,}15U_л$; $U\ b_1 – c_2 = 0{,}58U_л$.

Типова для такого випадку векторна діаграма подана на рис. 6.2, б. З рисунка видно, що вектори вторинних напруг повернуті на 180°, а напруга між затискачами $a_1 – a_2$ дорівнює подвійній фазній напрузі:

$$Ua_1–a_2 = 2\cdot U_ф = \frac{2}{\sqrt{3}}\cdot U_л = 1{,}15\cdot U_л. \qquad (6.1)$$

Якщо обидва трансформатори належать до непарних груп, то для їх паралельного ввімкнення потрібно у одного з них переєднати шини на виводах обмоток ВН і НН, тобто провести подвійне перемаркування. Для трансформаторів парних груп необхідне внутрішнє переєднання обмоток.

У другому випадку:

$U\ a_1 – a_2 = 0{,}3U_л$; $U\ a_1 – b_2 = 0{,}8U_л$; $U\ a_1 – c_2 = 1{,}1U_л$;
$U\ b_1 – a_2 = 1{,}1U_л$; $U\ b_1 – b_2 = 0{,}3U_л$; $U\ b_1 – c_2 = 0{,}8U_л$.

На типовій для цього випадку векторній діаграмі (див. рис. 6.2, в) вектори напруг зміщені на кут 30°. Такий кут зміщення може бути у трансформаторів як парних, так і непарних груп. Фазування таких трансформаторів неможливе і їх ввімкнення на паралельну роботу не може бути проведене ні за яких умов. Тому завжди потрібно перевіряти схеми і групи з'єднань обмоток трансформаторів перед початком їх фазування.

Побудова векторних діаграм на основі результатів вимірів лінійних напруг виконується таким чином: трикутник лінійних напруг першого трансформатора будують довільно, а точки вершин другого трикутника знаходять шляхом засічок, радіуси яких чисельно дорівнюють напругам між затискачами: $a_1 – a_2$ і $b_1 – a_2$; $a_1 – b_2$ і $b_1 – b_2$.

6.2.2 Фазування трансформаторів, які мають обмотки НН до 380 В, зі становленням перемички між двома виводами

Цей метод використовують під час фазування трансформаторів, вторинні обмотки яких не мають нульового виводу. Фазування проводять на стороні НН за допомогою вольтметра. Його шкала повинна бути розрахована на подвійну лінійну напругу. Перед ввімкненням трансформаторів на напругу, мегомметром перевіряють опір ізоляції вторинних обмоток відносно землі. Обмотки не повинні мати ніяких з'єднань із землею, оскільки подвійне замикання на землю за наявності перемички між виводами може призвести до КЗ. Перемичка (бажано з опором 3 – 5 кОм) встановлюється між двома будь-якими затискачами одного й другого трансформатора (рис. 6.3). Її наявність не несе ніякої небезпеки для трансформаторів, оскільки при цьому не виникає замкнене коло для проходження струму КЗ.

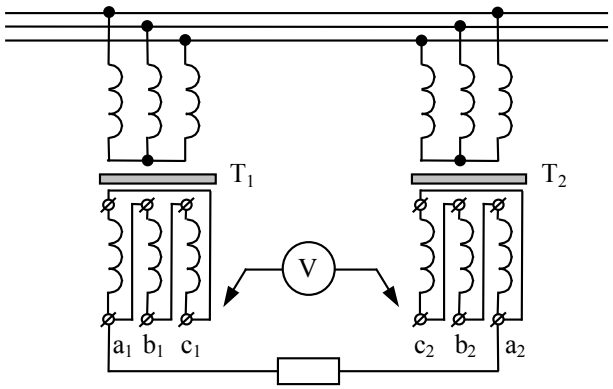


Рисунок 6.3 – Схема фазування двох трансформаторів зі встановленням перемички між їх затискачами

Для проведення фазування до трансформаторів прикладають напругу зі сторони ВН, після чого на затискачах НН кожного трансформатора вольтметром перевіряють симетричність напруг між затискачами. Всього проводиться шість вимірів.

Фазування виконують у два етапи. Спочатку вимірюють напругу між одним з вільних виводів першого трансформатора і двома вільними виводами другого трансформатора (наприклад, між виводами $b_1 – b_2$ і $b_1 – c_2$, якщо перемичка встановлена між виводами $a_1 – a_2$). Далі вимірюють напругу між другим вільним виводом першого трансформатора і тими ж виводами другого ($c_2 – b_2$ і $c_1 – c_2$). Дані вимірів залежать від того, між

якими парами виводів встановлена перемичка. Можливі три варіанти її встановлення: $a_1 - a_2$; $b_1 - a_2$; $c_1 - a_2$. Кожному з цих варіантів, при однакових групах з'єднань трансформаторів, будуть відповідати такі покази вольтметра:

З'єднані затискачі	$a_1 - a_2$	$b_1 - a_2$	$c_1 - a_2$
Напруга між затискачами	$Ub_1 - b_2 = 0$	$Ua_1 - b_2 = 2 \cdot U_л$	$Ua_1 - b_2 = 1{,}73 \cdot U_л$
	$Ub_1 - c_2 = U_л$	$Ua_1 - c_2 = 1{,}73 \cdot U_л$	$Ua_1 - c_2 = 2 \cdot U_л$
	$Uc_1 - b_2 = U_л$	$Uc_1 - b_2 = 1{,}73 \cdot U_л$	$Ub_1 _ b_2 = U_л$
	$Uc_1 - c_2 = 0$	$Uc_1 - c_2 = U_л$	$Ub_1 - c_2 = 1{,}73 \cdot U_л$

Побудовані за цими даними векторні діаграми напруг обмоток НН приведені на рис. 6.5. З рис. 6.5, а безпосередньо випливає, що трансформатори мають однакові групи з'єднань і паралельне ввімкнення їх можливе при з'єднанні між собою виводів a_1 і a_2, b_1 і b_2, c_1 і c_2. Оскільки дві інші векторні діаграми (рис. 6.5, б, в) побудовані для тих же трансформаторів, то і вони дозволяють зробити такий самий висновок. Тому фазування зазвичай закінчують, як тільки отримають дані одного з трьох варіантів вимірів і побудують векторну діаграму, аналогічну вказаній на рис. 6.5 а, б, в. Характерним для цього випадку фазування (варіант з'єднання однойменних виводів $a_1 - a_2$) є отримання двох нульових показів вольтметра при кожному вимірі. Два нульових покази можуть бути одержані і при різних групах з'єднань, коли вектори напруг зміщенні на 240°. Але при цьому затискачі c_1 і a_2 повинні бути з'єднані перемичкою. Векторні діаграми для такого випадку показані на рис. 6.5 г, д, е. Паралельне ввімкнення таких трансформаторів можливе лише після перез'єднання шин, підключених до трансформатора, тобто після циклічного перемаркування фаз.

Про неможливість паралельного ввімкнення трансформаторів свідчать такі покази вольтметра, коли за всіх трьох варіантів встановлення перемички не отримують жодного нульового показу. Наприклад, при з'єднанні обмоток НН трансформаторів згідно з рис. 6.4, отримують такі покази вольтметра:

З'єднані затискачі	$a_1 - a_2$	$b_1 - a_2$	$c_1 - a_2$
Напруга між затискачами	$Ub_1 - b_2 = 0{,}5 \cdot U_л$	$Ua_1 - b_2 = 1{,}9 \cdot U_л$	$Ua_1 - a_2 = 1{,}4 \cdot U_л$
	$Ub_1 - c_2 = 0{,}5 \cdot U_л$	$Ua_1 - c_2 = 1{,}9 \cdot U_л$	$Ua_1 - c_2 = 1{,}9 \cdot U_л$
	$Uc_1 - b_2 = 1{,}4 \cdot U_л$	$Uc_1 - b_2 = 1{,}9 \cdot U_л$	$Ub_1 - b_2 = 0{,}5 \cdot U_л$
	$Uc_1 - c_2 = 0{,}5 \cdot U_л$	$Uc_1 - c_2 = 1{,}4 \cdot U_л$	$Ub_1 - c_2 = 1{,}4 \cdot U_л$

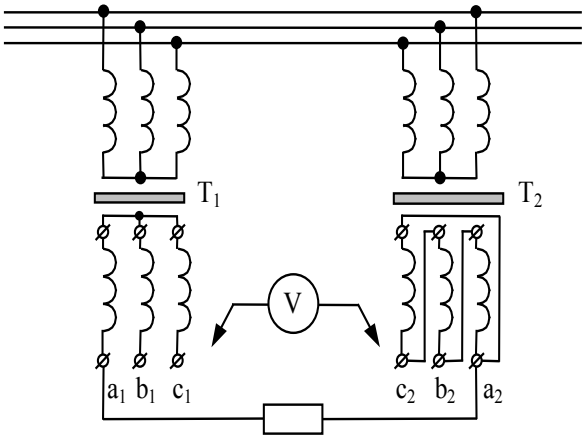


Рисунок 6.4 – Схема фазування трансформаторів з парною та непарною групами з’єднань

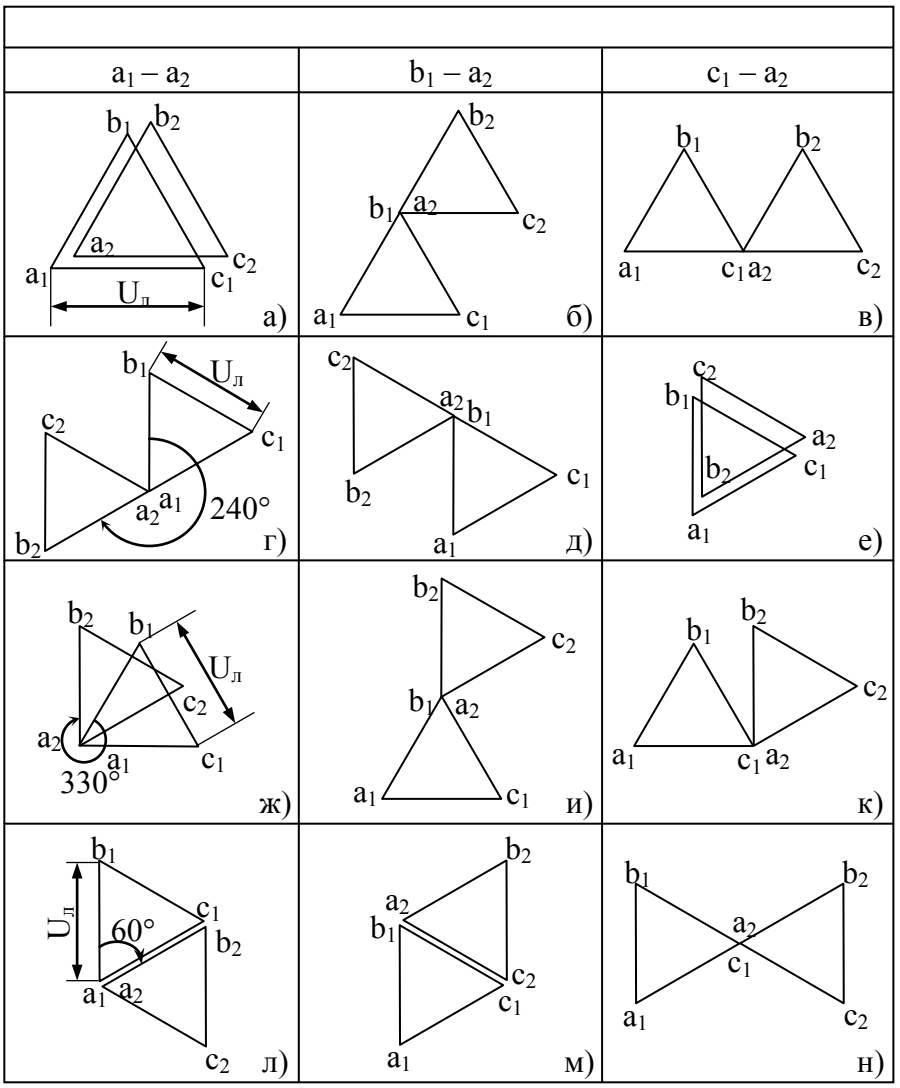


Рисунок 6.5 – Векторні діаграми напруг при фазуванні трансформаторів: а, б, в – за однакових груп з’єднань; г, д, е – за зсуву векторів на 240°; ж, и, к – те ж на 330°; л, м, н – те ж на 60°

З векторних діаграм, наведених на рис. 6.5 ж, и, к, які побудовані для цього випадку, видно, що вектори лінійних напруг зсунуті на 30°. Такий кут отримують, якщо трансформатори належать до парної та непарної груп з'єднань, наприклад Y/Y–0 і Y/Δ–11. Ввімкнення таких трансформаторів на паралельну роботу неможливе.

Якщо у процесі фазування у двох з трьох варіантів встановлення перемички отримують один нульовий показ, то це вказує на можливість паралельного ввімкнення трансформаторів, але лише після деяких змін у схемі з'єднань. Наприклад, у трансформаторів непарних груп з'єднань із зсувом векторів вторинних напруг на 60° (рис. 6.5, л, м, н) необхідно провести подвійне перемаркування фаз.

6.3 Опис лабораторного стенда

На стенд виведені клеми 1, 2 вторинних обмоток фазованих силових понижуючих трансформаторів T_1 і T_2, відповідно (рис. 6.6). Лінійні номінальні напруги первинних обмоток цих трансформаторів дорівнюють 380 В, а вторинних – 16,5 В. Первинні обмотки 3, 4 трансформаторів T_1 та T_2, відповідно, підключені через пакетні вимикачі 5, 6 до мережі 380 В змінного струму. У центрі стенда встановлений вольтметр, клеми якого 9 виведені на стенд, а у правій частині – автомат 10 і магнітний пускач 11, призначенні для подачі на стенд живлення. Ввімкнення стенда фіксується сигнальними лампами 12, а підключення трансформаторів T_1 та T_2 до мережі фіксується сигнальними лампами 7 та 8, відповідно. Для з'єднання вторинних обмоток за схемою Yн на стенд виведено клему контуру заземлення 13.

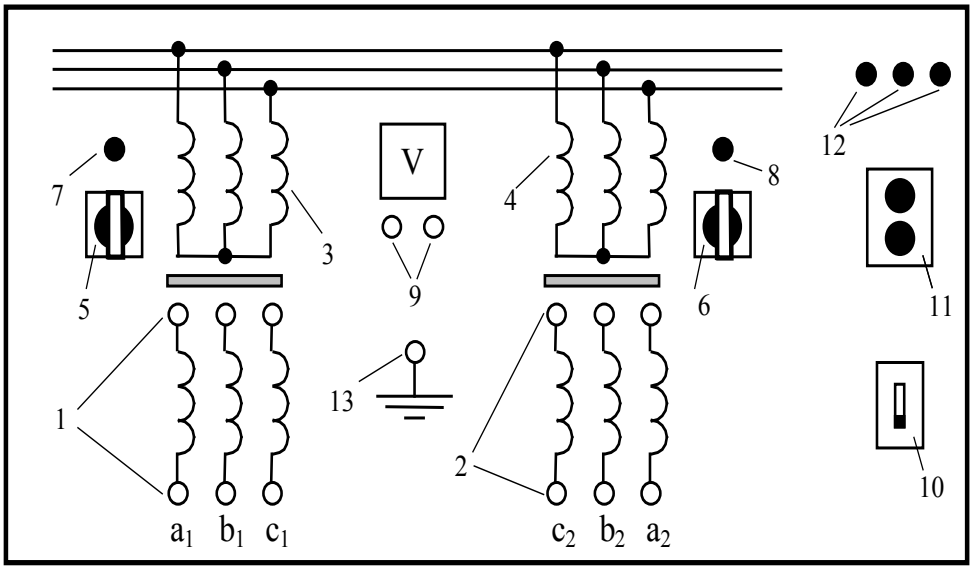


Рисунок 6.6 – Схематичне розташування клем та приладів на стенді

6.4 Порядок виконання лабораторної роботи та зміст звіту

1. Ознайомитись з цими методичними вказівками та зі стендом.

2. Провести фазування силових трансформаторів T_1 і T_2 зі схемами з'єднань обмоток низької напруги Yн та Yн, відповідно:

а) зібрати схему згідно з рис. 6.1;

б) увімкнути автомат та магнітний пускач (при цьому загоряться сигнальні лампи 12);

в) подати живлення на обмотки ВН обох трансформаторів за допомогою пакетних вимикачів 5 та 6 (при цьому загоряться сигнальні лампи 7 та 8, відповідно);

г) перевірити симетричність лінійних напруг обмоток низької напруги обох трансформаторів;

д) виміряти різниці напруг між однойменними та різнойменними затискачами обмоток НН трансформаторів T_1 та T_2;

е) вимкнути живлення стенда та розібрати схему.

3. Провести фазування силових трансформаторів T_1 і T_2 зі схемами з'єднань обмоток низької напруги Δ та Δ, відповідно:

а) зібрати схему згідно з рис. 6.3;

б) увімкнути автомат та магнітний пускач;

в) подати живлення на обмотки ВН обох трансформаторів;

г) перевірити симетричність напруг обмоток НН трансформаторів;

д) виміряти різниці напруг між відповідними затискачами обмоток НН трансформаторів T_1 та T_2 (табл. 6.1) за трьох положень з'єднувальної перемички.

е) вимкнути живлення стенда та розібрати схему.

4. Провести фазування силових трансформаторів T_1 і T_2 зі схемами з'єднань обмоток низької напруги Y та Δ, відповідно:

а) зібрати схему згідно з рис. 6.4;

б) увімкнути автомат та магнітний пускач;

в) подати живлення на обмотки ВН обох трансформаторів;

г) перевірити симетричність напруг обмоток НН трансформаторів;

д) виміряти різниці напруг між відповідними затискачами обмоток НН трансформаторів T_1 та T_2 (табл. 6.2) за трьох положень з'єднувальної перемички;

е) вимкнути живлення стенда та розібрати схему.

5. Для кожної розглянутої комбінації схем з'єднань обмоток НН за виміряними значеннями напруг побудувати векторні діаграми.

6. Зробити висновки про можливість або неможливість ввімкнення трансформаторів T_1 і T_2 на паралельну роботу для кожної розглянутої комбінації схем з'єднань обмоток НН.

7. Оформити звіт по лабораторній роботі.

Таблиця 6.1 – Результати вимірювань для схем з'єднань обмоток НН трансформаторів Δ та Δ

З'єднані затискачі	$a_1 – a_2$	$b_1 – a_2$	$c_1 – a_2$
Напруга між затискачами	$Ub_1 – b_2 =$	$Ua_1 – b_2 =$	$Ua_1 – b_2 =$
	$Ub_1 – c_2 =$	$Ua_1 – c_2 =$	$Ua_1 – c_2 =$
	$Uc_1 – b_2 =$	$Uc_1 – b_2 =$	$Ub_1 _ b_2 =$
	$Uc_1 – c_2 =$	$Uc_1 – c_2 =$	$Ub_1 – c_2 =$

Таблиця 6.2 – Результати вимірювань для схем з'єднань обмоток НН трансформаторів Y та Δ

З'єднані затискачі	$a_1 – a_2$	$b_1 – a_2$	$c_1 – a_2$
Напруга між затискачами	$Ub_1 – b_2 =$	$Ua_1 – b_2 =$	$Ua_1 – b_2 =$
	$Ub_1 – c_2 =$	$Ua_1 – c_2 =$	$Ua_1 – c_2 =$
	$Uc_1 – b_2 =$	$Uc_1 – b_2 =$	$Ub_1 _ b_2 =$
	$Uc_1 – c_2 =$	$Uc_1 – c_2 =$	$Ub_1 – c_2 =$

6.5 Контрольні питання

1. В чому суть фазування трансформаторів?
2. Як перевірити симетричність напруг трансформаторів?
3. Як визначити чи можна вмикати трансформатори паралельно?
4. Принцип побудови векторних діаграм на основі результатів вимірів лінійних напруг.
5. Пояснити суть методу фазування трансформаторів, які мають обмотки НН до 380 В, зі становленням перемички між двома виводами.
6. Що показує випадок, коли в процесі фазування у двох з трьох варіантів встановлення перемички отримують один нульовий показ?
7. Чим відрізняються векторні діаграми напруг при фазуванні трансформаторів за однакових груп з'єднань та при зсуві векторів на 240°; на 330°; та на 60°?

Лабораторна робота № 7

Перевірка та випробування силових трансформаторів

7.1 Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення з методами перевірки та випробування силових трансформаторів в експлуатації.

7.2 Короткі теоретичні відомості

7.2.1 Оцінювання стану ізоляції трансформаторів

Стан ізоляції струмоведучих частин електрообладнання, наприклад обмоток трансформаторів, оцінюється, перш за все, по опору ізоляції струму, що проходить в ній при прикладанні певної випрямленої або постійної напруги. При цьому в ізоляції виникає перехідний процес, обумовлений зарядом всього об'єму ізоляції та процесами поляризації в складному діелектрику, яким є ізоляція; у початковий момент струм має максимальне значення, а опір ізоляції – мінімальне значення, а потім струм зменшується з постійною часу, рівною добутку опору та ємності ізоляції, а опір збільшується до деякого усталеного значення. Після припинення процесу поляризації через ізоляцію протікає усталений струм наскрізної провідності (струм витоку), який визначається загальним опором ізоляції випрямленому (постійному) струму. Початковий і кінцевий опір ізоляції залежить не лише від властивостей ізоляції, а й від її стану, а також від її забруднення і зволоження. При зволоженні ізоляції її опір знижується, струм через ізоляцію затухає значно швидше і встановлюється приблизно через 15 секунд. В сухій ізоляції опір ізоляції більший і струм через ізоляцію зменшується повільніше і встановлюється приблизно через 60 секунд. У зв'язку з цим стан ізоляції прийнято оцінювати по опору ізоляції R_{60}, виміряному через 60 секунд після прикладання до ізоляції випрямленої (чи постійної) напруги певного значення і відносно опорів ізоляції, виміряних через 15 і 60 секунд після прикладання напруги. Це відношення опорів ізоляції R_{60} та R_{15} називається коефіцієнтом абсорбції і використовується для оцінювання ступеня вологості ізоляції:

$$K_{абс} = \frac{R_{60}}{R_{15}}. \qquad (7.1)$$

При сухій ізоляції коефіцієнт абсорбції значно перевищує одиницю, а при вологій ізоляції – близький до одиниці.

Для вимірювання опору ізоляції застосовуються мегомметри. Мегомметр – переносний прилад, в якому є джерело постійної чи випрямленої напруги, яка прикладається при вимірюваннях до ізоляції, прилад,

який вимірює струм. Шкала мегомметра проградуйована в мегомах та кілоомах. У експериментальних дослідженнях використовуються мегомметр типу М4100,4 з вихідною напругою 1000 В або мегомметр МС-0,5 з вихідною напругою 2500 В, яка отримується від вбудованого генератора при обертанні рукоятки приладу зі швидкістю 120 об/хв. Перед початком вимірювання прилад перевіряють. Для цього зажими З і Л замикають накоротко і обертають рукоятку. Стрілка приладу повинна встановитись навпроти поділки «0» шкали. Після цього затискачі З і Л розмикають і при повторному обертанні рукоятки стрілка приладу повинна встановитись навпроти поділки «∞». Якщо ці вимоги не виконуються, то приладом користуватися не можна і його необхідно відремонтувати або замінити.

Перед вимірюванням опору ізоляції струмоведучі частини устаткування заземлюють на 2 – 3 хвилини для того, щоб зняти з них залишкові заряди, які можуть вплинути на покази приладу. За необхідності точного вимірювання опору ізоляції затискач Л мегомметра потрібно підключити до струмоведучої частини устаткування провідником з посиленою ізоляцією. Опір ізоляції $R_{із}$ визначається показом стрілки мегомметра по закінченню 60 секунд після подачі номінальної напруги приладу, що часто має місце при частоті обертання рукоятки приладу 120 об/хв. Час 60 секунд потребується для встановлення струму, який протікає через ізоляцію.

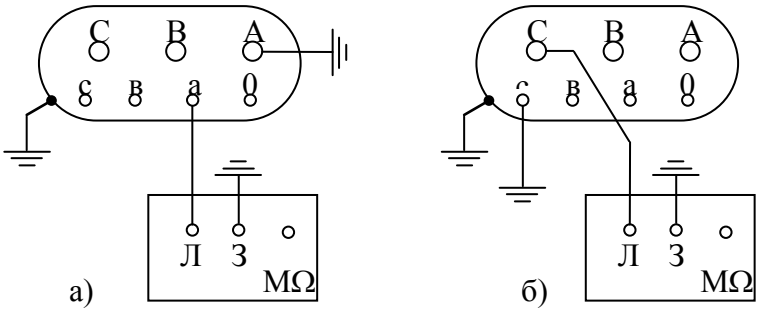


Рисунок 7.1 – Схеми для вимірювання опору ізоляції:
а – обмотки НН; б – обмотки ВН

При визначенні стану ізоляції обмоток трансформатора спочатку вимірюється опір ізоляції обмотки НН (рис. 7.1, а), а обмотка ВН і бак трансформатора заземлюються. Потім вимірюється опір ізоляції обмоток ВН (рис. 7.1, б), а обмотка НН і бак трансформатора заземлюються. За таких умов опір ізоляції цієї обмотки визначається відносно не лише до бака, але й до іншої обмотки. Перед вимірюванням опору ізоляції необхідно спочатку забезпечити номінальну напругу на мегомметрі обертанням його ручки зі швидкістю 120 об/хв, а вже потім провідник від затискача Л мегомметра прикласти до струмоведучої частини і почати відлік часу, вимірявши опір ізоляції через 15 і 60 секунд після прикладання

номінальної напруги мегомметра. Після вимірювання, об'єкт потрібно розрядити короткочасним з'єднанням його з землею.

Мінімальний допустимий опір ізоляції R_{60} для масляних трансформаторів на напругу до 35 кВ включно, потужністю до 6300 кВА включно за температури обмотки 20 °С, дорівнює R_{60}=300 МОм, а коефіцієнт абсорбції повинен бути $К_{абс} \geq 1{,}3$.

7.2.2 Вимірювання опорів обмоток трансформатора постійному струму

При виконанні експериментальних досліджень опори обмоток вимірюють методом спаду напруги. При цьому, відповідно до значення опору, який вимірюється, вибирають одну з двох схем вимірювання як показано на рис. 7.2.

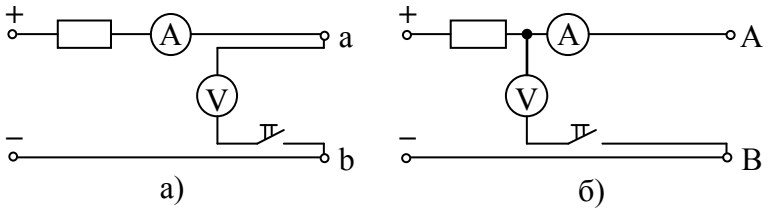


Рисунок 7.2 – Схеми для вимірювання опорів обмоток постійному струму: а – при опорах менше 1 Ом; б – при опорах більше 1 Ом

При вимірюваннях опорів менше 1 Ом проводи кола вольтметра приєднують безпосередньо до затискачів трансформатора (рис. 7.2, а). Якщо розрахункове значення вимірюваного опору становить 0,5% і більше від опору вольтметра, то значення опору обчислюють за формулою:

$$R' = R\frac{1}{1 - R/R_v}, \tag{7.2}$$

де R – опір, який обчислюється за виміряними значеннями струму і напруги, Ом;

R_V – опір вольтметра, Ом.

Величина R/R_V враховує те, що при вимірюванні частина струму, хоча й не велика, проходить через вольтметр. Опір проводів в колі вольтметра повинен бути не більше 0,5% внутрішнього опору вольтметра.

Якщо опір обмотки трансформатора значний (більше 1 Ом), то при вимірюванні за схемою (рис. 7.2, а) похибка збільшується і більш точні результати дає схема вимірювань згідно з рис. 7.2, б. Якщо опори амперметра і провідника, який з'єднує затискачі амперметра і трансформатора, становлять більше 0,5% від значення опору, який вимірюється, то

після обчислення загального опору кола з нього віднімають опір амперметра і провідника.

При вмиканні постійного струму в коло обмотки трансформатора виникає перехідний процес; при цьому на затискачах обмотки з'являється напруга, яка значно більша тих, на які може бути розрахований вольтметр. Щоб запобігти шкоди, вольтметр необхідно вмикати при усталеному значенні струму, а вимикати до вимикання струму, що може бути здійснено кнопкою чи вимикачем. Опори обмоток необхідно виміряти на кожній парі затискачів A – B, B – C, C – A і на парі затискачів a – b, b – c, c – a. За результатами вимірювань обчислюють і реєструють у звітній документації середньоарифметичний опір фаз обмоток.

7.2.3 Перевірка коефіцієнта трансформації

Коефіцієнт трансформації перевіряється методом двох вольтметрів в досліді холостого ходу трансформатора, коли виводи обмотки НН розімкнені. На обмотку ВН трансформатора подається трифазна напруга від затискачів A, B, C мережі змінного струму. Вимірюють значення лінійних напруг усіх трьох фаз на високій та низькій сторонах трансформатора. Виміряне значення коефіцієнта трансформації не повинно відрізнятися більше ніж на ± 1% від паспортного.

Коефіцієнт трансформації перевіряється при всіх положеннях перемикача регулювання напруги ПБЗ. В звітній документації у вигляді таблиці приводяться виміряні значення коефіцієнтів трансформації для кожного положення пристрою ПБЗ.

7.2.4 Перевірка напруги короткого замикання

Дослід виконують на номінальному ступені напруги обмоток. На затискачі A, B, C обмотки ВН трансформатора прикладається симетрична трифазна напруга від мережі змінного струму. Затискачі a, b, c обмотки НН замикаються накоротко за допомогою автомата КЗ. Вимірюються лінійні напруги на обмотках ВН і фазні струми обмоток ВН і НН. Обчислюється середньоарифметичне значення лінійної напруги u'_k і фазних струмів I_1 та I_2. Якщо напруга, яка прикладається до обмотки ВН, менша номінальної (паспортної), то напруга КЗ обчислюється за формулою:

$$u_k = u'_k \frac{I_{H1}}{I_1}, \qquad (7.3)$$

де u'_k, I_1 – лінійна напруга і струм в обмотці ВН у досліді;

I_{H1} – номінальний струм первинної обмотки (ВН).

Визначене у експериментальних дослідженнях значення напруги КЗ не повинно відрізнятись від паспортного більше ніж на ±10%.

7.3 Опис лабораторного стенда

На стенді розташовані клеми джерел живлення, контуру заземлення 6, виводи трансформатора, що випробовується, пускова і електровимірювальна апаратура (рис. 7.3). Напруга на стенд подається від мережі змінного струму напругою 380/220 В: лінійна – 380 В, фазна – 220 В. Вона з'являється на клемах 7, розташованих в лівій нижній частині стенда, після ввімкнення стендових автомата 17 та магнітного пускача 18. Ручка автомата і кнопки пускача знаходяться у правій частині стенда. Ввімкнення стенда фіксується сигнальними лампами 15, що знаходяться над кнопками магнітного пускача.

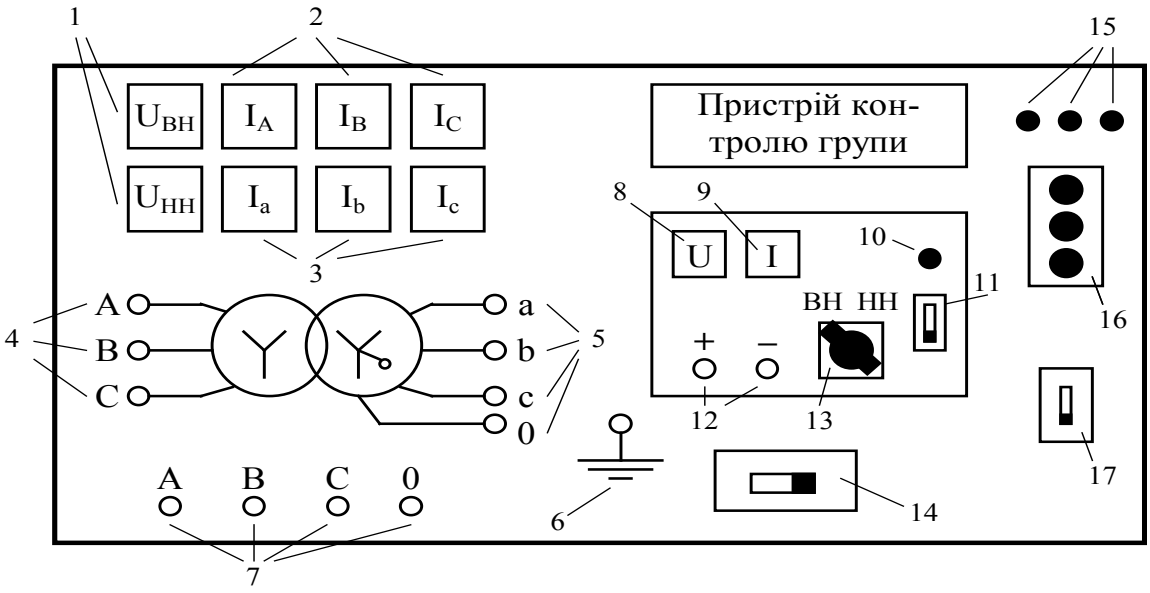


Рисунок 7.3 – Схематичне розташування клем та приладів на лицьовій панелі стенда

Як об'єкт випробувань використовується трифазний трансформатор типу ТМХ-50/10 частотою 50 Гц, потужністю 50 кВА, з номінальними лінійними напругами обмоток $U_{ВН}$ = 10000 В (10 кВ) та $U_{НН}$ = 400 В, напругою КЗ $U_К$ = 5,7%. Схема з'єднання обмоток: Y/Y-0. Від вводів трансформатора ТМХ-50/10 на стенд кабелями виведені кінці обмотки ВН 4 і кінці обмотки НН 5. Для вимірювання фазних струмів обмоток ВН і НН використовуються відповідно амперметри 2 та 3. В лівій верхній частині стенда знаходяться вольтметри для вимірювання лінійних напруг обмоток ВН та НН 1. Для виконання досліду короткого замикання (КЗ) обмотки НН в нижній частині стенда встановлений автомат КЗ 14.

З метою безпеки умов проведення лабораторної роботи напругу ~380 В подавати лише на клеми А, В, С обмотки ВН 4 силового трансформатора.

Для вимірювання опору обмоток трансформаторів постійному струму на стенді є клеми 12 джерела постійного струму «+» і «–» відповідно,

напруга на яких з’являється після ввімкнення стендових автомата 17, магнітного пускача 16 і автомата постійного струму 11. Наявність напруги на виводах джерела постійного струму фіксується сигнальною лампою 10. При вимірюванні опорів обмоток методом спаду напруги, використовуються встановлені на стенді амперметр 9, вольтметр 8 і перемикач 13, який вмикає підвищену або знижену напругу джерела постійного струму для вимірювання опору обмоток ВН або НН, відповідно.

У верхній частині стенда вмонтований прилад для визначення групи з’єднання обмоток трансформаторів УКГ-1 (вказівник групи), розроблений на кафедрі ЕСС ВДТУ.

7.4 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитись з цими методичними вказівками та зі стендом.
2. Ознайомитись з конкретними особливостями та параметрами трансформатора ТМХ-50/10. Списати паспортні дані зі щитка трансформатора, зобразити схему розташування вводів на кришці бака і вказати місце встановлення пристрою перемикання без збудження (ПБЗ).
3. Ознайомитись з принципом роботи, технічними характеристиками і схемами ввімкнення мегомметра. Перевірити справність роботи мегомметра.
4. Виміряти опір ізоляції обмоток ВН та НН трансформатора ТМХ-50/10. Визначити коефіцієнт абсорбції ізоляції обмоток.
5. Виміряти опори обмоток ВН та НН трансформатора ТМХ-50/10 постійному струму.
6. Перевірити коефіцієнт трансформації трансформатора ТМХ-50/10 при всіх положеннях перемикача ПБЗ.
7. Визначити напругу КЗ трансформатора ТМХ-50/10 і порівняти її з паспортним значенням.
8. Оформити звіт по лабораторній роботі.

7.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Паспортні дані трансформатора ТМХ-50/10.
2. Результати вимірювання опору ізоляції.
3. Результати виміряних значень коефіцієнтів трансформації для кожного положення пристрою ПБЗ.
4. Результати вимірювань лінійної напруги на обмотках ВН і фазних струмів обмоток ВН та НН.
5. Схему розташування вводів на кришці бака із вказаним місцем встановлення пристрою перемикання без збудження (ПБЗ).

7.6 Контрольні питання

1. Будова та принцип дії силових трансформаторів. Технічні характеристики силових трансформаторів.
2. Як визначається стан ізоляції обмоток трансформатора? Що таке коефіцієнт абсорбції і як він визначається?
3. Описати методику вимірювання опору обмоток постійному струму.
4. Що таке коефіцієнт трансформації і як він визначається?
5. Будова та принцип дії пристрою ПБЗ та РПН.
6. Як виконується практичне визначення коефіцієнта трансформації?

Лабораторна робота № 8

Приводи вимикачів високої напруги і роз'єднувачів

8.1 Мета роботи

Мета роботи полягає в освоєнні принципів виконання приводів вимикачів і роз'єднувачів, вивченні конструктивного виконання електромагнітних, пружинних приводів вимикачів і ручних приводів роз'єднувачів.

8.2 Короткі теоретичні відомості

Привод вимикача призначений для операції вмикання, для утримання в увімкненому положенні і для вимкнення 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 під час цієї операції переборюється власна маса рухомих контактів, опір пружин, що відключають, тертя і сили інерції в рушійних частинах. При вмиканні на існуюче КЗ механізм привода, 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 привода зводиться до звільнення засувки, що утримує механізм у включеному положенні. Саме вимикання відбувається за рахунок сили стиснутих або розтягнутих вимикальних пружин. Залежно від джерела енергії, що затрачається на вмикання і вимикання, є ручні, пружинні, вантажні, електромагнітні та пневматичні приводи.

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

Привод ПРА-17 призначений для керування вимикачами навантаження ВНП-16, ВНП-17. Привод споряджений механізмом вільного розчіплювання і має електромагніт для дистанційного вимкнення вимикача. Якщо дистанційне вимкнення не передбачається, то застосовують привод без електромагніту вимкнення типу ПР-17.

Ввімкнення і вимкнення комутаційних апаратів високої напруги досягається за рахунок переміщення їх рухомих контактів: при увімкненні – до повного зіткнення з нерухомими контактами; при вимкненні – до віддалення 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 є окремим силовим апаратом, який використовує енергію, що надходить від енергосистеми, і дозволяє проводити операції з ввімкнення і вимикання апаратів дистанційно. У зв'язку зі специфікою роботи комутаційних апаратів енергія від енергосистеми не надходить безпосередньо в привод у процесі виконання операції, а попередньо перетворюється і акумулюється з тим, щоб в аварійних умовах за відсутності напруги в енергосистемі забезпечити спрацьовування апарата. Акумулювання енергії може здійснюватися: в акумуляторних батареях; в ресиверах стисненого повітря; в напружених пружинах та ін.

За видом енергії, що використовується для приведення в дію, приводи поділяються на:

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

В свою чергу рухові приводи можуть бути:

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

Енергія може підводитися до привода в процесі виконання операції або запасатися заздалегідь. У першому випадку привод називають приводом залежної дії, в іншому – 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 потрібно досить великий проміжок часу. В результаті тривалість виконання операції незалежним приводом, що складається з часу ввімкнення і часу запасання енергії для наступної операції ввімкнення (після вимкнення), відносно велика.

До приводів комутаційних апаратів висуваються такі вимоги:

– вони повинні бути виключно надійними в експлуатації;

– операції ввімкнення, вимикання, багаторазового повторного ввімкнення повинні протікати впродовж мінімального часу;

– повинна забезпечуватися можливість вимикання і ввімкнення за відсутності енергії в живлячій енергосистемі;

– повинні мати механічні вказівники положення апарата;

– повинні мати допоміжні контакти напругою нижче 1000 В (для використання в колах сигналізації положення, автоматики і блокування апарата). Основними елементами привода є: силовий пристрій; операційний, замикаючий і передавальний механізми; вимикаючий пристрій і пристрій для ручного ввімкнення при ремонті. Силовий пристрій перетворює енергію, що підводиться до привода, 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. 8.1 поступальний рух штока 2 в обертальний рух вала привода 13), замикаючого механізму і механізму управління допоміжними контактами. Замикаючий механізм утримує механізм привода і пов’язаний з ним приводний механізм апарата у включеному положенні. Цей механізм з’єднує одну з ланок операційного механізму з тимчасово нерухомою ланкою. Сила, яка прагне вивести рухливі 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 відключити вимикач в ході операції ввімкнення 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 привода 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 кола передавального механізму відчувають великі статичні і динамічні навантаження. Характер цих навантажень (їх величини і напрямок в конкретні моменти операцій) може бути визначений за кінетичною схемою механізму вимикача, з’єднаного з приводом (наприклад, рис. 8.2).

Вимикаючий пристрій привода звільняє замикаючий механізм, під дією вимикаючих пружин апарат вимикається. Для звільнення замикаючого механізму зазвичай використовуються електромагніти невеликої потужності. У ручних приводах ввімкнення і вимкнення здійснюється мускульною силою оператора. Для цього повертається важіль привода, через передавальний механізм рух передається до рухомих контактів. Кінематична схема таких механізмів проста і наглядна. При ремонтах

приводів необхідно мати можливість їх ручного ввімкнення. Це може здійснюватись окремим спеціальним важелем або домкратом.

8.3 Електромагнітні приводи вимикачів

Принципи влаштування і роботи електромагнітних приводів (ЕП) базуються на електродинамічній взаємодії між феромагнітним осердям і струмом, що протікає по обмотці електромагніту (котушці). В результаті взаємодії осердя втягується в котушку. Рух осердя 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 ввімкнення вимикача (багаторазове АПВ).

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

Заводи-виробники оснащують ЕП вимикачами різних типів напругою до 220 кВ включно. Найбільш часто для масляних і електромагнітних вимикачів застосовуються приводи типу ПС (привод соленоїдний) і ПЕ (привод електромагнітний), призначені для внутрішньої установки. Для зовнішньої установки їх встановлюють в шафи з листової сталі і в типове позначення вводять літеру Ш – 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. 8.1) складаються з корпусу з операційним механізмом та електромагнітної системи. 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 осердя 1 з штоком 2. Магнітопровід виготовляється з м’якої низьковуглецевої сталі або чавуну (в приводі ПС) і складається з двох товстих плит і корпусу, стягнутих шпильками. Всередині магнітопроводу розташовується обмотка ввімкнення 15, внутрішня поверхня її захищена від пошкодження під час руху осердя сталевою гільзою.

Осердя зі штоком – сталеві і мають циліндричну форму. Для запобігання прилипання осердя до верхньої плити при зіткненні з нею на шток надіта віджимаюча пружина. Але одна віджимаюча пружина не може

усунути прилипання осердя 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 ввімкнення тягової силою. Відповідно маса осердя в різних приводах різна і змінюється в межах від одиниці до ста кілограмів і більше.

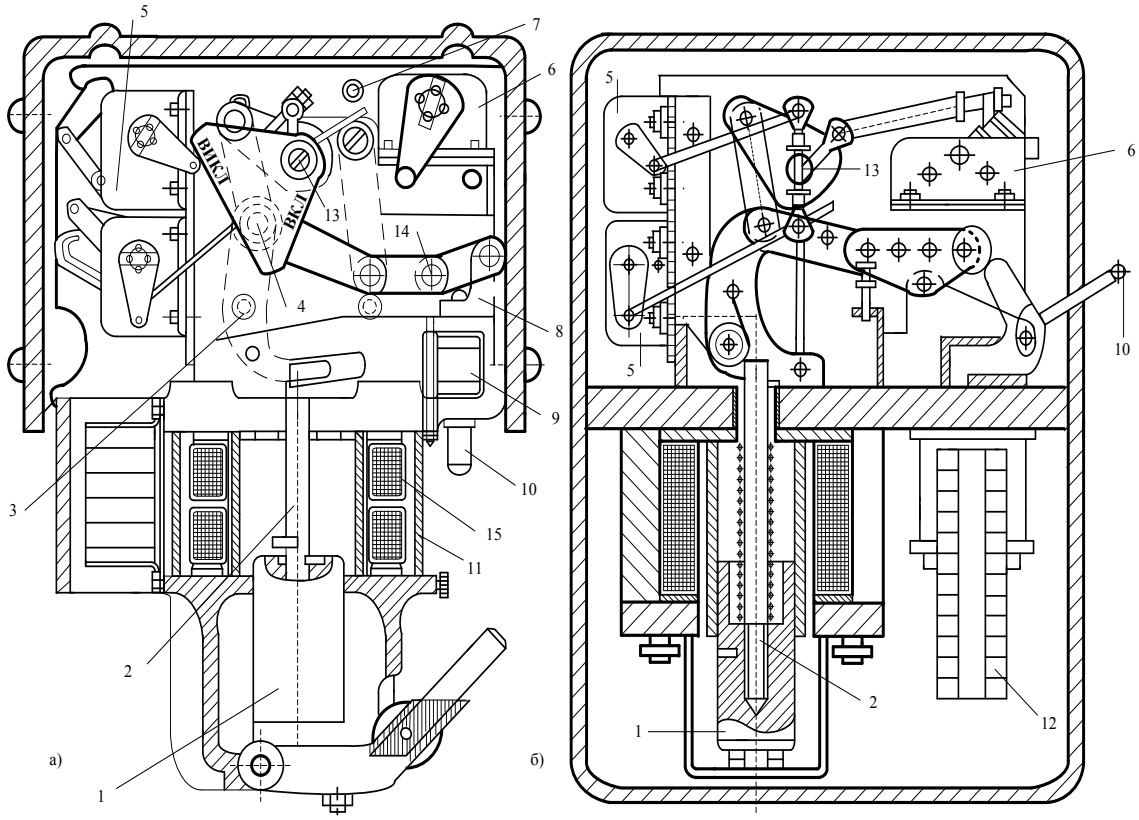


Рисунок 8.1 – Привод електромагнітний: а – привод соленоїдний ПС-10; б – привод електромагнітний ПЕ-11; 1 – сталеве осердя; 2 – шток осердя; 3 – утримуюча засувка; 4 – ролик і його вісь; 5 – блок-контакти сигнальні СКБ; 6 – блок-контакти управління КБВ і КВО; 7 – вал з приводним важелем; 8 – механізм вільного розчеплення; 9 – електромагніт вимикання; 10 – важіль (кнопка) ручного вимикання; 11 – електромагніт ввімкнення; 12 – затискна рейка (збірка); 13 – вал привода; 14 – вісь «ламаючої» ланки механізму вільного розчеплення; 15 – обмотка ввімкнення

Після завершення операції ввімкнення під дією сил тяжіння і віджимаючої пружини осердя опускається зі швидкістю вільно падаючого тіла. Для поглинання кінетичної енергії падаючого осердя 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 у вертикальному положенні.

При ввімкненні вимикача струм подається в електромагніт живлення 11 (див. рис. 8.1), осердя 1 втягується в котушку. Шток осердя 2 впирається в ролик 4 операційного механізму і піднімає його вгору разом з двома шарнірно пов'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 рухливі контакти (рис. 8.2). Одночасно розтягуються вимикаючі пружини 14 (рис. 8.2).

Піднімаючись вгору, ролик 4 ковзає по поверхні засувки 3, відсуваючи її вліво. В кінці ходу осердя після закінчення процесу ввімкнення верхній зріз засувки заскакує під ролик і утримує механізм у ввімкненому положенні. В кінці ввімкнення допоміжні контакти 5 розривають коло електромагніту ввімкнення, протікання струму по котушці припиняється, осердя 1 падає на гумовий буфер і стає в своє початкове положення.

В пристрої вимикання ЕП застосовується механізм вільного розподілу. У приводів серії ПС він виконаний з ланкою, що «ламається». У положенні «Включено», «Відключено» 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 осердя втягується в котушку і вдаряється 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 вимикаючих пружин вимикач вимикається.

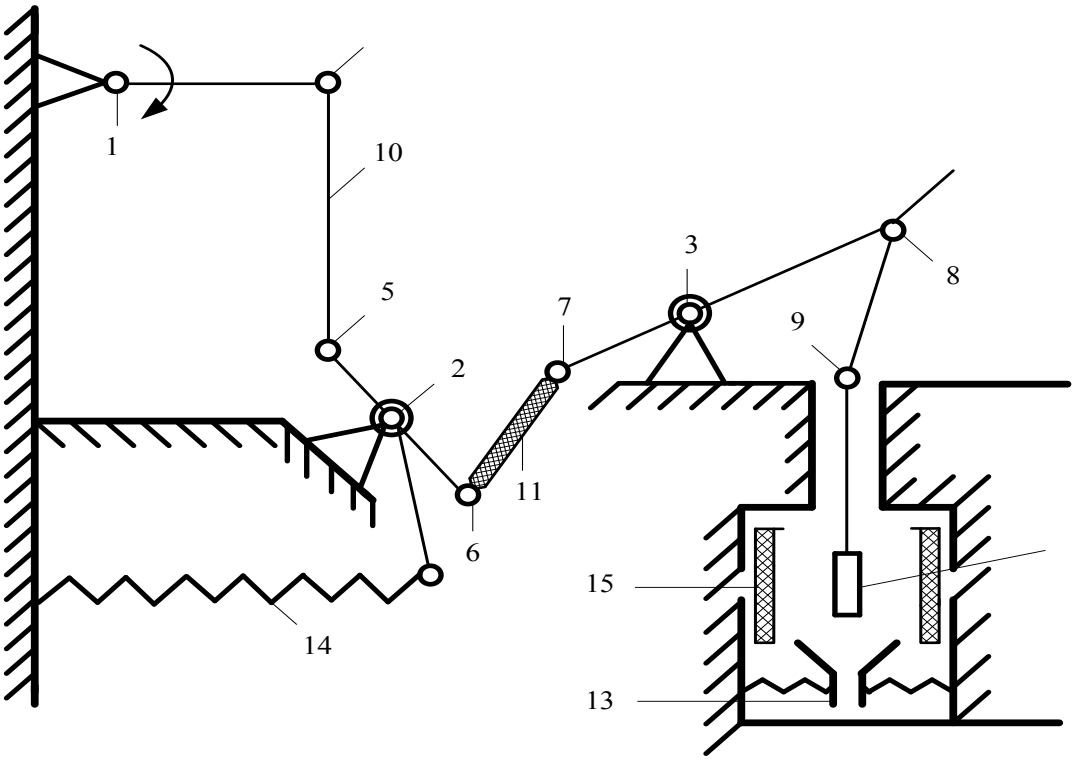


Рисунок 8.2 – Кінематична схема механізму вимикача ВМП-10, встановленого на викочуваному візку шафи КРП і оснащеного приводом ПЕ-11: 1 – вал привода; 2 – вал вимикача; 3 – вісь обертання двоплечого важеля верхньої частини полюса; 4 – 9 осі обертання ланок механізмів; 10 – тяга передавального механізму; 11 – ізоляційна тяга полюса вимикача; 12 – рухомий контакт полюса вимикача; 13 – нерухомий розетковий контакт; 14 – відключаюча пружина; 3 – 8 – 9 – 12 – ланки кулісно-повзучого механізму, що перетворює обертальний рух ланки 3 – 8 в поступальний рух ланки 9 – 12; 15 – ізоляційний циліндр полюса вимикача

Привод ПС-10 додатково має механічне блокування проти повторення ввімкнення і вимикання, коли команда на ввімкнення не знята. Блокування обумовлюється спеціальним профілем внутрішнього контуру засувки 3, який не дозволяє операційному механізму повністю скластися до тих пір, поки вісь, до якої закріплений ролик 4, не опиниться напроти вирізу в засувці, а саме до повністю вимкненого положення.

Таким чином, якщо вимкнення вимикача відбувається в момент, коли рукоятка ключа керування вимикачем знаходиться ще в положенні «включити», то коло електромагніту вимикання замикається і його осердя знову піднімається. Однак він піднімається вхолосту, оскільки механізм привода ще не встиг повністю скластися і ввімкнення не відбувається. У підтягнутому положенні осердя залишається до моменту розмикання кола електромагніту ввімкнення ключем управління. У приводах ПЕ застосоване електричне блокування для запобігання повторного ввімкнення і вимкнення, коли команда на ввімкнення не знята.

Управління вимикачем здійснюється дистанційно, а саме подачею відповідної команди з щита управління. Для цього на щиті управління встановлений ключ управління вимикачем. Поворотом рукоятки ключа замикається коло, по електромагніту ввімкнення або вимикання привода протікає струм і вимикач вмикається або 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. 8.3.

Схема керування приведена 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 HLG, тому що через неї протікає струм по колу: + EC, плавкий запобіжник FU1, контакти 4 – 22 SA, лампа HLG, допоміжний контакт вимикача Q:2, запобіжник FU2, – EC. Загорання зеленої лампи сигналізує про те, що вимикач Q вимкнений. Для ввімкнення вимикача необхідно подати струм на електромагніт ввімкнення YAC. Але він споживає струм величиною десятків або сотень ампер. Пропустити такий струм через контакти ключа управління неможливо.

В зв’язку з цим ввімкнення струму в колі, яке вмикає електромагніт YAC, здійснюється проміжним контактором КМ. При ввімкненні вимикача Q повертають рукоятку ключа управління SA на 90º за годинниковою стрілкою в положення В1 (попередньо ввімкнено). Зелена лампа гасне. Продовжуючи повертати рукоятку ключа ще на 45º, переводять його в позицію В2 (ввімкнути). При цьому замикаються контакти 8 – 5 SA і спрацьовує контактор КМ. Контакти контактора КМ:1, КМ:2 замикаються, по YAC привода протікає струм, осердя втягується в котушку і вимикач Q вмикається. Його допоміжні контакти Q:2, Q:4 розмикаються, а контакти Q:1, Q:3 замикаються, одночасно розтягується вимикаюча пружина.

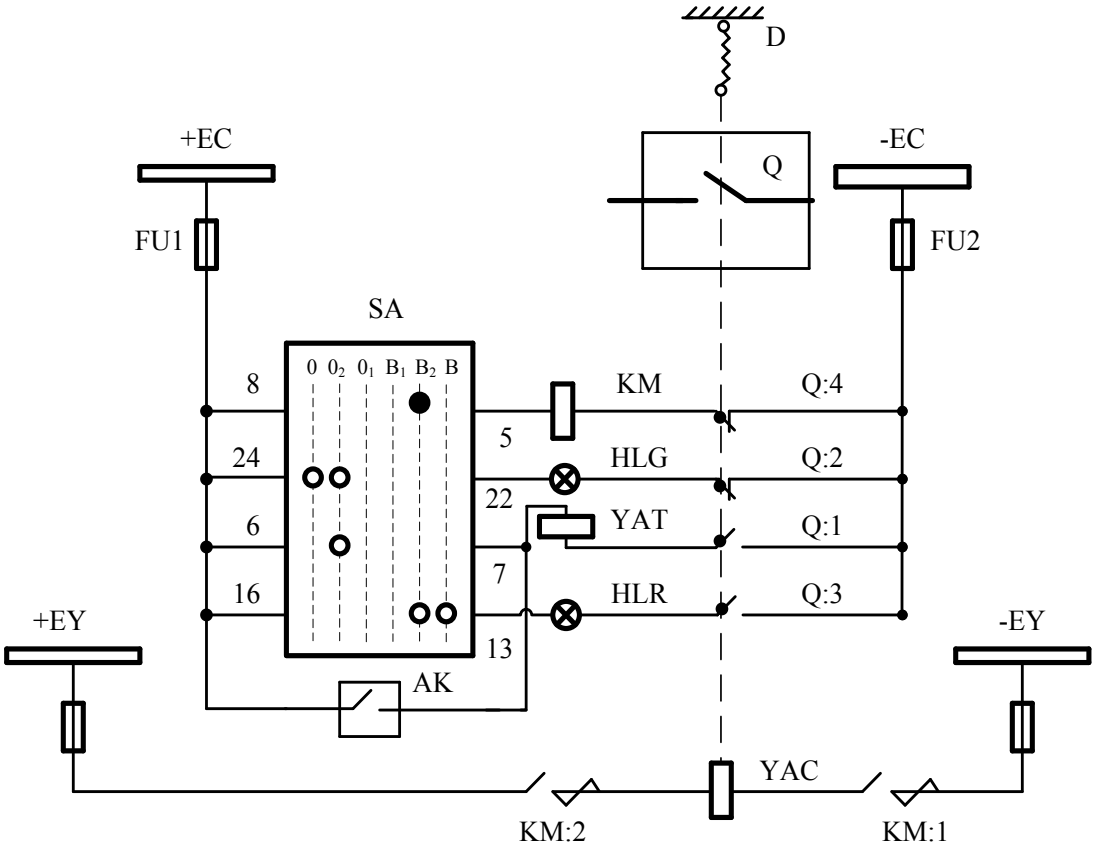


Рисунок 8.3 – Принципова спрощена схема дистанційного керування вимикачем з електромагнітним приводом: SA – ключ керування вимикачем; KM – контактор проміжний; Q – високовольтний вимикач; Q:1 – Q:4 – допоміжні контакти ланцюгів керування і сигналізації вимикача; HLG – сигнальна лампа із зеленою лінзою; HLR – сигнальна лампа з червоною лінзою; YAT – електромагніт вимикання; YAC – електромагніт ввімкнення; EC – живлення ланцюгів керування; EУ – шини живлення електромагніту ввімкнення; FU – запобіжник плавкий; АК – пристрій релейного захисту; D – вимикаюча пружина

Включене положення вимикача фіксується механічною засувкою В. При розмиканні контакту Q:4 переривається струм в колі котушки проміжного контактора КМ і його контакти також розмикаються. Розімкненими контактами КМ:1, КМ:2 розривається коло струму по вмикаючому електромагніту YAC і його осердя повертається у вихідне положення.

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

Для вимикання вимикача рукоятку ключа SA повертають проти годинникової стрілки спочатку на 90º, а потім ще на 45º, переводячи її в положення Q2 – (відключити). При цьому по вимикаючому електромаг-

ніту YAT протікає струм. Його осердя втягується в котушку, б'ючи під ланку механізму вільного розчеплення (звільняється засувка B). Під дією вимикаючої пружини D вимикач Q вимикається.

Допоміжні контакти Q:1, Q:3 при цьому розмикаються, а контакти Q:2, Q:4 замикаються. Гасне червона і загоряється зелена лампа. Після виконання операції вимикання рукоятку ключа опускають і вона встановлюється в положення «В» (вимкнено). Автоматичне вимикання вимикача здійснюється при спрацьовуванні пристроїв релейного захисту АК. При цьому замикається контакт АК, по вимикаючому електромагніту YAT протікає струм, осердя втягується в котушку, звільняється замикаючий механізм B 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 вимикання застосовується розряд попередньо зарядженого конденсатора.

8.4 Пружинні приводи

Пружинний привод є приводом непрямої дії. Енергія, необхідна для ввімкнення, запасається 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.

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. Напруга пружини здійснюється невеликим електродвигуном з редуктором або багаторазовим зворотно-поступальним рухом осердя електромагніту, з'єднаних з механізмом, який заводиться. Операція ввімкнення здійснюється тільки після повного заведення пружини. Для цього передбачається невеликий електромагніт, при спрацьовуванні якого вмикаюча пружина звільняється. Під її дією вимикач вмикається. Як тільки процес ввімкнення завершено, автоматично відбувається ввімкнення пружини знову. Таким чином привод готується до повторного ввімкнення. Час заведення пружини становить менше 10 с. Відповідно, вимикач з

пружинним приводом може виконувати багаторазове автоматичне повторне ввімкнення через 10 с.

Пружинні приводи застосовуються для вимикачів, що потребують для ввімкнення 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 привода маломасляних вимикачів 10 – 35 кВ комплектних розподільних пристроїв. Кінематична схема цих приводів досить складна.

Вбудований пружинний привод вимикача ВМП-10П складається з корпусу, вала привода 1, механізмів ввімкнення 3 і вимикання 4, що вмикають і вимикають пружини, електромагнітів управління 5, 8, 9 і реле захисту 6, 7, 10, 11. На валу привода встановлений барабан 12 з пластинчастими пружинами ввімкнення. Заведення пружин здійснюється електромагнітом заведення 13 через важіль і обгінну муфту 14. При ввімкненні вимикача подається напруга на вмикаючу котушку 5 (або при натисканні кнопки ручного ввімкнення 15) і під дією вмикаючих пружин вал привода повертається, вимикач вмикається. За допомогою тяг і важелів запірний пристрій стає на засувку 16 і утримує вимикач у ввімкненому положенні. Вимикання вимикача відбувається при подачі імпульсу на вимикаючу котушку 9 або на один з елементів релейного блока, або при натисканні кнопки ручного вимикання. При цьому запірний пристрій звільняє вал вимикача 2 і під дією вимикаючої пружини 19 вимикач вимикається.

На приводі є ряд електромеханічних блокувань, які перешкоджають нормальній роботі. У верхній частині привода встановлені котушки електромагнітів управління 5, 8, 9 і реле прямої дії 6, 7, 10, 11. Застосовуються реле максимального струму миттєвої дії (РТМ) – 10, 11 і реле з витримкою часу (РТВ) – 6, 7. Конструктивно струмові реле прямої дії являють собою електромагніт з осердям. При досягненні струму уставки осердя втягується в електромагніт, шток вдаряє у вал запірного пристрою 18, звільняє запірну засувку 16 і вимикач вимикається. 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 вимикання в установках, де як оперативний струм використовується струм від трансформаторів струму, передбачений окремий електромагніт 8. В інших конструкціях пружинних приводів і ввімкнення, і вимикання здійснюється від одного барабана з пружинами. Залежно від особливостей конструкції ці приводи можуть забезпечити виконання однієї або більшої кількості операцій (ввімкнення і

вимикання) при повністю заведених пружинах без їх підзаведення. Час заведення пружин на 2 операції не перевищує 20 с, а на 5 заведень – 50 с.

8.5 Приводи роз'єднувачів

Роз'єднувачі призначені для створення видимого розриву в електричному колі при ремонтах обладнання. Вони мають головні і заземлювальні ножі. Для управління головними і заземлювальними ножами застосовуються окремі ручні, рухові і пневматичні приводи. Ручні приводи використовуються для управління головними ножами роз'єднувачів напругою до 220 кВ і заземлювальними ножами роз'єднувачів всіх типів і напруг. Рухові і пневматичні приводи дозволяють здійснювати дистанційне ввімкнення і вимикання роз'єднувачів і застосовуються для апаратів всіх напруг. Триполюсні роз'єднувачі внутрішньої установки зазвичай керуються ручними важільними приводами ПР-2 і ПР-3 (рис. 8.4).

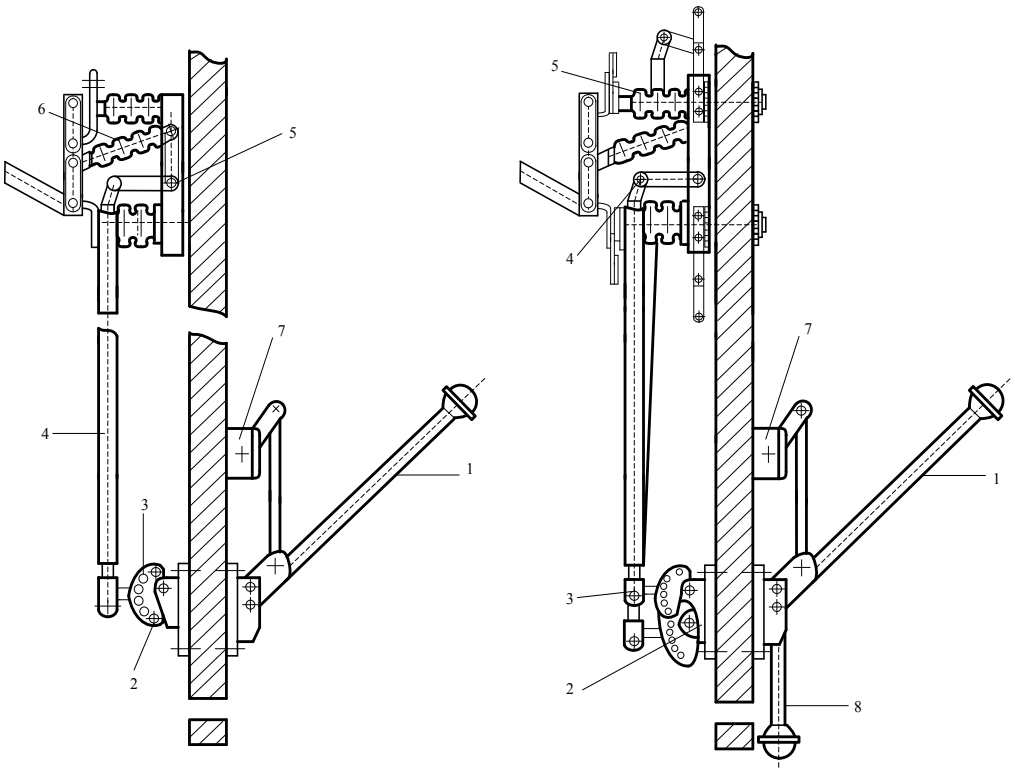


Рисунок 8.4 – Привод важільного типу ПР-2: а, б – без та із заземлювальними ножами: 1 – важіль; 2 – тяга, яка передає рух від важеля до двох поворотних секторів 3; 4 – тяга, що передає рух від секторів до вала роз'єднувача 5; 6 – тяга-ізолятор, що передає рух від вала роз'єднувача до його ножів; 7 – допоміжні контакти (блок-контакти); 8 – важіль ввімкнення заземлювальних ножів

Ці приводи встановлюються на стінках вертикально і мають важіль 1, який під впливом руки оператора повертається навколо осі приблизно на 150º. 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 рухливі 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 внутрішньої установки 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 виключають можливість ввімкнення заземлювальних ножів при включених головних, і навпаки. Вони виконуються механічно і можуть доповнюватися електромагнітними блок-замками. 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. Рухливі контакти їх механічно з'єднують з одним з елементів привода, а при зміні його положення змінюється і положення допоміжних контактів. Приводи для роз'єднувачів зовнішньої установки 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 обертаючою рукояткою. Дистанційне керування колонковими роз'єднувачами зовнішньої установки 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 металевої шафи. 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.

8.6 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;

– включаються з малим шумом;

– маслонепроникні 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 зі взаємозамінних однакових частин (рис. 8.5, 8.6).

До основних конструктивних елементів належать:

– циліндр привода;

– клапанна коробка;

– масляний бак;

– розчіплювач;

– блок управління з пристроєм контролю тиску масла;

– гідравлічний акумулятор.

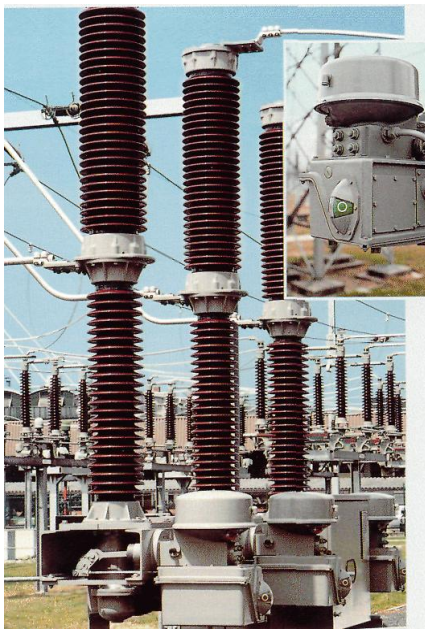


Рисунок 8.5 – Елегазовий вимикач з гідравлічним приводом

Головною складовою частиною гідравлічного привода (рис. 8.5) є металевий циліндр. У ньому рухається диференціальний поршень з поршневим стрижнем, керованим за допомогою блока клапанів. Привод керується блоком клапанів, головний клапан і клапани розчіплювача скомбіновані. Запатентована система з кульковою защіпкою у вигляді подвійного гідравлічного запобіжника, що самозатримується, забезпечує надійне положення комутації і при тиску, значення якого нижче за робоче. Потрібне для приводної системи гідравлічне масло 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 та інших забруднень.

За допомогою магнітних розчіплювачів, 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 масла з масляного бака назад в акумулятор після завершення операцій увімкнення та вимкнення силового вимикача.

Рисунок 8.6 – 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 масла, потрібним для перемикання, проводиться автоматично: як мінімум два реле тиску контролюють тиск масла в гідравлічній системі. При зменшенні або спаді тиску спрацьовує попереджувальний сигнал. Силовий вимикач зберігає здібність до перемикання. Якщо ж тиск спадає нижче за мінімальне значення, то спрацьовує автоматичне блокування, тобто будь-яке перемикання блокується. Окрім тиску контролюється і необхідна для перемикання енергія в акумуляторі. Такий контроль може проводити винятково гідравлічний привод.

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

8.7 Цифровий електропривод Motor Drive

Концепція, що зробила революційний переворот в технології високовольтних елегазових вимикачів, – це цифровий електропривод Motor Drive, що використовується в конструкціях елегазових вимикачів компанії ABB. На сьогодні електропривод застосовується у вимикачах серії LTB D.

Електропривод Motor Drive є електронно-цифровою системою з мікропроцесорним управлінням (рис. 8.7).

Рисунок 8.7 – Загальний вигляд електропривода Motor Drive

Необхідні оперативні рухи (увімкнення 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 спостереженням електронної системи керування, тобто електричним способом, тоді як механічна частина системи зведена лише до однієї рухомої деталі – ротора електродвигуна.

Простота механічної частини електропривода забезпечує його основні переваги:

– відсутність деталей, що піддаються зносу;

– менші робочі зусилля;

– істотне зниження рівня шумів при операції;

– істотне підвищення надійності завдяки виключенню численних механічних деталей, що взаємодіють між собою.

Електропривод Motor Drive забезпечує нові можливості елегазового вимикача:

– пряме активне управління рухом контактів із зворотним зв'язком;

– гнучке вільне і логічне управління вимикачем;

– значне зниження перешкод 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. 8.8.

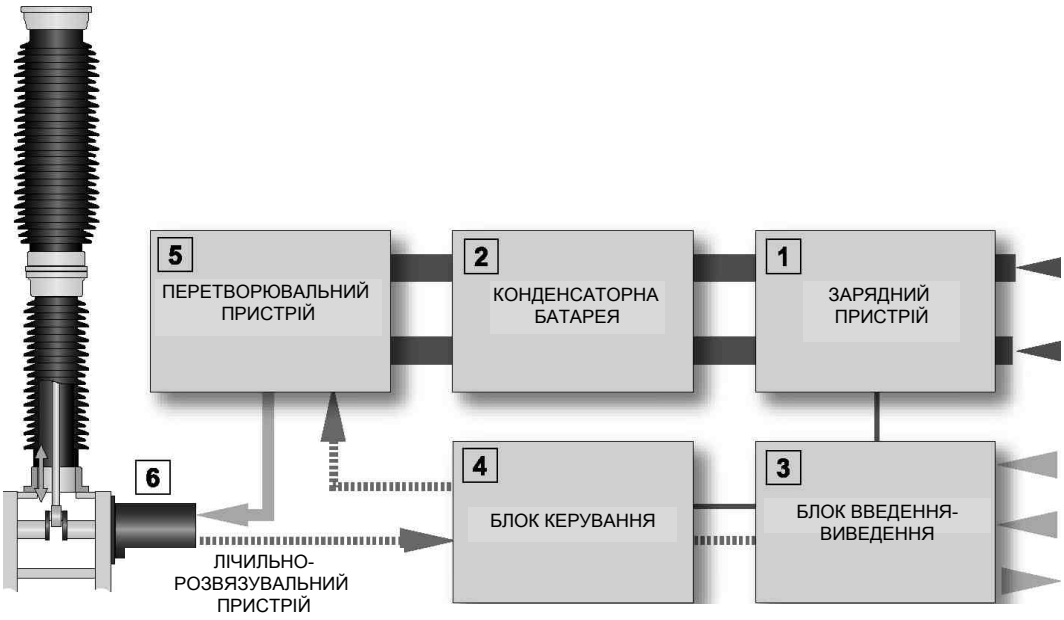


Рисунок 8.8 – Блок-схема керування приводом

Блок 1 – зарядний пристрій, допускає підключення 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 дуже 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 (увімкнення 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 увімкнення) і передає внутрішні команди в перетворювальний 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 7 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 цей 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 діючого зворотного зв’язку рух контактів постійно регулюється з високою точністю згідно із заздалегідь запрограмованою кривою ходу контактів.

8.8 Зміст роботи

1. Ознайомитися з призначенням приводів комутаційних апаратів і принципами їх роботи.
2. Вивчити принцип роботи електромагнітного привода ПС-10 і дослідити його особливості.
3. Вивчити принцип роботи вбудованого пружинного привода ПП-60.
4. Вивчити принцип роботи ручного важільного привода роз’єднувача РЛНДУ-110.
5. Скласти звіт по роботі.

8.9 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить в собі вбудовані: електромагнітний привод ПЕ-10, пружинний привод ПП-60, ручний важільний привод роз’єднувача і стенд. На стенді змонтована апаратура управління електромагнітним приводом ПЕ-10, наводиться схема керування ним. Виводи апаратів, показаних на схемі керування, з’єднані з вмонтованими в відповідних місцях схеми гніздами для підключення зовнішніх провідників.

Схема керування приводом ПЕ-10 живиться постійним струмом 220 В, що підводиться до схеми окремим кабелем. Живлення електромагніту ввімкнення привода здійснюється іншим кабелем. Зв’язок між приводом і стендом здійснюється третім кабелем. Всі живильні кабелі мають штирові

роз’єми на кінцях. Всі елементи вбудованого пружинного привода ПП-10 пронумеровані, ці номери використовуються в тексті методичної розробки.

8.10 Методичні вказівки і порядок виконання роботи

Перед виконанням роботи необхідно попередньо ознайомитися з призначенням і принципами роботи приводів комутаційних апаратів. Для вивчення електромагнітного привода ПС-10 необхідно визначити призначення кожного елемента конструкції. Встановивши важіль ручного ввімкнення, повільно вмикати привод, розглядаючи рух кожної ланки. Провести вимикання привода, піднімаючи рукою осердя електромагніту вимикання. Після з’ясування роботи операційного механізму потрібно скласти його кінематичну схему. Далі необхідно розібратися, як здійснюється передача руху від вала привода до рухомого контакту блок-контактів і як можна регулювати моменти їх замикання і розмикання.

8.11 Контрольні питання

1. Призначення приводного механізму вимикача і принцип його роботи.
2. Призначення механізму вільного розчеплення в приводах.
3. Принцип дії і конструктивне виконання електромагнітних приводів.
4. Від чого залежить час ввімкнення вимикача з електромагнітним приводом?
5. Як працює механізм вільного розчеплення привода ПС-10?
6. Переваги, недоліки і конструктивне виконання пружинного привода.
7. Як здійснюється дистанційне керування роз’єднувачами?
8. Конструкція ручного привода.
9. Чому на приводах роз’єднувачів встановлюються механічні та електричні блоки?
10. Особливості конструкції та принцип роботи пневматичних приводів вимикачів.
11. Особливості конструкції та принцип роботи гідравлічних приводів Siemens високовольтних вимикачів.
12. Особливості конструкції та принцип роботи цифрового електропривода Motor Drive високовольтних вимикачів ABB.

Список використаної літератури

1. Правила технічної експлуатації електричних станцій та систем. – М. : Енергія, 1978. – 224 с.
2. Рожкова Л. Д. Електрообладнання станцій та підстанцій / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулін. – М. : Вища школа, 1987. – 646 с.
3. Васільєв А. А. Електрична частина станцій і підстанцій / Васільєв А. А. – М. : Вища школа, 1990. – 419 с.
4. Довідник по електричних апаратах високої напруги / [під ред. В. В. Афанасьєва]. – Л. : Вища школа, 1987. – 544 с.
5. Рожкова Л. Д. Електроустаткування електричних станцій і підстанцій / Рожкова Л. Д., Корнєєва Л. К., Чиркова Т. В. – М. : Академія, 2004. – 447 с.
6. Лисовский Г. С. Главные схемы и электротехническое оборудование подстанций 35 – 750 кВ / Г. С. Лисовский, М. Э. Хейфиц. – М. : Энергия, 1977. – 464 с.
7. Грудинский П. Г. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций / П. Г. Грудинский, С. А. Мандрыкин. – М. : Энергия,1974. – 575 с.
8. Афанасьєва В. В. Приводи до вимикачів і роз'єднувачів високої напруги / В. В. Афанасьєва, Е. Н. Якунін. – Л. : Вища школа, 1982.
9. Фоков К. И. Выбор проектных решений при разработке подстанции 10 – 500 кВ / Фоков К. И., Твердохлебов И. А., Григорьев Н. П. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2001. – 53 с.
10. Тепловые и атомные электрические станции : справочник / [под. общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина.]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 624 с.
11. Электрическая часть электростанций / [под ред. С. В. Усова]. – Л. : Энергия, 1977. – 556 с.
12. Антюшин А. А. Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций / [Антюшин А. А., Гомберг А. В., Караваев В. П. и др.] ; под ред. Э .С. Мусаеляна. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 384 с.
13. Справочник по наладке электрооборудования станций и подстанций / [под ред. Э. С. Мусаэляна.]. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 244 с.
14. Сахновский Н. Л. Испытание и проверка электрического оборудования / Сахновский Н. Л. – М. : Энергия, 1975. – 105 с.
15. Филатов А. А. Фазировка электрического оборудования / Филатов А. А. – М. : Энергия, 1977. – 287 с.
16. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / [под ред. М. Г. Зименкова, Г. В. Розенберга, Е. М. Феськова.]. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.
17. Кисаримов Р. Н. Наладка электрооборудования : справочник / Кисаримов Р. Н. – М. : ИП Радио Софт, 2006. – 352 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. : Форум, Инфра-М, 2006. – 240 с.

Додаток А

Форма титульного листа звіту до лабораторної роботи

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Кафедра електричних станцій та систем

Звіт

до лабораторної роботи з дисципліни:

«Електричні станції та підстанції»

Виконав:

ст. гр. 1Е–13б

Петров О. І.

Перевірив:

ст.в. Іванов П. Д.

Вінниця 2017

Навчальне видання

Нетребський Володимир Васильович
Малогулко Юлія Володимирівна

ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ

Лабораторний практикум

Редактор Є. Плетньова
Оригінал-макет підготовлено Ю. Малогулко

Підписано до друку 11.10.2017 р.
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 5,69.
Наклад 50 (1-й запуск 1-20) пр. Зам. № 2017-371.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-87-38.
press.vntu.edu.ua; *e-mail:* kivc.vntu@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.