

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ

Лабораторний практикум

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Електрична частина станцій та підстанцій: лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю.П. Матеєнко, П.Л. Денисюк, Г.М. Гаєвська, Р.В. Вожаков – Електронні текстові дані (1 файл: 4,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 179 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від 24 червня 2022 р.) за поданням Вченої ради факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 9 від 17 травня 2022 р.)

Електронне мережне навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ

Лабораторний практикум

Укладачі	<i>Матеєнко Юрій Петрович</i> , канд. техн. наук, доц., доцент кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА <i>Денисюк Петро Левкович</i> , канд. техн. наук, доц., доцент кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА <i>Гаєвська Ганна Миколаївна</i> , старший викладач кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА <i>Вожаков Роман Вікторович</i> , асистент кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА
Відповідальний редактор	<i>Останчук О.В.</i> , докт. техн. наук, доцент, професор кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА
Рецензент	<i>Пушкар М.В.</i> , канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Викладено основні теоретичні відомості щодо конструкції різних електричних апаратів, принципів їх дії, зазначені переваги та недоліки цих апаратів, область їх застосування, також розглянуті конструкції приводних механізмів високовольтних вимикачів та питання їх дистанційного керування, наведено порядок виконання робіт та вимоги щодо підготовки та здачі звіту.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	4
Вступ.....	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 <u>Дослідження електричної дуги</u>	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 <u>Апарати на напругу до 1000 В</u>	25
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 <u>Масляні вимикачі</u>	47
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 <u>Повітряні та електромагнітні вимикачі</u>	69
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 <u>Елегазові та вакуумні вимикачі</u>	90
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 <u>Роз'єднувачі, вимикачі навантаження, віддільники і короткозамикачі</u>	106
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 <u>Приводи високовольтних вимикачів та схеми керування</u>	114
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 <u>Вимірювальні трансформатори</u>	134
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 <u>Комплектні розподільчі установки</u>	163
Рекомендована література	179

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АГП – автомат гасіння поля

АПВ – автоматичне повторне вмикання

КРУ – комплектна розподільча установка

РУ – розподільча установка

ТН – трансформатор напруги

ТС – трансформатор струму

ВСТУП

Навчальний посібник складено на основі силабусу дисципліни “Електрична частина станцій та підстанцій”, яка є складовою частиною в формуванні фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня ”бакалавр” спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

В його основу включено лабораторні роботи з вивчення обладнання розподільчих установок електричних станцій та підстанцій. Приведено опис сучасних конструкцій, принципи дії, технічні характеристики масляних, повітряних, елегазових, вакуумних і електромагнітних вимикачів, роз’єднувачів, вимикачів навантаження, вимірювальних трансформаторів струму і напруги, комутаційних апаратів до 1000 В – запобіжників, автоматичних повітряних вимикачів, контакторів, магнітних пускачів, тощо. Крім того розглянуто переваги, недоліки та область застосування цих апаратів, фізичні процеси, що відбуваються при виникненні, горінні і гасінні електричної дуги, конструкції приводних механізмів високовольтних вимикачів і схеми їх дистанційного управління, особливості конструкцій різних типів комплектних розподільчих установок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ

Вимикальні апарати, /вимикачі/ призначені для вимкнення нормальних і аварійних струмів електричного кола. При вимкненні електричного кола, як правило, між рухливими і нерухомими контактами вимикача утвориться електрична дуга, що повинна бути погашена якомога швидше. Вивчення конструкцій різних типів вимикальних апаратів, оцінка їхніх експлуатаційних якостей вимагає знань фізичних процесів, що відбуваються при горінні і гасінні електричної дуги.

Основи теорії горіння і гасіння електричної дуги

Однією з вимог до вимикальної апаратури, як при нормальній роботі, так і в аварійних умовах є надійність вимкнення електричного кола. Існують дві форми вимкнення електричного кола. Одна з них – це безіскровий розрив, який можливий при дуже малих величинах струму і напруги. Друга форма вимкнення – коли при розриві кола виникає електрична дуга.

Для з'ясування умов горіння і гасіння електричних дуг зупинимося на загальновідомих, елементарних положеннях теорії розряду в газах.

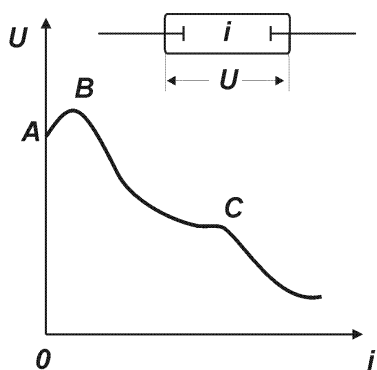


Рис. 1.1

На рис. 1.1 показана характеристика розряду в наповненій газом трубці з припаяними електродами.

Ця характеристика має три явно виражені основні ділянки. Перша ділянка характеристики АВ відповідає явищу корони в газах, при якому зростання струму зв'язане з відповідним зростанням напруги. Густина струму при цьому

розряді дуже мала. Так, наприклад, для мідних електродів при заповненні трубки повітрям на відстані 4 мм густина струму в точці В досягає 10-15 А/см². Ділянка ВС відповідає тихому розряду, вправо від точки С – дуговому розряду. Явище тихого розряду відрізняється від явища дугового розряду величиною спадання напруги і густиною струму біля катода. При тихому розряді густина струму біля катода досягає 3-10 А/см² і спад напруги – біля 200-400 В. При дуговому розряді густина струму досягає 10000 А/см² і вище, падіння напруги біля катода 10-20В.

Для того, щоб виник дуговий розряд, необхідно іонізувати газовий проміжок, тобто перетворити його в провідник. Ступінь іонізації газового проміжку може бути різною і характеризується кількістю вільних зарядів, що знаходяться в газі. Ці заряди, пересуваючись від одного електрода до іншого, створюють струмове коло між ними. Існування електричної дуги стає можливим при напрузі 10-20 В і струмі не менше 80 мА. Горіння електричної дуги супроводжується високою температурою (3000-4000°К на поверхні і до 10000°К в центральній частині дуги).

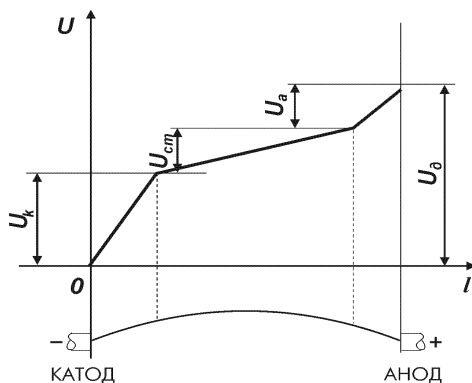


Рис.1.2

Напруга електричної дуги (рис. 1.2) складається з спаду напруги на катоді (U_k), падіння напруги на стовпі дуги (U_{cm}), яке тим більше, чим більша довжина дуги, і анодного спадання напруги (U_a). Розрізняють короткі дуги ($l_d=1-2$ мм), напруга яких визначається в основному сумою катодної й анодної напруги $U_{cm} = 0$; $U_k+U_a=25-40$ В і "довгі" дуги, напруга яких визначається спадом напруги на стовпі дуги, а $U_k + U_a$ мале в порівнянні з U_{cm} .

Іонізація газового проміжку при дуговому розряді може бути здійснена: під дією електричного поля – "іонізація поштовхом"; під дією

високої температури газу – "термоіонізація"; виходом електронів з розжареного катода – "термоемісія" і ін.

Сутність іонізації під дією електричного поля полягає в тому, що вільні електрони, що знаходяться в газі під дією електричного поля починають переміщуватися в напрямку анода, розвиваючи велику швидкість і нагромаджуючи відповідний запас кінетичної енергії. Такий електрон при зіткненні з нейтральним атомом може вибити з нього електрон, викликавши розпадання атома на вільний електрон і позитивний іон. Чим сильніше електричне поле, тим інтенсивніше відбувається процес іонізації.

Термоіонізація газу відбувається під дією відповідної температури. Температура газу характеризує швидкість руху часток. Чим вище температура, тим більше швидкість руху частинок. Рухаючись, частинки зіштовхуються між собою, і у залежності від сили удару розпадаються на складові частини. Спочатку молекули розпадаються на атоми, а потім атоми на іони й електрони. Розпад атомів на іони й електрони під впливом високої температури і є термоіонізація.

Термоемісія полягає в тому, що розжарений катод викидає в область горіння дуги значні порції електронів, які, рухаючись з означеною швидкістю, як уже говорилося, іонізують газовий проміжок. Іонізація дугового розряду залежить не тільки від вище зазначених причин, що її викликають, але і від середовища, у якому відбувається процес іонізації, від хімічного складу газу, його густини, температури, від матеріалу електродів, поверхні катодів і т.д.

Термічна іонізація є основним чинником, що підтримує провідність дугового проміжку при горінні дуги. З ростом струму дуги росте її температура, що викликає посилення процесу іонізації, і отже, зменшення опору дугового проміжку.

Поряд з іонізацією, при всякому газовому розряді проходить і зворотне явище, що викликається деіонізацією. Сутність деіонізації полягає в тому, що заряджені частинки втрачають свої заряди або покидають область горіння дуги. Тому вони не можуть брати участь у переносі струму від одного електрода до іншого. Основними шляхами деіонізації області дугового розряду є рекомбінація заряджених часток і дифузія.

Рекомбінація полягає в тому, що частинки з протилежними зарядами при зіткненні одна з другою утворюють нейтральні частинки.

Дифузія - це вихід заряджених частинок з області горіння дуги в оточуючий простір, після чого вони, навіть не втрачаючи своїх зарядів, не відіграють ніякої ролі. Дифузія в значній мірі сприяє охолодженню дугового стовпа. Атоми, що утворені в результаті розпаду молекул, дифундують із дугового простору, за межами якого знову утворюють молекули. При розпаді молекул на атоми відбувається поглинання енергії з дугового простору, а при утворенні молекул - виділення цієї енергії. Завдяки цьому при дифузії відбувається перенос енергії з області горіння дуги в оточуючий простір, тобто відбувається охолодження дуги. Згідно з дослідними даними, найбільш швидко деіонізуючим середовищем є водень, потім водяний пар, вугільна кислота, кисень, повітря, азот .

Температура центральної частини дуги дуже велика, вона залежить від складу газу (у повітрі при атмосферному тиску досягає 3÷5 тис. град., а у водні - не менше 8÷10 тис. град.).

Процес гасіння дуги йде тим швидше, чим крутіше падіння температури від центра до краю дуги, так як при цьому менша зона знаходиться під впливом високої температури, що дає зменшення термічної іонізації. Крім того, підсилюється дифузія заряджених частинок за рахунок різниці температур. Звідси випливає, що на гасіння дуги в

розглянутому випадку діють два фактори: зменшення іонізації і збільшення деіонізації за рахунок охолодження стовбура дуги.

Дуга постійного струму

Нехтуючи струмами корони і тихого розряду, можна вважати, що точка початку дугового розряду знаходиться поблизу осі ординат, тому вольтамперну характеристику дуги можна зобразити так, як показано на рис. 1.3.

Вольтамперну характеристику електричної дуги можна одержати дослідним шляхом при незмінному іскровому проміжку апарата. Для цього необхідно підвести до досліджуваного контуру таку напругу, при якій дуга горить стійко при незмінному струмі. Це свідчить про те, що опір стовбура дуги постійний, тобто кількість іонізованих і деіонізованих часток в одиницю часу однакова. Вимірюючи струм і напругу дуги, одержимо одну з точок вольтамперної характеристики.

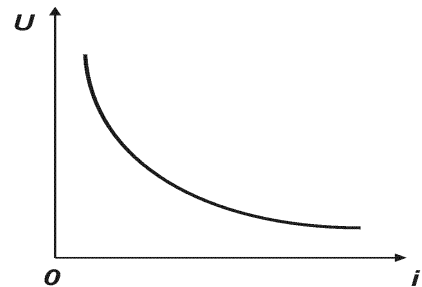


Рис. 1.3

Повільно змінюючи напругу контуру, можна одержати стійку дугу при іншому струмі і напрузі іскрового проміжку, що відповідає однакою швидкості іонізації і деіонізації іскрового проміжку при нових значеннях струму і напруги дуги.

Знята таким способом вольтамперна характеристика називається статичною характеристикою дуги (рис. 1.3). Цілком очевидно, що для даного апарата статична характеристика дуги єдина.

Статичну характеристику дуги можна зняти як при поступовому збільшенні струму, так і при повільному його зменшенні.

При зменшенні струму настільки швидко, що зміна іонізаційного стану проміжку не поспіває за зміною струму, вийде інша характеристика (рис. 4, крива b), яку називають динамічною. Динамічних характеристик можна одержати велику кількість. Ці характеристики залежать від швидкості зміни струму, швидкості збільшення іскрового проміжку, від наявності спеціальних засобів для гасіння дуги і т.п. Але усі вони при зменшенні струму лежать нижче статичної, і напруга гасіння дуги U_L динамічних характеристик має менше значення, ніж напруга загоряння дуги U_z , узятя по статичній характеристиці.

Раніше було зазначено, що різні гази мають різні дугогасні властивості. Статичні характеристики також мають різний характер у залежності від газу, для якого вони одержані. Для ілюстрації сказаного приведемо криві статичних характеристик дуги (рис.1.5).

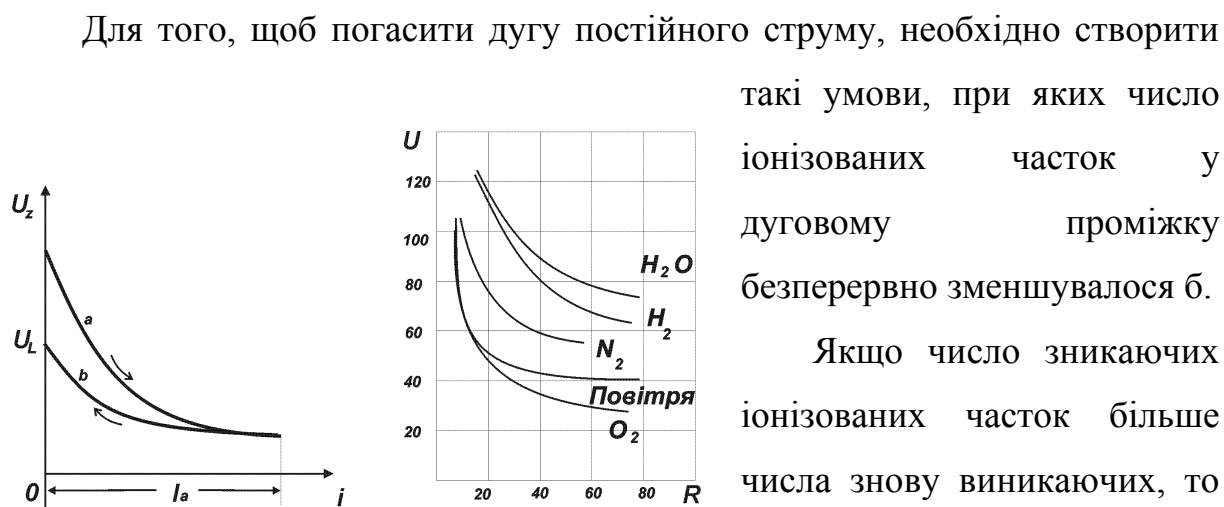


Рис. 1.4

Рис. 1.5

Якщо число зникаючих іонізованих часток більше числа знову виникаючих, то опір дуги росте. При незмінній напрузі джерела струму і постійних параметрах зовнішнього кола, струм у дузі буде спадати з ростом її опору. Якщо співвідношення між іонізацією і деіонізацією буде залишатися таким же і далі, то струм зменшиться до нуля і дуга згасне.

Дослідимо характеристики дугового проміжку і зовнішнього контуру (рис.1.6) для визначення умов горіння і гасіння дуги постійного струму. Для цього кола можна написати наступне рівняння:

$$U = L \frac{di}{dt} + ir + U_{\delta},$$

де U – напруга постійного струму, що прикладена до досліджуваного кола;

ir – спадання напруги в активному опорі зовнішнього кола при даному струмі;

U_{δ} – напруга стовбура дуги, що необхідна для горіння дуги при даному струмі;

$L \frac{di}{dt}$ – ЕРС індуктивності контуру при нестационарному режимі.

Графічне відображення цього рівняння дане на рис. 1.7.

При $U - ir = U_{\delta}$ до дуги прикладена така напруга, яка необхідна, щоб вона горіла при даному струмі.

При цьому має місце умова $L \frac{di}{dt} = 0$, струм у контурі не змінюється.

На рис. 6 зображені дві точки перетину: 1 і 2, що відповідають рівності $U - ir = U_{\delta}$. Для кожної з цих точок виконується умова $L \frac{di}{dt} = 0$, але їх характеристики щодо стійкості горіння дуги відмінні.

При $U - ir = U_{\delta}$ у контурі існує напруга більша, ніж необхідно для горіння дуги при даному струмі. При цьому $L \frac{di}{dt} > 0$, струм у контурі росте, поки не наступить рівновага $U - ir = U_{\delta}$ при новому значенні струму. Цьому положенню рівноваги відповідає точка 2 (рис. 1.7).

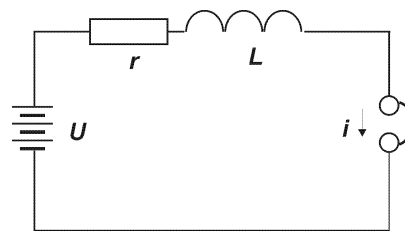


Рис. 1.6

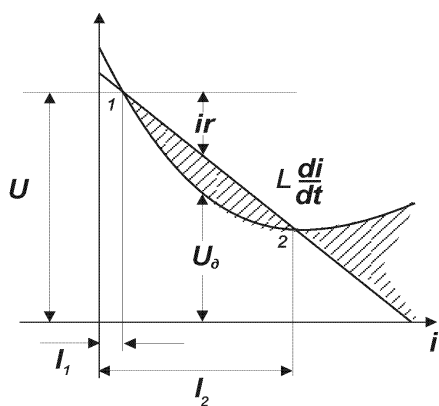


Рис. 1.7

При $U - ir < U_0$ у контурі існує напруга менша, ніж необхідно для підтримки дуги.

При цьому $L \frac{di}{dt} < 0$, струм у контурі зменшується до значення I_2 , якщо зміна струму відбувається в області точки 2, або струм зовсім зникає, якщо зменшення струму відбувається в області точки 1 (рис.1.7).

Таким чином, точку 2 можна вважати точкою стійкого горіння електричної дуги, а точку 1 – точкою нестійкого горіння.

Зі сказаного випливає, що для гасіння електричної дуги постійного струму необхідно, щоб на всьому діапазоні струмів мала місце умова

$L \frac{di}{dt} < 0$. Ця умова зводиться до того, щоб крива характеристики дуги ніде

не перетиналася з прямою $U - ir$ (рис. 1.8). Якщо пряма $U - ir$ дотикається до статичної характеристики дуги А, то умови гасіння дуги не дійсні. При

цьому існує одна точка рівноваги, в якій виконується умова $L \frac{di}{dt} = 0$, і в

залежності від додаткових умов дуга може існувати тривалий час.

Підняти криву статичної характеристики можна двома способами: збільшенням опору дуги за рахунок підсилення деіонізації дугового проміжку і збільшенням опору дуги за рахунок її подовження.

В момент гасіння дуги струм дорівнює нулю, внаслідок чого рівняння приймає вигляд:

$$U = L \frac{di}{dt} + U_0$$

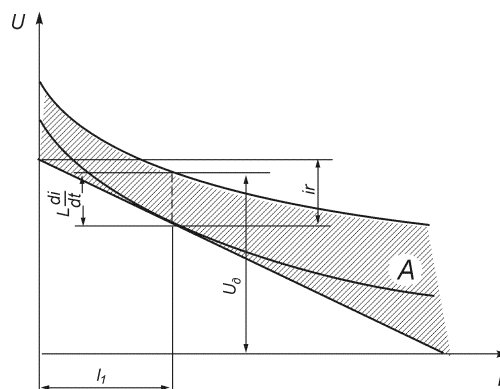


Рис. 1.8

В цьому випадку виникає перенапряга: $\Delta U = U_{\delta} - U = -L \frac{di}{dt}$.

Звідси випливає, що величина перенапряги обумовлюється швидкість падіння струму в дузі й індуктивністю кола. Чим більше індуктивність кола, тим більша за інших рівних умов перенапряга, що виникає в кінці гасіння дуги.

Перенапряги залежать також від середовища, у якому гаситься дуга. Ця обставина не дозволяє застосувати для гасіння дуги постійного струму сильно деіонізуючі засоби.

Дуга змінного струму.

Дуга змінного струму відрізняється від дуги постійного струму тим, що струм у дузі за кожний півперіод проходить через нульове значення, не залежно від ступені іонізації дугового проміжку. Вольтамперна

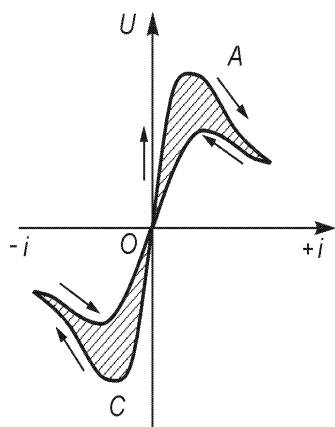


Рис. 1.9

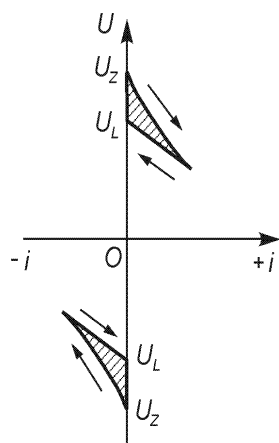


Рис. 1.10

характеристика дуги змінного струму, знята за один період, показана на рис.1.9.

Точки А і С вольтамперної характеристики (рис. 1.9) лежать дуже близько до ординати, і з деяким допущенням цю характеристику можна зобразити так, як показано на

рис. 1.10.

Заштрихована площа на рис. 1.9 і 1.10 пропорційна втратам у дузі за півперіод. U_Z відповідає напрузі запалювання дуги, а U_L – напрузі гасіння. Природно, що напруга дуги не змінюється миттєво з деякого позитивного

значення до негативного, як це показано на рис. 1.10, тому рис. 1.9 дає більш правильну картину зміни цієї напруги.

Покажемо, як змінюється струм і напруга дуги за один період у залежності від часу (рис. 1.11).

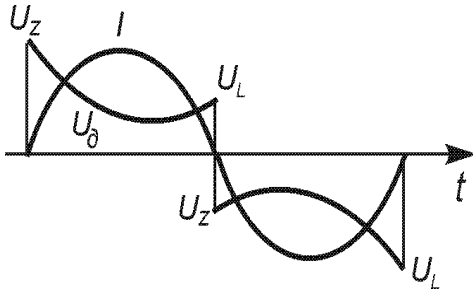


Рис. 1.11

Відповідно до викладеного вище, напруга дуги падає при збільшенні струму, і навпаки, при зменшенні струму напруга дуги росте. При цих умовах напруга дуги від чверті періоду трохи падає, а потім до проходження струму через нульове значення збільшується.

Після цього знак напруги дуги змінюється і процес повторюється. При цьому спостерігається збільшення значення напруги загоряння, ніж значення напруги гасіння дуги.

Умови гасіння електричної дуги змінного струму ті ж, що і для постійного струму. При цьому також необхідно, щоб умови деіонізації іскрового проміжку домінували над умовами іонізації.

Принципово дугу змінного струму можна погасити в різні моменти часу: при переході струму через нульове значення й у другий момент напівперіоду. В другому випадку, щоб погасити дугу необхідно створити сильно деіонізуюче середовище, яке здатне знизити струм до нуля ще до кінця напівперіоду. Це зв'язано з великими перенапругами в момент гасіння дуги, так як у цьому випадку процес гасіння дуги змінного струму нічим не відрізняється від гасіння дуги постійного струму.

Практично гасіння дуги протягом часу меншого напівперіоду спостерігається дуже рідко. Зазвичай дуга гасне при проходженні струму через нульове значення, коли підвід енергії до дуги припиняється, температура її при цьому різко падає. Тому даний момент є найбільш сприятливим щодо гасіння дуги. Внаслідок спадання температури і

посилення процесів деіонізації з моменту проходження струму через нульове значення сильно спадає ступінь іонізації дугового проміжку й опір між контактами росте. Одночасно в дуговому проміжку починає рости напруга, що прагне знову відновити дугу. Ріст напруги іскрового проміжку після проходження струму через нульове значення називається процесом відновлення напруги.

Таким чином, у момент проходження струму через нульове значення починається посилене відновлення електричної міцності іскрового проміжку внаслідок різкого зниження його іонізації. Одночасно з цим починається процес відновлення напруги в іскровому проміжку, що є іонізуючим чинником.

Якщо швидкість відновлення електричної міцності більше швидкості відновлення напруги іскрового проміжку, то дуга, що погасла після проходження струму через нульове значення, більше не відновиться. Навпаки, якщо швидкість відновлення електричної міцності менша швидкості відновлення напруги іскрового проміжку, дуга відновлюється і горить до наступного проходження струму через нульове значення.

Співвідношення швидкості відновлення електричної міцності іскрового проміжку і швидкості відновлення напруги залежить від багатьох факторів. На це співвідношення впливають параметри елементів електричного кола, особливості конструкції вимикального апарата, режим роботи системи тощо. Але одним з головних факторів варто вважати конструкцію вимикального апарата, його швидкісні характеристики й особливості конструкції, що дозволяють швидко гасити утворену електричну дугу.

Процес вимкнення вимикача.

Розмикання контактів вимикача не приводить до негайного переривання струму, тому що розрив, що утворився, перекривається дугою, опір якої малий. В міру наближення сили струму до нуля температура іонізації і провідність дугового проміжку швидко зменшуються й у якийсь момент часу, що близький до моменту природного досягнення нуля струмом, дуга гаситься (рис. 1.12,а)

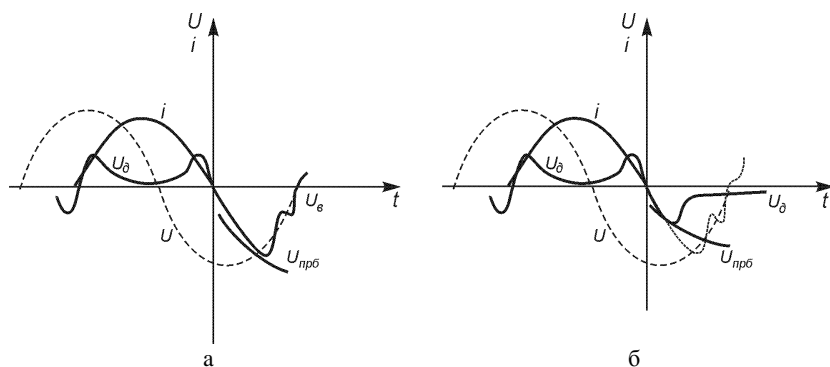


Рис. 1.12. Гасіння (а) і запалювання (б) дуги

У цей момент проміжок між контактами, які розходяться до деякої міри ще іонізований, що визначається

відставанням теплових процесів від зміни струму. Після гасіння дуги процес перетворення дугового проміжку з провідника в діелектрик відбувається досить швидко, але не миттєво. У цей же період часу відновлюється напруга на контактах вимикача. Поки горить дуга, напруга на розриві U_d відносно мала. У момент гасіння дуги воно змінює знак і відновлюється до напруги мережі, що близька до амплітудної. Якщо відновлювальна електрична міцність проміжку (напруга, яка необхідна для пробію проміжку) $U_{прб}$ перевищує відновлювальну напругу, $U_в$, дуга не виникає (рис. 1.12,а). У протилежному випадку відбувається запалювання дуги (рис. 1.12,б). Через половину періоду процес повторюється, але за цей час контакти розійдуться на більшу відстань, що сприяє гасінню дуги. Зазвичай дуга у вимикачі горить 1-3 півперіоду.

Для успішного вимкнення кола необхідно, щоб $U_{прб}$ (ізоляційна властивість проміжку) збільшувалася швидше ніж напруга, що прикладена

до контактів. Для цієї мети вимикачі постачають гасильними пристроями, які забезпечують ефективну деіонізацію дугового стовпа.

Способи гасіння дуги в апаратах напругою до 1000 В.

1. Подовження дуги швидким розведенням контактів до моменту, коли напруга джерела не в змозі підтримати дугу на такій відстані.

2. Поділ дуги на ділянки за допомогою струмопровідних пластин (рис. 1.13). У цьому випадку напруга дуги U_d буде складатися з n ділянок з анодним U_a і катодним U_k падіннями напруги і падінням напруги в стовпі дуги $U_{ст}$:

$$U_d = \sum_m (U_a + U_k + U_{cm}).$$

Коли падіння напруги в дузі буде менше напруги джерела, дуга гасне. Ефективність такого способу гасіння дуги полягає в тому, що сума катодного й анодного падінь напруги значно більша падіння напруги в стовпі нерозділеної дуги.

Для дуги постійного струму сума катодного і анодного падіння напруги складає:

$$U_k + U_a \approx 20...25 \text{ В.}$$

Дугу змінного струму також можна розділити на ділянки. У момент проходження струму через нуль білякатодовий простір набуває електричної міцності 150...250 В.

3. Дуга у вузьких щілинах з дугостійких ізоляційних матеріалів (рис. 1.14) гаситься інтенсивним охолодженням і деіонізацією стовпа дуги, що стикається з матеріалом щілини.

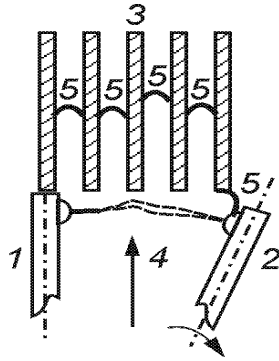


Рис. 1.13.

Поділ дуги: 1, 2 – контакти вимикача; 3 – дугогасячі струмопровідні пластини; 4 – вихідна дуга в момент розмикання мережі; 5 – дуга у момент її гасіння в кінцевій фазі вимкнення.

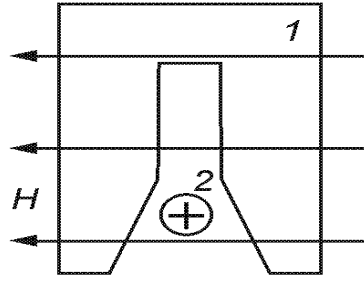


Рис.1.14.

Гасіння дуги у вузьких щілинах: 1 – дугогасяча пластина; 2 – дуга, у якій струм протікає перпендикулярно до малюнка в напрямку "від нас"; H – напруженість магнітного поля.

4. Рух дуги в магнітному полі. Якщо дугу помістити в магнітне поле, спрямоване перпендикулярно до її осі, дуга почне переміщатися, тому що вона являє собою провідник зі струмом. У радіальному магнітному полі

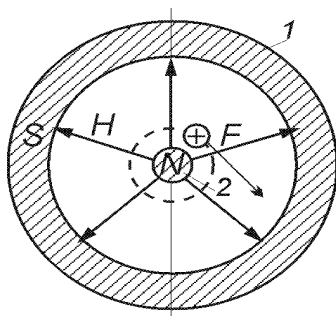


Рис.1.15

Обертання дуги:
1, 2 полюса магніту (N і S);
 F – сила, що діє на дугу

(рис. 15) дуга буде обертатися і переміщуватися, що сприяє її інтенсивному охолодженню і деіонізації.

Магнітне поле може бути створено постійними магнітами, спеціальними котушками чи самим контуром протікання струму, що вимикається. Способи гасіння дуги у вузьких щілинах і рух у магнітному полі використовуються також в апаратах напругою вище 1000 В.

Основні способи гасіння дуги в апаратах напругою вище 1000 В.

1. Гасіння дуги в маслі. Горіння дуги в маслі приводить до його інтенсивного газоутворення і випару. Навколо дуги утворюється газовий пузир (рис. 1.16), що складається в основному з водню (70... ..80%). Швидке розкладання масла приводить до підвищення тиску в пазирі, що

сприяє кращому охолодженню і деіонізації дуги, тому що водень має високі дугогасячі властивості, а в газовому міхурі газ невинно рухається.

2. Газоповітряне дуття. Використовується принцип спрямованого руху газів як уздовж (рис.1.17, а), так і поперек дуги (рис. 1.17,б), що сприяє проникненню газових частинок у стовбур дуги, інтенсивній дифузії й охолодженню дуги.

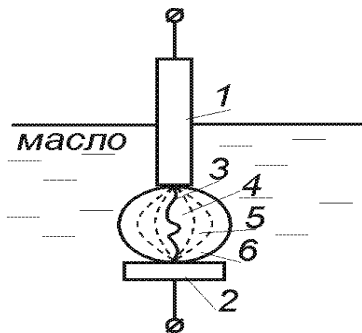


Рис. 1.16.

Гасіння дуги в маслі: 1 – рухливий контакт; 2 - нерухомий контакт; 3 - стовбур дуги; 4 – воднева оболонка; 5 - зона газу; 6 - зона парів масла.

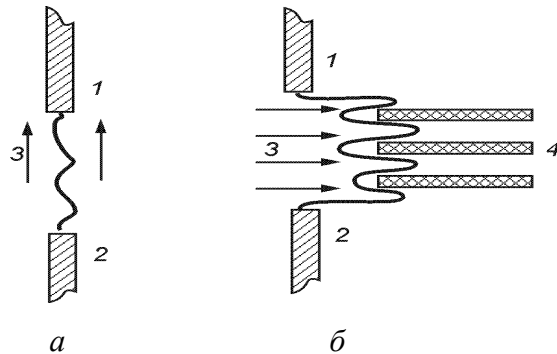


Рис.1.17.

Газоповітряне дуття за принципом направленного руху газів: уздовж (а) і поперек (б) дуги: 1, 2 - контакти вимикача; 3 – направлений рух газу; 4 - ізоляційні дугостійкі пластини

Джерела газового дуття:

- продукти розкладання масла дугою (масляні вимикачі);
- продукти розкладання твердих газогенеруючих матеріалів (автогазове дуття);
- спеціальні балони зі стиснутим холодним неіонізованим повітрям (повітряні вимикачі), або елегазом (елегазові вимикачі).

3. Багаторазовий розрив кола струму. Вимкнення великих струмів на високих напругах зв'язано з проблемою великих енергій, підведених з мережі, що ускладнює процес деіонізації дугового проміжку. Використання багаторазових розривів кола на фазу дозволяє зменшити потужність дуги, яка гаситься, оскільки напруга, що прикладається до дугового проміжку буде менше номінальної. Число розривів залежить від

конструкції вимикачів і напруги, на якій він використовується. Для прикладу можна сказати, що у вимикачах напругою 500...750 кВ може бути більше 12 розривів на фазу. Для полегшення гасіння дуги напругу мережі необхідно рівномірно розподілити між розривами. З цією метою використовуються ємнісні (рис. 1.18, а) і активні (1.18, б) дільники напруги. У вимикачах з активним дільником напруги (із шунтованими опорами) необхідно створити розрив кола, який реалізується допоміжними контактами (ДК). Струм вимкнення ДК обмежений шунтувальними опорами.

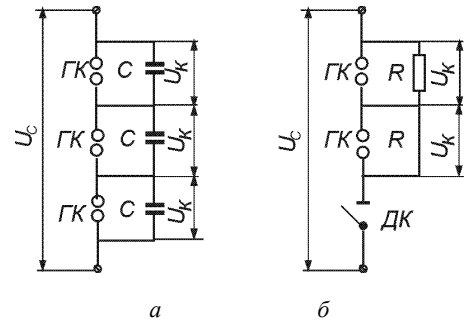


Рис. 1.18.

Дільники напруги: а – ємнісні; б – активні: *ГК* – головні контакти вимикача; *C* – ємність; *R* – активний опір; U_M – напруга мережі; $U_{Г.К}$ – напруга, що прикладена до головних контактів вимикача.

Розглянемо масляний вимикач при однофазному короткому замиканні. Напруга, що прикладається до розривів кола, не однакова і залежить від ємності контактної системи відносно землі (рис. 1.19).

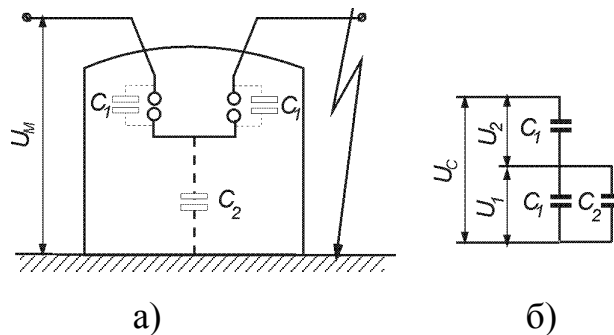


Рис. 1.19.

Масляний вимикач: а) – конструктивні особливості; б) - схема заміщення: C_1 – ємність розривів; C_2 - ємність контактної системи відносно землі; U_M - напруга мережі; U_1 - напруга, що прикладається до правого контакту вимикача; U_2 – напруга, що прикладається до лівого контакту вимикача.

Напруга між контактами розподіляється так:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1},$$

а так як $C_2 > C_1$, то $U_1 > U_2$, і гасильні пристрої будуть працювати в неоднакових умовах.

4. Гасіння дуги в вакуумі.

Описані вище процеси відбувалися в електричній дузі, що горить в середовищі газу, який знаходиться під високим тиском.

Високорозріджений газ $10^{-6} \dots 10^{-8}$ Н/см² також має велику електричну міцність, яка у багато разів більша, ніж у повітря при атмосферному тиску. Внаслідок глибокого вакууму досягається швидка дифузія заряджених часток у навколишній простір, що дозволяє відновлювати міцність дугового проміжку відразу ж після проходження струму через нуль і уникати повторного загоряння дуги.

5. Гасіння дуги в елегазі. Шестифториста сірка SF₆ (елегаз) має велику електричну міцність у порівнянні з повітрям і воднем. Крім того, вона має високі дугогасильні властивості навіть при атмосферному тиску. Процес горіння і гасіння дуги в елегазі аналогічний тому, що вже був розглянутий раніше для газів з великим тиском.

На рис.1.20 наведено залежність електричної міцності дугового проміжку від тиску середовища.

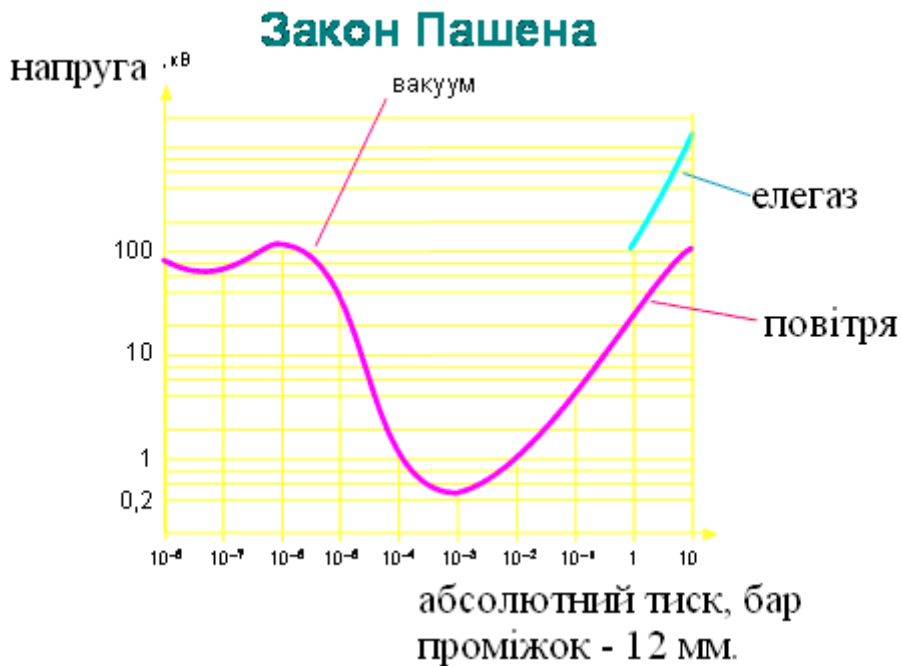


Рис.1.20

Порядок виконання роботи.

1. Вивчивши попередньо теоретичне обґрунтування принципів горіння електричної дуги й конструкцію лабораторної установки, зібрати схему (рис.1.21) і підключити до неї осцилограф. Дуговий проміжок установити максимальним.

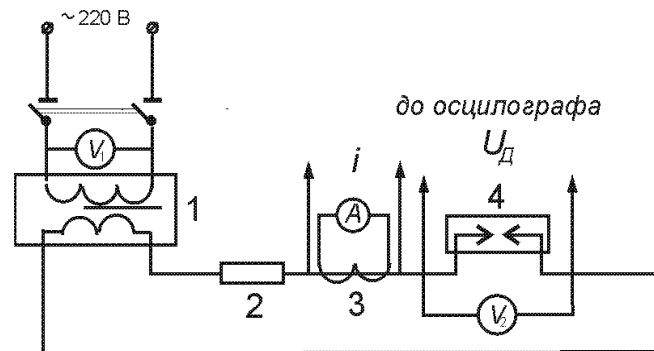


Рис. 1.21. Схема дослідження електричної дуги: 1 - зварювальний трансформатор; 2 - регулювальний реостат; 3 - трансформатор струму ($I_n = 200 \text{ A}$); 4 - пристрій з регульованим дуговим проміжком.

2. Після перевірки схеми викладач подає напругу на схему і запалює дугу, змінюючи дуговий проміжок.

3. Перемалювати на кальку осцилограми струму і напруги дугового проміжку, попередньо записавши покази вольтметра V_2 і амперметра А.

4. Записати показання приладів, змінюючи дуговий проміжок від мінімального (загоряння дуги) до максимального (гасіння дуги). Описати характер змінювання процесу горіння дуги, відображеного осцилографом.

Питання для самоконтролю

1. Причини виникнення електричної дуги (електричного розряду).
2. Назвіть форми виникнення електричного кола. При яких умовах виникає та чи інша форма?
3. На які складові поділяється напруга дуги?
4. Які умови стійкого горіння дуги?

5. Охарактеризуйте фізичні процеси, що протікають в діелектрику під час горіння в ньому електричної дуги.
6. Назвіть умову гасіння дуги постійного струму. Перелічіть методи її досягнення.
7. Охарактеризуйте процеси, що виникають при згасінні дуги (відновлювання напруга)
8. В чому особливості горіння і гасіння дуги змінного струму.
9. Процеси, що здійснюються при проходженні струму електричної дуги через «0».
10. Яку умову повинен забезпечити вимикач для успішного вимкнення кола?
11. Перелічіть і охарактеризуйте способи гасіння дуги в вимикачах. Яким чином в кожному з них досягається умова гасіння дуги?
12. Чим відрізняються поняття напруга дуги і напруга дугового проміжку?
13. Як на процес гасіння дуги впливає струм в дузі?
14. Як на процес гасіння дуги впливає напруга мережі?
15. Як на процес гасіння дуги впливає $\cos\varphi$?
16. Як впливає опір Z (рис. 1.21) на процес горіння і гасіння дуги подовженням?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

АПАРАТИ НА НАПРУГУ ДО 1000 В

Такі апарати по призначенню поділяються на дві групи:

- розподілу;
- управління.

Функції апаратів розподілу електричної енергії на напругу до 1000 В:

- неавтоматичне увімкнення і вимкнення електричних кіл для подачі або зняття живлення електроенергією ділянки мережі;

- автоматичне вимкнення ділянки кола при появі ненормальних режимів, що загрожують безпеці обслуговуючого персоналу або збереженню устаткування (наприклад, при короткому замиканні). Іноді апарати здійснюють автоматичне введення резерву (АВР) чи автоматичне повторне увімкнення (АПВ) після аварійного вимкнення.

Розрізняють три групи апаратів розподілу енергії:

- неавтоматичні вимикачі та рубильники;
- автоматичні вимикачі (скорочено автомати);
- плавкі запобіжники (скорочено запобіжники).

Перераховані апарати іноді встановлюють разом з апаратурою управління в пристроях для управління електроприводом.

Автомати служать як для неавтоматичних комутацій, так і для автоматичного вимкнення при різних ненормальних режимах (надструмі, перенапрузі, зникненні напруги, зворотному струмі і т.д.), тобто виконують обидві функції.

Неавтоматичні вимикачі виконують тільки першу функцію: неавтоматичне увімкнення і вимкнення кіл.

Запобіжники частково виконують другу функцію: тільки відключають коло і тільки при одному виді ненормального режиму – при надструмі. Їхня особливість – плавлення металу при великих струмах, що веде до розриву кола струму.

Всі апарати розрізняються за родом струму (частоті), номінальній напрузі, номінальному струму і струму що комутується та числу фаз, що комутуються.

Неавтоматичні вимикачі

Неавтоматичні вимикачі призначені для проведення неавтоматичних комутацій електричного кола в нормальних режимах при струмах, що не перевищують номінального струму вимикача. До них відносяться неавтоматичні вимикачі, пакетні вимикачі і перемикачі та рубильники.

У розподільчих пристроях до 1кВ і в слабкострумівих колах автоматики широке застосування знайшли пакетні перемикачі і вимикачі, що замінили стару конструкцію рубильників. На рис. 2.1 показаний пакетний кулачковий вимикач. На підставці вимикача укріплені два пакети I, II, усередині яких розташовані по три полюса контактної системи.

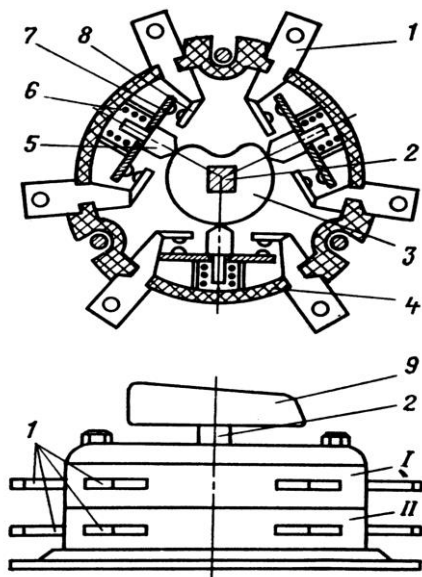


Рис.2.1

При повороті рукоятки 9 повертається вал 2 і кулачок 3. Якщо шток 5 попадає у виїмку кулачка, то контакти 7, 8 замикаються під дією пружини 6. Якщо шток 5 попадає на виступ кулачка, то контакти розмикаються. Виникаюча дуга гаситься в закритому об'ємі герметизованного корпусу 4. Зовнішня мережа підключається до вихідних виводів I.

Пакетні вимикачі і перемикачі серій В і ПМ випускаються одно-, дво- і триполюсні та

розраховані на номінальні струми 20-400 А постійного струму, напругою 220 В та 63-250 А змінного струму, напругою 380 В. Найбільша частота спрацювання – 300 раз за годину .

Пакетні перемикачі мають малі габаритні розміри, зручні в монтажі; при переключенні унеможливується викид полум'я і газів. Такими перемикачами дозволяється відключати номінальні струми.

Вони не забезпечують видимого розриву кола, тому в деяких колах встановлюють рубильники.

Рубильники

Рубильники призначені для комутації окремих знеструмлених частин електричного кола, зняття з них напруги та для утворення видимого проміжка в електричному колі.

Останні, по конструкції, розрізняються на одно-, дво- і триполюсні рубильники.

На рис. 2.2. показаний рубильник з підйомним приводом. Рухливий контакт-ніж 3 обертається в шарнірній стійці 4, створюючи розриви з нерухомим контактом 1. Дугогасильна камера 2 забезпечує гасіння дуги. Ножі всіх полюсів об'єднані ізоляційним валиком, рух якому передається тягою. 5. Рукоятка монтується на передній стороні шафи, а контактна частина – усередині шафи; отже, операції з рубильником безпечні для персоналу. Таким рубильником можна відключати номінальний струм в установках 380 В й 50% номінального струму в установках 500 В.

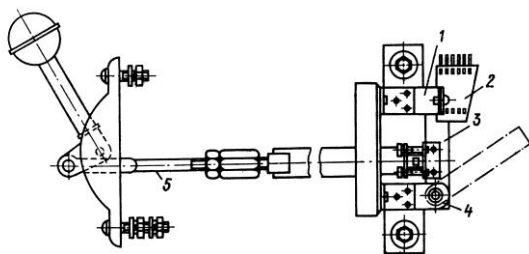


Рис. 2.2. Рубильник з підйомним приводом

Найважливіша частина рубильника - контакти. Звичайно застосовуються лінійні контакти рублячого типу, контакт в них забезпечується спеціальними

сталевими пружинами.

Гасіння дуги постійного струму (до 75 А) відбувається за рахунок її механічного розтягування. При великих струмах гасіння дуги здійснюється за рахунок її переміщення електродинамічними силами взаємодії, причому чим коротше ніж, тим більше сили взаємодії між дугою і деталями рубильника, що підвищує відключаючу здатність рубильника.

Гасіння дуги змінного струму здійснюється за рахунок біякатодової електричної міцності (150-250 В), що спостерігається при переході струму через нуль. Довжину ножа в рубильниках змінного струму вибирають по механічних умовах.

Застосування дугогасильних камер забезпечує гасіння дуги при вимкненні номінальних струмів рубильниками постійного 220 В й змінного 380 В струмів. При напругах 440 і 500 В струми, що відключаються, складають $0,5 I_{ном}$. Дугогасильні камери запобігають викиду іонізованих газів, перекриттю електричної дуги між фазами або на корпус.

Рубильники без гасіння дуги випускаються на струми до 5000А, але не призначені для вимкнення струму навантаження.

Запобіжники

Запобіжник - це комутаційний електричний апарат, призначений для вимкнення кола руйнуванням, спеціально передбачених для цього, його струмоведучих частин під дією струму, що перевищує визначене значення.

У більшості запобіжників коло вимикається за рахунок розплавлювання плавкої вставки, яка нагрівається струмом кола. Після вимкнення кола необхідно замінити перегорілу вставку на справну.

Запобіжник включається послідовно в коло, який захищається, а для створення видимого розриву використовується неавтоматичний вимикач (рубильник).

Основні елементи запобіжника - корпус, плавка вставка (плавкий елемент), контактна частина, дугогасильний пристрій і дугогасильне середовище.

Запобіжники виготовляють для змінного струму на напруги 35 В, 220 В, 380 В, 660 В і для постійного струму напругою 24 В, 110 В, 220 В, 440 В.

Запобіжники характеризуються номінальним струмом плавкої вставки, тобто струмом, на який розрахована плавка вставка для тривалої роботи. У той самий корпус запобіжника можуть бути вставлені плавкі вставки на різні номінальні струми, тому сам запобіжник характеризується номінальним струмом запобіжника.

Запобіжники напругою до 1 кВ виготовляють на номінальні струми до 1000 А.

У нормальному режимі теплота, утворена струмом навантаження в плавкій вставці, передається в навколишнє середовище і температура всіх частин запобіжника не перевищує допустимого. При перевантаженнях або коротких замиканнях температура вставки збільшується і вона розплавляється. Чим більше протікає струм, тим менше час плавлення. Ця залежність називається захисною (ампер-секундною) характеристикою запобіжника (рис.2.3).

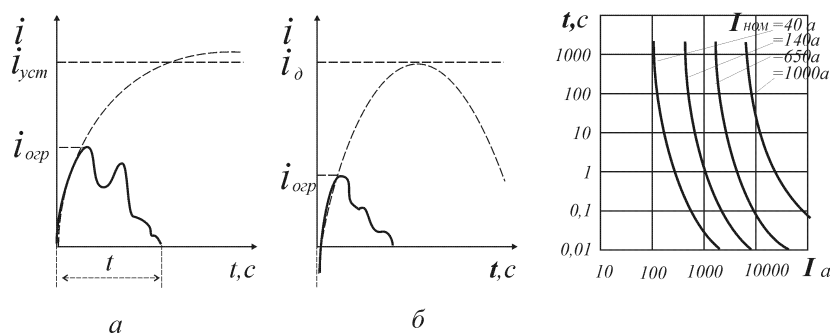


Рис. 2.3. Захисні характеристики запобіжників: а - при постійному струмі; б - при змінному струмі

Щоб зменшити час спрацювання запобіжника, застосовують плавкі вставки з матеріалів спеціальної форми, а також використовують металургійний ефект.

Найбільш розповсюджені матеріали плавких вставок - мідь, цинк, алюміній, свинець і срібло.

Цинк і свинець мають низьку температуру плавлення (419 і 325 °С), що забезпечує невелике нагрівання плавких вставок для їх розплавлення. Цинк стійок до корозії, тому перетин плавної вставки не змінюється за час експлуатації і захисна характеристика залишається незмінною. Цинк і свинець мають великі питомі опори, тому плавкі вставки з них виготовляються великого перетину. Такі плавкі вставки звичайно застосовуються в запобіжниках без наповнень. Запобіжники з вставками з цинку і свинцю мають великі витримки часу спрацювання при перевантаженнях.

Мідні вставки піддаються окислюванню; їхній перетин згодом зменшується, і захисна характеристика запобіжника змінюється. Для зменшення окислювання звичайно застосовують луджені мідні вставки. Температура плавлення 1080 °С, тому при струмах, близьких до мінімального струму плавлення, температура всіх елементів запобіжника значно зростає.

Срібні вставки не окислюються, і їхні характеристики найбільш стабільні.

Алюмінієві вставки застосовуються в запобіжниках у зв'язку з дефіцитом кольорових металів. Високий опір окисних плівок на алюмінії ускладнює здійснення надійного рознімного контакту.

Для прискорення плавлення вставок з міді і срібла використовується металургійний ефект - явище розчинення тугоплавких металів у розплавлених менш тугоплавких. Якщо, наприклад, на мідний дріт

діаметром 0,25 мм напаяти кульку з олов'яно-свинцевого сплаву з температурою плавлення 182°C , то при температурі дроту 650°C вона розплавиться протягом 4хв, а при 350°C - протягом 40 хв.

Той же дріт без розчинника плавиться при температурі не менш 1000°C . Звичайно для створення металургійного ефекту на мідних і срібних вставках застосовують чисте олово з більш стабільними властивостями. У нормальному режимі роботи кулька практично не впливає на температуру вставки.

Прискорення плавлення вставки досягається також застосуванням плавкої вставки спеціальної форми (рис. 2.4). При струмах короткого замикання вузькі ділянки нагріваються настільки швидко, що відвід теплоти майже не відбувається. Вставка перегоряє одночасно в декількох звужених місцях (перетин В-В) перш ніж струм короткого замикання досягне свого сталого значення у колі постійного струму або ударного струму у колі змінного струму (див. рис. 2.3). Струм короткого замикання при цьому обмежується до значень $I_{\text{обмеж}}$ (у 2-5 разів менш $I_{\text{устал}}$). Таке явище називається струмообмежуючою дією запобіжника. Електродинамічні сили у колі, захищеному таким запобіжником, настільки зменшуються, що в деяких випадках струмоведучі частини й апарати не вимагають перевірки на електродинамічну стійкість.

Гасіння електричної дуги, що виникає після перегорання плавкої вставки, повинне здійснюватися в можливо короткий час. Час гасіння дуги залежить від конструкції запобіжника. Найбільший струм, що плавкий запобіжник може відключити без яких-небудь ушкоджень чи деформацій, називається граничним струмом вимкнення.

Запобіжники знайшли широке застосування в промислових електроустановках, на електростанціях, підстанціях, у побуті і мають різну

конструкцію. Розглянемо конструкцію запобіжників, найбільше широко застосовуваних в електричних установках.

Запобіжники з закритими розбірними патронами без наповнення типу ПР-2 (див. рис. 2.4) виготовляються на 220 і 500 В, номінальні струми 100...1000 А, струми, що відключаються при струмах вимикання 6...20кА. ($\cos(0,4)$)

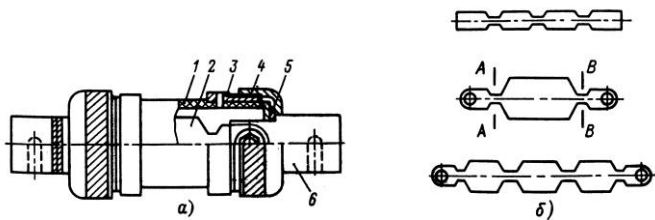


Рис. 2.4. Запобіжник типу ПР-2: а - патрон на номінальні струми 100...1000 А; б - форми плавких уставок

Патрон запобіжника ПР-2 (див. рис. 2.4) на струми 100 А й вище складається з товстостінної трубки (фібрової) 1, на яку щільно насаджені латунні втулки 3, що запобігають розриву трубки. На втулку нагвинчуються ковпачки 4, що закріплюють плавку вставку 2, пригвинчену до ножів 6, до установки її в патрон. Для запобігання повороту ножів передбачена шайба 5, що має паз для ножів. Патрон вставляється в нерухомі контактні стійки, укріплені на ізоляційній плиті.

Запобіжники насипні типу ПН-2 широко застосовуються для захисту силових кіл напругою до 500В змінного і 440В постійного струмів і виготовляються на номінальні струми 100...600 А. Порцелянова, квадратна зовні і кругла усередині, трубка має чотири різьбових отвори для гвинтів, за допомогою яких кріпиться кришка з ущільнювальною прокладкою. Плавка вставка приварена точковим зварюванням до шайб контактних ножів. Кришки з азбестовими прокладками герметично закривають трубку. Трубка заповнена сухим кварцовим піском. Плавка вставка виконана з однієї чи декількох мідних стрічок товщиною 0,15...0,35 мм і шириною до 4 мм. На вставці зроблені насічки, що зменшують перетин вставки в 2

рази. Для зниження температури плавлення вставки використовується металургійний ефект - на стрічки міді напаяні кульки олова . Температура плавлення в цьому випадку не перевищує 475 °С. Дуга виникає в декількох рівнобіжних каналах (відповідно до числа вставок); це забезпечує найменшу кількість пару металу в каналі між зернами кварцу і найкращі умови гасіння дуги у вузькій щілині. Насипні запобіжники так само, як запобіжники ПР, мають струмообмежуючу властивість.

Для зменшення виникаючих перенапруг плавка вставка має по довжині насічки, причому їхня кількість залежить від номінальної напруги запобіжника (з розрахунку 100...150 В на ділянку між насічками). Тому що вставка згоряє у вузьких місцях, то довга дуга виявляється розділеною на ряд коротких дуг, сумарна напруга на якій не перевищує суми катодних і анодних спадань напруги.

Автоматичні вимикачі

Автоматичний вимикач призначений для автоматичних вимикань кіл при аварійних режимах, а також нечастих неавтоматичних оперативних комутацій (від 6 до 30 у добу) електричних кіл.

Автоматичні вимикачі виготовляють одно-, дво-, три- і чотиріполюсні; на номінальні струми 6,3...6300А; для кіл напругою змінного струму до 1000В і постійного струму – до 440В.

Автоматичні вимикачі мають встроєні реле прямої дії, що забезпечують вимкнення при перевантаженнях, коротких замиканнях та зниженні напруги. Вимкнення може відбуватися без витримки часу чи з витримкою часу. За власним часом вимкнення $t_{\text{відк.}}$ (проміжок часу від моменту, коли контрольований параметр перевершив установлене для нього значення, до початку розходження контактів) розрізняють вимикачі: - нормальні ($t_{\text{відк.}}=0,02-1\text{с}$), - з витримкою часу, - селективні і - швидкодіючі ($t_{\text{відк.}} < 0,005\text{ с}$).

Нормальні і селективні автоматичні вимикачі струмообмеженою дією не володіють. Швидкодіючі вимикачі, так само, як запобіжники, мають струмообмежуючу дію, оскільки відключають коло до того як струм КЗ досягне значення $I_{уд}$.

Селективні автоматичні вимикачі дозволяють здійснити селективний захист мереж установкою автоматичних вимикачів з різними витримками часу.

Автоматичні вимикачі виготовляють з ручним і двигунним приводом, у стаціонарному або у висувному виконанні.

Автоматичні вимикачі з дистанційним керуванням (АВМ) розраховані на комутацію максимальних струмів, що вмикаються або вимикаються у циклі АПВ операцій «Відкл.-УВ.-Відкл.-П- УВ.-Відкл.» при номінальній напрузі. Тут Відкл - вимкнення, П - пауза (< 180 с), УВ - увімкнення, вимкнення.

Основні елементи автоматичного вимикача і їхню взаємодію розглянемо на принциповій схемі (рис. 2.5).

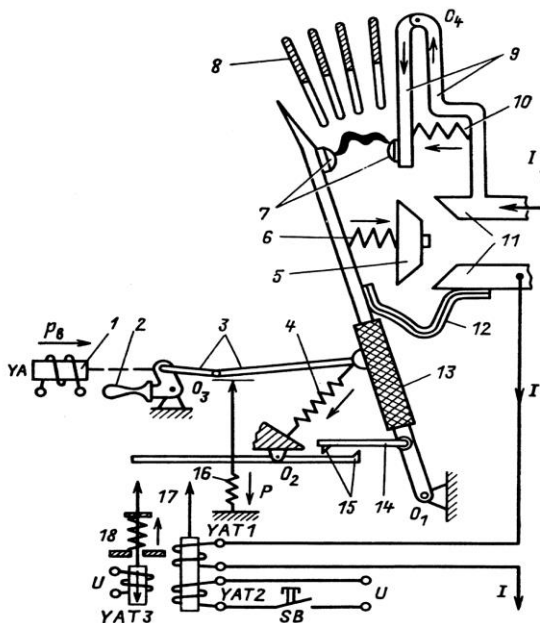


Рис. 2.5. Принципова схема автоматичного вимикача

Контактна система вимикачів на великі струми двоступінчаста, складається з головних 11, 5 і дугогасильних контактів 7. Головні контакти повинні мати малий перехідний опір, тому що по них проходить основний струм. Звичайно це масивні мідні контакти зі срібними накладками на нерухомих контактах і

металокерамічних накладках на рухливих контактах. Дугогасні контакти замикають і розмикають коло, тому вони повинні бути стійкі до дуги, яка виникає, їхня поверхня металокерамічна.

При номінальних струмах 630 А контактна система одноступінчата, тобто одні і тіж контакти виконують роль головних і дугогасних.

На рис. 2.5 вимикач показаний у вимкнутому положенні. Для його увімкнення обертають рукоятку 2 чи подають напругу на електромагнітний привод 1. Виникаюче зусилля переміщує важелі 3 вправо, при цьому повертається деталь 13, замикаються спочатку дугогасні контакти 7 і створюється коло струму через ці контакти і гнучкий зв'язок 12, а потім через головні контакти 5-11. Після завершення операції вимикач утримується у увімкнутому положенні засувкою 14 із зубцями 15 і пружиною 16.

Відключають вимикач рукояткою 2, приводом 1 чи автоматично при спрацьовуванні розчіплювача.

Розчеплювач 17 спрацьовує при протіканні по його обмотці УАТ1 струму короткого замикання. Створюється зусилля, що переборює натяг Р пружини 16, важелі 3 переходять нагору за мертву точку, у результаті чого автоматичний вимикач відключається під дією пружини, що відключає, 4. Цей же розчеплювач виконує функції незалежного розчеплення. Якщо на нижню обмотку УАТ2 подати напругу кнопкою SB, вона спрацює і здійснить дистанційне вимкнення.

При зниженні чи зникненні напруги спрацьовує розчеплювач 18 і також відключається автоматичний вимикач.

При вимкненні спочатку розмикаються головні контакти і весь струм переходить на дугогасильні контакти. На головних контактах дуга не утвориться.

Дугогасильні контакти 7 розмикаються, коли головні знаходяться на достатній відстані друг від друга. Між дугогасильними контактами утвориться дуга, що видувається нагору в дугогасильну камеру 8, де і гаситься.

Дугогасильні камери виконують зі сталевими пластинами (ефект розподілу довгої дуги на короткі) і лабіринтовими - щілинами (ефект гасіння дуги у вузькій щілині). Дуга втягується в камеру магнітним дуттям. Матеріал камери повинний володіти високою дугостійкістю.

При протіканні струму короткого замикання через увімкнений автоматичний вимикач між контактами виникають значні електродинамічні сили, що перевищують сили контактних пружин 6 і 10, що можуть відірвати один контакт від іншого, а дуга, що утворилася, може зварити їх. Щоб уникнути мимовільного вимкнення, застосовують електродинамічні компенсатори у виді шинок 9, вигнутих петлею. Струми в шинках 9 мають різний напрямок, що створює електродинамічну силу, що збільшує притиснення контактів друг до друга.

Важелі 3 виконують роль механізму вільного розчіплювання, що забезпечує вимкнення автоматичного вимикача в будь-який момент часу, у тому числі при необхідності й у процесі увімкнення. Якщо вимикач включається на існуюче коротке замикання, то розчеплювач 16 спрацьовує і переводить важелі 3 нагору за мертвою точкою, порушуючи зв'язок привода 1 (чи 2) з рухливою системою автоматичного вимикача, що відключається пружиною 4 незважаючи на те, що приводом буде передаватися зусилля на увімкнення. У реальних автоматичних вимикачах механізм вільного розчіплювання має більш складний пристрій

Захисна характеристика автоматичного вимикача показана на рис. 2.6. Максимальний розчеплювач електромагнітного типу має зворотно залежну від струму витримку часу при перевантаженнях (ділянка *ab*) і незалежну витримку часу при струмах короткого замикання (*cd*). Уставка по струму

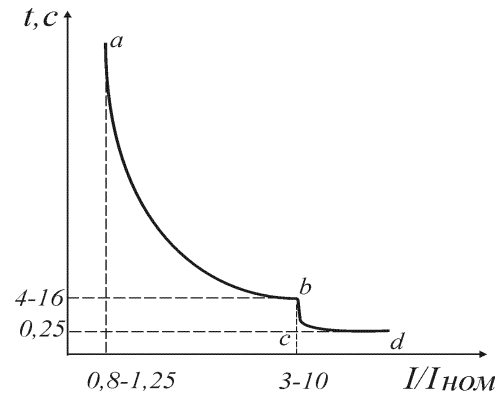


Рис. 2.6. Характеристика автоматичного вимикача

регулюється у зонах перевантаження (залежна характеристика) і короткого замикання (струмова відсічка). Час спрацювання регулюється при $I_{\text{спац}} = 3 \dots 10 I_{\text{ном}}$ і при струмі короткого замикання. В автоматичних вимикачах з електромагнітними розчеплювачами витримка часу в незалежній від струму частини характеристики досягається за рахунок годинного анкерного механізму, у залежної – від сили притягання якоря електромагніта до сердечника.

Автоматичні вимикачі з біметалічними розчеплювачами забезпечують зворотно-залежну характеристику при перевантаженнях. Для захисту від короткого замикання в таких вимикачах використовуються електромагнітні расчеплювачи миттєвої дії.

На електростанціях, підстанціях, промислових підприємствах і в побуті застосовуються автоматичні вимикачі різних конструкцій. Далі розглянуті конструкції, що одержали найбільше широке застосування на електростанціях і підстанціях.

Автоматичні вимикачі серії АЗ700 на струми 160...630 А и напругу змінного струму до 660 В, постійного до 440 В випускаються в пластмасовому корпусі з ізолюючими перегородками між полюсами у двох виконаннях:

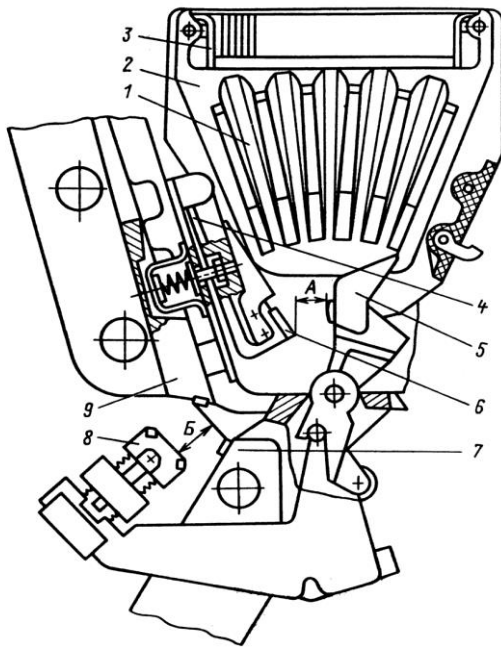


Рис. 2.7. Контактна група і дугогасильний пристрій автоматичного вимикача серії «Електрон»: 1-сталі пластини; 2-дугогасильна камера; 3 - пластмасова кришка; 4 - рухливий контакт; 5 - нерухомий контакт; 6 - рукоятка управління

A3700Б – струмообмежуючі з електромагнітними розчеплювачами миттєвої дії і напівпровідниковими розчеплювачами;

A3700С – селективні з напівпровідниковими розчеплювачами з регульованою витримкою часу. Межі регулювання: струм спрацьовування при перевантаженнях $1,25 I_{\text{ном}}$, при короткому замиканні $3 \dots 10 I_{\text{ном}}$.

Автоматичні вимикачі серії А3700 мають одну пару контактів на полюс (4,5) з металокерамічними накладками.

Увімкнення і вимкнення може виконуватися вручну рукояткою 6 або електромеханічним приводом у виді окремого блоку, установлюваного над кришкою вимикача (на Рис. 2.8 не показаний).

Автоматичне вимкнення при короткому замиканні виконується розчеплювачем миттєвої дії, до магнітопроводу 13 якого притягується якір 12, ударяючи по кулачку рейки, що відключає, 11. При перевантаженнях спрацьовує напівпровідниковий блок 10 і впливає на незалежні розчеплювачі 9, які притягують якір, звільнюють бойок 8, який впливає на рейку, яка відключає, 11. Рейка звільняє механізм вільного розчіплювання, і контакти розмикаються. Виникаюча дуга гаситься в камері 2 зі сталевими пластинами. Граничний струм вимкнення дорівнює $60 \dots 110 \text{кА}$.

Автоматичний вимикач А3700 виготовляється в стаціонарному та висувному виконанні і широко застосовується в комплектних розподільних пристроях напругою до 1кВ.

Автоматичний вимикач серії "Електрон" (Е) виготовляється для кіл змінного струму напругою до 660В і постійного струму напругою до 440 В на номінальні струми $I_{\text{ном}} = 1000 \dots 6300$ А й струми вимкнення $I_{\text{вимк}} = 65 \dots 115$ кА.

Вимикачі цієї серії оснащені ручним або електромеханічним приводом, що забезпечує дистанційне увімкнення. Вимкнення може здійснюватися кнопкою ручного вимкнення, або незалежним (дистанційним) розчеплювачем і максимальним токовим захистом, виконаним на напівпровідникових блоках.

Дугогасильний пристрій складається з ізоляційного корпусу 2, у якому розміщені сталеві пластини 1 і полум'ягасильна решітка 3. Автоматичні вимикачі серії Е виготовляють для стаціонарної установки або висувними.

Автоматичні вимикачі в висувному виконанні можуть знаходитися в:

- робочому положенні - головний і допоміжні кола замкнуті;

- контрольному – головне коло розімкнене, а допоміжний замкнутий;

- ремонтному - головний і допоміжні кола розімкнуті.

Спеціальне механічне блокування перешкоджає вкочуванню і викочуванню вимикача при увімкнутому положенні вимикача.

Автоматичні вимикачі серії АВМ випускаються на номінальні струми до 2000 А й напругою 500 В змінного і 440 В постійного струмів. Вимикач

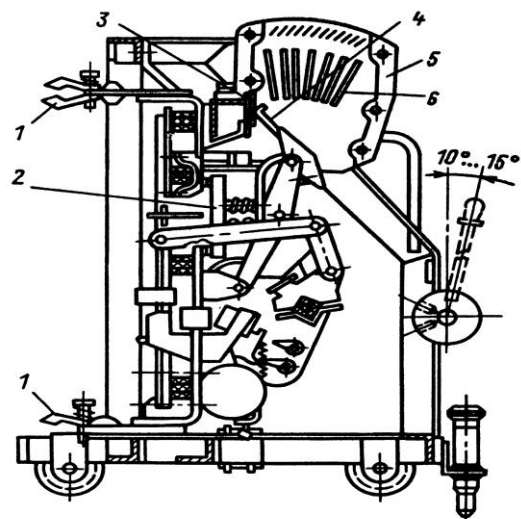


Рис. 2.8. Автоматичний вимикач АВМ: 1 – різні контакти головного кола; 2 - головний рухливий контакт; 3 - нерухомий дугогасильний контакт; 4 - нерухомий дугогасильний контакт; 5 - дугогасильна камера; 6 - сталеві пластини

має дві пари контактів на полюс – головні 2 і дугогасильні 3, 4 (рис. 2.8). Гасіння дуги відбувається в камері 5 зі сталевими пластинами 6.

Вимикачі АВМ мають максимальний розчеплювач з зворотньо-залежною витримкою часу при перевантаженнях, що досягається за рахунок годинникових (анкерних) механізмів. При струмах короткого замикання максимальний розчеплювач спрацьовує з установленою витримкою часу 0,25; 0,4; 0,6 за рахунок спеціального механічного сповільнювача розчіплювання. Привод може бути: ручним, механічним або електромеханичним. Вимикачі АВМ виготовляють для стаціонарної установки або висувними для комплектних розподільних пристроїв.

Крім автоматичних вимикачів розглянутих серій, для захисту електричних кіл від перевантажень і коротких замикань застосовуються вимикачі АЕ-1000, АЕ-2000, АК-63, А-63, АВ-45 та ін.

Автомати гасіння поля

Автомати гасіння поля (АГП) відносяться до особливої групи (рис. 2.9). Вони призначені для вимкнення струму в обмотці збудження генераторів. Автомат має головні контакти, розташовані відкрито (на малюнку не показані), і дугогасильні 5, 6 у камері гасіння дуги. У

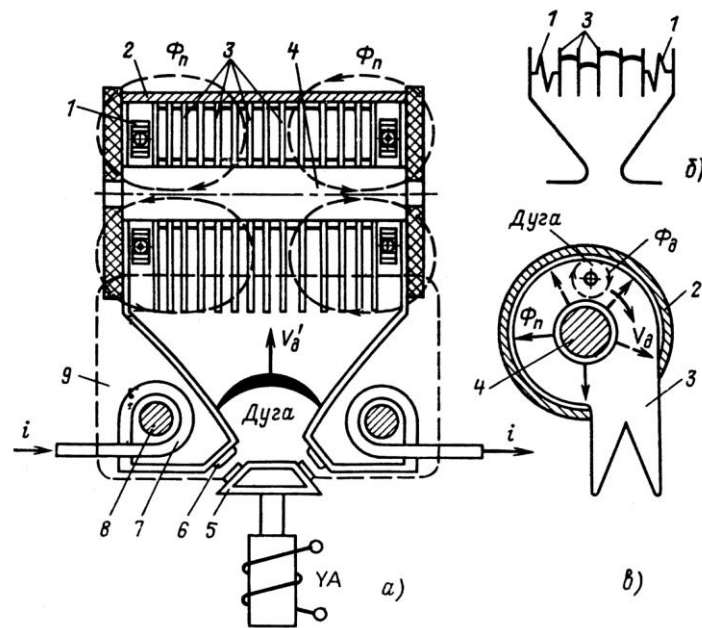


Рис. 2.9. Автомат гасіння поля: а – конструктивна схема; б - схема увімкнення котушок магнітного дуття; в - розріз по дугогасильним решіткам

увімкнутому положенні АГП утримується засувкою. При вимкненні контакти 5 відходять вниз і виникають дуги між контактами 5 і 6, що силою

магнітного поля, створеного котушками 7, осердями 8 і сталевими полюсами 9, видуваються нагору. Утвориться одна довга дуга. Вона заганяється в кільцеву дугогасильну камеру, де розбивається між мідними пластинами 3 на короткі дуги. Одночасно в коло включаються котушки 1, що створюють радіальне магнітне поле, що замикається зі сталевого осердя 4 на сталевий зовнішній кожух 2. У результаті взаємодії з магнітним полем короткі дуги починають рухатися по круговій обертальній траєкторії з великою швидкістю і тому не плавлять пластини. Вся енергія, що виділяється в дузі, розподіляється по поверхні пластин і гаситься ними. Температура пластин при цьому не повинна перевищувати 200°C, на підставі чого і вибирають розміри пластин. Паралельно пластинам увімкні секції шунтуючих опорів (на рис. 2.9 не показані). У цьому випадку дуга на ґратах гасне не відразу, а по секціях, стрибками, наближаючись до нуля. Першою гасне дуга в секції, шунтованою меншим опором. Поступовий спад струму зменшує виникаючу при розриві кола постійного струму перенапругу. Власний час вимкнення АГП не більш 0,15с, а повний час гасіння поля залежить від параметрів генераторів.

Контактори і пускачі

Контактор – це двохпозиційний апарат із самоповерненням, призначений для частих комутацій струмів, не перевищуючих струми перевантаження, що приводиться в дію приводом.

Контактори виготовляють на струми 4...4000 А, на напругу 220, 440, 750 В постійного і 380, 660В мінного струмів і допускають 600-1500 комутацій у годину. Контактори можуть бути одно- ... п'ятиполюсними.

Електромагнітні контактори знайшли широке застосування в електроустановках. Контактна система в них включається електромагнітом.

Контактори постійного струму в залежності від категорії розраховані на комутацію струмів від 1 $I_{НОМ}$ до 10 $I_{НОМ}$. Вони можуть бути розраховані на

роботу в переривчасто-тривалому, тривалому, повторно-короткочасному або короткочасному режимі.

Вони не мають пристроїв, що реагують на перевантаження або короткі замикання. Цю функцію виконують запобіжники й автоматичні вимикачі, що включаються послідовно з контактором і захищають коло від перевантажень і коротких замикань. Електродинамічна і термічна стійкість контакторів не нормується.

На відміну від автоматичних вимикачів контактори не мають механічних пристроїв, що замикають контактор у положенні "увімкнено".

У увімкнутому положенні контактор утримується електромагнітом. Основні елементи контакторів – головні контакти, дугогасильний пристрій, електромагнітна система і допоміжні контакти.

На рис. 2.10.а показана схема управління однополюсним контактором. Головні контакти контактора КМ увімкнені у коло двигуна М, а котушка – у коло керування послідовно з кнопками управління SB1, SB2 і допоміжними контактами SQ.

На конструктивній схемі контактор зображений у момент вимкнення, коли напруга з котушки 15, установленної на осерді 14, знята і рухома система під дією пружини 11 прийшла в нормальне положення. Дуга, що виникла між контактами 2 і 7, гаситься в камері 5 з ізоляційними перегородками. Втягування дуги в камеру відбувається за рахунок магнітного поля, створеного магнітною системою, що складається з котушки 16, увімкнутої послідовно в головне коло, сталевого осердя 1 і полюсних наконечників 17. На виході з камери встановлена і полум'ягасильна решітка 3, що перешкоджає виходу іонізованих газів за межі камери.

Для увімкнення контактора подається напруга на котушку 13 натисканням кнопки SB1. У котушці створюється магнітний потік, що при-

тягає якір 10 до осердя. На якорі укріплений рухомий контакт 7, який після зіткнення з нерухомим контактом 2 ковзає по його поверхні, стираючи оксидну плівку на поверхні контактів. Притискання контактів забезпечується пружиною 8. Контактні накладки 6 зі срібла забезпечують мінімальний перехідний опір.

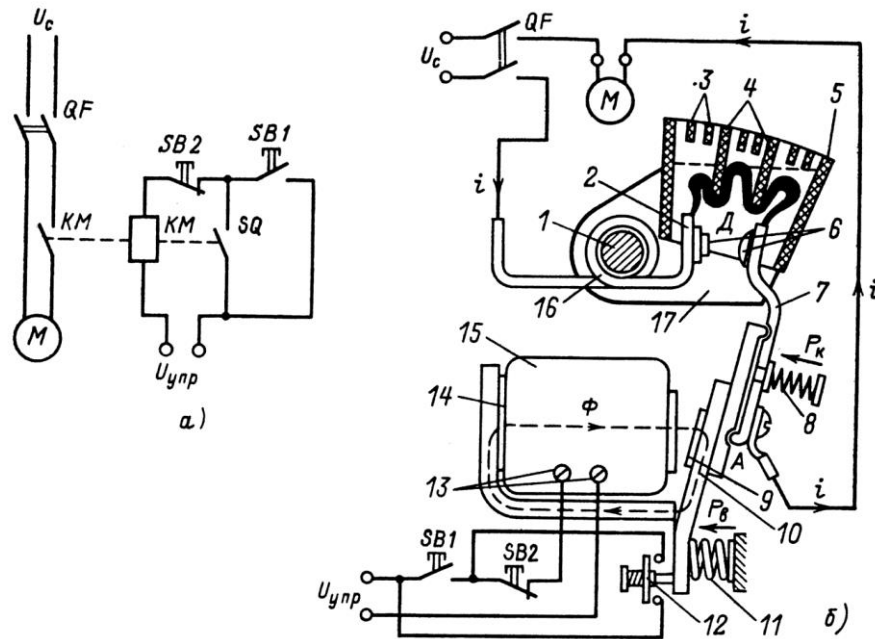


Рис. 2.10. Схема управління контактором: а - електрична схема однополюсного контактора; б - умовна конструктивна схема

У деяких випадках накладки виконуються з дугостійкої металокераміки. Контактор утримується у увімкнутому положенні своєю котушкою. Після увімкнення контактора замикаються допоміжні контакти 12 (SQ), шунтуючи кнопку SB1, тому розмикання пускової кнопки не розриває коло котушки 15 (KM).

На якорі 10 передбачена немагнітна прокладка на латуні 9, що зменшує силу притягання, обумовлену залишковою індукцією в сердечнику. Таким чином, при знятті напруги з котушки 15 якір не "залипає". При значному зниженні напруги у колі керування, а також при його зникненні контактор автоматично відключається.

Для вимкнення контактора досить натиснути кнопку SB2, що розімкне коло живлення котушки 15.

Коло керування контактором може одержувати живлення від первинного кола. Захист електродвигуна в розглянутій схемі здійснюється автоматичним вимикачем QF. До електромагнітних контакторів загальнопромислових серій відносяться наступні типи: перемінного струму КТ, КТП, КТВ; постійного струму КП, КПВ, КПД; постійного і перемінного струмів КМ, РПК, КН.

Пускач - це комутаційний апарат, призначений для пуску, зупинення і захисту електродвигунів.

Магнітні пускачі складаються з електромагнітного контактора, убудованих теплових реле і допоміжних контактів. Найбільш розповсюджені серії - ПМБ, ПМА, ПА. Пускачі можуть бути реверсивними і неревверсивними, у відкритому, захищеному і пилобризконепрониненому виконанні, з тепловими реле і без них. Магнітні пускачі застосовуються для управління електродвигунами змінного струму напругою до 660 В, потужністю до 75кВт.

Електрична і конструктивна схеми магнітного пускача серії ПАЕ показані на рис. 2.11. При натисканні кнопки SB1 подається живлення в котушку контактора КМ 5 через розмикаючі контакти теплових реле KST1, KST2 і кнопку SB2. Якір електромагніта 6 притягається до сердечника 4, обертаючись навколо осі ПР01, При цьому нерухомі контакти 2 замикаються рухливим контактним містком 8. Притиск у контактах забезпечується пружиною 9. Одночасно замикаються допоміжні контакти SQ, що шунтують кнопку SB1. При перевантаженні - електродвигуна спрацьовують оба або одне теплове реле 11, коло котушки розмикається контактами KST1 і KST2. При цьому якір 6 більше не утримується сердечником і під дією власної маси і пружини 7 рухлива

система переходить у вимкне положення, розмикаючи контакти. Дворазовий розрив у кожній фазі і закритій камері 10 забезпечує гасіння дуги без спеціальних пристроїв. Точно також відключається пускач при натисканні кнопки SB2.

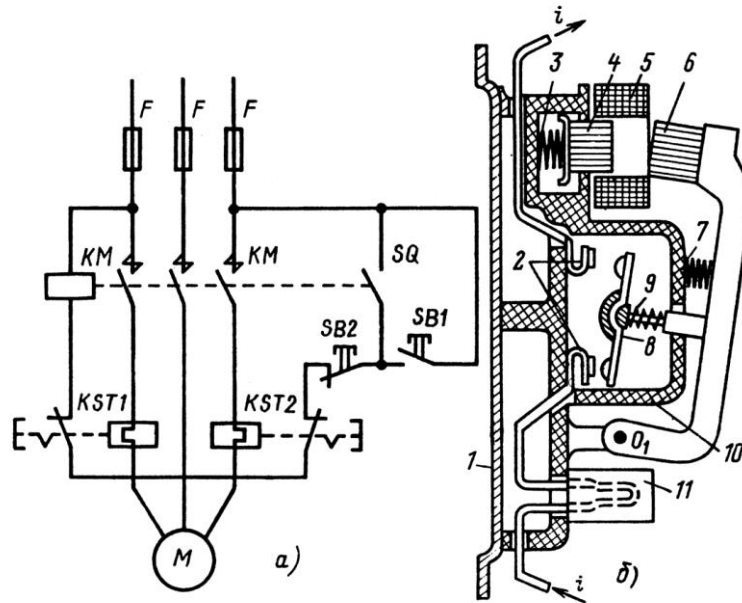


Рис. 2.11. Магнітний пускач серії ПАЕ: а - електрична схема; б - умовна конструктивна схема

Пружина, що амортизує, 3 охороняє рухливу частину від різких ударів при вимкненні. Усі деталі пускача кріпляться на металевій підставі 1. Для захисту електродвигуна від короткого замикання в коло увімкнені запобіжники.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкціями досліджуваних апаратів до 1000 В звернувши увагу на відмінності в конструктивному виконанні окремих апаратів.

2. Скласти звіт, у якому привести ескізи і схеми досліджуваних апаратів (за вказівкою керівника).

Питання для самоконтролю

1. На які дві групи поділяють апарати напругою до 1000 В?
2. Які функції виконують апарати розподілу електричної енергії?
3. Перелічіть на які групи можна розподілити апарати розподілу енергії.
4. Призначення неавтоматичних вимикачів.
5. Охарактеризуйте процес гасіння дуги в неавтоматичних вимикачах.
6. Призначення запобіжників.
7. Що таке захисна характеристика запобіжника?
8. За рахунок чого можна зменшити час спрацювання запобіжника?
9. Про що свідчать значення номінального струму і граничного струму вимкнення запобіжника?
10. Чи виникають перенапруги при спрацюванні запобіжників? Як з цим борються?
11. Призначення автоматичних вимикачів.
12. Як Ви розумієте струмообмежуючу дію автоматичних вимикачів?
13. Як Ви розумієте селективність автоматичних вимикачів?
14. Скільки пар контактів мають автоматичні вимикачі?
15. Поясніть призначення і принцип дії електродинамічних компенсаторів.
16. Поясніть призначення механізму вільного розчіплювання.
17. Призначення і принцип дії максимального розчеплювача електромагнітного типу, біметалічного розчеплювача і електромагнітного розчеплювача миттєвої дії. Наведіть захисну характеристику автоматичного вимикача.
18. Механізм гасіння дуги в автоматичних вимикачах.
19. Призначення і принцип дії АГП.
20. Призначення і принцип дії контактора.
21. Призначення і принцип дії магнітного пускача (порівняйте з контактором).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

МАСЛЯНІ ВИМИКАЧІ

Баківі масляні вимикачі

Загальні положення

Баківі масляні вимикачі (з великим об'ємом масла, багатооб'ємні чи багатомасляні) виготовляються з простим розривом дуги в трансформаторному маслі та з розривом її за допомогою спеціальних дугогасильних пристроїв. Особливістю цих вимикачів є те, що масло в них використовується не тільки як дугогасне середовище, але і як діелектрик, що використовується як міжфазна ізоляція так і ізоляція струмопровідних частин від заземлених елементів.

У вимикачах на напругу до 10кВ всі три фази розміщуються в одному баці. Такі вимикачі призначені для внутрішніх установок. На напругу 35 кВ і вище вимикачі мають окремий бак на кожну фазу та призначені для закритих і відкритих установок.

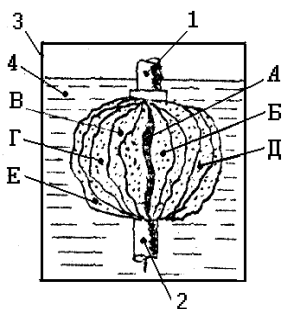


Рис. 3.1. Електрична дуга в сфері газового міхура.
1,2 – нерухомий та рухомий контакти; 3 – стінка бака; 4 – масло; А – стовп дуги; Б – воднева оболонка; В – зона розпаду; Г – зона газу; Д – зона пару; Е – зона випарювання.

При вимкненні масляного вимикача без дугогасильних пристроїв між його розбіжними контактами виникає електрична дуга, що вільно горить в маслі (Рис.3.1).

Під впливом високої температури дуги масло розкладається, утворюючи газ, що містить приблизно 70% водню, 20% етилену та 10% метану. Водень дуже ефективно деіонізує дуговий проміжок. Отже, дуга, що виникає в маслі, горить у сфері газового міхура. Обсяг газу, що виділяється за рахунок енергії дуги, визначається виразом:

$$V=k \cdot W,$$

де k - кількість газу, що приходить на одиницю енергії дуги ($k=60\text{см}^3/\text{кВт}\cdot\text{с}$. при тиску $0,1$ МПа і температурі 20°C); W -енергія дуги, $\text{кВт}\cdot\text{с}$.

Енергія, що виділяється дугою у вимикачі:

$$W=E_d \cdot I \cdot L \cdot t,$$

де E_d - середній градієнт напруги дуги (для нерухомого масла $E_d=70$ В/см, для дуги в аксіальному потоці масла $E_d= 200$ В/см); I - сила струму дуги, кА; L - довжина дуги, см; t - час горіння дуги, с.

Виділена енергія дуги витрачається на розкладання масла (близько 28%), нагрівання та випарювання масла (9%), розширення та нагрів газів і парів (40%), нагрів контактів (7%), тепловіддачу та вип-ромінювання (11%) і механічну деформацію бака (5%).

У випадку простого розриву контактів в маслі градієнт дуги виходить невеликим, тому для її розриву необхідний відносно великий хід контактів вимикача, що впливає на розміри бака. Час гасіння дуги залежить від сили струму і складає приблизно 3-15 періодів (більше число відноситься до струмів вимкнення малої сили). При вимкненні струмів невеликої сили пари масла та газу, що заповнюють газовий міхур навколо дуги, знаходяться у відносно спокійному стані. Чим більше сила струму вимкнення, тим вище температура дугового проміжку і тим інтенсивніше рух газів у міхурі. Виникаючі між дугами електродинамічні зусилля відхиляють їх у сторони, наближаючи до стінок міхура і підсилюючи деіонізацію (переміщення дуги, зіткнення з менш нагрітими газами, парами і т.п.). Таким чином, в масляному вимикачі при його вимкненні дуга горить не в маслі, а в атмосфері газу. Тиск при цьому у газовому міхурі підвищується до $0,1 \dots 1,0$ МПа і більше.

Конструктивна схема бакового масляного вимикача з простим (дворазовим) розривом зображена на рис.3.2. Вимикач показаний у процесі вимкнення, коли спостерігаються дві послідовні одночасно виниклі електричні дуги. Основні частини вимикача: бак 1, кришка 2, прохідні ізолятори 3, приводний механізм 5-10 і контакти 11,12.

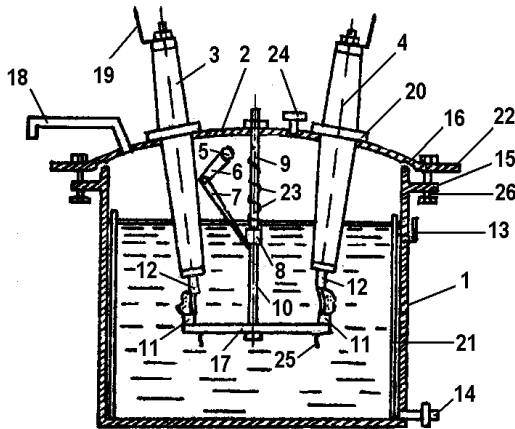


Рис. 3.2. Конструктивна схема вимикача.

Баки вимикачів виконуються звареними з листової сталі і можуть мати прямокутну, круглу чи овальну форму. З метою запобігання перекриття дуги з контактів на заземлений бак у момент вимкнення вимикача, внутрішня поверхня бака ізолюється одним чи декількома аркушами ізоляційного матеріалу (бар'єрами) 21, у якості якого може бути використана фанера, електротехнічний картон і т.п. В однобакових вимикачах застосовуються також перегородки між окремими фазами, що виключає можливість міжфазних замикань між контактами при вимкненні вимикача. На баці міститься датчик рівня масла 13, кран для відбору проб і спуска масла 14. Баки вимикачів напругою до 35 кВ виконуються зі з'ємною кришкою, а для кріплення до неї бака до останнього приварюються хомути 15. У вимикачах напругою вище 35 кВ кришка приварюється до бака і вимикач ставиться на фундамент. Для кріплення до фундаменту вимикача до його днища приварюється опорне кільце з лапами. Доступ до внутрішніх частин у таких вимикачах забезпечується через спеціальні люки (при спущеному маслі). У вимикачах напругою 35 кВ і нижче до бака приварюються ролики для його підйому й опускання.

Кришки вимикачів напругою 35 кВ і нижче виконуються чавунними литими, а для вимикачів на більш високі напруги – звареними з листової сталі. У кришці маються отвори для кріплення прохідних ізоляторів струмоведучих стрижнів 4 і приводного механізма 5-10. На ній же кріпиться ручна лебідка для підйому й опускання бака у вимикачах напругою 35 кВ і нижче. Кришки таких вимикачів мають також відповідні елементи 22 з отворами для кріплення до баку і для встановлення вимикача на спеціальну конструкцію чи раму. Висота підвісу вимикача приймається такою, щоб при опущеному баці був забезпечений доступ до контактної системи, а при ручному приводі було зручно керувати вимикачем.

Для забезпечення необхідної щільності з'єднання бака з кришкою між ними (у поглибленні кришки) закладається ущільнювальна прокладка 16. На кришці мається також отвір для доливки масла 24 і вихлопна труба 18 з клапаном, що запобігає проникненню в бак вимикача вологи та пилу з зовні.

Прохідні ізолятори струмоведучих стержнів закріплюються на кришці вимикача при допомозі фланця 20 та болтів, що дає можливість легко замінити їх при ушкодженні. На зовнішніх кінцях стержнів кріпляться струмоведучі частини 19, а на внутрішніх - нерухомі контакти 12.

Приводний механізм складається з кривошипно-шатунного механізму, що забезпечує перетворення обертального руху валу 5 в поступальний рух рухливих контактів 11. На валу розташований кривошип 6, який через шатун 7 шарнірно зв'язаний із траверсою 8. Остання переміщається по двох направляючим 9, закріплених у кришці. На направляючі стержні одягнені відключаючі пружини 23, що стискаються при вимкненні вимикача. До траверси прикріплені три ізоляційні штанги 10, на які

насаджені контактні пристрії 17, що несуть рухливі контакти 11. У увімкнутому положенні вимикач утримується запірною засувкою привода.

Контакти – дуже відповідальна частина вимикача. Вони вимагають періодичного огляду та ремонту. Контакти масляних вимикачів розглянутих типів бувають пальцеві, точкові чи іншого виконання. Нерухомі контакти кріпляться або безпосередньо до струмоведучих стержнів, або до укріплених на них контактним колодкам. У деяких типах вимикачів використовуються робочі і дугогасні контакти. При вимкненні вимикача спочатку розходяться головні контакти, а потім дугогасні, оскільки вони довші головних.

Таким чином, дуга не горить між головними контактами, а тільки між дугогасними, у наслідок чого головні контакти не підгорають, забезпечуючи гарне з'єднання у увімкнутому положенні вимикача. Для створення необхідного натискання рухомих контактів на нерухомі застосовуються притискні пружини 25.

Масло вимикачів повинно бути високої якості у відношенні електричної міцності. Бак заповнюється маслом не цілком для того, щоб залишався під кришкою деякий повітряний простір, зв'язаний з навколишнім повітрям через газовідвідну трубу. У наслідок різкого збільшення тиску в баці при горінні дуги (масло практично нестискується), повітря витісняється маслом через газовідвідну трубу, що пом'якшує гідравлічний удар об стінки бака.

Якщо буферний обсяг недостатній (рівень масла вище норми), то при вимкненні, масло заповнить його швидше, ніж згасне дуга і почне викидатися назовні. Перетин газовідвідних труб невеликий, тому при сильному ударі масла в кришку можливий відрив її від бака чи розрив самого бака. Для запобігання цьому на болти, котрі з'єднують бак із кришкою, надягають тонкостінні трубки 26, що при підвищенні тиску у

вимикачі до небезпечних значень деформуються, і через кільцевий зазор, що утворився між кришкою і баком, масло виходить назовні, забезпечуючи тим самим зниження тиску в баці. На деяких вимикачах передбачаються запобіжні клапани – мідної мембрани, що руйнується при небезпечному тиску й сприяє швидкому витіканню масла назовні. Кількість масла у вимикачі повинне бути таким, щоб при вимкненні найбільших можливих струмів дуга гаснула раніш, ніж масло встигне заповнити буферний простір. Однак при надмірно низькому рівні масла може відбутися вибух вимикача, оскільки розпечені гази можуть підпалити гримучу суміш, що утвориться, при певних умовах, з водню і кисню повітря. По зазначених причинах багатомасляні вимикачі називаються взриво- та пожежонебезпечними.

Дугогасильні камери

Без застосування спеціальних дугогасильних пристроїв бакові масляні вимикачі є недосконалими апаратами, як з погляду відключаючої здатності, так і часу їхнього вимкнення. Тому на напруги вище 10 кВ масляні вимикачі з простим розривом дуги не застосовуються.

Більш досконалі бакові масляні вимикачі зі спеціальними пристроями для гасіння електричної дуги, завдяки яким збільшується відключаюча здатність, і зменшується час вимкнення вимикача .

Пристрій і основні деталі цих вимикачів такі ж, як і в бакових масляних вимикачів із простим розривом дуги, розходження полягає тільки в контактній частині, що має ту чи іншу конструкцію. У масляних вимикачах процес гасіння дуги тим інтенсивніше, чим ближче стикається дуга з маслом і чим швидше рухається масло відносно дуги. Цього домагаються, обмежуючи дуговий розрив яким-небудь замкнутим ізоляційним пристроєм - дугогасильною камерою. У дугогасильних камерах масляних вимикачів створюється більш тісна взаємодія масла з

дугою, інтенсивніше обдування дуги потоками газів, парів масла і самого масла, що прискорює процеси деіонізації, скорочує час горіння дуги і дозволяє зменшити хід контактів у порівнянні з простим розривом дуги в маслі.

На рис. 3.3 показані принципові схеми роботи найпростіших дугогасильних камер повздовжнього (а) та поперечного (б) газомасляного дуття. Нерухомий контакт 1 розміщений усередині камери 3, виконаної з ізоляційного матеріалу, а

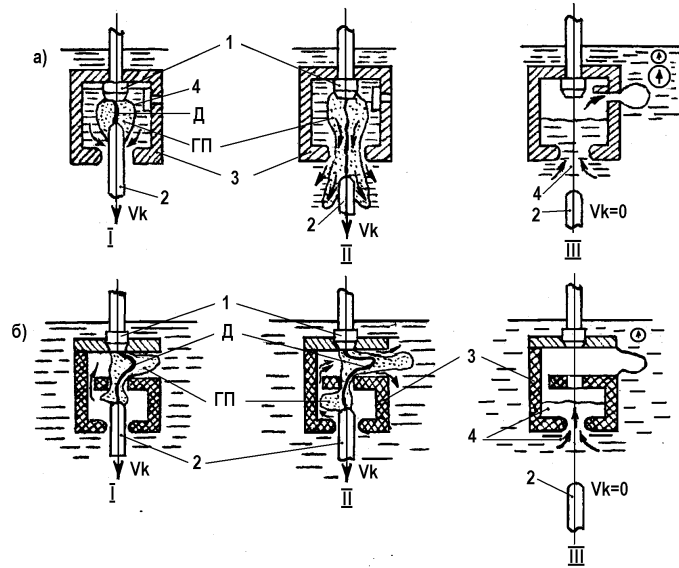


Рис. 3.3. Дугогасильні камери повздовжнього (а) та поперечного (б) газомасляного дуття.

рухомий контакт 2 проходить через отвір унизу камери. При розмиканні контактів від виникаючої дуги Д утворюється газовий міхур (ГМ), тиск в камері підвищується. Масло і продукти його розкладання, прагнучи вийти через отвір у камері, створюють газомасляне дуття уздовж (а) чи поперек (б) дуги (положення I та II). Після гасіння дуги (положення III) гази виходять через верхній отвір камери і вона заповнюється маслом 4.

У деяких типах бакових масляних вимикачів застосовуються дугогасні камери з проміжним контактом, що утворює два послідовних розриви, в яких виникає дві послідовні дуги - газогенеруюча і гасима.

Конструктивно такі камери можуть виконуватися з дугогасильним (повздовжнім і поперечним, зустрічно-поперечним) дуттям, що забезпечує більш швидке гасіння дуги при великих силах струмів, що відключаються.

На рис. 3.4. показаний розріз камери для вимикачів МКП-220-5. Камера складається з ізоляційного циліндру 1, рухливого ізоляційного

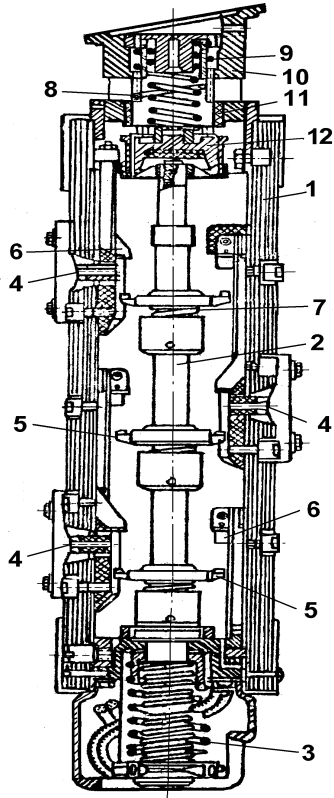


Рис. 3.4. Розріз камери для вимикача МКП-220-5.

штоку 2, на нижньому кінці якого укріплена пружина 3. На стінках камери мають вихлопні отвори з щілинами 4. Рухливі контакти зі своїми контактними пружинами 7 укріплені на рухливому ізоляційному штоку 2. На внутрішніх стінках циліндру 1 змонтовані три пари нерухомих контактів 6. У верхній частині камери (в корпусі 10) розташована приставка примусового автодутьтя, що складається з поршня 12, який переміщується в циліндрі 11, та пружин 9 і 8. Циліндр поршня має отвори, що у залежності від положення поршня можуть бути відкриті чи частково відкриті. У вимкнутому положенні всі отвори відкриті і камера вгорі суміщається з баком вимикача. В увімкнутому положенні нижні отвори циліндра перекриваються і камера не має суміщення з баком вимикача. При вимкненні вимикача, коли контактний шток 2 йде вниз, поршень 12 також йде вниз. Але як тільки в камері підвищиться тиск, обумовлений виникненням дуги, поршень змінить свій напрямок і почне рухатися нагору, стискаючи пружини 8 і 9. Після відкриття вихлопних щілин і падіння тиску в камері поршень під дією пружин 8 і 9 знову почне рухатися вниз, продуваючи камеру. Знаходячись у крайнім нижньому положенні, поршень відкриває у своєму циліндрі отвір, гази виходять, і в камеру надходить свіже масло. Паралельно контактам камери включається шунтуючий опір з ніхромової спіралі. Швидкість руху контактів дорівнює 7...8 м/с, відстань між

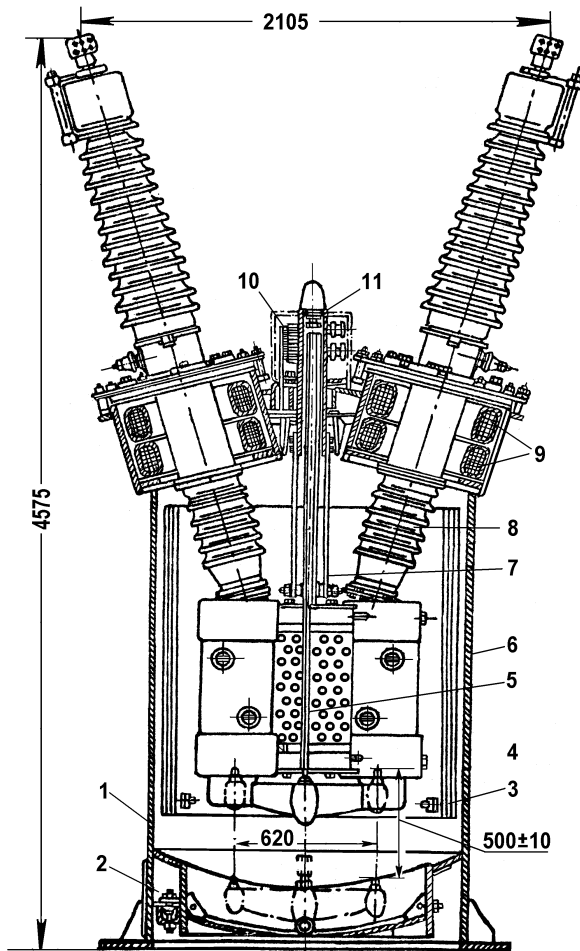


Рис. 3.5. Загальне компонування бакового масляного вимикача У-110-8 з дугогасильними камерами.

контактами у виключеному положенні достатнє для гасіння дуги - 35...40 мм. Такі дугогасильні пристрої для вимикачів типу МКП інших напруг розрізняються в основному кількістю розривів на камеру в фазі.

На рис. 3.5 показана загальне компонування бакового масляного вимикача з дугогасильними камерами: 1 - бак; 2 - пристрій підігріву масла; 3 - ізоляція бака; 4 - траверси; 5 - штанга; 6 - дугогасильний пристрій; 7 - направляючі штанги; 8 - ввід масло-

наповнення; 9 - убудований трансформатор струму (ТС); 10 - контактний ряд; 11 - приводний механізм. При номінальній напрузі 35 кВ використовуються камери поперечного газового автодутьтя (Рис. 3.6).

При розмиканні контактів (див. рис. 3.6) між рухливим 1 і нерухомим 3 контактами загорається дуга (4 - гнучкий зв'язок з нерухомим контактом), під дією якої в масло камері розкладається, що веде до підвищення тиску. Коли рухомий контакт відкриває при своєму русі вихлопний отвір 5, починається інтенсивне обдування дуги газами, що виходять під великим тиском з камери, що також має другу вихлопну щілину 6, призначену для надійного гасіння дуги. Канал 2, що з'єднує верхній об'єм камери з дуттевим пристроєм, створює додаткове газове

дугтя, а по закінченні гасіння дуги, завдяки наявності цього каналу, камера очищується від продуктів розкладання масла й іонізованих газів, що сприяє поліпшенню роботи камер при АПВ.

На рис. 3.7 показана камера поперечного газового автодугтя з підпором масла в решітках

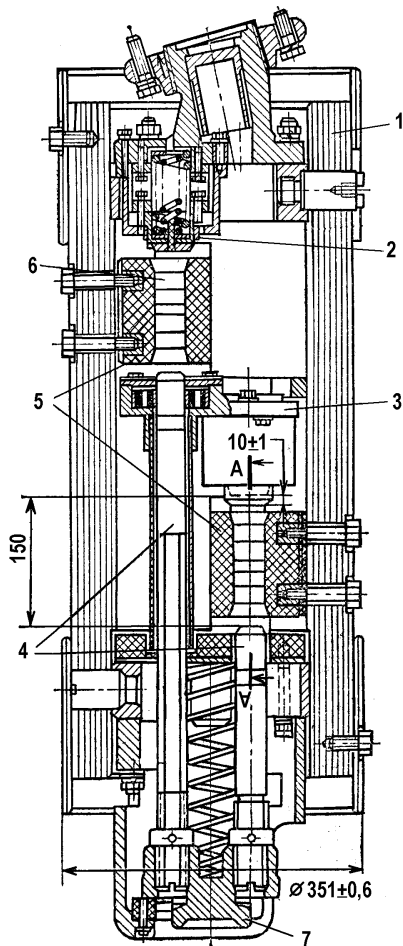


Рис. 3.7.1 Камера поперечного газового автодугтя з підпором масла в решітках вимикача У-110-8

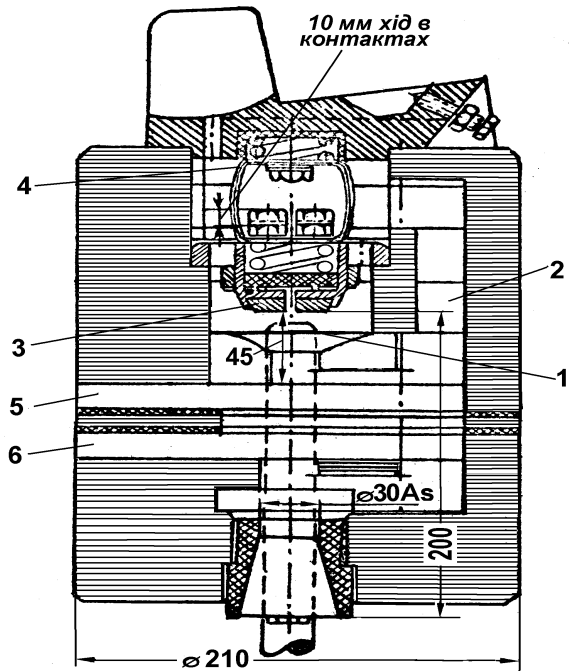


Рис. 6. Камера с поперечным газовым автодугтям.

вимикача У-110-8.

У вимикачі 110 кВ гасіння дуги пов'язане з великими труднощами, що вимагає ускладнення дугогасильного пристрою. У міцному стеклоепоксидному циліндрі 1 розташовані нерухомі контакти 2 і 3, виконані у виді многоламельного торцьового контакту. Нерухомий контакт 3 має електричний зв'язок із проміжним контактом,

виконаним у виді наскрізної розетки. Для зменшення зносу контакти облицьовані

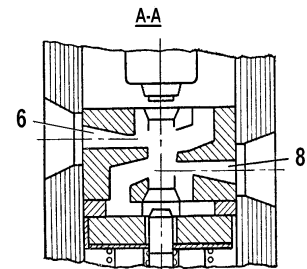


Рис. 3.7.2. Розріз А-А.

металокерамікою. Камера має два розриви. Перший утвориться між контактом 3 і рухливим контактом 4, другий - між контактом 3 і другим руховим контактом 4. Дугогасна решітка 5 має два розташованих один за одним дугтєвих каналів 6, 8 (Рис. 3.7.1 та рис. 3.7.2.). В увімкнутому положенні вони закриті тілом рухомих контактів 4.

Уся внутрішня порожнина камери заповнена трансформаторним маслом.

При вимкнні вимикача рухливі контакти 4 разом з зовнішнім рухливим контактом 7 рухаються вниз під дією власної ваги і пружини камери. У кожному розриві утвориться дуга, під дією енергії якої масло розкладається, і протягом сотої частки секунди тиск зростає до 5...8 МПа. При відкритті тілом рухливого контакту дугтєвої щілини 6 починається інтенсивний обдув дуги вихідними газами. Дуга гасне при першому проході струму через нуль після відкриття щілини. Чим більше сила струму, що відключається, тим більше тиск у камері й інтенсивніше гасіння дуги. При силі струму, близького до сили номінального струму вимкння, тривалість існування дуги складає не більше 0,02 с. Максимальна тривалість горіння дуги спостерігається при вимкнні малих сил індуктивних струмів (500...2000 А). Наявність другої щілини забезпечує надійну роботу камери у всьому діапазоні струмів, що відключаються. Вирівнювання розподілу напруги між камерами і полегшення вимкння ємкісних струмів малих сил (струмів ненавантажених ЛЕП) забезпечується шунтами по 750 Ом кожний. Струм шунта відключається у вільному розриві, що утвориться між контактом траверси 2 (Рис. 3.5) і зовнішнім контактом камери 7 (Рис. 3.7.1.). Бакові масляні вимикачі випускаються на напругу 35...220 кВ. Максимальна потужність вимкння 25000 МВ·А. Бак заповнюється маслом приблизно на 2/3 об'єму. При вимкнні вимикача газ, що викидається з камери, змушує шари масла, що лежать над камерами,

рухатися з великою швидкістю нагору. Повітря, що знаходиться над маслом, вільно виходить в атмосферу. Це дозволяє обмежити тиск у баці. По закінченні вимкнення масло, рухаючись по інерції, вдаряє в кришку бака. Цей удар може деформувати лапи, що кріплять бак до фундаменту, тому фундамент і кріпильні деталі повинні бути розраховані на такі динамічні навантаження. При ушкодженні привода чи камер утвориться довгостроково палаюча "стояча" дуга, тиск у баці сильно зростає. Для запобігання вибуху бака вгорі розташовані вихлопні аварійні труби з каліброваними мембранами (на Рис.3.5. не показані). При визначеному тиску мембрани руйнуються й масло виливається назовні, тиск у баці знижується.

Основні переваги бакових вимикачів - висока надійність, простота конструкції камер і механізму, висока механічна міцність елементів (камер, бака, механізму, вводів), що дозволяє використовувати ці вимикачі в найважчих умовах експлуатації (у зимовий час необхідний підігрів масла для зменшення його в'язкості). За даними статистики надійність бакових масляних вимикачів вище, ніж повітряних і маломасляних. До великих переваг відносяться велика відключаюча здатність, і можливість вбудовування ТС і ємністних дільників напруги.

Недоліки бакових масляних вимикачів: великі розміри і маса, необхідність періодичного очищення масла, що у свою чергу вимагає наявності маслогосподарства, ремонт і ревізія вимикачів 110 кВ і вище - дуже складні і трудомісткі процеси, взриво- та пожежонебезпека вимикача.

Малооб'ємні масляні вимикачі

Загальні відомості.

Вимикачі, в яких масло використовують тільки як газогенеруючу речовину для гасіння дуги при вимкненні струмів, називають

малооб'ємними масляними, чи маломасляними. Ці вимикачі застосовуються як в закритих, так і у відкритих розподільчих пристроях. Для ізоляції струмоведучих частин між собою і від заземлених конструкцій використовуються такі тверді ізолюючі матеріали як порцеляна, текстоліт, склопластик та ін. Малооб'ємні масляні вимикачі мають менші розміри, масу і вміст масла, ніж бакові масляні вимикачі, що полегшує ремонт і нагляд за ними, а також зменшує небезпеку вибуху і загоряння масла. Дугогасний пристрій і контакти однієї фази (полюса) маломасляного вимикача для внутрішньої установки розміщують в сталевому корпусі. Маломасляні вимикачі на напругу 35кВ та вище мають порцеляновий корпус.

Класифікація.

З точки зору конструктивних особливостей, а отже їхніх властивостей, маломасляні вимикачі можна розділити на наступні групи:

Вимикачі, у яких контактна пара поміщена в сталевий корпус, ізолюваний від струмоведучих частин порцеляновою ізоляцією (рис.3.8, а). До цієї групи відносяться маломасляні вимикачі типу ВМГ-10 (вимикач масляний горшковий) і ВПМ-10 (вимикач підвісний масляний). Раніш у цій групі випускалися вимикачі ВМГ-133.

Вимикачі, корпус яких виконаний з ізоляційного матеріалу. Зв'язок між рухомим контактом і струмоведучими частинами здійснюється за допомогою роликів контактів (рис.3.8, б). До цієї групи відносяться вимикачі серії ВМП (вимикач маломасляний підвісний).

Вимикачі для великих номінальних струмів з двома парами контактів (робочою та дугогасною). Робоча пара контактів розміщена поза дугогасною камерою. Ця група вимикачів має два розриви на фазу (рис.3.8, в).

Вимикачі з великими струмами вимкнення, що мають два дугогасних і два робочих розриву на фазу (рис.3.8, г). До цієї групи відносяться вимикачі серій МГГ, МГ і ВГМ на напругу до 20 кВ. Робочі контакти дозволяють використовувати такі вимикачі в колах зі струмом до 12000 А.

Вимикачі маломасляні колонкові серії ВК, що знайшли широке поширення для КРУ висувного виконання (рис.3.8, д).

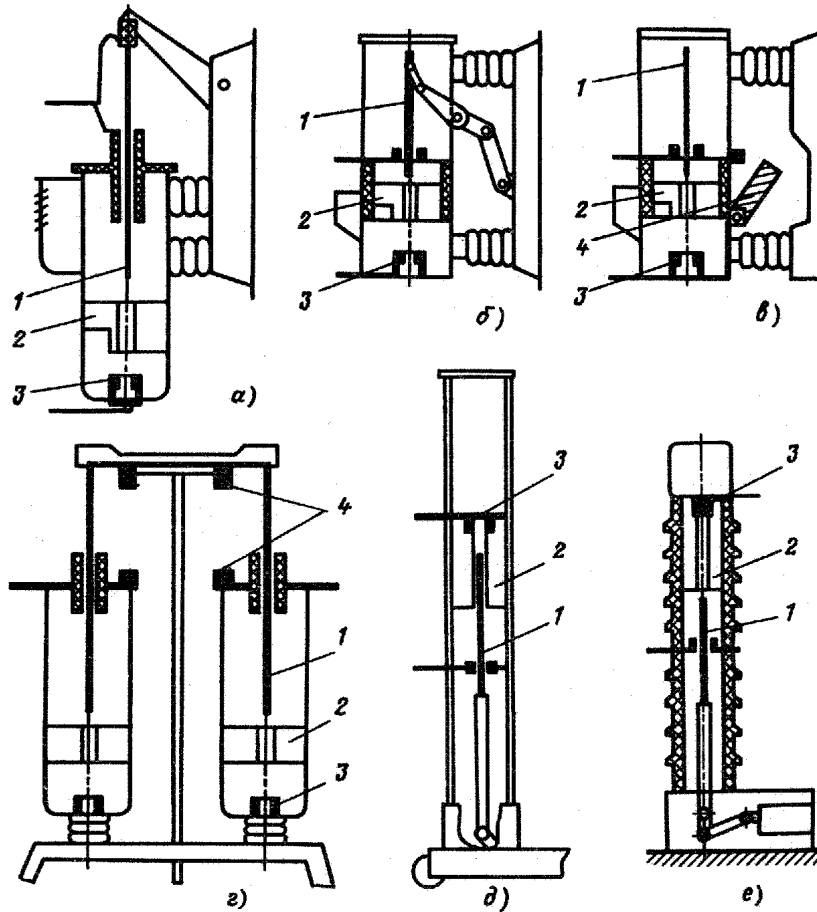


Рис.3.8. Конструктивні схеми маломасляних вимикачів:
1 - рухомий контакт; 2 - дугогасна камера; 3 - нерухомий контакт; 4 - робочий контакт

Вимикачі маломасляні колонкові для напруги 35 кВ і вище з порцеляновим корпусом, заповненим маслом (рис.3.8, е). Вимикачі 35 кВ, 110 кВ мають один розрив на фазу, при більших напругах – два і більше.

Основні серії вимикачів

Вимикачі серії ВМП широко поширені в закритих розподільчих пристроях і КРУ на напругу 6-10 кВ, забезпечуються електромагнітним (ВМПЭ) чи пружинним (ВМПП) приводом. Дугогасний пристрій 4 має центральний отвір для рухомого контакту 12 і поперечні щілини різної висоти для виходу газів. Принцип вимкнення великих струмів полягає в наступному

У вихідному положенні вимикача рухомий контакт 12 знаходиться в розетці нерухомого контакту 2. В процесі вимкнення контакт 12 переміщується нагору й у момент відриву контактів загоряється дуга, що розкладає масло. У нижній частині вимикача створюється тиск газів, вихід яких закритий рухливим контактом 12. В міру звільнення поперечних щілин створюються умови

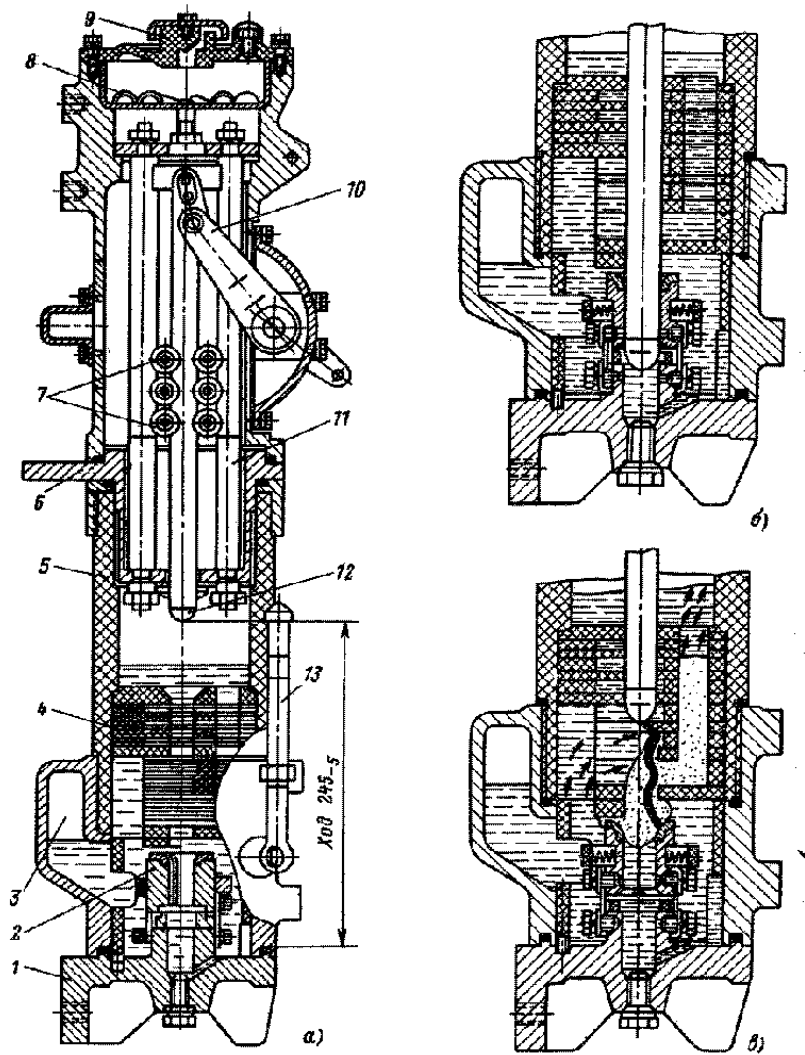


Рис. 3.9. Розріз бачка малооб'ємного масляного вимикача типу ВМП-10: а - положення «вимкнено»; б - положення «увимкнено»; в - процес вимкнення.

для виходу газів, що на своєму шляху витягують і охолоджують дугу.

При подальшому русі контакту 12 довжина дуги збільшується, відкриваються друга і третя поперечні щілини, що в кінцевому рахунку дозволяє погасити дугу. Пари масла у верхній частині бачка конденсуються, і масло стікає вниз, а гази виходять через отвори в масловідділювачі 8. У вимкненому стані нижня частина рухомого контакту знаходиться вище рівня масла. Безструмова пауза для таких вимикачів складає 0,5 с. Цього часу досить, щоб масло стекло вниз і вимикач був готовий до роботи.

При гасінні малих струмів використовуються “кишені” центрального отвору дугогасного пристрою 4, тому що в цьому випадку потужності дуги недостатньо для створення дуття через поперечні щілини. В міру звільнення “кишень” у процесі руху контакту 12 нагору масло стікає вниз і попадає на дугу. Енергія дуги при цьому витрачається на розкладання масла, що витікає з кишень, завдяки чому дуга гаситься.

Вимикачі типу ВМП закріплюються на металевій рамі 4 за допомогою ізоляторів 3 (див. рис.3.9), на якій розміщені вал привода 8. Важелі привода 8 вимикача (див. рис.3.9) зв'язані з валом привода за допомогою ізолюючих тяг 5 (див. рис.3.9).

Кількість масла, що заливається в бачок, для ВМП-10 складає 4,5 кг, номінальний струм вимкнення залежить від виконання і знаходиться в межах 20...31,5 кА, а номінальний тривалий струм – 630...3200 А. Час вимкнення – 0,14 с (7 періодів). Вимикачі типу ВМП-35 мають аналогічну конструкцію, але містять 10 кг масла. Номінальний струм вимкнення складає 10 кА.

Вимикачі серій МГГ, МГ і ВМГ мають два металевих бачки на полюс (рис.3.10), ізольованих від заземленої підставки. Контактна система розділена на головні 1, 2 і дугогасні 4, 5 контакти. Нерухомі головні контакти –рублячого типу – 1 розташовані на верхній частині бачка, а рухомі 2 – пальцевого типу - прикріплені до контактної траверси 3. Число

пальців визначається номінальним струмом. Нерухомі частини 4 дугогасних контактів розетчаного типу укріплені в днищах бачків. Рухливі частини у виді круглих стрижнів 6 прикріплені до контактної траверси і входять у баки через прохідні ізолятори. У увімкнутому положенні основна частина струму проходить від затиску 6 по кришці бачка до головних контактів 1-2, траверсі 3 і далі до затисків другого бачка. Частина струму відгалужується від основного шляху і проходить по дугогасному шляху: стінках першого бачка, розетчному контакту 4, руховому контактному стрижню 5 до траверси і далі аналогічно до другого бачка.

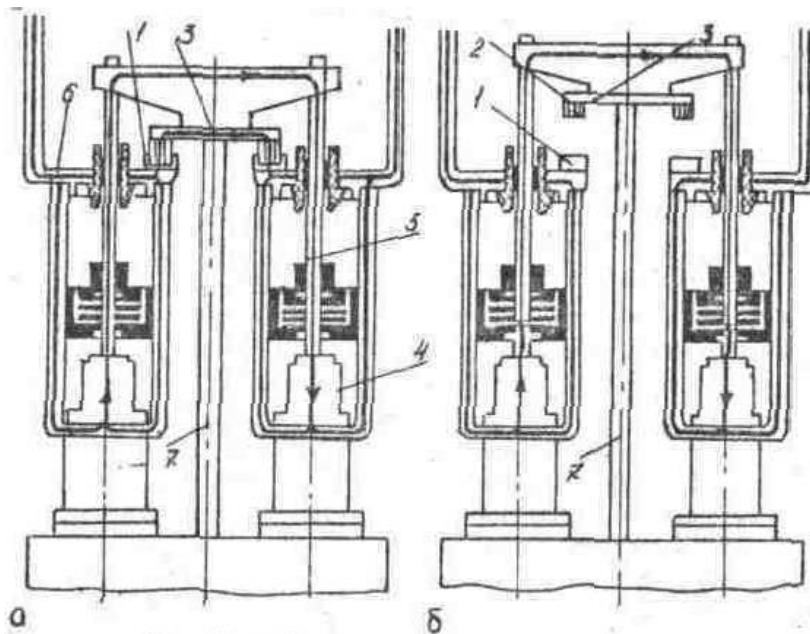


Рис.3.10. Контактна система і дугогасний пристрій малооб'ємного вимикача типу МГ-10

У процесі вимкнення починають розмикатися головні контакти і весь струм протікає по дугогасним контактам, де і відбувається гасіння виникаючої дуги. При вимкненні вимикача спочатку замикаються дугогасні, а потім головні контакти.

Дугогасні камери цих вимикачів показані на рис.3.11. Дугогасний пристрій складається з трьох відсіків, виконаних з ряду ізоляційних дисків з фасонними вирізами, скріплених штифтами і шпильками. На малюнку

показані розрізи камери по двох взаємно перпендикулярних площинах. Нижній відсік Н зібраний з дисків із двома дуттєвими і вихлопними отворами у формі сопел (розріз А-А на рис.3.11). Верхній відсік В складається з дисків з вирізами, що утворюють кишені 4, у яких міститься велика кількість масла. Цими ж дисками створюються буферні обсяги 2 і дуттєві канали. Коли всі диски і перегородки між ними зібрані, утворюються два вертикальних вихлопних канали 5 і дуттєві канали 6, видні в розрізі на рис.3.11, б.

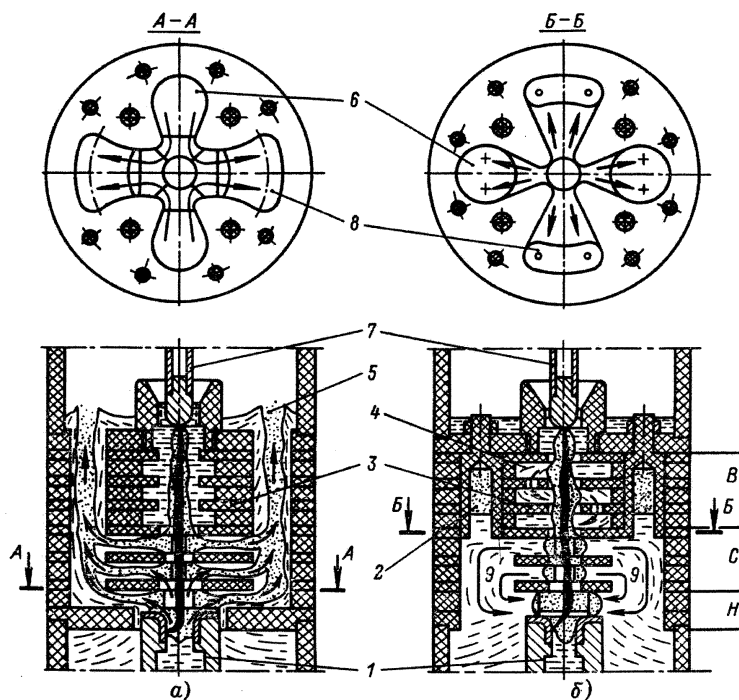


Рис. 3.11. Дугогасна камера вимикачів МГ-20, ВМГ-20

Під дією потужних пружин (див. рис.3.11) контактний стержень 7 виходить з розетки нерухомого контакту 1 і рухається вгору. При розмиканні утвориться дуга спочатку в нижньому відсіку, а потім і в середньому. Тиск газопарової суміші навколо дуги в середньому відсіку вище, тому що перетин вихлопних каналів менше, що дозволяє створити масляне дуття із середньої частини дугогасної камери в нижню по каналах 9 (див. рис.3.11). Одночасне дуття створюється у вихлопних каналах 8. Таким чином, напрямок дуття зустрічний і поперек дуги. У зоні горіння дуги створюється тиск до 8 МПа, що сприяє інтенсивному дуттю.

Для зменшення тиску при вимкненні великих струмів у верхньому відсіку знаходяться буферні обсяги 2. При великих і середніх струмах, що

відключаються, гасіння дуги здійснюється в нижній і середній частинах дугогасної камери. При малих струмах гасіння дуги відбувається в масляних кишнях верхнього відсіку. Час горіння дуги в таких вимикачах 0, 02...0, 05 с. Така камера з зустрічно-поперечним дуттям дозволяє відключати струми короткого замикання до 105кА.

Для керування такими вимикачами використовуються електромагнітні приводи ПС-31, ПЭ-2 і ПЭ-21. Маломасляні вимикачі колонкового типу забезпечуються пружинним (ВК-10) чи електромагнітним (ВКЭ-10) приводом і призначені для використання в КРУ зовнішньої і внутрішньої установок.

Вимикач ВКЭ-10 показаний на рис.3.12. Він складається з основи 1, на якій закріплені три полюси (дугогасні камери) 3, привод 2 і фасадна перегородка 4. Основа вимикача установлена на колесах для його вкочування і викочування з КРУ. Кола керування, сигналізації і блокування поміщені в гнучкі шланги і розведені в штепсельні роз'єми 5. Полюси вимикача мають штиреві виводи первинних з'єднань 6 з розеточними контактами.

Принцип гасіння дуги ґрунтується на використанні для цієї мети газомасляної суміші, що утвориться при розкладанні масла під дією високої температури дуги. Напрямок потоку формується спеціальним дугогасним пристроєм.

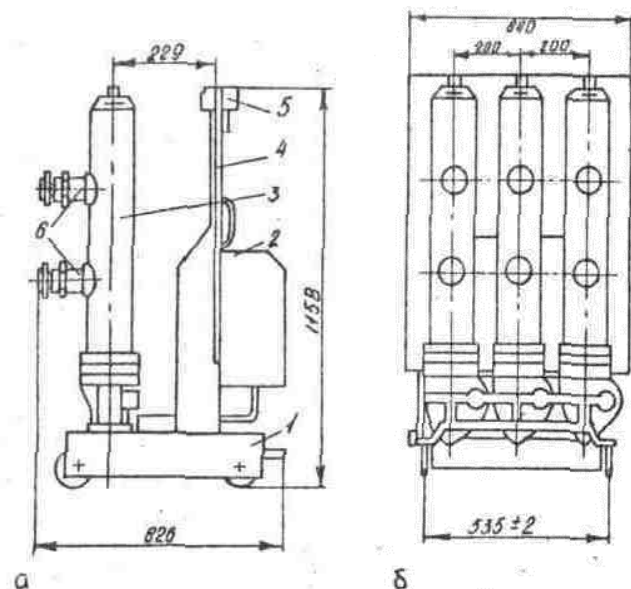


Рис.3.12.Вимикач ВКЭ-10: а - вид збоку; б - вид спереду.

Вимикачі такого типу мають менші габаритні розміри і масу, чим вимикачі серії ВМП на відповідні режимні параметри.

Вимикачі масляні колонкові серій ВМКЭ, ВМУЭ застосовуються в установках 35 кВ.

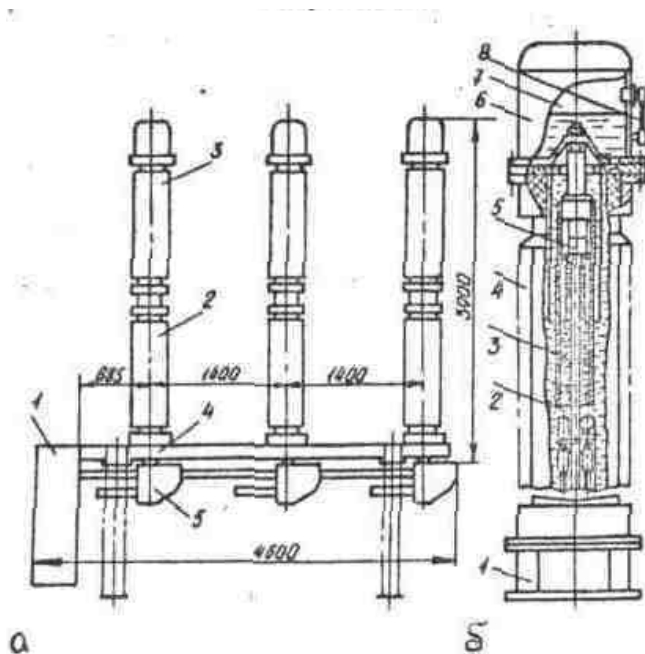


Рис. 3.13. Вимикач маломасляний ВМТ-110:
а - загальний вид; б - дугогасний пристрій.

Для напруг 110 і 220 кВ застосовуються вимикачі серії ВМТ (рис.3.13,а). Вимикач ВМТ-110 складається з основи 4, пружинного привода 1, опорного ізолятора 2, дугогасного пристрою 3, механізму керування 5 і електропідігрівальних пристроїв.

Дугогасний пристрій (рис.3.13, б) складається з струмопровода 1, зв'язаного через струмоз'ємний пристрій з рухливим контактом 2, дугогасної камери 3 зустрічно-поперечного дуття і нерухомого контакту 5. Ці елементи розміщені в порожньому порцеляновому ізоляторі 4, наповненому маслом і закритому ковпачком 6. Останній має манометр надлишкового тиску в дугогасній камері, пристрій для заповнення стиснутим газом, випускний автоматичний клапан 4, показчик рівня масла 8. Маслонаповнені стовпчики герметизовані і знаходяться під надлишковим тиском азоту чи повітря. Надлишковий тиск підтримує високу електричну міцність міжконтактного проміжку, підвищує зносостійкість контактів, забезпечує надійне вимкнення як струмів короткого замикання, так і ємнісних струмів

ненавантажених ліній електропередач. Газ подається перед початком експлуатації вимикача і поповнюється під час чергової ревізії.

Полос вимикача на 220 кВ ВМТ-220 має два маслонаповнені баки на полюс, на яких встановлені уніфіковані модулі, що використовуються для вимикача ВМТ-110.

У світовій практиці маломасляні вимикачі виготовляються на напругу до 420 кВ.

Переваги маломасляних вимикачів:

- невелика кількість масла;
- менша, чим у бакових вимикачів, вибухо- та пожежонебезпека;
- більш доступний, чим у бакових вимикачів, доступ до дугогасних контактів;
- можливість створення серії вимикачів на різну напругу з застосуванням уніфікованих вузлів.

Недоліки маломасляних вимикачів:

- неможливість реалізації швидкодіючого АПВ;
- необхідність періодичного контролю, доливання і частої заміни масла в дугогасних бачках;
- труднощі установки вбудованих трансформаторів струму;
- відносно мала відключаюча здатність.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити пристрій багатооб'ємних масляних вимикачів (що мають в лабораторії і на плакатах).

2. Вивчити конструкції і роботу дугогасних камер досліджуваних вимикачів (по зразках , що мають в лабораторії і на плакатах).

3. Скласти звіт, у якому привести основні паспортні дані досліджуваних вимикачів, область їхнього застосування, скласти ескізи розрізів одного-двох вимикачів і одних-двох дугогасильних камер.

При захисті звіту про лабораторну роботу студенти повинні знати фізичні процеси, що відбуваються у вимикачі при його вимкненні і вимкненні з урахуванням сили що до вмикаємого чи вимикаємого струму.

Питання для самоконтролю

1. Чим гаситься дуга в бакових масляних вимикачах? Що використовується для ізолювання струмоведучих частин від заземлених елементів та обслуговуючого персоналу?
2. Охарактеризуйте процеси, що протікають при вільному горінні дуги в маслі.
3. Від чого залежить енергія, що виділяється дугою у вимикачі і на що вона витрачається?
4. Яким чином впливає сила струму вимкнення на час гасіння дуги?
5. Опишіть конструктивну схему бакового масляного вимикача.
6. Які спеціальні пристрої збільшують відключаючу здатність бакових масляних вимикачів? Поясніть принцип їх роботи.
7. Пристрій і робота дугогасильної камери на рис. 7.1.
8. Переваги та недоліки бакових масляних вимикачів.
9. Чим гаситься дуга в малооб'ємних масляних вимикачах? Що використовується для ізолювання струмоведучих частин від заземлених елементів?
10. На прикладі вимикачів серії ВМП поясніть процес вимкнення різних струмів малооб'ємними масляними вимикачами.
11. Яким чином можна збільшити номінальну напругу бакових масляних і малооб'ємних масляних вимикачів?
12. Порівняйте кількість масла, що використовується в баковому масляному вимикачі У-220 і малооб'ємному масляному вимикачі ВМП-220? Чим на вашу думку викликані такі відмінності?
13. Переваги та недоліки малооб'ємних масляних вимикачів.
14. Межі застосування бакових та малооб'ємних масляних вимикачів в ЕЕС.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ПОВІТРЯНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВИМИКАЧІ

Використання газу для гасіння електричної дуги

У порівнянні з маслом і твердими діелектриками газу мають визначені переваги, головні з яких – винятково мала провідність і практично відсутні діелектричні втрати, незалежність електричної міцності від частоти в однорідному полі, слабка забруджувальність під дією дуги і корони.

З підвищенням тиску газу електрична міцність в однорідних або слабо неоднорідних полях збільшується і за певних умов може перевищити електричну міцність трансформаторного масла, вакууму і 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; по відношенню до застосованого в даному обладненні матеріалам, газ повинний бути хімічно нейтральним; він повинен мати низьку температуру спалювання, що дозволило б використовувати його при підвищених тисках і при низьких температурах навколишнього середовища; газ повинен володіти значною тепловідводною здатністю, дисоціація газу повинна бути незначною, він повинний бути пожежо- і вибухобезпечним, легкодоступним і недорогим. Крім того, газ повинен мати добру дугогасну здатність.

Самим доступним газом є повітря, однак по сукупності вимог воно не завжди прийнятне. Електрична міцність деяких газів і парів значно вище, ніж у повітря. Але тільки деякі з них задовольняють вимогам, запропонованим 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.

Найбільш повно задовольняє поставленим вимогам елегаз (шестифториста сірка). Одержують елегаз у результаті прямої реакції між розплавленою сіркою і газоподібним фтором, який утворюється при електролізі розчину фтористого калію у фтористоводневій кислоті.

Повітряні вимикачі

Загальні положення

У повітряних вимикачах дуга гаситься стисненим повітрям у спеціальних дугогасильних камерах. Привід вимикачів пневматичний.

Струмоведачі частини і дугогасильні пристрої ізолюються фарфором або іншими твердими ізолюючими матеріалами.

Розрізняють камери повздожнього дуття, у яких повітряний потік спрямований уздовж дугового стовпа, і поперечного дуття, у яких повітряний потік спрямований поперек дугового стовпа.

Дугогасильні камери поперечного дуття (рис. 4.1,б) застосовуються при $U_{\text{ном}} = 10 \dots 20 \text{кВ}$ і $I_{\text{вимк}} = 120 \text{кА}$.

При розмиканні контактів 2 і 3 між ними виникає дуга, що гаситься поперечним потоком повітря, подаваним по повітропроводу 5. Під дією повітря і перегородок 4 дугогасильної камери 1 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 (відновлення напруги) 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.

Дугогасильні камери повздовжнього дуття.

У вимикачах на напругу більше 35 кВ застосовуються камери повздовжнього дуття з порожніми контактами (рис. 4.1, а). При вимкненні вимикача стиснене повітря, діючи на поршень 4, відводить рухомий контакт 5 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 розпечених продуктів дуги. Через нагрівання дугою повітря у зоні сопла б, 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 вимкнні невіддалених коротких замикань. Ефект "закупорки" залежить від трьох факторів: тиску стиснутого повітря, перетину сопла і потужності дуги (струму).

З ростом тиску і перетину сопла ефект "закупорки" зменшується, сила струму вимикання збільшується, однак зростають витрата повітря й обсяг баків вимикача.

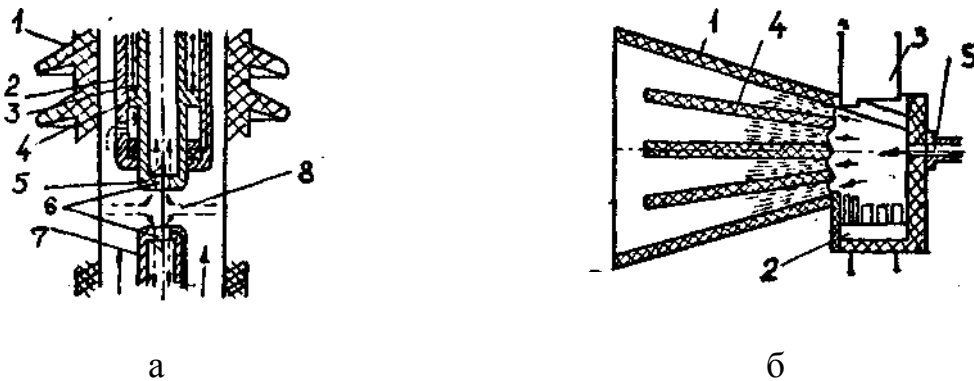


Рис. 4.1. Дугогасні камери повітряних вимикачів

Камера повздожнього дугтя (а): 1 – порцелянова сорочка; 2 - металевий корпус; 3 - пружина; 4 - поршень; 5 - рухомий контакт; 6 - сопла камери; 7 - нерухомий контакт; 8 - міжконтактний проміжок; поперечного дугтя (б): 1 - корпус; 2 – нерухомий контакт; 3 - рухомий контакт; 4 - перегородки; 5 - живильний воздухопровід.

Струм, що вимикається камерою повздожнього дугтя, приблизно зворотно 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 баці 2 МПа найбільша напруга, при якій може працювати одна камера, не перевищує 50...60 кВ. Удосконалення камери і збільшення тиску в баці до 4 МПа - дозволяють підвищити напругу до 125 кВ. При більшій напрузі вимикача кілька камер з'єднують послідовно і

застосовують шунтуючі дільники, що забезпечують рівномірний поділ напруги між камерами.

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

Конструктивні схеми повітряних вимикачів

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

У вимикачах на великі номінальні струми є контури: головний і дугогасильний. В увімкненому положенні основна частина струму проходить по головних контактах 4, розташованих відкрито. При вимкненні вимикача контакти 4 розмикаються першими, після чого весь струм проходить по дугогасильних контактах, розташованих у камері 2. До моменту розмикання цих контактів у камеру з резервуара 1 подається стиснене повітря, що гасить дугу. Дугтя може бути повздовжнім (рис.4.2, а) або поперечним (рис.4.2, б). Необхідний ізоляційний проміжок між контактами створюється в камері розведенням їх на достатню відстань або спеціальним віддільником 5 (рис.4.2, г). Після вимкнення віддільника подача стисненого повітря в камери припиняється і дугогасильні контакти замикаються. Вимикачі по такій конструктивній схемі виготовляють для внутрішньої установки на напругу 10...20 кВ і 35 кВ (серія ВВЕ) і силу струму до 20 кА (серія ВВГ).

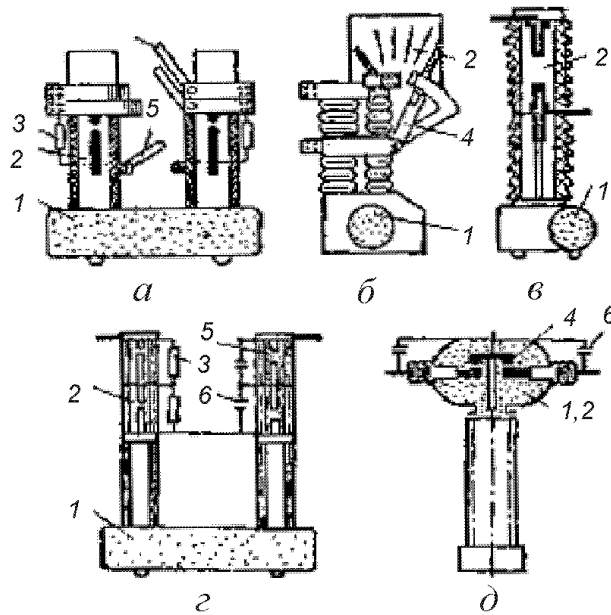


Рис. 4.2. Конструктивні схеми повітряних вимикачів: 1 - резервуар із стисненим повітрям; 2 - дугогасильна камера; 3 - шунтуючий резистор; 4- головні контакти; 5 - віддільник; 6 - ємнісний дільник напруги

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 треба 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 (рис. 4.2.д), у яких немає віддільника. При вимкненні вимикача дугогасильна камера 2, що є одночасно резервуаром стисненого повітря 1, сполучається з атмосферою через дуттеві клапани, завдяки чому створюється дугтя, що гасить дугу. У вимкненому положенні контакти знаходяться в середовищі стисненого повітря. По такій конструктивній схемі 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.

Конструкції деяких повітряних вимикачів

Вимикач ВВГ-20 (рис.4.3) – це вимикач з віддільником на відкритому повітрі. Він призначений для установки в колах потужних генераторів і розрахований на силу струму до 20 кА. Головний струмоведучий контур складається з контактних виводів 4 і роз'єднувача 5. Дугогасильний контур складається з двох камер 3 і 8, резисторів 2, віддільника 9. Послідовно з резистором 2 другої камери увімкнена допоміжна камера 6 із резистором 7 і іскровим проміжком 10.

В увімкненому стані основна частина струму проходить по головному контуру.

Вимкнення відбувається в наступному порядку: розмикаються контакти роз'єднувача 5 і весь струм переходить у дугогасильний контур, де в камерах 3 і 8 розмикаються дугогасильні контакти. До цього моменту в камери подається стиснене повітря (2 МПа), що створює повздовжне дугтя, у результаті чого дуга гасне через 0,01 с. Струм, що проходить через резистори 2, розривається контактами камери 6, при цьому можливі дві

ситуації. Якщо відключається великий струм короткого замикання, а реактивний опір кола значно менше активного опору r_2 резисторів 2, то швидкість відновлення напруги мала і процес вимкнення закінчується гасінням дуги на контактах камери 6.

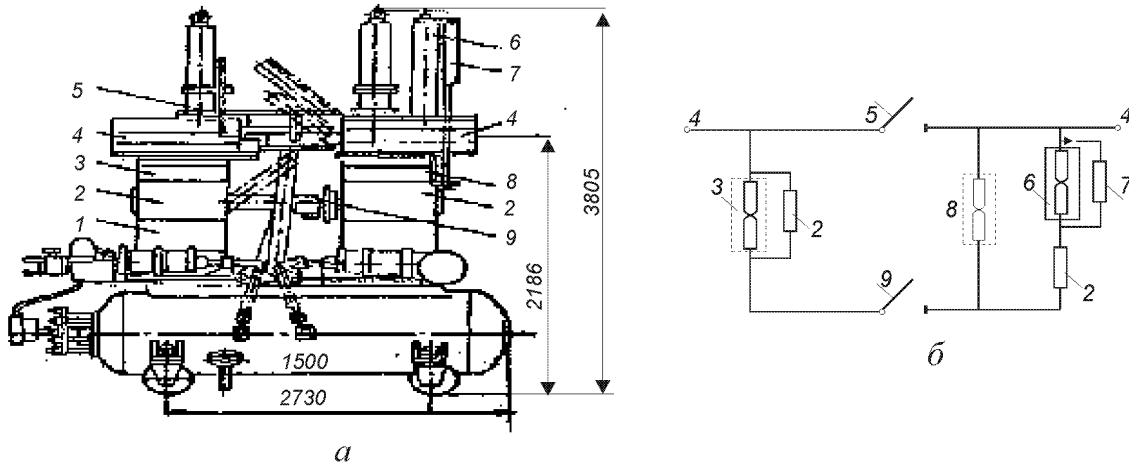


Рис. 4.3. Повітряний вимикач ВВГ-20: а - загальний вигляд; б - схема електрична принципова

Якщо вимикається струм у колі з великим індуктивним опором ($x > r_2$), то швидкість відновлення напруги на контактах камери 6 велика. У цьому випадку після гасіння дуги в камері 6 пробивається іскровий проміжок і паралельно контактам включається резистор 7. При наступному переході струму через нуль дуга на іскровому проміжку гаситься потоком повітря.

Останнім вимикається ніж віддільника 9, створюючи остаточний розрив кола. Після вимкнення віддільника припиняється подача повітря в камери 3 і 8 і рухомі контакти під дією пружин повертаються в увімкнене положення. Повний час вимкнення цього вимикача 0,17с. При ввімкненні спочатку замикається ніж віддільника 9, потім ніж роз'єднувача 5.

Гасильні камери і резистори закріплені на опорних ізоляторах 1. Виконання операцій увімкнення та вимкнення, послідовність роботи окремих вузлів забезпечуються пневматичною системою полюса.

У повітряних вимикачах серії ВВ (ВВН) на напругу 110 кВ і вище замість відкритого віддільника використовується повітрянаповнений (рис. 4.4.а). Дугогасильні камери 1 з шунтом 2 закріплені на порожніх ізоляторах 3. Стиснене повітря подається в камери клапаном 4. Кожний полюс має вісім основних розривів (їхній тип зображений на рис. 4.5, а), увімкнених поспідовно. Повітрянаповнений віддільник має шість

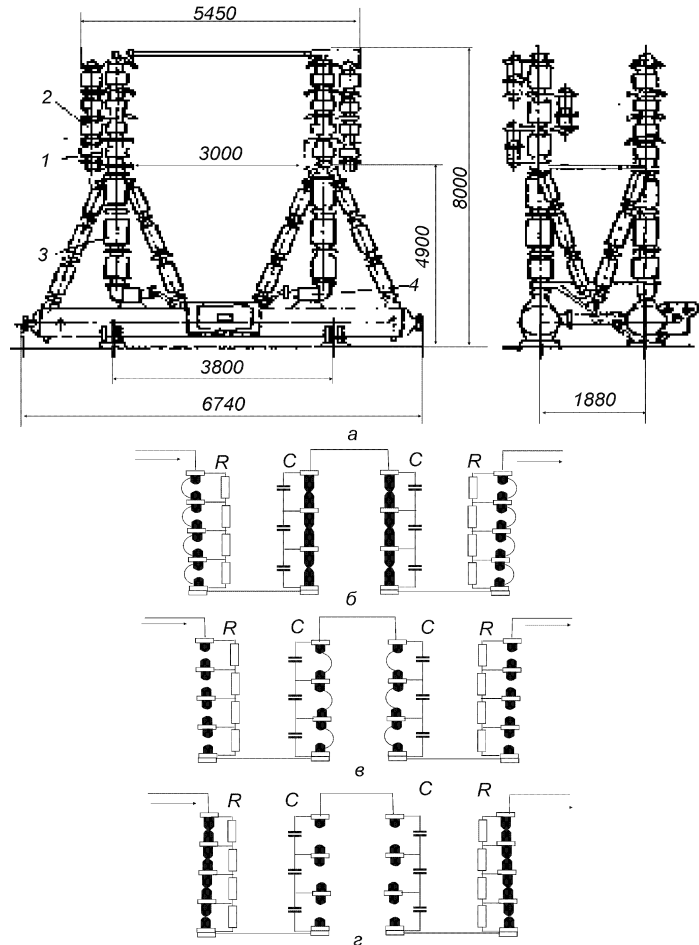


Рис.4.4. Вимикач із повітрянаповненим віддільником на напругу 330 кВ (а); порядок його роботи (б..г)

розривів, шунтованих ємностями. Схема роботи такого вимикача показана на рис. 4, б-г. У стадії "б" розмикаються контакти гасильних камер і гаситься потужна дуга. У стадії "в" розходяться контакти віддільника і гаситься дуга зі струмом, обмеженим резистором R. У стадії "г" подача повітря в гасильні камери припиняється, їхні контакти замикаються, а контакти віддільника залишаються розімкнутими.

Вимикачі ВВ (ВВН) на різні напруги мають однотипні дугогасильні камери (рис.4.5, а). Кожний елемент складається з порцелянового ізолятора, усередині якого знаходяться нерухомий контакт 3 із дугоз`ємом 2 і рухомий контакт 4, що може переміщатися стисненим повітрям усередині корпуса за допомогою поршневого механізму. Пружина 8 прагне

опустити рухомий контакт униз. Перехід струму з рухомого контакту на латунний корпус здійснюється ковзними контактами 5. Внутрішні порожнини контактів гасильної камери сполучаються з атмосферою через вихлопні канали, розташовані усередині фланців ізоляторів 1.

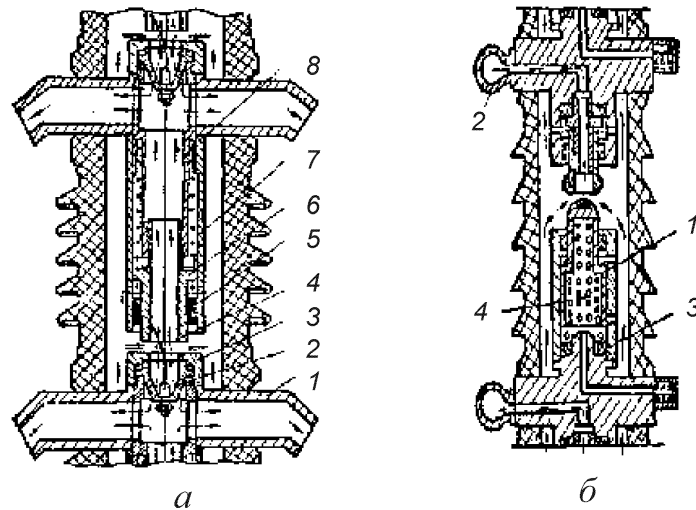


Рис. 4.5. Конструктивна схема елемента дугогасильної камери (а) і віддільника (б)

При вимкненні вимикача стиснене повітря подається в камеру, тиск у ній зростає, тому що сполучення з атмосферою немає. Через спеціальні отвори в корпусі 7 механізму рухомого контакту повітря попадає під поршень 6. Коли тиск на поршень 6 перевершить силу пружини 8, рухомий контакт переміститься вгору на 35...40 мм. Між контактами виникне дуга і для стисненого повітря відкриється вихід в атмосферу через порожні контакти; створиться потужне повздовжнє дуття, яке розтягує дугу і перекидає її на внутрішні неробочі поверхні контактів. При переході струму через нуль дуга гасне. Час гасіння дуги не перевищує 0,02 с. Після гасіння дуги в дугогасильній камері пневматична система керування вимикача відкриває дуттєвий клапан віддільника і подає стиснене повітря в камеру віддільника. Контактми віддільника розривається струм, що проходить через шунтуючі резистори. Призначення цих резисторів двояке:

а) вони знижують швидкість напруги, що відновлюється, і в такий спосіб полегшують процес вимкнення;

б) сприяють рівномірному розподілу напруги між розривами.

Пристрій розриву віддільника показаний на рис. 4.5, б.

Стиснене повітря, що надійшло в елемент віддільника, діє на поршень рухомого контакту 1 і переміщує його вниз. Дуга, що утвориться, гасне в зоні повздовжнього дуття. Вихлоп відбувається в замкнутий об'єм 2. У нижньому положенні контакту 1 його поршень упирається в гумову прокладку 3, при цьому об'єм елемента герметизується. У вимкнутому положенні контакти знаходяться в середовищі стисненого повітря, що дозволяє зменшити габаритні розміри віддільника.

Тиск у камері віддільника при вимкненому положенні його контактів становить 2 МПа. Слідом за вимкненням віддільника припиняється подача повітря в дугогасильну камеру і її контакти замикаються.

Для увімкнення вимикача порожнина віддільника сполучається з атмосферою, в результаті рухомий контакт 1 під дією пружин 4 переміщається вгору. Повітряні вимикачі серії ВВ широко застосовуються в установках напругою 110...500 кВ. Їхня конструкція показана на рис. 4.2, г і відрізняється при різній нарузі кількістю дугогасильних камер і камер повітрянаповненого віддільника. Для вимкнення і гасіння дуги використовується повітря тиском 2 МПа.

У розглянутих вимикачах стиснене повітря з заземленого резервуара подається в дугогасильну камеру по ізолюваному повітропроводу або по внутрішній порожнині ізолятора, довжина якого залежить від $U_{ном}$ вимикача. Час на заповнення камери збільшує власний час вимкнення вимикача, при цьому погіршується основний показник – швидкодія.

Швидкодіючі вимикачі відносяться до типу повітрянаповнених, у яких після гасіння дуги контакти розводяться на відстань, яка є достатньою,

щоб витримати прикладену напругу. Їх конструктивна схема показана на рис. 4.2,д.

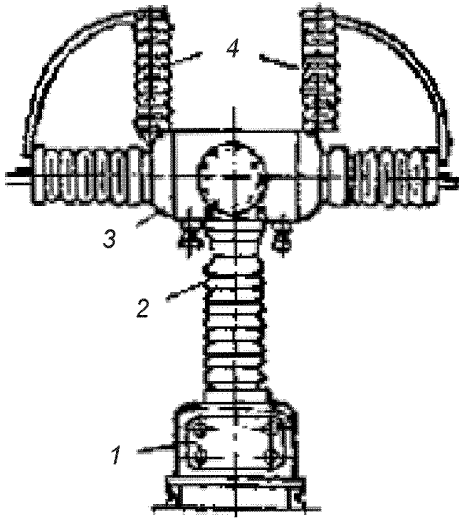


Рис. 4.6

Пристрій і принцип дії таких вимикачів розглянемо на прикладі вимикача ВВБ-110 (вимикач повітряний баковий на 110 кВ), загальний вигляд якого зображений на рис. 4.6. Основний елемент вимикача – дугогасильний модуль із двома розривами в металевому баці зі стисненим повітрям (2 МПа). При $U_{\text{ном}} = 110$ кВ на кожний полюс передбачається один модуль. Дугогасильний пристрій (модуль) розміщений в баці 3, ізолюваному від землі за допомогою колони опорних порцелянових ізоляторів 2. Обсяг бака (1500 л) розрахований на дві операції вимкнення. Витрата повітря поповнюється з ресивера 1 і загальностанційної магістралі по ізолюючому воздухопроводу. Рівномірний розподіл напруги між двома розривами забезпечується за допомогою шунтуючих конденсаторів 4. На фундаменті вимикача розташована шафа керування.

В останніх конструкціях ВВБ-110 передбачений додатковий вертикальний резервуар на 2300 л. Дугогасильна камера зв'язана з додатковим резервуаром трубою з ізолюючого матеріалу, по якій відбувається постійне підживлення повітрям. Крім того, в ізоляторі проходить друга труба меншого діаметра, по якій подається або скидається повітря в процесах увімкнення і вимкнення. Ця труба називається імпульсною.

На рис. 4.7 умовно показаний розріз дугогасильної камери вимикача з елементами електропневматичної системи керування (розташування

ємнісного дільника 17 також показано умовно). У бак вбудовані вводи 6 з епоксидної смоли, зовнішні частини яких захищені порцеляновими покриттями. Нерухомі контакти 7 укріплені на вводах, а рухомі у вигляді ножів 8 на металевій траверсі 20, яка, у свою чергу, жорстко з'єднана зі штоком 9. Нерухомі контакти з убудованими контактними ламелями знаходяться усередині металевих сопел 10, що направляють повітря в процесі вимкнення до вихлопного (дугтєвого) клапану 11. Контактна траверса і тарілка дугтєвого клапана приводяться в рух поршневими пристроями 12 і 13, дії яких погоджені. Клапани керування поршневими пристроями розташовані внизу і заземлені. Основні розриви

дугогасильного пристрою шунтовані резисторами 14 з допоміжними контактами 15 для вимкнення супроводжуючого струму. Резистори 14 укріплені в баці на вводах, допоміжні контакти поміщені під резисторами. Клапани 16 керування цими контактами винесені назовні. Ємнісний дільник 17

призначений для рівномірного розподілу напруги між розривами в положенні "вимкнено".

В увімкненому положенні струм від правого нерухомого контакту 7 через рухомий контакт 8 і

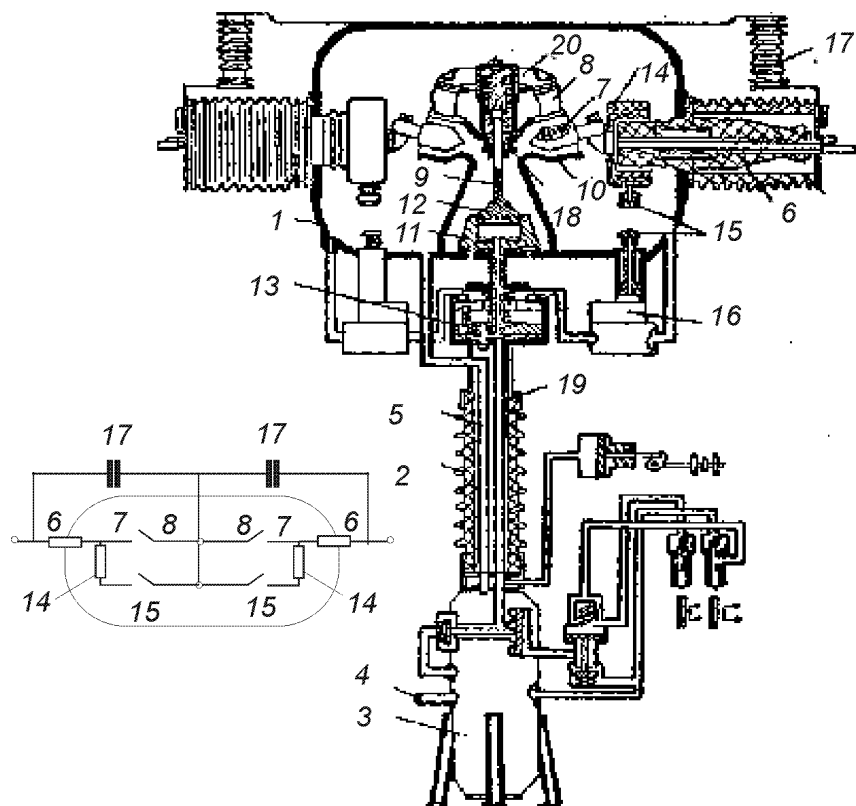


Рис. 4.7. Схема повітряного вимикача типу ВВБ-110 з повітрянаповненими камерами

траверсу 20 проходить на аналогічний лівий контакт. При цьому нижня частина фланця сопла 10 закрита дуттєвим клапаном, що роз'єднує порожнину бака з атмосферою.

У процесі вимкнення поршневий пристрій привода піднімає тарілку дуттєвого клапана 11 і контактну траверсу 20. Спочатку розмикаються головні контакти 7 і 8 і між ними утворюється дуга. Стиснене повітря, що виходить з бака через сопла 10 і дуттєвий клапан, переміщує дугу на кінці нерухомих контактів 7 і допоміжні електроди 18, захищені від швидкої ерозії дугостійкою керамікою (тут дуга піддається інтенсивному повздовжньому дугтю). Шунтування головних контактів низькоомними резисторами 14 з дугогасильними контактами 15 забезпечує гасіння дуги при першому переході струму через нуль при найвищій швидкості відновлення напруги. Дугогасильні контакти 15 розходяться приблизно через 0,035 с після розмикання головних контактів і дуга супроводжуючого струму, що виникає між ними, гаситься потоком повітря, що виходить в атмосферу через внутрішні порожнини контактів.

Після вимкнення дуттєвий клапан закривається і бак знову роз'єднується з атмосферою.

При увімкненні вимикача контактна траверса опускається поршневим пристроєм. Ножі 8 входять у прорізі у верхній частині сопел і головні контакти замикаються. Попередньо замикаються контакти 15.

У порівнянні з вимикачами, що мають заземлений бак зі стисненим повітрям ця компоновка має наступні переваги:

- вимикаюча здатність вимикача вище за рахунок більш високого тиску (майже в 2 рази) у камері при гасінні;
- тиск можна збільшити з 2 до 4 МПа, що інтенсифікує гасіння дуги;

- порцелянові елементи вимикача не знаходяться під тиском стисненого повітря, що різко підвищує надійність роботи вимикача;
- за рахунок усунення наповнення стисненим повітрям довгих повітропроводів, через які наповнюються камери, збільшується швидкодія вимикача;
- габаритні розміри і маса зменшуються на 20..30%, витрата повітря скорочується в 2-2,5 рази;
- завдяки застосуванню шунтів знижується рівень перенапруг, вимикач може бути зроблений нечутливим до швидкості відновлення напруги;
- повна уніфікація вузлів на всі напруги і можливість розвитку в серію шляхом послідовного з'єднання модулів, підсилюється тільки опорна ізоляція.

Ця серія модернізована за рахунок підвищення тиску до 4 МПа, застосування додаткового дуття через порожній нерухомий контакт і використання пневматичної системи керування. Серія подовжена до напруги 1150 кВ і називається ВВБК.

Серія вимикачів ВНВ розроблена на напругу $U_{ном} = 220...1150$ кВ і силу струму вимкнення до $I_{вимк} = 63$ кА. Загальний вигляд дугогасильного модуля на напругу 220 кВ показаний на рис. 4.8. Вимикач на напругу 500 кВ має два модулі, увімкних послідовно, на напругу 750 кВ – 3 і т.д. Опорна ізоляція підсилюється відповідно класу напруги.

Дугогасильний модуль являє собою двохрозривну дугогасильну камеру, контактна система якої знаходиться постійно в середовищі стисненого повітря (4 МПа) як в увімкненому, так і у вимкненому положенні. Контакти змонтовані в металевому резервуарі, на якому встановлені контейнери із шунтуючими резисторами і комутуючими їх механізмами, також заповнені стисненим повітрям. Струмоведачі частини приєднані до контактної системи за допомогою ізолюючих ввідів. Дуга в камері гаситься двохстороннім дуттям стисненим повітрям, що викидається через внутрішні порожнини контактів і вихлопні клапани в атмосферу. Контакти мають двохтактний рух: при гасінні дуги розрив між ними мінімальний, чим забезпечується інтенсивне дуття, після закінчення гасіння дуги рухомий контакт переміщується на максимальну відстань, забезпечуючи необхідну електричну міцність.

На рис. 4.9 схематично показаний один розрив дугогасильного модуля вимикача ВНВ на 500 кВ в увімкненому положенні. Вимикання відбувається при спрацьовуванні електромагніта вимкнення 3. Клапан 5 відкриває доступ стисненого повітря із резервуара до поршня 6, який переміщує систему важелів та тяг, внаслідок чого рухомі контакти 13 рухаються по горизонтальній осі модуля назустріч один одному. На рис. 4.9 зображений один (лівий), другий знаходиться в правій частині модуля, яка на рисунку не зображена. Спочатку розмикаються головні робочі контакти 14, потім дугогасильні 15. Дуга виникає між внутрішньою дугогасильною поверхнею рухомого контакту 13 та ламелями дугогасильного контакту і потоком стисненого повітря з камери здувається на рухоме

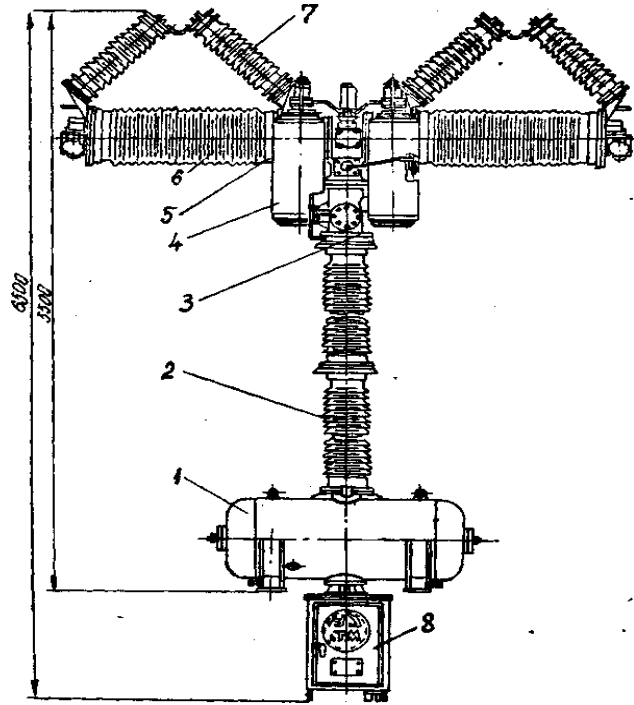


Рис.4.8. Поліус повітряного вимикача ВНВ-220:
1 - резервуар; 2 - ізолятор; 3 - механізм привода камери;
4 - блок шунтуючих резисторів; 5 - камера гасильна;
6 - ізолюючий ввід; 7 - конденсатор; 8 - шафа керування

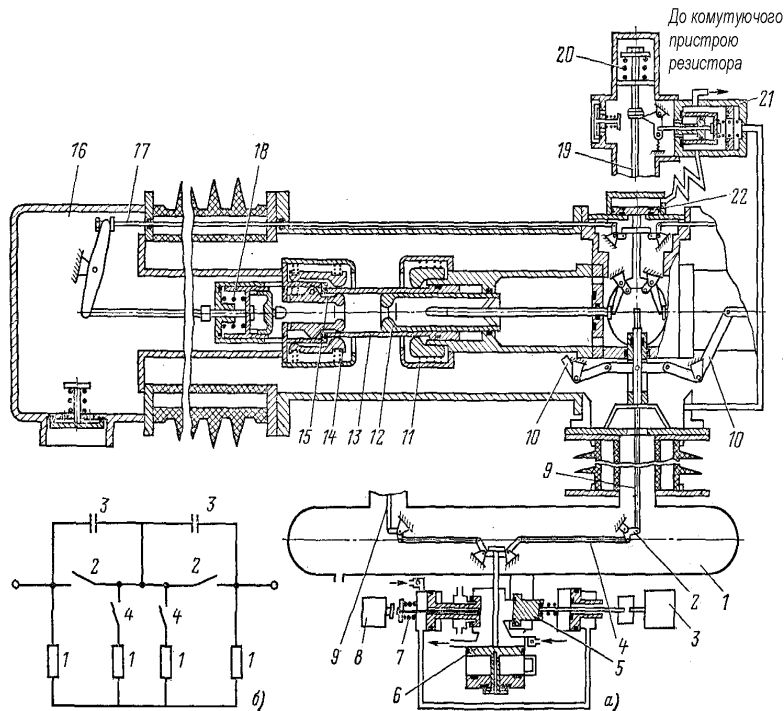


Рис.4.9. Дугогасильний модуль вимикача ВНВ.

а) пневмомеханічна схема: 1 – резервуар з повітрям; 2 – кутові важелі; 3 – електромагніт вимкнення; 4 – металеві тяги; 5 – клапан вимкнення; 6 – поршень; 7 – пусковий клапан; 8 – електромагніт увімкнення; 9 – ізоляційні тяги; 10 – кутові важелі, що зв’язані з рухомими контактами; 11 – електростатичний екран; 12 – рухоме сопло; 13 рухомий контакт; 14 – головний робочий контакт; 15 – дугогасильний контакт; 16 – вихлопна порожнина; 17 – ізоляційна тяга; 18 – вихлопний клапан; 19 – шток; 20 – вмикаюча пружина; 21 оперативний клапан; 22 – поршень приводу вихлопних клапанів;
б) електрична функціональна схема: 1 - резистори, 2 – головні контакти; 3 – ємності; 4 – допоміжні контакти.

сопло 12. Через те, що внутрішні порожнини контактів сполучені з вихлопною порожниною 16 і через неї з атмосферою, створюється потужне дуття і дуга гасне. Після закінчення гасіння дуги рухомий контакт переміщується на максимальну відстань і ховається за електростатичний екран 11. Разом з рухом тяги 9 униз переміщується шток 19, який своїм виступом діє на важіль, що відкриває оперативний клапан 21. Повітря під поршнем 22 викидається в атмосферу, сам поршень переміщується і рухоме сопло 12 рухається вправо до упору, закриваючи вихлоп повітря в атмосферу. Вихід повітря із нерухомого контакту також закінчується, тому що вихлопний клапан 18 перекриває отвір контакту 15.

При вмиканні вимикача спрацьовує електромагніт увімкнення, який відкриває пусковий клапан 7, при цьому порожнина під поршнем 6 сполучається з атмосферою. Під дією вмикаючої пружини 20 шток 19 переміщується уверх, повертаючи поршень 6 у вихідне положення, при цьому важелями 10 рухомі контакти замикаються з нерухомими.

Пневмомеханічний пристрій вимикача ВНВ зменшує власний час вимкнення до 0,02-0,025 с.

Розподіл напруги між дугогасильними розривами здійснюється за допомогою паралельно увімкнених ємностей 3, рис. 4.9.б. При необхідності (великих швидкостях відновлюваної напруги) вимикачі можуть шунтуватися резисторами 1. В цьому випадку після гасіння дуги в головному колі на контактах 2 вимикаються допоміжні контакти 4 у середовищі стисненого повітря, розриваючи невеликий струм.

Електромагнітні вимикачі

Загальні відомості.

Масляні і повітряні вимикачі володіють рядом істотних недоліків. Так масляні вимикачі вимагають догляду за маслом, вони також пожежо- і вибухонебезпечні. У маломасляних вимикачах значно менший об'єм масла, ніж у багатомасляних, однак область застосування маломасляних вимикачів обмежена, тому що при частих операціях вимкнення ця невелика кількість масла швидко забруднюється частками вуглецю, що утворюються при горінні електричної дуги. Повітряні вимикачі вимагають наявності джерела стисненого повітря. Крім того, вони дуже чутливі до швидкості відновлення напруги на дуговому проміжку.

В електромагнітних вимикачах дуга горить у повітрі при атмосферному тиску і гасне за рахунок подовження і тісного дотику з поверхнею діелектрика під впливом магнітного дуття, яке створюється струмом, вимкнення. При малому струмі величина електродинамічної сили,

що затягує дугу в дугогасну камеру, недостатня і для переміщення дуги використовується повітряний поршневий пристрій, механічно зв'язаний з рухомими контактами.

Електромагнітні вимикачі належать до швидкодіючих: дуга в них гаситься за 10-20мс. У процесі вимкнення опір дуги швидко зростає і відіграє роль струмообмежуючого опору, що вводиться в електричне коло, що відключається. Тому значення періодичної складової струму короткого замикання до моменту обриву дуги зменшується, зменшується також зсув фаз між напругою і струмом кола ($\cos\phi$), що у свою чергу веде до зниження коефіцієнта перевищення амплітуди напруги, що відновлюється. Усе це приводить до того, що робота електромагнітного вимикача не залежить від власної частоти мережі.

Переваги електромагнітних вимикачів:

- Вимикач пожежо-безпечний.
- Для його роботи не потрібно ні масло ні стиснене повітря.
- Малий знос контактів, дугостійка камера, швидке гасіння дуги дозволяють робити велике число операцій вмикання і вимикання без ревізії.
- Вимикач малочутливий до власної частоти кола, що відключається.

Недоліком вимикачів є великі габарити дугогасних камер, що ускладнює розвиток вимикачів по напрузі, а також вибухо-небезпечний.

Електромагнітні вимикачі випускаються на номінальні напруги 6, 10,15 кВ із номінальним струмом вимкнення до 40 кА. За кордоном їх випускають на напруги до 24 кВ. Ці вимикачі використовуються головним чином в установках власних потреб електростанцій і для комутації косинусних конденсаторних батарей.

Конструкція і принцип дії електромагнітних вимикачів

На рис. 4.10 приведений ескіз контактної і дугогасної системи електромагнітного вимикача типу ВЕМ-6. При розмиканні дугогасних контактів 8 між ними виникає електрична дуга, яка під впливом *електродинамічних сил* струмоведучого контуру і повітряного поршневого пристрою, зв'язаного з контактним важелем 5, подовжується і переміщається в положення Б (рис. 4.10,а) При цьому частина дуги АЕ шунтується котушкою магнітного дуття 4, яка має малий опір. На цьому відрізку дуга гасне. Весь струм йде по котушці 4, яка в увімкнутому положенні вимикача не обтікається струмом. Магнітне осердя з полюсними наконечниками 6 у зоні горіння дуги створює магнітне поле. Це поле, взаємодіючи зі струмом дуги, переміщає дугу нагору з великою швидкістю (до 100м/с).

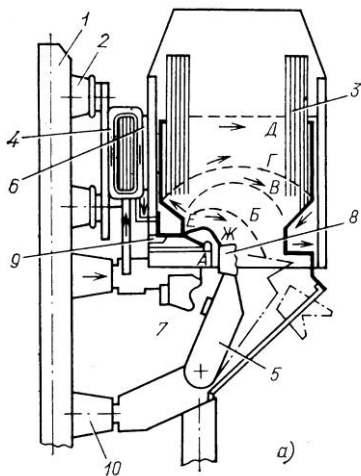


Рис. 4.10. Дугогасна камера електромагнітного вимикача ВЕМ-6.

Дуга
заганяється в
дугогасну камеру
3, пластини якої
виконані з
дугостійкої
кераміки і мають
високу
теплопровідність.

По мірі переміщення нагору дуга подовжується і приймає форму горизонтального зигзага (рис. 4.10,б). При цьому дуга тісно стикається зі стінками камери, піддається інтенсивній деіонізації і гасне при першому проходженні струму через нульове значення.

Спад напруги в дузі може бути визначено виразом:

$$U_{\delta} = 190 \cdot l_{\delta} / \sqrt{\delta}$$

де δ - ширина щілини, м; l_{δ} - довжина дуги, м;

Довжина дуги вибирається такою, щоб у момент переходу струму через нульове значення миттєве значення напруги, щої відновленні, не перевищило U_n .

Порядок виконання 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.

Питання для самоконтролю

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. На прикладі рис. 1.а або рис. 5.а поясніть організацію повздовжнього дуття.

6. Для чого призначені ділянки напруги?
7. Для чого деякі вимикачі оснащуються віддільниками? Які конструкції віддільників застосовуються у повітряних вимикачах?
8. На прикладі ВВГ-20 поясніть порядок роботи елементів повітряних вимикачів при вимкненні. Які відмінності у вимикачів більш високої напруги серії ВВ (ВВН)?
9. Поясніть пристрій і принцип дії вимикачів, у яких контактна система знаходиться у резервуарі стисненого повітря ізольованого від землі. Які переваги дає ця конструкція в порівнянні з вимикачами, що мають заземлений бак зі стисненим повітрям.
10. Переваги та недоліки повітряних вимикачів.
11. Межі застосування повітряних вимикачів в ЕЕС.
12. Що є дугогасним середовищем в електромагнітних вимикачах?
13. За рахунок чого створюється умова гасіння дуги в електромагнітних вимикачах?
14. Перелічіть основні конструктивні елементи електромагнітних вимикачів на прикладі ВЕМ-6
15. Чи завжди обтикається струмом котушка магнітного дуття, як відбувається її живлення?
16. Призначення повітряного поршневого пристрою.
17. Розкажіть порядок вимкнення електромагнітного вимикача.
18. Переваги та недоліки електромагнітних вимикачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ЕЛЕГАЗОВІ ТА ВАКУУМНІ ВИМИКАЧІ

1. Загальні відомості про елегазові вимикачі

1.1. Фізико-хімічні властивості елегазу. Елегаз або шестифториста сірка (SF_6) – безбарвний газ, без запаху, в 5 разів важче за повітря, нетоксичний в чистому вигляді, стійкий до дії розплавлених металів. Не розчиняється у воді.



Рис. 5.1. Залежність електричної міцності елегазу від тиску

Елегаз має властивість відведення великої кількості тепла, що збільшує вимикаючу здатність комутаційних апаратів і зменшує нагрів струмоведучих частин (дозволяє за інших рівних умов збільшити струмове навантаження на 25% і допустиму температуру мідних контактів до 90°C (у повітряному середовищі 75°C)).

Елегаз має дуже високу електричну міцність (рис. 1), так як відноситься до «електронегативних» газів, які отримали таку назву через здатність їх молекул захоплювати вільні електрони, перетворюючись у важкі і малорухливі негативно заряджені іони. Це дозволяє зменшити ізоляційні відстані при невеликому робочому тиску газу, в результаті цього зменшується маса і габарити електротехнічного обладнання.

При температурах до 1000°K чистий елегаз інертний, стійкий до нагрівання і не горючий. При температурі вище 1100°C (під впливом електричної дуги або коронного розряду) розпадається на нижчі фториди (SF_2 , SF_4) з утворенням хімічно активних елементів, які можуть викликати руйнування ізоляційних і конструкційних матеріалів. Проте ступінь розкладання елегазу під впливом електричної дуги в дугогасильній камері низька через те, що велика кількість розклася газу негайно рекомбінує (постійна часу деіонізації близько $0,25$ мкс). Газоподібні продукти розпаду елегазу отруйні і мають різкий, специфічний запах.

Через свою інертність елегаз не старіє, тобто не змінює своїх властивостей з часом.

1.2. Дугогасильні властивості елегазу.

У елегазових вимикачах гасіння дуги відбувається так само, як і в повітряних вимикачах при інтенсивному охолодженні дуги потоком газу. Дугогасильна здатність елегазу в $4\div 4,5$ рази вище, ніж у повітря при подібних умовах. Ця перевага пояснюється відмінностями тепло-фізичних властивостей елегазу і повітря.

Елегаз має високу здатність відведення тепла, створюваного дугою, це пояснюється низькою теплоємністю в каналі стовпа дуги і підвищеною теплопровідністю гарячих газів, що оточують стовп

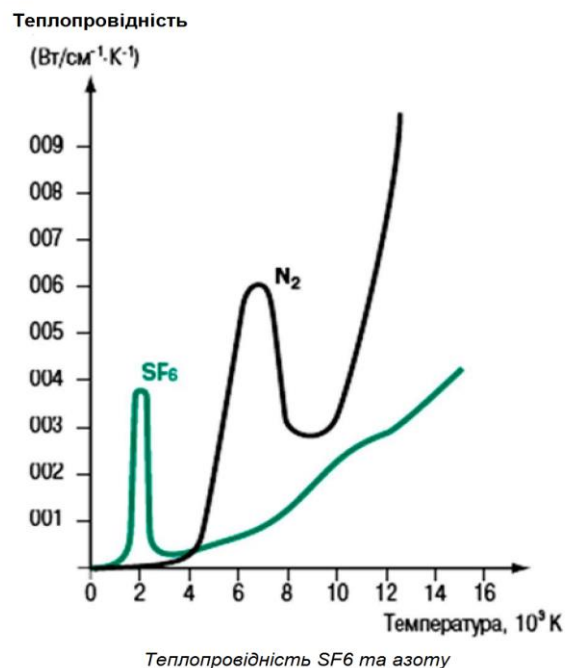


Рис. 5.2. Залежність теплопровідності елегазу від його температури

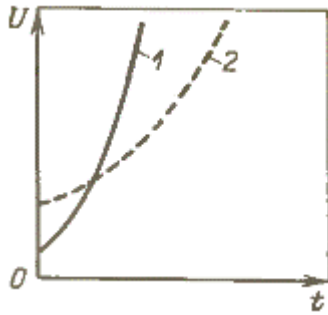


Рис. 5.3. Зростання електричної міцності елегазу (1) і повітря (2)

дуги (2000 К). "Ослабленню" дуги також сприяє захоплення вільних електронів молекулами елегазу і деякими продуктами його розпаду.

У повітряних вимикачах інтенсивними турбулентними процесами стовп дуги може руйнуватися раніше природного переходу струму через нуль, що призводить до виникнення перенапруг. У елегазі ж практично до природного переходу струму через нуль не відбувається руйнування каналу стовпа дуги, який має високу провідність. При цьому, по-перше, залишкова плазма буде мати низьку температуру близько $2000 \div 3000^\circ\text{K}$ (рис. 2), що сприяє більш швидкому охолодженню і, відповідно, відновленню діелектричної міцності. А по-друге, будуть відсутні зрізи струму і великі перенапруги, що особливо важливо при вимиканні ненавантажених трансформаторів і ліній електропередавання.

1.3. Особливості експлуатації елегазу. За ступенем впливу на організм елегаз відноситься до 4 класу небезпеки, до якого належать малонебезпечні речовини. Гранично допустима концентрація (ГДК) в повітрі робочої зони виробничих приміщень 5000 мг/м^3 . Гранично допустима концентрація в атмосферному повітрі – $0,001 \text{ мг/м}^3$.

При збільшенні тиску електрична міцність елегазу зростає майже пропорційно тиску і може бути вище електричної міцності рідких і деяких твердих діелектриків. Однак ця перевага стає недоліком елегазу при низьких температурах через перехід його в рідкий стан і втрату ізоляційних властивостей, що накладає додаткові вимоги на

температурний режим елегазового устаткування під час експлуатації. Температура скраплення елегазу при надмірному тиску (тиску заповнення обладнання) 0,3 МПа складає -45°C , а при 0,5 МПа вона підвищується до -30°C . Таким чином, найбільший робочий тиск і, відповідно, найбільший рівень електричної міцності елегазу в ізоляційній конструкції обмежуються можливістю скраплення елегазу при низьких температурах.

У зв'язку з цим, виходом із ситуації є застосування суміші елегазу з іншими газами, у яких електрична міцність зменшується лише на 10...15% нижче міцності чистого елегазу, а допустимий тиск значно зростає. Так, наприклад, у суміші з 30% елегазу і 70% азоту скраплення при температурі -45°C настає при тиску 8 МПа. Таким чином, допустимий робочий тиск для суміші приблизно в 30 разів вище, ніж для чистого елегазу.

Ще одним варіантом підвищення надійності роботи електрообладнання при температурах -40°C і нижче є підігрів елегазу (бак елегазового вимикача для виключення можливості переходу елегазу в рідкий стан нагрівають до плюс 12°C).

Конструкція окремих елементів комплектних розподільних елегазових пристроїв (КРПЕ) повинна забезпечувати найбільшу рівномірність і однорідність електричного поля. Оскільки в неоднорідному полі з'являються місцеві перенапруги, які викликають коронні розряди. Під дією яких елегаз розкладається, утворюючи в своєму середовищі нижчі фториди (SF_2 , SF_4). Хоча ці гази самі по собі не токсичні, але легко гідролізуються при взаємодії з вологою, утворюючи фтористо-водневу кислоту і двоокис сірки. Для їх поглинання в елегазові вимикачі встановлюють фільтри.

Щоб усунути виникнення розрядів поверхні окремих металевих деталей комутаційного обладнання виконуються особливо гладкими, вони не повинні мати забруднень, шорсткостей і задирок. Обов'язковість

виконання цих вимог диктується тим, що бруд, пил, металеві частинки також створюють місцеві напруженості електричного поля, що погіршують електричну міцність елегазової ізоляції.

1.4. Конструкція дугогасильного пристрою елегазових вимикачів в значній мірі визначається застосуванням способом гасіння дуги, який залежить від номінальної напруги, номінального струму відключення і експлуатаційних особливостей в місці установлення. Інтенсивний газодинамічний вплив потоку елегазу на стовп електричної дуги є найбільш ефективним способом гасіння дуги. Тому він використовується в більшості сучасних конструкцій дугогасних пристроїв елегазових вимикачів. У елегазових дугогасильних пристроях, на відміну від повітряних, при гасінні дуги газ, пройшовши через сопло, потрапляє не в атмосферу, а надходить в замкнуту камеру, заповнену елегазом при відносно невеликому надлишковому тиску. За способом організації охолодження дуги потоком елегазу розрізняють наступні елегазові вимикачі:

- Автокомпресійні – з дуттям, створюваним за допомогою компресійного-ного пристрою (елегазові вимикачі з одним ступенем тиску);
- в яких гасіння дуги в дугогасильних пристроях забезпечується обертанням її по кільцевих контактах під дією поперечного магнітного поля, яке створюється струмом, що відключається або постійними магнітами (елегазові вимикачі з електромагнітним дуттям);
- з дугогасильним пристроєм поздовжнього дуття, при якому попередньо стиснений газ надходить з резервуара з відносно високим тиском елегазу (елегазові вимикачі з двома ступенями тиску);

- з дугогасильним пристроєм поздовжнього дуття, в яких підвищення тиску елегазу відбувається за рахунок розігріву газового середовища в спеціальній камері дугою, що відключається (елегазові вимикачі з автогенеруючим дуттям).

2. Елегазові вимикачі серії HD4

2.1. Загальні відомості. Вимикачі середньої напруги (12-17,5-24 кВ) серії HD4 використовують газоподібну шестифтористу сірку (елегаз SF₆) для гасіння електричної дуги і в якості ізолюючого матеріалу.

Розмикання контактів в елегазі SF₆ здійснюється без переривання дуги і утворення надлишкової перенапруги. Ці особливості забезпечують велику довговічність вимикача і невеликі динамічні, діелектричні і теплові навантаження на ізоляцію.

Привод вимикача типу ESH з накопиченням енергії має вільний розчіплювач і дозволяє виконувати операції вмикання і вимикання незалежно від дій оператора.

Привод і полюси вимикача встановлені на металеву конструкцію, яка також служить опорою під час переміщення рухомих контактів.

Вимикачі HD4 можуть бути фіксованої і висувної конструкції. Вимикачі з висувною конструкцією поставляються з возиком, який забезпечує легке виймання та встановлення вимикача з розподільного



Рис. 5.4. Зовнішній вигляд елегазового вимикача HD4

щита або комірки. Легка і компактна конструкція вимикача забезпечує велику міцність і відмінну механічну надійність.

Вимикачі HD4 використовуються в силових розподільних колах для контролю і захисту ліній, трансформаторних і розподільних підстанцій, двигунів, трансформаторів, конденсаторних батарей тощо.

2.2. Способи розмикання контактів

Способи автопневматичного розмикання вимикачів HD4 базується на методах стиснення і самовідновлення для отримання найкращих характеристик при будь-яких значеннях робочого струму, з мінімальним часом горіння дуги, її поступовим гасінням без зрізу струму і без повторного відновлення та виникнення перенапруги.

Загальна схема розмикання вимикача представлена на рис. 4

Основні етапи розмикання вимикача наступні:

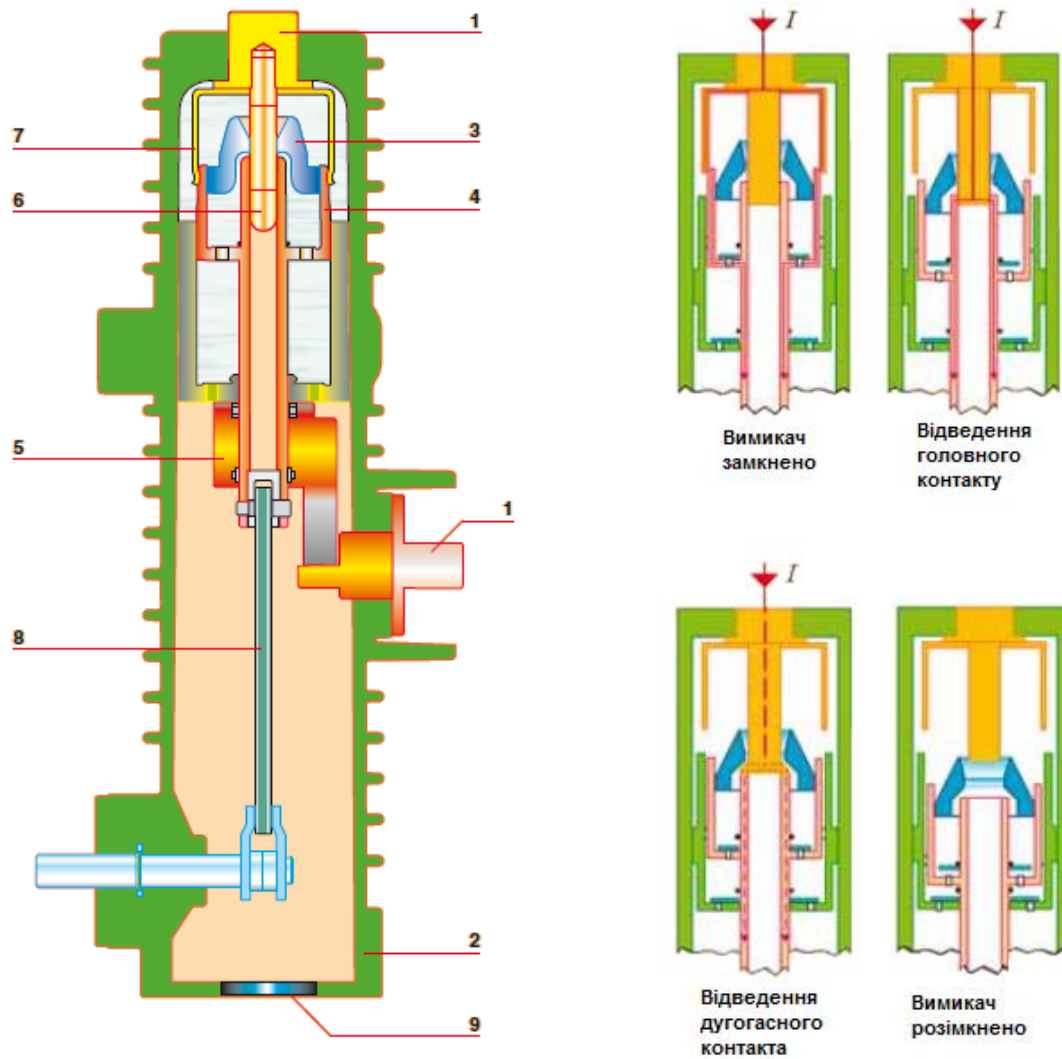
1) Відхід головного контакту

Головний контакт не пропалюється дугою, оскільки струм переходить на дугогасильні контакти. Під час руху рухома частина стискає газ, що знаходиться в нижній камері. Стиснутий газ переходить з нижньої камери в верхню, вирівнюючи тиск в них.

2) Відхід дугогасильного контакту

Між дугогасильними контактами продовжує протікати струм в вигляді електричної дуги, яка утворилася між ними.

Газ не може піти через наконечник, так як отвір все ще закрито фіксованим дугогасильним контактом, і не може вийти через внутрішню частину рухомого дугогасильного контакту оскільки її закриває електрична дуга (ефект закупорки).



1 – Ввод

2 – Ізоляційний корпус

3 – Наконечник

4 – Рухомий головний контакт

5 – Рухомий дугогасний контакт

6 – Нерухомий дугогасний контакт

7 – Нерухомий головний контакт

8 – Ізолюючий стрижень

9 – Вибухозахисний клапан

Рис. 5.5. Конструкція та порядок вимикання дугогасної камери вимикача серії HD4

- **при малих струмах**, коли змінний струм проходить через нульове значення і дуга гасне, газ переміщується вздовж дугогасильних контактів. При цьому тиск газу занижений для значного зрізу струму, а невеликої кількості газу достатньо для відновлення діелектричної міцності міжконтактного проміжку достатньої для

запобігання повторному виникненню дуги при відновленні напруги.

- **при великих струмах короткого замикання** тиск, утворений електричною дугою, перебиває клапан між двома камерами, в результаті чого вимикач працює як самовідновлювальний. Тиск підвищується в верхньому об'ємі із-за нагрівання газу і молекулярному поділу, викликаному високою температурою. Отримане підвищення тиску пропорційне струму дуги і забезпечує гасіння при першому проході струму через нуль.

3) Вимикач розімкнутий

Дуга перервана, тиск, що виник у верхньому об'ємі знижено, так як газ проходить через контакти. Клапан знову відкривається, і новий потік свіжого газу надходить в камеру розмикання. Після цього вимикач відразу ж готовий до вмикання і наступного циклу вимикання зі своєю максимальною відключаючою здатністю.

4. Вакуумні вимикачі

4.1. Теоретичні відомості

Принцип розмикання вимикачів

У вакуумному вимикачі електрична дуга утворюється в момент роз'єднання контактів, зберігається до нульового струму і на неї може впливати магнітне поле.

Поширена або стисла в вакуумі дуга

В результаті розмикання контактів утворюються окремі точки плавлення на поверхні катода. Це призводить до утворення парів металу, які підтримують дугу. Поширенню дуги сприяє поширення по поверхні контакту і однорідне поширення по поверхні контактів під впливом тепла.

При номінальному значенні струму електрична дуга вимикача завжди поширеного типу. Ерозія контакту дуже невелика, а кількість розмикань дуже висока. При збільшенні сили комутуємого струму (понад номінального значення) електрична дуга перетворюється з поширеною в стислу під дією ефекту Холла. Починаючи з анода, дуга стискається, і в міру збільшення струму концентрується пропорційно до значення підвищення температури з усіма пов'язаними з цим теплових ефектів пов'язаних з перевантаженням контактів.

Для запобігання перегріву і ерозії контактів, підтримується обертання дуги. Завдяки обертанню, дугу можна порівняти з рухомих провідником, через який проходить струм.

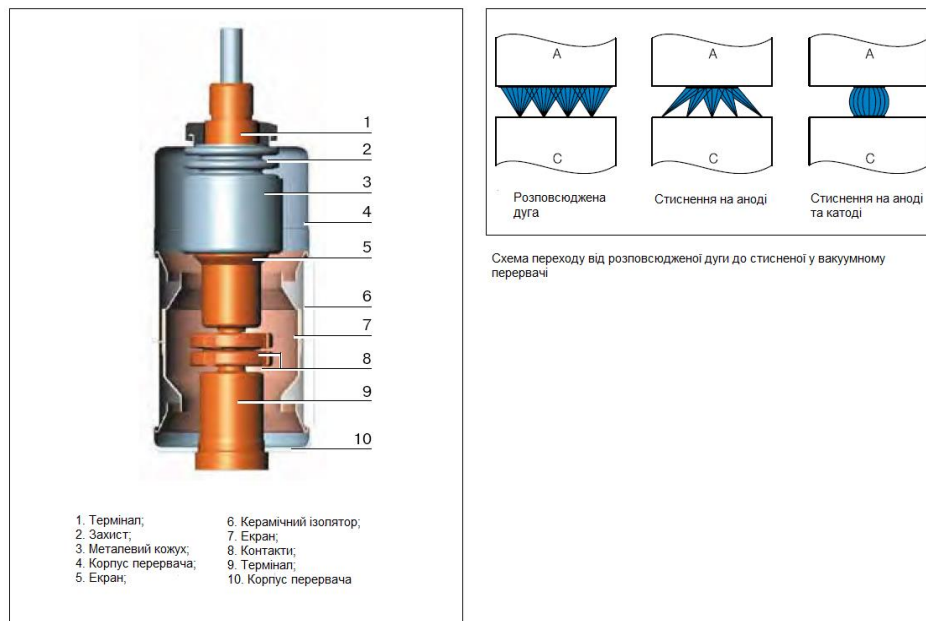


Рис. 5.6. Конструкція контакта перервача дуги та схема її розповсюдження

Спиральна геометрія контактів вакуумних вимикачів АВВ

Особлива геометрія спіральних контактів утворює радіальне магнітне поле в будь-якій зоні колони концентрованої дуги на поверхню контактів. Самоутворюється електромагнітна сила, що діє тангенціально на струм, викликаючи швидке обертання дуги навколо осі

контактів. Таким чином, дуга примушується до обертання і до задіяння більш широкою поверхні по відношенню до дуги з фіксованим контактом. Все це не тільки знижує теплове перевантаження контактів, а й доводить до незначного рівня ерозію контактів і, найголовніше, дозволяє контролювати процес розмикання, навіть при дуже високому струмі короткого замикання. Вакуумні вимикачі АВВ - це вимикачі з нульовим струмом, які не піддаються повторному спрацюванню.

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

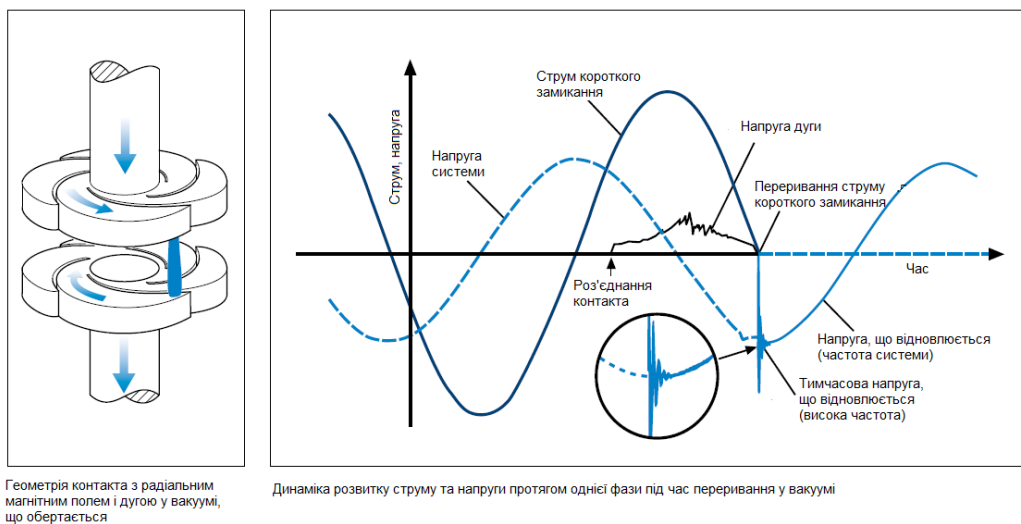


Рис. 5.7. Геометрія контакта та динаміка розвитку процесу переривання дуги у вакуумі

Розмикання струму в вакуумі

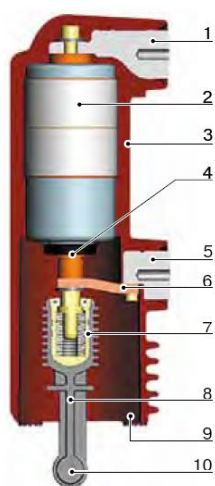
Вакуумні вимикачі не потребують додаткових перериваючих і ізолюючих пристроїв і середовищ. І, дійсно, в вимикачу немає іонізуючого матеріалу. При розведенні контактів відбувається утворення електричної дуги, що складається лише тільки з матеріалів плавлення і випаровування самих контактів. Електрична дуга підтримується зовнішньої енергією до тих пір, поки не пропаде струм близько природної нульової точки. У цей

момент різке зниження переміщуваного заряду і швидка конденсація пара металу призводить до швидкого відновлення діелектричних властивостей проміжку.

Таким чином, вакуумний вимикач відновлює ізолюючу здатність і здатність витримувати відновлювану напругу, остаточно гасячи дугу. Оскільки в вакуумі можна досягти високої діелектричної міцності, навіть при мінімальних відстанях, розмикання кола гарантується навіть тоді, коли розмикання контактів здійснюється всього за кілька мілісекунд до проходження струму природної нульової точки. Особлива геометрія контактів і використаного матеріалу, що забезпечує невелику тривалість дуги і невисока напруга дуги, гарантує мінімальний знос контактів і велику довговічність. Крім того, вакуум запобігає окисленню і забрудненню.

4.2. Опис вакуумного вимикача VD4

Нові автоматичні вимикачі серії VD4 є проявом що затвердився на ринку технології компанії АВВ з проектування і виготовлення вакуумних вимикачів, а також в області конструювання, технології та виробництва автоматичних вимикачів.



1. Верхній термінал;
2. Вакуумний переривач;
3. Корпус/полюс;
4. Ступиця рухомого контакту;
5. Нижній термінал;
6. Гнучке підключення;
7. Пружинна вилка шатуна;
8. Шатун;
9. Кріплення полюса;
10. Підключення до керуючого механізму

Рис. 5.8. Конструкція вакуумного переривача, що вбудований у полюс

В автоматичних вимикачах середньої напруги VD4 встановлені вакуумні дугогасні камери, вбудовані в полюси. Цей метод виготовлення робить полюси вимикача особливо стійкими і захищає сам вимикач від ударів, пилу і вологості. У вакуумному вимикачі розташовані контакти, і сам він представляє собою дугогасну камеру.

Конструктивні особливості

Привод і полюси закріплені на металевому шасі, яке є також опорою для фіксованої версії вимикача. Компактна структура забезпечує механічну міцність і надійність. Викочування версія, крім роз'єднувальних контактів має дроти з вилкою для підключення допоміжних вторинних кіл, комплектується візком для вкочування і викочування при закритих дверях комірки.



Рис. 5.9 Зовнішній вигляд вакуумних вимикачів на прикладі продукції компанії АВВ

Сфера застосування

Автоматичні вимикачі VD 4 застосовуються в електричних розподільних мережах для контролю і захисту кабелів, повітряних ліній,

трансформаторних і розподільних підстанцій, двигунів, трансформаторів, генераторів і конденсаторних батарей.

Норми

Автоматичні вимикачі VD 4 відповідають стандартам IEC 62271-100, VDE 0671-розділ 100, CEI EN 62271-100, розділ 7642 (2005-5), і нормам основних промислово-розвинених країн.

Безпека експлуатації

Завдяки наявності повної гами механічних і електричних блокувальних пристроїв (що поставляються за замовленням), при установці вимикачів VD4 можна створювати надійні розподільні щити. Блокувальні пристрої розроблені для попередження неправильних керуючих операцій і для контролю обладнання при забезпеченні максимальної безпеки оператора

Блокування з ключем або висячими замками обумовлюють виконання розмикання і змикання і/або установки і вилучення. Пристрій викочування при закритих дверях дозволяє викочувати і вкочувати вимикач в щит тільки при закритих дверях. Блокування противведення запобігають використання вимикачів з різною номінальною силою струму, а також операцію вкочування і викочування при замкненому вимикачі.

Перевагами вакуумних вимикачів є:

- надійний механізм управління, так як вони складаються з невеликої кількості компонентів;
- просте обслуговування;
- уніфікація обладнання для усіх вимикачів даної серії;
- простота та легкість монтажу;
- забезпечення спеціальним механічним блокуванням від повторного замикання;
- можливість блокування ключем вимикача у розімкненому стані;

- застосування системи захисту у колах розмикання і замикання за допомогою спеціального інструменту.
- захисні блокування кнопок керування.

4.3. Привод вакуумних вимикачів фірми АВВ

Низька швидкість контактів, скорочена відстань між ними і невелика маса обмежують необхідну для роботи енергію і гарантують при цьому дуже невеликий знос пристрою.

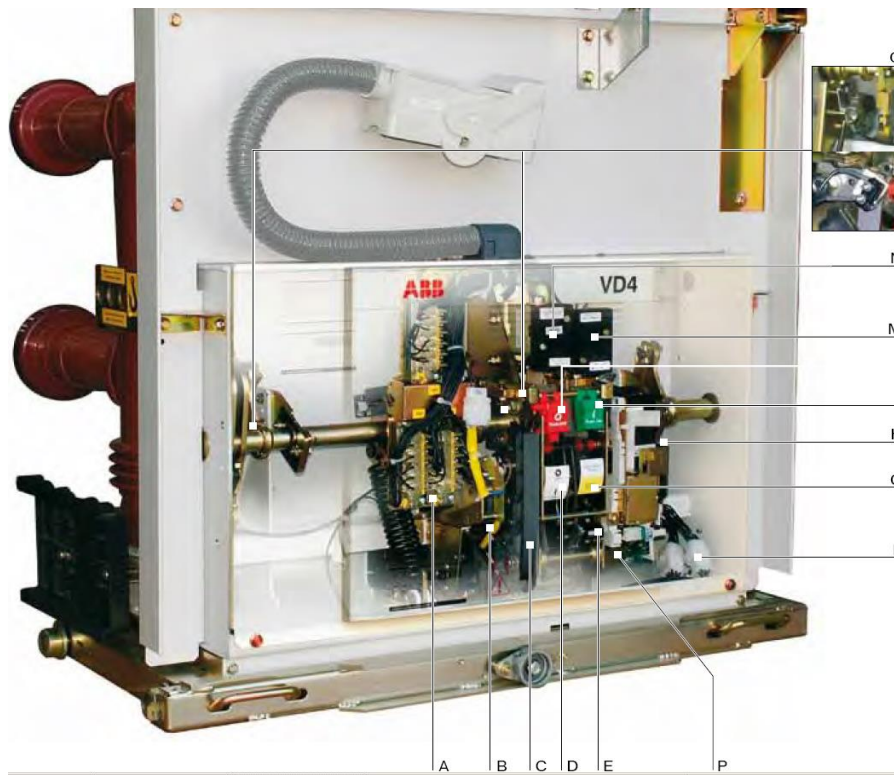


Рис. 5.10 Механізм керування вимикачем

(А – Допоміжні контакти розімкнуті /замкнутий; В – Моторедуктор для зведення замкає пружини; С – Вбудована ручка для зведення замкає пружини; D – Механічне сигнальний пристрій розімкненого/замкнутого стану вимикача; Е – Механічний лічильник операцій; F – Роз'єми з виделкою і розеткою електричного приладдя, які перебувають на візку; G – Сигналізація зведеною / невведеною замкає пружини; H – Допоміжні расцепители; I – Кнопка замикання; L – Кнопка розмикання; M – Блокувальний електромагніт приводу; N – Додатковий розмикаючими расцепитель; O – Перехідний контакт; P – Сигнальні контакти зведеної / невведеної пружини)

Порядок виконання роботи

Вивчити конструкційні особливості високовольтних елегазового та вакуумного вимикача, а також їхніх приводів за зразками і плакатами, що мають у лабораторії.

Скласти звіт, у якому навести конструкції ескіз і опис вимикача.

Пояснити особливості роботи механізму керування вимикачем.

Питання для самоконтролю

1. Область використання елегазових та вакуумних вимикачів.
2. Назвіть переваги та недоліки вакуумних вимикачів.
3. Назвіть переваги та недоліки елегазових вимикачів.
4. Поясніть фізико-хімічні властивості елегазу.
5. Поясніть дугогасильні властивості елегазу
6. Назвіть експлуатаційні особливості елегазу.
7. Як відбувається процес погасання дуги у вакуумі?
8. Назвіть особливості конструкції вакуумних вимикачів?
9. Які приводи застосовуються для керування вакуумними вимикачами?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

РОЗ'ЄДНУВАЧІ, ВИМИКАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ,

ВІДДІЛЬНИКИ І КОРОТКОЗАМИКАЧІ

Роз'єднувачі

Роз'єднувачами називають апарати, призначені для проведення оперативних комутацій на знеструмлених окремих ділянках електричної мережі високої напруги і для зняття напруги з знеструмлених частин установки, що знаходяться під напругою, а також для створення видимого повітряного проміжку (розриву).

Оскільки роз'єднувачі не мають дугогасних пристроїв, їхнє можливе увімкнення і вимикнення під струмом ЗАБОРОНЕНО, - супроводжується утворенням між контактами стійких електричних дуг, які взаємодіючи між собою, приводять до міжфазних коротких замикань.

Оперативні переключення роз'єднувачами допускаються тільки при вимкнутому вимикачі відповідного кіл (крім операцій переходу з однієї системи шин на іншу). Для запобігання можливості виконання операцій роз'єднувачем при увімкненому вимикачі застосовують систему механічного чи електричного блокування, що не допускає увімкнення або вимкнення роз'єднувача при увімкненому вимикачі. Як виняток "Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж" з метою спрощення схем допускається використання роз'єднувачів для проведення деяких операцій, які супроводжуються вимкненням або вмиканням струмів невеликих сил.

У закритих розподільних пристроях трьохполюсними роз'єднувачами на напруги 6, 10, 35 кВ зі стандартними відстанями між полюсами

дозволяється відключати струм замикання на землю відповідно силою 7,5; 3,1; 5 А і зарядний струм силою 2,5; 1,0; 0,5 А на фазу.

Роз'єднувачами дозволяється також включати і відключати нейтралі трансформаторів і дугогасні котушки (при відсутності в мережі замикань на землю), зарядний струм шин і обладнання (крім конденсаторних батарей), а також включати і відключати обхідні роз'єднувачі, якщо увімкнений шунтуючий ними вимикач. Допускається вимкнення і вимкнення трьохполюсними роз'єднувачами при напрузі 10 кВ і нижче навантажувального струму ліній силою до 15 А.

У відкритих розподільчих установках роз'єднувачами горизонтально-поворотного типу і віддільниками дозволяється відключати намагнічуючих струмів трансформаторів і зарядних струмів ліній, сили яких не перевищують значення приведені у табл. 6-1.

Основні параметри роз'єднувача: значення номінальної напруги, сила номінального струму, сила п'ятисекундного струму термічної стійкості, максимально допустимого струму (амплітудне значення).

По місцю розташування розрізняють роз'єднувачі для внутрішніх і для зовнішніх установок.

По конструкції розрізняють роз'єднувачі наступних типів: рубильникового, ножі якого обертаються в площині осей ізоляторів; поворотного з обертанням ножів у площині, перпендикулярної до осей ізоляторів; штепсельного, з ізоляторами, що рухаються уздовж своєї осі (застосовуються в КРУ); з рубильниковими, обертовими навколо своєї осі ножами; з падаючими руховими контактами (при увімкненні); пантограного типу.

Крім робочих ножів, роз'єднувачі можуть забезпечуватися додатково заземлюючими ножами, призначеними для закорочування і заземлення фаз

частин установок при ремонтах (після повного їхнього вимкнення від інших частин, що знаходяться під напругою).

Таблиця 6-1

Напруга, кВ	Відстань між полюсами, м	Сила струму, А	
		Намагнічування	Зарядного
20...35	1,0	2,3	1,0
	2,0	11,0	3,5
110	2,5	8,0	3,0
	3,5	14,5	5,0
150	3,0	2,3	—
	6,0	17,0	—
220	5,0	8,0	—
	6,8	17,0	—

Роз'єднувачі для внутрішньої установки розміщуються на стіні чи на металевій конструкції. Рама роз'єднувача заземлюється. При наявності на роз'єднувачі заземлюючих ножів, передбачається механічне блокування, яке не допускає вмикання ножів, що заземлюють, при увімкнених робочих ножах і навпаки.

Роз'єднувачі для зовнішньої установки розміщаються на спеціальних металевих чи залізобетонних конструкціях. На напругу 35 кВ і вище роз'єднувачі виконуються у виді трьох окремих полюсів, що на місці установки з'єднуються трубчастими тягами чи валами в один трьохполюсний апарат, керований одним приводом.

Роз'єднувачі – це неавтоматичні комутаційні апарати, тому приводи їх неавтоматичні - безпосередні, або дистанційні.

Розрізняють ручні, електричні і пневматичні **приводи роз'єднувачів**.

Застосування електропривідних і пневматичних приводів дає можливість здійснювати дистанційне оперативне керування роз'єднувачами.

Ручні приводи підрозділяються на важельні, штурвальні і черв'ячні. Важельні найбільш прості по своїй конструкції і широко застосовуються для керування роз'єднувачами.

Для керування важкими роз'єднувачами для внутрішньої установки застосовуються черв'ячні приводи типу ПЧ. Для вимкнення чи вимкнення роз'єднувача необхідно зробити дванадцять оборотів ручкою привода в одну чи в іншу сторону.

Для ручного керування роз'єднувачами зовнішньої установки служать приводи типів ПРЗ (привід підйом для зовнішньої установки) і ПЗЧ (привод для зовнішньої установки, черв'ячний).

Вимикач навантаження

Вимикач навантаження – це комутаційний апарат з малопотужним дугогасильним пристроєм який призначений для оперативних комутацій в електричних колах коли струми не перевищують номінальні значення .

Для вимкнення струмів більших за номінальні можливо послідовно з ним установити комплект плавких запобіжників (рис.6.2).

Вимикачі навантаження характеризуються такими ж параметрами, як і високовольтні вимикачі. Як видно на рис.6.3 вимикач навантаження типу ВН-16 складається з роз'єднувача з деякими доповненнями і дугогасної камери. На сталевій рамі 1 укріплені опорні ізолятори 2 і вал 8 з порцеляновими тягами 7.

Додатково до робочих нерухомих контактів 4 у камері розташовані дугогасні нерухомі контакти. У увімкнутому положенні апарата вони з'єднуються з руховими дугогасними контактами, укріпленими на ножах 6 роз'єднувача 5. Постійна швидкість розходження контактів при вимкненні

забезпечується вимикаючими пружинами, які розташовані з обох кінців вала.

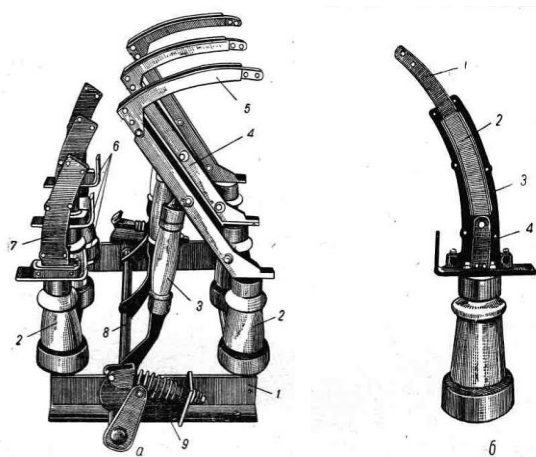


Рис.6.3. Вимикач ВН-16

Гасіння електричної дуги здійснюється потоком газів, які генеруються стінками камери під впливом високої температури дуги. Розріз дугогасної камери і її кріплення до опорного ізолятора показані на (рис.6.3,б). Покришки камери 3 виготовлені з пластмаси, а дугогасний канал 2 - з органічного скла. Вхідний у камеру дугогасний контакт виконаний із плоскої мідної пластини, вигнутої злегка на ребро. Вона закріплена між двома металевими боковинками, прикріпленими іншими кінцями до головних ножів. У нормальному положенні головні ножі шунтують дугогасні контакти. При вимкненні розмикаються спочатку робочі контакти, а потім дугогасні - рухомий 1 і нерухомий 4, між якими й утворюється дуга.

Привід для керування вимикачем навантаження може бути як ручний – для керування з місця установки, так електромагнітний – для дистанційного керування.

У малопотужних установках напругою 6...10 кВ (цехових підстанціях, сільськогосподарських установках і т.д.) застосування вимикачів навантаження дуже ефективно, тому що вони замінюють дорогі високовольтні вимикачі, с додатковою установкою роз'єднувачів, трансформаторів струму і релейного захисту.

Короткозамикачі і віддільники.

Короткозамикачі

Короткозамикачі призначені для створення штучного КЗ: двофазного в мережах з ізольованою нейтраллю, або однофазного – в мережах з заземленою нейтраллю.

Конструкція короткозамикача типу КЗ-110 із приводом показана на рис.6.5. На опорних ізоляторах 3 установлена зварена основа 4 з поміщеним на неї механізмом вимикання. На основі встановлений ізоляційний стовпчик 5, що складається з трьох опорних ізоляторів. Лінію приєднують до затиску 6, прикріпленому до нерухомого контакту 7. Шина 8 служить для приєднання рухомого ножа 9 до заземлення через ТТ типу ТШЛО-0,5. Вініпластова вставка 10 вбудована в тягу 11, що з'єднує короткозамикач з його приводом.

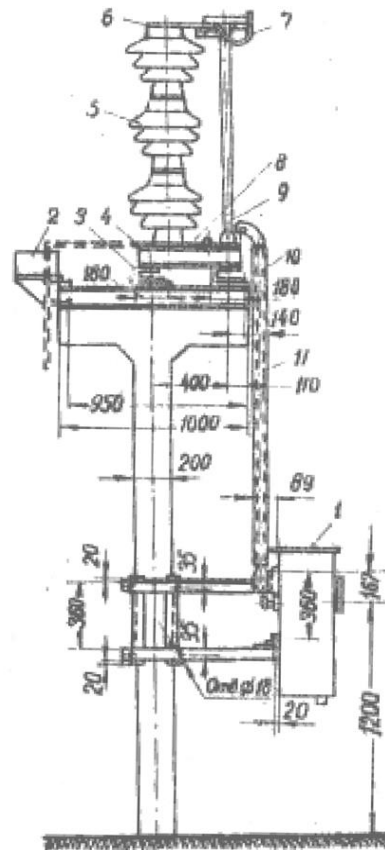


Рис.6.4. Короткозамикач КЗ-110

Віддільники

Віддільники призначені для автоматичного відключення знеструмленої ділянки електричного кола.

Віддільник являє собою триполюсний роз'єднувач, обладнаний відключаючими пружинами і приводом типу ШПО (привод віддільника в шафі), виконаним на базі привода ПВ-10.

Взаємодія короткозамикачів та віддільників

Численні старі трансформаторні підстанції на 35...220 кВ виконувалися по схемі "лінія –трансформатор" як «відгалуження» від лінії без застосування дорогих високовольтних вимикачів.

Для автоматичного вимкнення таких відгалужень в аварійних ситуаціях використовується взаємодія короткозамикачів, віддільників з лінійним вимикачем В на живильній підстанції.

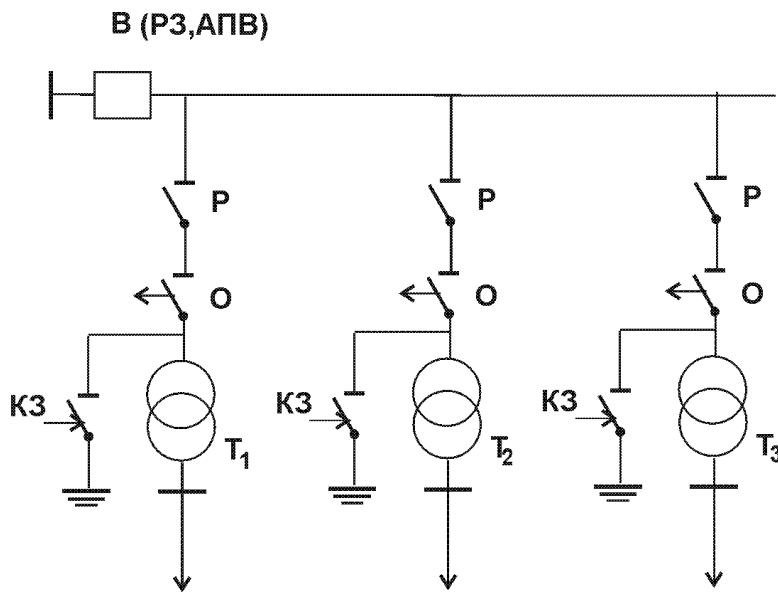


Рис.6.5. Схема "блок - лінія -трансформатор"

Для виконання цієї операції створюється штучне коротке замикання короткозамикачем КЗ. Релейний захист підстанції виявляє аварійний режим і подає команду на вимкнення лінійного вимикача В.

Після цього відгалуження з увімкненим короткозамикачем автоматично відключається віддільником "О" (Рис 6.5). Лінійний вимикач В обладнаний пристроєм АПВ. Після повторного увімкнення вимикача, відновлюється нормальна робота усіх інших відгалужень та усієї лінії за винятком аварійного.

Для забезпечення можливості проведення перевірок і випробувань віддільника без вимкнення живильної лінії в схемі передбачена установка роз'єднувача "Р".

Порядок виконання роботи

Вивчити конструкції роз'єднувачів, вимикача навантаження, віддільників і короткозамикачів, а також їхніх приводів по зразках і плакатах, що мають у лабораторії.

Вивчити роботу схеми взаємодії короткозамикача і віддільника.

Скласти звіт, у якому привести ескіз і опис одного з апаратів (за вказівкою керівника).

Указати параметри досліджуваних апаратів і дати схему взаємодії короткозамикача і віддільника.

Питання для самоконтролю

10. Призначення роз'єднувачів.
11. Чи можна роз'єднувачами комутувати електричне коло?
12. В яких випадках може відбутись самовільний рух ножа роз'єднувача?
13. Які можна виділити типи конструкцій роз'єднувачів? Охарактеризуйте їх.
14. Які приводи застосовуються для керування роз'єднувачами?
15. Призначення віддільників і короткозамикачів.
16. Які приводи застосовуються для керування віддільниками і короткозамикачами?
17. За допомогою рис. 5.4 поясніть порядок роботи комутаційного електрообладнання для вимкнення ділянки електричної мережі за допомогою короткозамикача і віддільника.
18. Призначення вимикачів навантаження.
19. Чи можна вимикачами навантаження комутувати електричне коло?
20. Яке дугогасне середовище використовується в вимикачах навантаження? Що є їх джерелом?
21. Які приводи застосовуються для керування вимикачами навантаження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ПРИВОДИ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ ТА СХЕМИ

КЕРУВАННЯ

Приводи високовольтних вимикачів

Загальні відомості

Управління високовольтними вимикачами здійснюється за допомогою приводів.

Привод – це спеціальний механізм, призначений для увімкнення вимикача; утримання вимикача у увімкнутому положенні і вимкнення вимикача

Виключення представляють тільки вимикачі, управління якими здійснюється за допомогою пневматичної клапанної системи, органічно зв'язаної з конструкцією вимикача.

Розрізняють трифазне, коли один привод впливає одночасно на всі три фази вимикача, і пофазне управління по окремому приводу на кожну фазу.

При увімкненні привод робить значну роботу, зв'язану з витратою енергії на подолання сил тертя частин механізму привода і вимикача; подолання сил інерції; надання рухомих частинам привода і вимикача кінетичної енергії, що відповідає необхідній швидкості їхнього руху при вимкненні; подолання електродинамічних зусиль, що виникають між рухомими і нерухомими струмоведучими частинами при вимкненні вимикача (особливо великі ці зусилля при увімкненні вимикача на існуюче в мережі коротке замикання).

У залежності від виду енергії, використовуваної для увімкнення, розрізняють приводи ручні, електричні і пневматичні.

Приводи розподіляють також на приводи прямої і непрямой дії. Якщо час споживання енергії з мережі приводом чи час дії мускульної сили людини до привода дорівнює часу увімкнення вимикача, то такі приводи називаються приводами прямої дії.

Приводи, у яких відбувається попереднє накопичування енергії, необхідної для увімкнення, називаються приводами непрямой дії. У першому випадку потужність джерела енергії повинна бути рівна потужності привода, в останньому – вона може бути значно знижена.

До приводів прямої дії можна віднести ручні, електромагнітні (або соленоїдні) і електродвигателіні приводи.

До приводів непрямой дії відносяться пружинні (як з ручним, так і з механічним заводом), вантажні, махові (або інерційні) і пневматичні.

Приводи випускаються для внутрішньої і зовнішньої установок. Привод для зовнішньої установки - це той же привод для внутрішньої установки, поміщений у спеціальну шафу (на марці привода додається буква " ш "). Основні частини привода - механізм, що виконує увімкнення, замикаючий механізм (засувка), що утримує вимикач в увімкнутому положенні, і механізм, що розчіплює, звільняючи засувку при вимкненні.

Ручні приводи

Ручні приводи застосовуються для роз'єднувачів, віддільників та короткозамикачів, коли мускульної сили оператора достатньо для виконання оперативної дії. В такому випадку вимкнення може бути і автоматичним за допомогою реле, вбудованому у привод.

Привод ПРА-17 призначений для керування вимикачами навантаження ВНЗ-16, ВНЗ-17. Він має механізм вільного розщеплення і електромагніт для оперативного дистанційного вимкнення. Якщо дистанційне вимкнення не передбачене, застосовують привод без електромагніта вимкнення ПР-17.

Пружинний привод

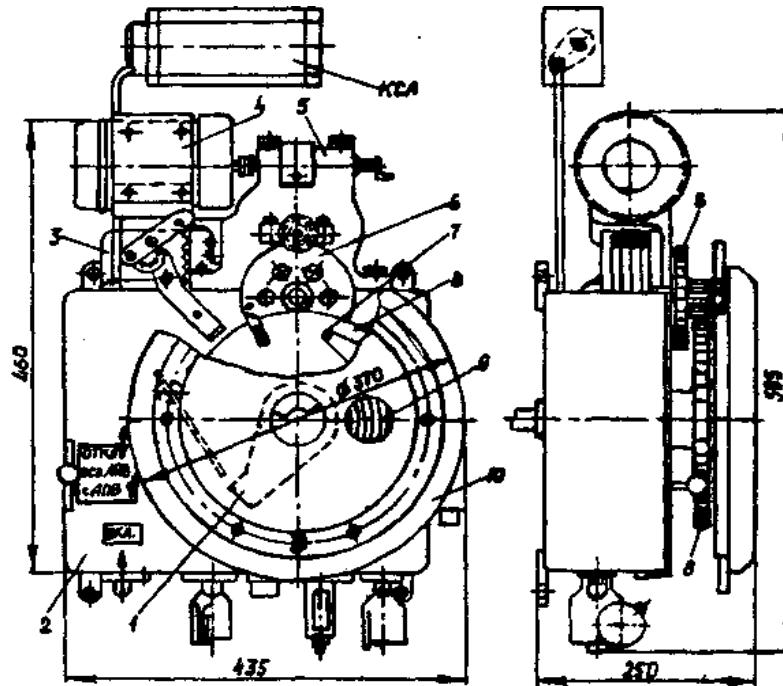


Рис. 7.1. Пружинний привод з моторним редуктором ППМ-10:1 - заводний важіль; 2 - корпус; 3 - кінцевий вимикач; 4 - мотор; 5 - редуктор; 6 - велика шестірня зубчастої передачі; 7 - ролик ведучої собачки; 8 - шестірня взводу; 9 - спіральна пружина; 10 - штурвал

Пружинний привод (рис. 7.1) є приводом непрямої дії. Енергія, необхідна для увімкнення, запасається в могутній пружині, що заводиться або від руки, або за допомогою двигуна малої потужності (до 1 кВт).

Недолік пружинних приводів - зменшення стискальних зусиль наприкінці ходу увімкнення внаслідок зниження деформації пружин. Для усунення цього недоліку через спеціальну муфту пружина зв'язується з маховиком, що поглинає надлишкову енергію вмикаючих пружин на початку ходу увімкнення. Енергія, накопичена маховиком, віддається механізму вимикача наприкінці ходу, коли сили, що протидіють вимкненню, значно зростають.

Ведуча собачка упирається роликом 7 у зуб важеля I і заводить спіральну пружину 9. Запірно-пусковий механізм привода утримує пружину в заведеному стані. Для автоматичного увімкнення необхідно звільнити важіль, що заводить пружину, після чого енергія заведеної спіральної пружини повертає вал вимикача на увімкнення. Пружинні приводи не вимагають для свого керування джерела постійного струму, резервуарів із стисненим повітрям, що є істотною перевагою перед іншими приводами. Недолік - мала потужність, тому такого типу приводи застосовуються для малооб'ємних вимикачів на напругу 6...10 кв.

Електромагнітні приводи

Електромагнітні приводи відносяться до приводів прямої дії - енергія для увімкнення безпосередньо споживається від джерела постійного струму еликої потужності в час здійснення дії.

Електромагнітні приводи випускаються тільки для роботи на постійному струмі. Застосування змінного струму для живлення електромагнітів недоцільно з ряду причин, основні з яких – громіздкість, споживання великих струмів, вібрація, менші зусилля, чим при постійному струмі, мала надійність.

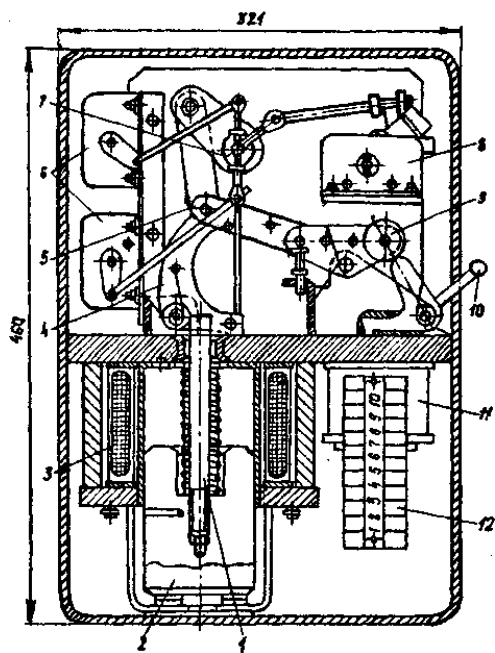


Рис. 7.2. Електромагнітний привод ПЕ-11:1 - шток сердечника; 2 - осердя; 3 - котушка електромагніта увімкнення; 4 - засувка; 5 - ролик підйомного механізму; 6 - сигнальні контакти; 7 - вал вимикача; 8 - контакти управління; 9 - важіль механізму вільного розчіплювання; 10 - важіль ручного вимкнення; 11 - електромагніт вимкнення; 12 - зборка затисків

Живлення електромагнітних приводів від акумуляторних батарей забезпечує повну незалежність кіл керування від стану мережі змінного струму, що особливо важливо при ліквідації аварії.

Електромагнітний привод складається з механічної частини та електромагнітів увімкнення і вимкнення. Механічна частина привода служить для передачі руху в процесі увімкнення від сердечника електромагніта увімкнення до вала привода і складається із системи шарнірно зв'язаних важелів.

Пристрій електромагнітного привода типу ПЕ-11 показан на рис.7.2 (привод в увімкнутому положенні). Зусилля, необхідне для увімкнення вимикача, створюється сталевим сердечником 2, що втягується в котушку електромагніта 3 при проходженні по ній струму.

Шток сердечника 1 упирається в ролик 5 важельного механізму, піднімає його нагору разом із двома шарнірно зв'язаними важелями. Останні через приводний важіль передають рух валу вимикача 7. При підйомі ролика засувка 4 відсувається вліво, а наприкінці ходу сердечника, коли вимикач включився, зріз засувки заскакує під ролик і утримує механізм в увімкнутому положенні.

Наприкінці увімкнення сигнальні допоміжні контакти 6 розривають коло контактора, яке розриває коло електромагніта увімкнення і осердя падає вниз. При вимкненні струм подається в електромагніт вимкнення 11, його бойок вдаряє у важелі механізму вільного розчіплювання 9, завдяки чому вони "ламаються" і ролик 5 зіскакує з засувки. Вал вимикача під дією відключаючих пружин, повертається і вимикач відключається. У приводі встановлені допоміжні контакти управління 8. Електромагніти увімкнення і вимкнення живляться від акумуляторної батареї через зборку затисків 12. Сила струму, споживаного електромагнітом увімкнення привода ПЕ-11, -

58 А, електромагнітом вимкнення -1,25 А при напрузі 220 В. У приводі мається важіль ручного вимкнення 10. Привод ПЕ-11 застосовується для вимикачів ВМП-10, ВМГ-10. Для більш потужних вимикачів внутрішньої установки застосовуються приводи ПЕ-2, ПЕ-21, для зовнішньої установки - ШПЕ-44, ШПЕ-38, ШПЕ-46 і ін.

Особливості електромагнітних приводів:

Приводи надійно працюють у суворих кліматичних умовах.

Недоліки: потрібне потужне джерело постійного струму, наприклад для одночасного увімкнення трьох полюсів масляного вимикача напругою 220 кВ, необхідна акумуляторна батарея, що дає струм силою 750 А при напрузі 220 В;

Внаслідок електромагнітних процесів, що відбуваються в приводі, час його увімкнення досить великий (у могутніх приводах до 1 с). У зв'язку з перерахованими особливостями застосовувати електромагнітні приводи рекомендується для вимикачів невеликої потужності.

Пневматичний привод

Пневматичний привод забезпечує увімкнення вимикача за рахунок енергії стиснутого повітря. Кінематична схема подібна схемі електромагнітного привода, але замість електромагніта увімкнення застосовується пневматичний циліндр з поршнем. При вимкненні спрацьовує електромагніт вимкнення, що впливає на механізм вільного розчіплювання.

Стиснене повітря подається від загальної компресорної установки, що обслуговує повітряні вимикачі, або на кожному приводі встановлюються балони зі стисненим повітрям, які забезпечують до шести операцій без підкачування повітря. Пневматичні приводи ПВ-30 застосовуються для

вимикачів МГ-10, МГ-20. Бакові вимикачі серії "Урал" забезпечуються пневматичними приводами ШПВ.

Особливості пневматичних приводів:

Використання стиснутого повітря дозволяє створити привод з малим часом увімкнення;

Тягова характеристика привода може регулюватися зміною живільного отвору;

Для забезпечення нормальної роботи привода при низьких температурах необхідні особливі міри.

Різновідом пневматичних приводів являються пневмогідролічні, у яких рух рухомій системі вимикача передається від гідроциліндра з поршнем. Останній приводиться в рух стиснутою рідиною (звичайно маслом). Високий тиск рідини (12 МПа) забезпечується стиснутим газом.

Особливості пневмогідролічних приводів:

Висока швидкодія (час увімкнення близько 0,25 с);

Енергії, накопиченої в ресивері приводу, достатньо, щоб здійснити шестиразове увімкнення без підкачування масла;

Зусилля передаються через практично нестисливе середовище;

Для забезпечення нормальної роботи привода при будь-якій температурі необхідно застосовувати рідини, в'язкість яких мало залежить від температури.

Схема дистанційного керування вимикачами з електромагнітним приводом

Схеми дистанційного керування можуть зображатися в згорнутому та розгорнутому виді.

У згорнутій схемі керування всі апарати і прилади показують з усіма стосовними до них котушками і контактами, а електричні з'єднання зображені від апарата до апарата (рис. 7.11). В розгорнутій схемі керування всі апарати і прилади розділюються на окремі елементи у порядку протікання струму від полюса до полюса у вигляді окремих рядків (рис. 7.12). При цьому кожен рядок читається зліва направо, а схема - зверху вниз. Такий спосіб зображення полегшує читання складних схем. Оскільки всі апарати складаються з окремих елементів, що попадають у різні рядки схеми, то для того щоб установити приналежність елемента до того чи іншого апарата і характер елемента (котушка, контакт), необхідно кожному апарату і приладу привласнити умовну позначку (марку), яким позначають всі елементи, що належать даному апарату.

Керуючий сигнал (команду) подає вручну оператор за допомогою ключа чи команди від автоматичних пристроїв (реле), що застосовуються для виконання автоматичних переключень, необхідних для забезпечення технологічного процесу (наприклад, автоматичного введення резерву) чи в аварійних ситуаціях (для ліквідації коротких замикань під дією релейного захисту). Дія систем керування супроводжується роботою пристроїв сигналізації, які дають оперативному персоналу необхідну інформацію про стан устаткування і про спрацювання пристроїв автоматики і релейного захисту.

Для полегшення роботи оперативного персоналу органи керування комутаційними апаратами (вимикачами) установлюються на спеціальні

щити керування, апаратура яких за допомогою кабелів зв'язується з розподільним пристроєм, де встановлені керовані вимикачі. Живлення від спеціальних джерел оперативного струму подається на шинки керування (ШК), а потім - до апаратури окремих кіл приводів вимикачів.

У залежності від положення апарата (увімкний чи вимкний) і стану реле (знеструмлено чи під струмом) їхні контакти можуть бути замкнуті чи розімкнуті. Нормальним положенням апарата прийнято вважати вимкне, а нормальним станом реле - знеструмлене. Відповідно до цього розрізняють замикаючі і розмикаючі контакти реле.

Широке використання для керування вимикачами одержали соленоїдні приводи. Розглянуті далі схеми дистанційного керування соленоїдним приводом можна застосовувати і для інших типів приводів при внесенні деяких змін, зв'язаних з їх особливостями.

Робота привода при вимкненні вимикача зводиться до звільнення засувки механізму вільного розчіплювання. Соленоїд вимкнення споживає при цьому порівняно невеликий струм (2...8 А). При вмиканні привод повинний розвивати велику потужність для подолання значних сил опору і забезпечення великої швидкості увімкнення. Струм, що споживається соленоїдом увімкнення, обчислюється десятками, а для деяких приводів - сотнями ампер. Команди керування на привод можуть подаватися напряму – безпосереднім замиканням кола соленоїдів контактами ключа керування (КК) чи ненапряму – шунтуючи (дублюючи) відповідні контакти ключа керування приводом. Непряму команду застосовують також у випадках, коли потужність, що споживається приводом, перевищує потужність розмикання контактів ключа керування. Соленоїди увімкнення електромагнітних приводів споживають знаний струм, тому живлення його неможливо здійснювати безпосередньо ключом керування.

Для цього використовують проміжний контактор (КП), як согласуючий по струму елемент схеми.

Основні вимоги, до схем дистанційного керування соленоїдних приводів:

– Котушки соленоїдів увімкнення і вимкнення розраховані на короткочасне протікання струму, тому при подачі команди імпульс повинний бути короткочасним і автоматично зніматися після завершення операції.

– Схеми повинні забезпечувати можливість не тільки дистанційного ручного, але й автоматичного керування - вимкнення під дією релейного захисту (РЗ) і увімкнення під дією реле автоматики (РА).

– Оскільки оператор не бачить вимикача, то схеми повинні забезпечувати сигналізацію положення вимикача для подачі команди на переключення, а після подачі команди - сигнал, що свідчить про виконання команди і показує нове положення вимикача.

– У схемах повинно бути передбачене блокування від "стрибання", тобто від багаторазового повторного увімкнення і вимкнення привода в процесі увімкнення вимикача при наявності у колі короткого замикання.

– Оскільки зміна положення вимикача можливо не тільки при ручному впливі, але і під дією автоматики, схеми повинні забезпечувати сигналізацію автоматичних переключень (від РЗ і РА), відмінну від сигналізації при ручних переключеннях.

– Крім зазначених основних вимог бажано, щоб у схемі керування здійснювався контроль справності кіл керування, а також забезпечувалося роздільне живлення кіл сигналізації і керування при збереженні мінімальної кількості проводів зв'язку ключа керування з приводом вимикача.

Найчастіше застосовуються схеми дистанційного керування з двома лампами зі світловим контролем кіл керування і схеми з однією лампою зі звуковим контролем цих кіл.

На рис. 7.11 зображена згорнута схема керування вимикачем із двома сигнальними лампами і світловим контролем кіл керування привода. Схема показана для вимкненого положення вимикача. (З метою зручності вивчення схем керування на рисунку показана схема з кнопковим ключем керування. Схема залишається такою ж при застосуванні поворотних ключів керування.)

Команда «УВІМКНУТИ» – при натисканні кнопки УВМ:

– розмикаються контакти 13-14 аварійної сигналізації, сигнальні контакти 3-4 кола вимкнення і 7-8 кола увімкнення;

– замикаються оперативні контакти 11-12 кола увімкнення, сигнальні контакти 1-2 вимкнення, 9-10 кола увімкнення і 15-16 кола аварійної сигналізації,.

При з'єднанні контактів 11-12 замикається коло КП, який своїми контактами замикає коло електромагніта увімкнення. ЕУ. Вимикач включається й утримується в такому стані засувкою 3.

При вимканні вимикача розмикаються його блоки-контакти 17-18, знімаючи живлення контактора КП, чим забезпечується розрив кола електромагніта увімкнення незалежно від тривалості натискання кнопки УВМ. Одночасно з цим замикаються блоки-контакти 21-22 вимикача, замикаючи коло сигнальної лампи увімкнення ЛУ, що проходить через котушку електромагніта вимкнення ЕВ і сигнальні контакти 1-2. Цим забезпечується сигналізація увімкненого положення вимикача (ЛУ червоного кольору, вимикач увімкнений) і здійснюється світловий контроль справності кола наступної операції вимкнення.

Команда «ВИМКНУТИ» – при натисканні кнопки ВИМ:

–Замикаються оперативні контакти 5-6 кола вимкнення і сигнальних контактів 3-4 і 7-8; сигнальні контакти 1-2, 9-10 і контакти аварійної сигналізації 15-16 повертаються у вихідне положення.

–Оперативними контактами 5-6 замикається коло ЕВ, осердя якого звільняє засувку 3 приводу, і під дією відключаючих пружин вимикач відключається. При цьому його блоки-контакти 21-22 розмикаються і розривають коло ЕВ (незалежно від тривалості натискання кнопки ВІМ).

– Одночасно з цим замикаються блоки-контакти 17-18 у колі сигнальної ЛВ, що проходить через котушку КП і сигнальні контакти 7-8. Цим забезпечується сигналізація вимкненого положення вимикача (ЛВ зеленого кольору, вимикач вимкний) і здійснюється світловий контроль справності кола КП (наступної операції - увімкнення).

При спрацьовуванні релейного захисту замикаються контакти його вихідного реле РЗ, що підключені в схемі паралельно оперативним контактам 5-6 кола вимкнення. Отже, при їхньому замиканні імпульс на ЕВ подається аналогічно тому, як при дистанційному вимкненні. Однак у цьому випадку порушується відповідність між положенням контактів КУ і блоків-контактів вимикача, що призводить до появи замкнутого кола мигаючого сигналу.

Коло звукового сигналу Г (гудка) про аварійне вимкнення вимикача утворюється від шинки звукового аварійного сигналу ШЗА через контакти 13-14, 15-16 КУ і блоки-контакти 19-20 вимикача на мінус шинки керування ШУ. Кнопка центрального з'єму сигналу КЦС служить для вимкнення гудка Г.

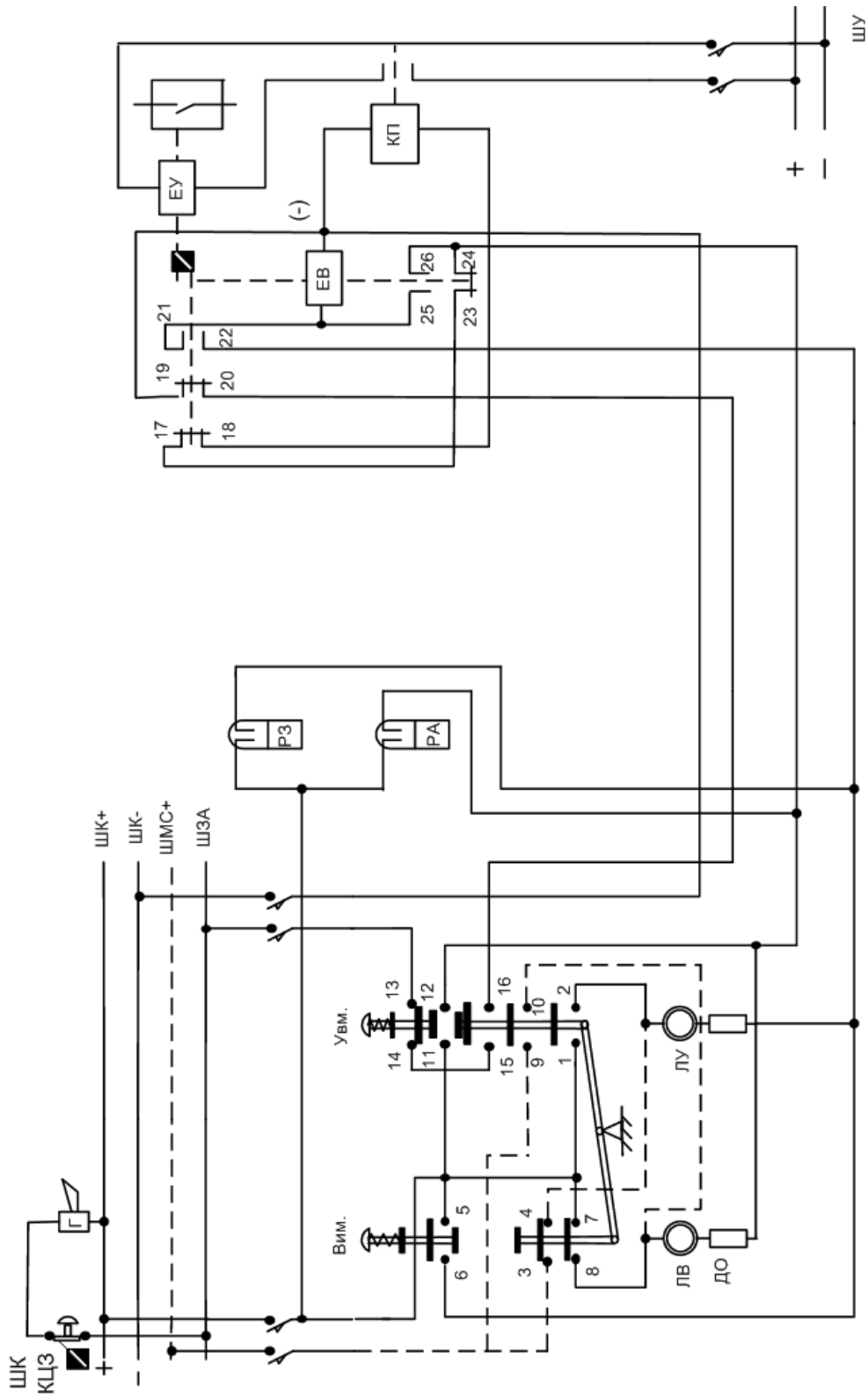


Рис.7.11. Схема керування вимикачем із сигнальними лампами і світловим контролем кіл керування.

Світловий сигнал вимкнення вимикача релейним захистом відтворюється як миготіння зеленої лампи ЛВ, коло якої проходить від шинки миготливого світла ШМС (+) через контакти 9-10 КУ і далі через блоки-контакти 17-18 вимикача, котушку КП на мінус шинок керування ШК.

При автоматичному увімкненні вимикача (наприклад, при автоматичному вводу резерву АВР) спрацьовує вихідне реле автоматики РА. Контакти цього реле підключені в схемі паралельно оперативним контактам 11-12 кола увімкнення, отже, при їхньому замиканні подається імпульс, що включає, на КП, як і при дистанційному вимкненні вимикача. При автоматичному увімкненні вимикача також порушується відповідність між положенням контактів КК і блок-контактів вимикача (КУ залишається в положенні "вимкно", вимикач увімкнений). При цьому сигнальна лампа увімкнення ЛВ миготить, бо одержує живлення від ШМС (+) через сигнальні контакти 3-4 і блоки-контакти 21-22.

При дистанційному чи автоматичному умикненні вимикача на коротке замикання він відключається релейним захистом. При цьому сердечник ЕВ, втягуючись, замикає контакти 25-26, чим підтримується живлення електромагніта вимкнення протягом усього часу подачі вмикаючого імпульсу. Контакти 23-24 увесь цей час залишаються розімкнутими, чим виключається багаторазове увімкнення і вимкнення, тобто "стрибання" вимикача.

Додатковий опір ДО у колах сигнальних ламп служить для виключення помилкових операцій при коротких замиканнях у цоколях ламп

У схемах керування високовольтними вимикачами на електростанціях і підстанціях найчастіше використовуються поворотні ключі КФВ (ключ з поворотними і фіксуючими контактами) і КСВФ (те ж з вбудованою

сигнальною лампою), які вставляються в мнемонічну схему керованого елемента. В одному положенні ключа його рукоятка збігається з лінією мнемонічної схеми (вимикач увімкнений), в іншому - розташовується перпендикулярно до лінії схеми (вимикач вимкнений).

У рукоятку ключа КСВФ вбудована сигнальна лампа. Ключ КФВ не має лампи.

На рис. 7.12 показана розгорнута схема керування вимикачем зі світловим і звуковим сигналами справності кіл керування привода вимикача. У схемі передбачені окремі шинки керування ШК, миготливого світла ШМС, звукової аварійної сигналізації ШЗА, попереджувальної сигналізації ШПС і окремі шинки живлення електромагнітів увімкнення вимикачів ШВ. Замість сигнальних ламп (рис. 7.11) для контролю кіл керування в схему увімкнені обмотки реле контролю кіл увімкнення РКВ і вимкнення РКВ. Кожне з цих реле має по одній парі розмикаючих (1 РКВ і 1 РКО) і по дві пари замикаючих (2 РКВ, 3 РКВ і 2 РКВ і 3 РКВ) контактів.

Послідовно з обмотками реле увімкнені резистори ДО, що обмежують струми в контрольованих колах до значень, менших ніж достатньо для спрацьовування реле. Ці струми повинні бути значно меншими струмів спрацьовування проміжного контактора увімкнення КП і котушки електромагніта вимкнення ЕВ, але протікання їх свідчить про справність кіл.

Вимикач включається ключем керування через його контакти 17-20 «У!». При цьому на проміжний контактор КП подається повна напруга (крім обмотки реле РКВ і додаткового опору), коло якого замкнене розмикаючими контактами ЕВ (електромагніта вимкнення) і блок-контактами вимикача ВК.

якого у увімкненому положенні вимикача з'єднане його замикаючими блок-контактами ВК. Паралельно контактам 18-19 ключа керування приєднані контакти вихідного реле захисту РЗ, під дією якої здійснюється аварійне вимкнення вимикача.

При вимкненому вимикачі з'єднані його блоки-контакти, що розмикають, ВК і контакти електромагніта ЕВ, реле РКУ знаходиться під напругою, а його замикаючі контакти 2 РКВ закриті. Якщо вимкнення було зроблено ключем, то убудована в рукоятку ключа сигнальна лампа ЛК горить нормальним світлом через контакти 10-11 «В» ключа і 2 РКУ. При аварійному вимкненні контакти ключа 9-10 «У» залишаються розімкнутими, лампа ЛК одержує живлення від шинок миготливого світла через контакти 9-10 і 2 РКУ.

При увімкненому дистанційно вимикачі з'єднані його замикаючі блок-контакти ВК, РКВ живиться струмом і замикає свої контакти 2 РКВ. Якщо увімкнення зроблене ключем, то лампа ЛК горить нормальним світлом через контакти 16-13 «У» і 2 РКВ.

При автоматичному вимкненні залишаються замкнутими контакти ключа 13-14 «В», лампа ЛК горить миготливим світлом. Так здійснюється світловий контроль положення вимикача й одночасно контроль справності кіл керування.

При несправності контрольованого кола припиняється живлення відповідного реле контролю. При цьому будуть замкнуті контакти 1 РКУ і 1 РКВ, живлення подається на шинку попереджуючої сигналізації ШПС, а з неї - на відповідний звуковий сигнал (на схемі не показаний). Так здійснюється звуковий контроль справності кіл керування. Лампа попереджуючої сигналізації ЛС вказує об'єкт, де відбулося ушкодження, і одночасно служить опором для забезпечення повторності дії попереджуючої сигналізації (схеми аварійної і попереджуючої

сигналізації розглядають у курсі лекцій по даній дисципліні). • Сигнальна лампа ЛК при цьому не горить.

При аварійному вимкненні вимикача залишаються замкнутими в позиції «У» контакти ключа 5-7 і 21-33, з'єднані послідовно. Оскільки вимикач відключається, замикаються контакти 3 РКУ, через які подається живлення на ШЗА, від якої живиться звукова аварійна сигналізація. Додатковий опір у розглянутому колі використовується для забезпечення повторності дії аварійної сигналізації.

Від шинки звукової аварійної сигналізації одержує живлення також пульсу-пари ПП, що почне подавати переривчасті імпульси на шинку миготливого світла ШМС. По миготливій лампі виявляють аварійний об'єкт, що відключився, після чого переведенням ключа в положення "вимкненне" знімають з лампи миготливе світло і відновлюють нормальне її горіння.

У схемі передбачається електричне блокування від "стрибання" вимикача при вимкненні його на коротке замикання (з використанням контактів осердя електромагніта вимкнення ЕВ).

На рис. 7.13 показана діаграма поворотного ключа типу КСВФ.

Ключі набираються з окремих пакетів, контакти яких замикаються в залежності від повороту рукоятки. При повороті вправо на 90° замикаються контакти попереднього увімкнення Уп, чим перевіряється готовність кола до увімкнення і виключаються помилкові увімкнення. Додатковий поворот рукоятки в тім же напрямку на 45° відповідає команді "увімкнути". При цьому замикаються контакти увімкнення У! (вимикач вмикається) і розмикаються контакти деяких інших пакетів. Після зняття руки з ключа його рукоятка повертається назад на 45° і стає уздовж лінії мнемонічної схеми в положення "увімкнене". При цьому розмикається частина контактів увімкнення і фіксується замкнуте положення контактів

«У». Вимикач відключається поворотом ключа вліво на 90° (попередньо ключ встановлюється в положення «Вп») і далі ще на 45° (команда "ввмкнути" «В!»). Після зняття руки з ключа фіксується положення рукоятки в позиції "вімкнене" В з відповідним перемиканням контактів.

При великій кількості лінійних приєднань бажано скоротити число сигнальних ламп і додати до світлового сигналу справності кіл керування звуковий сигнал, тому що згасання однієї з великого числа ламп може тривалий час залишатися непоміченим.

Схему дистанційного керування соленоїдним приводом вимикача студенти збирають на лабораторному стенді, живлення на стенд подається після обов'язкової перевірки схеми викладачем.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити роботу схеми дистанційного керування соленоїдним приводом вимикача (кнопкове керування і за допомогою ключа типу КСВФ).

2. Скласти звіт про вивчення схеми дистанційного керування соленоїдним приводом вимикача в розгорнутому виді. Коротко описати переваги і недоліки вивчених схем.

Питання для самоконтролю

1. Призначення приводу.
2. Як можна класифікувати приводи високовольтних вимикачів змінного струму?
3. Яку роботу повинен виконати привод при вимкненні вимикача, і яку при вимиканні?
4. Звідки береться енергія для виконання роботи в ручному приводі? Як відбувається її перетворення в механічний рух контактів вимикача?
5. Звідки береться енергія для виконання роботи в пружинному приводі? Як відбувається її перетворення в механічний рух контактів вимикача?
6. Звідки береться енергія для виконання роботи в електромагнітному приводі? Як відбувається її перетворення в механічний рух контактів вимикача?

7. Звідки береться енергія для виконання роботи в пневматичному приводі?
8. Порівняйте трифазне і пофазне управління вимикачами.
9. Назвіть переваги, недоліки і області застосування перелічених вище типів приводів.
10. Призначення та функції схеми керування приводами вимикачів.
11. Розгорнута / згорнута схема керування.
12. Назвати елементи кола виконання команди «УВІМКНУТИ»
13. Назвати елементи кола виконання команди «ВИМКНУТИ»
14. Назвати елементи кола га лампи «УВІМКНЕНО»
15. Назвати елементи кола га лампи «ВИМКНЕНО»
16. Назвати елементи кола лампи мигаючого світла «УВІМКНЕНО», «ВИМКНЕНО»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Трансформатори струму

Призначення трансформаторів струму

Трансформатори струму (ТС) призначені для вимірювання сили первинного струму і захисту обслуговуючого персоналу і вторинних кіл від високої напруги первинного кола.

ТС – трансформатор, у якому, при нормальних умовах експлуатації, вторинний струм практично пропорційний первинному струму і практично не зміщує його по фазі.

Первинна обмотка ТС включається в коло послідовно (у розсічку струмопроводіда), а вторинна замикається на деякий опір навантаження (вимірювальні прилади і реле), забезпечуючи проходження по ній струму, пропорційного струму в первинній обмотці. У ТС високої напруги первинна обмотка ізольована від вторинної (від землі) шаром ізоляції розрахованим на повну робочу напругу. Один кінець вторинної обмотки звичайно заземлюється. Тому вона має потенціал, близький до потенціалу землі.

ТС встановлюють в колах високої напруги, або в колах з великою силою струму, тобто в колах, у яких неможливо безпосереднє приєднання вимірювальних приладів. До вторинної обмотки ТС підключають амперметри, струмові обмотки ватметрів, лічильників або аналогових приладів. Застосування ТС в установках високої напруги необхідно навіть у тих випадках, коли зменшення сили струму для вимірювальних приладів чи реле не потрібно.

Класифікація трансформаторів струму.

За призначенням: вимірювальні; захисні (для диф-захисту та «земляного» захисту, струмів нульової послідовності); комбіновані (захисні і вимірювальні); лабораторні (високої точності), проміжні.

За місцем розташування: для закритих приміщень; вбудовані в електроустаткування; для спеціальних установок (у шахтах, на судах, електровозах і т.д.).

За способом використання: прохідні (для застосування як вводи або встановлювані в прорізах стін, чи стель та у металевих конструкціях); опорні (для розміщення на опорній площині); такі що вбудовуються (для розміщення у внутрішні порожнини електроустаткування).

За числом коефіцієнтів трансформації: з одним; з декількома, одержуваними зміною числа витків первинної чи вторинної обмотки, чи застосуванням декількох вторинних обмоток з різним числом витків, що відповідають різним значенням номінального вторинного струму.

За числом ступенів трансформації: одноступінчаті; каскадні (багатоступінчаті), тобто з декількома ступенями трансформації.

За способом виконання первинної обмотки: одновиткові та багатовиткові.

За конструктивним виконанням: котушкові, шинні, бакові або горшкові, ланкові, петлевидні і т.д.

За ступенем автономності: окремо використовувані та вбудовані.

За родом ізоляції між первинною і вторинною обмотками ТС: сухі, що виготовляються з твердої (порцеляна, лита ізоляція, пресована ізоляція і т.д.); з в'язкою (залівальні компаунди); з комбінованою (паперово-масляна, конденсаторного типу); чи з газоподібною ізоляцією (повітря, элегаз).

За принципом перетворення струму ТС поділяються на електромагнітні та оптикоелектронні.

Крім перерахованого - ТС класифікуються також за частотою та кліматичними умовами.

3. Конструктивні особливості ТС (рис. 8.1)

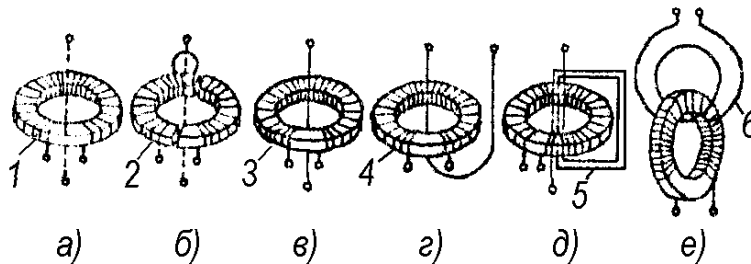


Рис. 8.1 Конструктивні особливості ТС

Одновиткові ТС бувають двох різновидів: без власної первинної обмотки (виконуються вбудованими, шинними чи роз'ємними); із власною первинною обмоткою.

Вбудований одновитковий ТС (Рис.8.1,а) являє собою магнітопровід з намотаною на нього вторинною обмоткою. Роль первинної обмотки виконує струмоведучий стержень прохідного ізолятора. Цей ТС не має ізоляційних елементів між первинною і вторинною обмотками. Їхню роль виконує ізоляція прохідного ізолятора.

У шинному одновитковому ТС (Рис.8.1.в) роль первинної обмотки виконує одна чи декілька шин розподільчого пристрою, що пропускаються при монтажі крізь внутрішню порожнину прохідного ізолятора. Останній ізолює первинну обмотку від вторинної.

Роз'ємний ТС (Рис.8.1.б) теж не має власної первинної обмотки. Його магнітопровід складається з двох частин, що стягуються болтами. Він

може розніматися і замикатися навколо провідника зі струмом, що є первинною обмоткою цього ТС. Ізоляція між первинною і вторинною обмотками встановлена на магнітопровід із вторинною обмоткою.

Трансформатор струму (Рис.8.1.в) має первинну обмотку у формі стержня круглого чи прямокутного перетину, закріпленого в прохідному ізоляторі.

Трансформатор струму (Рис.8.1.г) має Z-подібну первинну обмотку, виконану таким чином, що на неї встановлена майже уся внутрішня ізоляція ТС.

Багатовиткові ТС (Рис.8.1.д) виготовляються з котушковою первинною обмоткою, що встановлюються на магнітопровід; з петлевою первинною обмоткою, яка складається з декількох витків; з ланковою первинною обмоткою б, яка виконана таким чином, що внутрішня ізоляція ТС конструктивно розподілена між первинною і вторинною обмотками, а взаємне розташування обмоток схоже на ланки кола.

4. Основні параметри і характеристики ТС згідно технічних норм.

а) Номінальна напруга - діюче значення лінійної напруги, при якому повинний працювати ТС. Для вітчизняних ТС прийнята наступна шкала номінальних напруг, кВ: 0,66; 1; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; 1150.

б) Номінальний первинний струм $I_{1Н}$ - сила струму, що проходить по первинній обмотці, при якому передбачена тривала робота ТС. Для вітчизняних ТС прийнята наступна шкала номінальних первинних струмів, А: 1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75*; 80; 100. 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750*; 800; 1000; 1200*; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000; 12000; 14000; 16000; 10000; 20000; 25000; 20000; 32000; 35500; 40000.

в) Сила номінального вторинного струму I_{2H} – сила струму, що проходить по вторинній обмотці. Сила номінального вторинного струму приймається рівною 5А чи 1А, причому сила струму 1А допускається тільки для ТС із силою номінального первинного струму до 4000 А. За узгодженням із замовником допускається виготовлення ТС із силою номінального вторинного струму 2 чи 2,5 А.

г) Вторинне навантаження ТС Z_{2H} відповідає повному опору його зовнішнього вторинного кола, вираженому в омах, із вказівкою коефіцієнта потужності. Воно може також характеризуватися повною потужністю у вольт-амперах, споживаною при даному коефіцієнті потужності і силі номінального вторинного струму.

Вторинне навантаження з коефіцієнтом потужності $\cos\varphi_2=0,8$, при якому гарантується встановлений клас точності ТС чи гранична кратність сили первинного струму щодо його номінальної сили, називається номінальним вторинним навантаженням ТС $Z_{2H,ном}$. Для вітчизняних ТС встановлені наступні значення номінального вторинного навантаження $S_{2H} = 2,6; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 95; 100$ ВА при коефіцієнті потужності $\cos\varphi_2=0,8$.

Відповідні значення номінального вторинного навантаження визначаються, Ом:

$$z_{2H} = S_{2H} / I_{2H}^2 .$$

д) Коефіцієнт трансформації ТС дорівнює відношенню сили первинного струму до сили вторинного струму.

У розрахунках ТС застосовуються два терміни: дійсний коефіцієнт трансформації n і номінальний коефіцієнт трансформації n_H . Під дійсним коефіцієнтом трансформації n варто розуміти відношення сили дійсного первинного струму до сили дійсного вторинного струму. Під номінальним

коефіцієнтом трансформації n_H розуміють відношення сили номінального первинного струму до сили номінального вторинного струму.

е) Стійкість ТС до механічних і теплових впливів характеризується силою струму електродинамічної стійкості і силою струму термічної стійкості.

Сила струму електродинамічної стійкості i_δ дорівнює найбільшій амплітуді струму короткого замикання за увесь час його протікання, що ТС витримує без ушкоджень, які перешкоджають його подальшій справній роботі. Струм i_δ характеризує здатність ТС протистояти механічним (електродинамічним) впливам струму короткого замикання. Електродинамічна стійкість може характеризуватися також кратністю K_δ , що представляє собою відношення сили струму електродинамічної стійкості до амплітуди номінального первинного струму. Вимоги електродинамічної стійкості не поширюються на шинні, вбудовані і рознімні ТС.

Сила струму термічної стійкості I_T відповідає найбільшій діючій силі струму короткого замикання за проміжок Δt_T , що протікає через ТС і яку він витримує протягом цього проміжку часу без нагрівання струмоведучих частин до температур, що перевищують допустимі і без ушкоджень.

Термічна стійкість характеризує здатність ТС протистояти тепловим впливам струму короткого замикання. Для оцінки термічної стійкості ТС необхідно знати не тільки силу струму через трансформатор, але і час його проходження, інакше кажучи, знати загальну кількість виділеної теплоти, що пропорційна добутку квадрата сили струму I_T , і часу його протікання Δt_T . Цей час, у свою чергу, залежить від параметрів мережі, у якій встановлений ТС, і змінюється від однієї до декількох секунд. Термічна стійкість може характеризуватися кратністю K_T сили струму термічної

стійкості, що представляє собою відношення сили струму термічної стійкості до діючої сили номінального первинного струму.

Температура струмоведучих частин ТС при проходженні струму термічної стійкості не повинна перевищувати: 200°C для струмоведучих частин з алюмінію; 250°C для струмоведучих частин з міді і її сплавів, які стикаються з органічною ізоляцією чи маслом; 300°C для струмоведучих частин з міді і її сплавів, що не стикаються з органічною ізоляцією чи маслом.

5. Принципова схема ТС.

Принципова схема одноступінчатого електромагнітного ТС і його схема заміщення показані на Рис. 8.2. Основні елементи ТС, що беруть участь у перетворенні струму первинна 1 і вторинна 2 обмотки, намотані на той самий магнітопровід 3. Первинна обмотка послідовно вмикається в розсічку струмопроводу високої напруги 4 і, отже, постійно обтікається струмом лінії I_1 . До вторинної обмотки підключаються вимірювальні прилади А чи реле. При роботі ТС вторинна обмотка завжди замкнута на навантаження.

Первинну обмотку разом з колом високої напруги називають первинним колом, а зовнішнє коло, що одержує вимірювальну інформацію від вторинного кола ТС (тобто навантаження і сполучні проводи), вторинною. Електричне коло, що утворене вторинною обмоткою з приєднаним до неї вторинним навантаженням, називають колом вторинного струму.

З принципової схеми трансформатора видно, що між первинною і вторинною обмотками електричного зв'язку немає. Вони ізолювані одна від одної шаром ізоляції, розрахованим на повну робочу напругу. Це і дозволяє здійснити безпосереднє приєднання вимірювальних приладів чи

реле до вторинної обмотки і тим самим виключити вплив високої напруги (прикладеної до первинної обмотки) на обслуговуючий персонал.

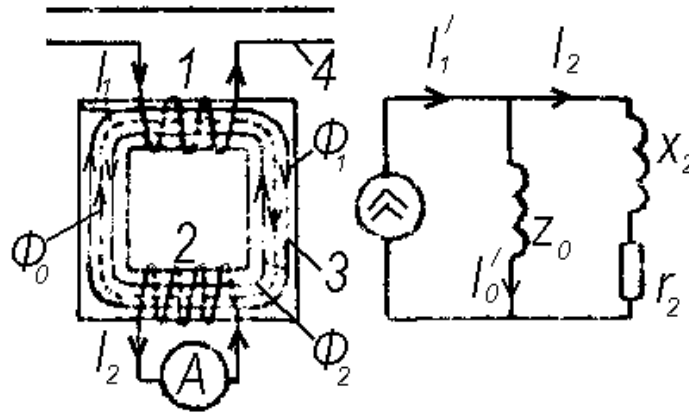


Рис. 8.2. Принципова схема ТС та його заступна схема.

На Рис. 8.2 зображені тільки ті елементи ТС, що беруть участь у перетворенні струму. Однак ТС має багато інших елементів, що забезпечують необхідний рівень ізоляції, захист від атмосферних впливів і належні монтажні та експлуатаційні характеристики, але не приймають участі в перетворенні струму.

Розглянемо принцип дії ТС (Рис. 8.2). По первинній обмотці 1 ТС проходить струм I_1 , що називається первинним. Його сила залежить тільки від параметрів первинного кола. Тому при аналізі явищ, що відбуваються в ТС, силу первинного струму можна вважати заданою величиною. При проходженні первинного струму по первинній обмотці в магнітопроводі створюється змінний магнітний потік Φ_1 , що змінюється з тією ж частотою, що і струм I_1 . Цей магнітний потік Φ_1 охоплює витки як первинної, так і вторинної обмотки. Перетинаючи витки вторинної обмотки, магнітний потік Φ_1 наводить у ній ЕРС. Якщо вторинна обмотка

замкнута на деяке навантаження, то у вторинному колі під дією цієї ЕРС буде проходити струм, що, відповідно до закону Ленца, буде мати напрямок, протилежний напрямку первинного струму I_1 . Струм, що проходить по вторинній обмотці, створює в магнітопроводі змінний магнітний потік Φ_2 , що спрямований зустрічно магнітному потоку Φ_1 . В наслідок цього магнітний потік у магнітопроводі, викликаний первинним струмом, буде зменшуватися.

В результаті додавання магнітних потоків Φ_1 і Φ_2 у магнітопроводі встановлюється результуючий магнітний потік $\Phi_0 = \Phi_1 - \Phi_2$, що складає кілька відсотків магнітного потоку Φ_1 . Потік Φ_0 і є тою передатною ланкою, за допомогою якої передається енергія від первинної обмотки до вторинної в процесі перетворення струму.

Результуючий магнітний потік Φ_0 , перетинаючи витки обох обмоток, наводить при своїй зміні в первинній обмотці ЕРС E_1 з протилежним знаком, а у вторинній обмотці ЕРС E_2 .

Для ТС встановлено п'ять класів точності: 0,2; 0,5; 1; 3 і 10 (0,2 - лабораторні, 10 - вбудовані).

Похибки можна зменшити збільшенням площі поперечного перерізу осердя, числа ампер-витків первинної обмотки, застосуванням сталі осердя з кращими магнітними властивостями; зменшенням середньої довжини магнітного шляху осердя, виключенням стиків і зазорів, зниженням опору вторинної обмотки і навантаження.

Існують різні методи компенсації похибок. Найбільш розповсюджені з них - протинамагнічення осердя, підмагнічування його від допоміжного осердя чи стороннього джерела, пристрій магнітного шунта та ін.

6. Конструкції трансформаторів струму

Існує велика кількість конструкцій ТС. Розглянемо найбільш широко застосовувані в РУ електричних станцій і підстанцій.

6.1. Одновиткові ТС з власною первинною обмоткою.

В одновиткових ТС первинна обмотка виконується у вигляді стержня пакета шин.

На Рис. 8.3 показаний одновитковий ТС ТПОЛ-20 з власною первинною обмоткою та литою ізоляцією для внутрішнього розміщення. Він використовується в комплектних розподільчих пристроях і т.д.

Переваги одновиткових ТС у порівнянні із багатовитковими:

- прості пристрої і, отже, дешеві;
- термічно більш стійкі, тому що первинна обмотка (стержень) може мати будь-яку площу поперечного перерізу;
- динамічно більш стійкі, тому що тут відсутня взаємодія між витками первинної обмотки і динамічна стійкість зводиться до взаємодії струмів різних фаз;
- більш стійкі до перенапруг, тому що індуктивність первинної обмотки одновиткового ТС мізерно мала.

Основні недоліки одновиткових ТС - низька точність і мала потужність осердя при малих силах номінальних струмів через мале значення сили струму первинної обмотки, що намагнічує.

Застосована лита епоксидна ізоляція, що дозволило спростити конструкцію і технологію виробництва. Стержень 1 (первинна обмотка), кріпильне кільце 3 і осердя встановлюють у спеціальній формі, а потім заливають рідку масу 2 з епоксидної смоли, пилоподібного кварцового піску й полімеризатору.

Після затвердіння і полімеризації ізоляційний матеріал здобуває високі електричні і механічні властивості.

Осердя виконують у вигляді тора і виготовляють зі стрічки, згорнутої по спіралі.

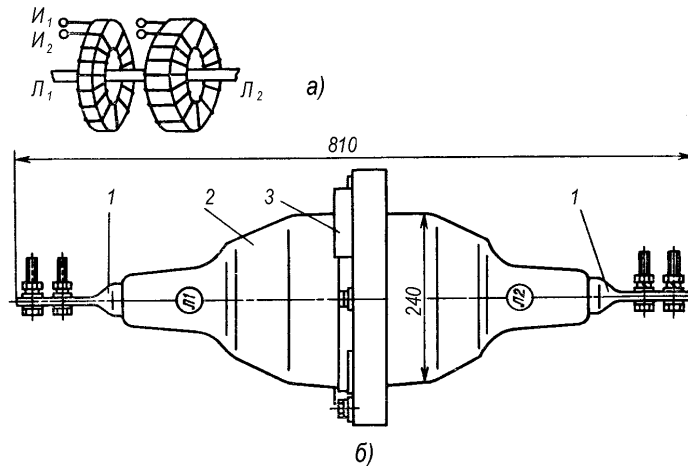


Рис. 8.3. Трансформатор струму ТПОЛ-20:

а) принципове розташування магніто проводів з обмотками; б) конструкція: 1 – вивід первинної обмотки; 2 – епоксидна ізоляція; 3 – виводи вторинної обмотки.

Трансформатори струму типу ТПОЛ-20 виготовляються на номінальні струми силою 400...1500 А.

6.2. Шинні ТС для внутрішнього використання.

На сили струмів 2000 А і більше внутрішнього розміщення випускають шинні ТС із литою ізоляцією. На Рис.8.3 показаний шинний ТС з литою ізоляцією на 20 кВ та струмом 6000-19000 А ТШЛ-20 складається з двох розташованих поруч стрічкових осердь овальної форми 1, 2, на кожному з яких намотана вторинна обмотка. Ізоляцією струмоведучих частин служить литий епоксидний компаунд.

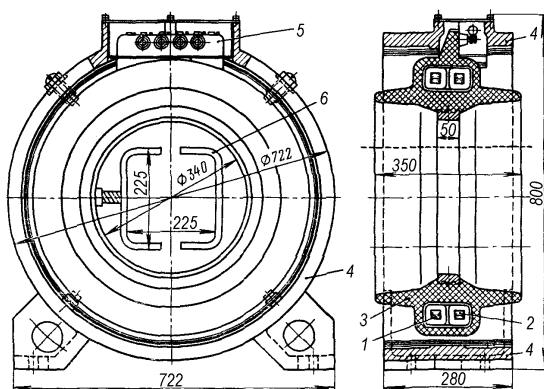


Рис. 8.3. ТШЛ-20

6.3. Багатовиткові ТС.

При малих силах первинних струмів (менших 400 А) для одержання високого класу точності застосовують багатовиткові ТС. За рахунок збільшення числа первинних витків при будь-якому первинному струмі можна одержати необхідну для даного класу точності первинну НС.

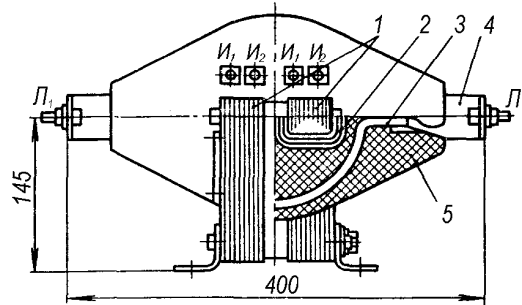


Рис.8.4. Багатовитковий ТС ТПЛ-10 з двома магнітопроводами:

1 – магнітопровід; 2 – вторинна обмотка; 3 – первинна обмотка; 4 – вивід первинної обмотки; 5 – литий епоксидний корпус.

Трансформатори струму типу ТПЛ-10 (струму, петлевий, з литою ізоляцією, на номінальну напругу 10 кВ) виготовляються на номінальний струм 5...1000 А.

6.4. Багатовиткові котушкові ТС.

На номінальну напругу 3 кВ виготовляються багатовиткові ТС з литою ізоляцією типу ТКЛ-3 (Рис. 8.5.) на номінальні первинні струми 5...600 А.

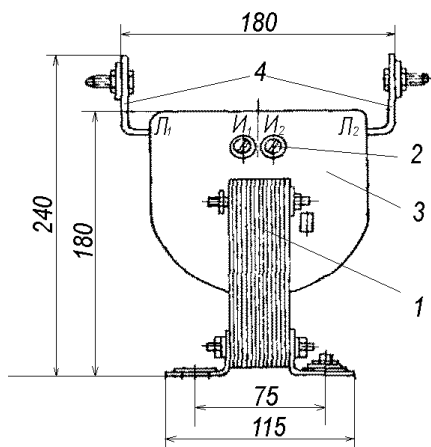


Рис.8.5. Котушковий багатовитковий ТС з литою ізоляцією на напругу 3 кВ ТКЛ-3 (позиції ті ж, що і на Рис. 8.4).

6.5. ТС зовнішнього використання, опорного типу, в порцеляновому корпусі

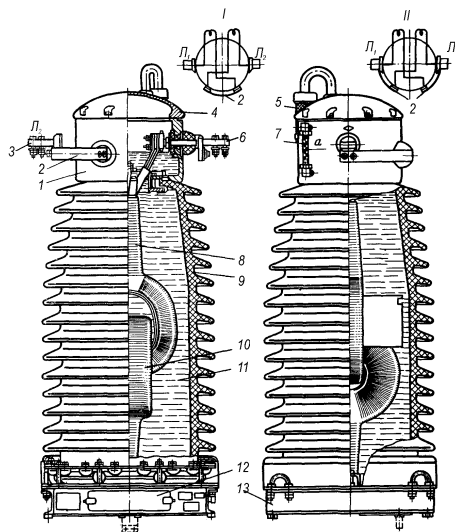


Рис. 8.6. Трансформатор струму ТФЗМ:

1 – розширювач масла; 2 – перемикач первинної обмотки; 3 – ввід Л2 ; 4 – кришка; 5 – поглинач вологи; 6 – ввід Л1; 7 – показник рівня оливи; 8 – первинна обмотка; 9 – порцеляновий корпус; 10 – магнітопровід з вторинною обмоткою; 11 – масло; 12 – клемна коробка вторинних обмоток; 13 - основа ТС (цоколь).

При напрузі 35 кВ і вище для зовнішнього використання застосовуються ТС опорного типу в порцеляновому корпусі з паперово – масляною ізоляцією типу ТФЗМ (Рис. 8.8). В порцеляновому ізоляторі, заповненому маслом, розташовані обмотки та магнітопроводи ТС. Конструктивно первинна і вторинна обмотки виконані в вигляді ланцюжка з двома секціями (в формі вісімки). Первинна обмотка складається з двох секцій, які за допомогою перемикача 2 можуть бути з'єднані послідовно (положення I) чи паралельно (положення II), чим досягається зміна номінального коефіцієнта трансформації у відношенні 1:2. На порцеляновій покривці встановлений металевий розширювач масла 1, що сприймає коливання рівня масла. Силікагелевий поглинач вологи 5 призначений для поглинання вологи зовнішнього повітря, з яким зв'язана

внутрішня порожнина розширювача масла. Обмотки і порцелянова кришка кріпляться на сталевому цоколі 13. Коробка вторинних виводів 12 герметизирована. Знизу до неї кріпиться кабельна муфта, у якій розведено кабелі вторинних кіл.

Трансформатори ТФЗМ мають один магнітопровід з обмоткою класу 0,5 і два-три магнітопроводи з обмотками для релейного захисту. Чим вище напруга, тим складніше здійснити ізоляцію первинної обмотки, тому на напругу 330 кВ і більше виготовляються трансформатори струму каскадного типу. Наявність двох каскадів трансформації (двох магнітопроводів з обмотками) дозволяє виконати ізоляцію обмоток кожної ступіні не на повну, а на половину його напруги.

6.6. Каскадні ТС.

В установках 330 кВ і більше застосовуються каскадні трансформатори струму ТФРМ з римовидною обмоткою, розташованою усередині порцелянового ізолятора, заповненого трансформаторним маслом. У таких трансформаторах чотири-п'ять вторинних обмоток на класи точності 0,2; 0,5 і Р

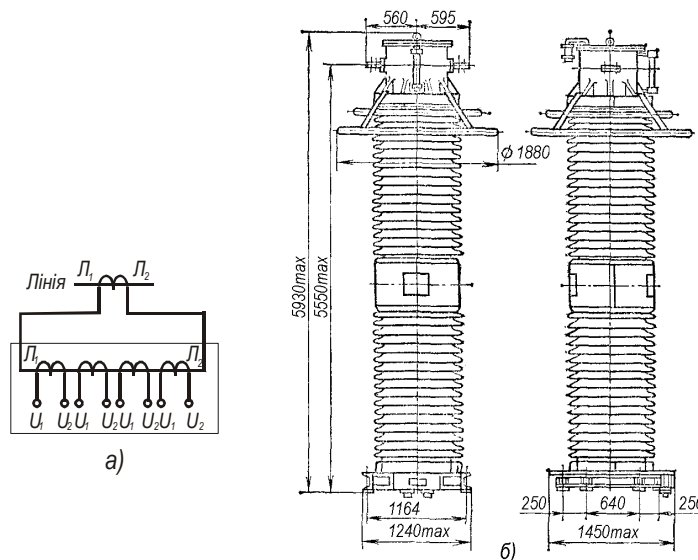


Рис.8.7. Трансформатор струму на напругу 550 кВ:

а – схема електроз'єднань б – загальний вигляд;

На Рис. 8.7,а показана схема електричних з'єднань, а на Рис. 8.7,б загальний вид ТФНКД-500 (ТС у порцеляновому кожусі, для зовнішнього розміщення, каскадний, для диференційного захисту, на напругу 500 кВ).

Верхня ступінь (Рис. 8.7,б) складається з первинної і вторинної обмоток “вісімкового” типу, ізольованих кабельним папером і поміщених у порцелянову сорочку, заповнену трансформаторним маслом. Первинна обмотка розділена на чотири секції, що з'єднуються послідовно, чи паралельно-послідовно. Сила номінального вторинного струму першої ступіні дорівнює 5 А.

6.7. Вбудовані ТС

Вбудовані трансформатори струму застосовуються в установках 35 кВ і більше. У вводи високої напруги масляних вимикачів і силових трансформаторів вбудовуються магнітопроводи з вторинними обмотками. Первинною обмоткою є струмоведучий стержень вводу. Для невеликих первинних струмів клас точності цих трансформаторів - 3 чи 10. Для первинних струмів 1000 - 2000 А можлива робота в класі точності 0,5. Вторинні обмотки вбудованих трансформаторів струму мають відгалуження, що дозволяють регулювати коефіцієнт трансформації відповідно до первинного струму. Для вбудовування в масляні вимикачі застосовуються трансформатори струму серій ТВ, ТВС, ТВУ. Кожному типу масляного бакового вимикача відповідає визначений тип трансформатора струму, паспортні дані яких приводяться в каталогах вимикачів і в довідниках. Для вбудови в силові трансформатори чи

Трансформатори напруги

1. Загальні відомості

Вимірювальний трансформатор напруги (ТН) перетворює напругу до значення, зручного для приєднання вимірювальних приладів і релейного захисту. Застосування ТН забезпечує безпеку людей, що стикаються з приладами і реле, і дозволяє уніфікувати вторинну (нижчу) напругу.

Особливістю роботи ТН у порівнянні з силовим трансформатором являється те, що ТН працює в умовах близьких до режиму холостого ходу. Потужність ТН не перевищує сотень вольт-ампер.

2. Номінальні параметри трансформаторів напруги.

а). Номінальна напруга первинної обмотки – $U_{1Н}$ стандартизована у відповідності зі шкалою номінальних лінійних напруг мережі в інтервалі від 0.38 до 1150 кВ. ТН на рівні напруги до 35 кВ включно та НКФ-110-58 призначені для мережі з ізольованою нейтраллю, а ТН класів напруги 110 кВ і вище – для мереж з заземленою нейтраллю.

Виключенням являються трансформатори, призначені для мереж за схемою зірка з заземленою нейтраллю первинної обмотки, для яких

$$U_{1Н} = U_{ФМ} = U_{ЛМ} / \sqrt{3},$$

де $U_{1Н}$ – номінальна напруга первинної обмотки ТН;

$U_{ФН}$, $U_{ЛН}$ – відповідно фазна і лінійна номінальна напруга мережі, де приєднується ТН.

б). Номінальна напруга вторинної обмотки – $U_{2Н}$ прийнята рівною 100 або $100/\sqrt{3}$ для трансформаторів, у яких первинна обмотка виконана на фазну напругу.

в). Номінальний коефіцієнт трансформації $K_{Н} = U_{1Н}/U_{2Н}$

Однак, на відміну від силових трансформаторів, $K_{Н} \neq n = w_1/w_2$, де w_1 , w_2 - число витків відповідно первинної і вторинної обмотки.

Це пояснюється тим, що похибки ТН залежать від розмірів магнітопроводу, магнітних властивостей сталі, конструкції обмотки, перетину проводів, а також від приєданого навантаження. Для корекції цих похибок, тобто для збільшення точності вимірів, відношення числа витків вибирають трохи меншим номінального коефіцієнта трансформації.

У зв'язку з цим, $K_H U_2$ значно відрізняється від U_1 як по модулю, так і по фазі, що зв'язано з втратами потужності в самому ТН.

г). Номінальне навантаження ТН – це максимальне навантаження вторинної обмотки, при якій похибки не виходять за допустимі межі, встановлені для трансформаторів напруги розглянутого класу.

д). Клас точності характеризує похибку напруги і кутову похибку.

Похибка напруги (по величині) $f = (K_H U_2 - U_1)/U_1$ може бути позитивна (якщо $K_H U_2 > U_1$) і від'ємна.

Кутова похибка (фазна) являє собою кут δ між векторами первинної і вторинної напруг.

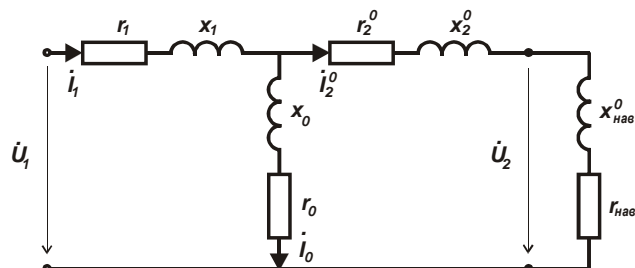


Рис. 8.8. Заступна схема трансформатора напруги.

3.Схеми приєднань ТН.

При використанні в трифазній системі двох ТН (Рис. 8.9) не рекомендується приєднувати навантаження між точками а і с, тому що через трансформатори буде протікати додатковий струм навантаження, що призводить до підвищення похибки виміру. Якщо ТН має додаткові обмотки, з'єднані у відкритий трикутник, то можна приєднати додаткове навантаження S_{Δ} (Рис. 8.10). Сума потужності фазного навантаження S_2 і

загальне навантаження S_{Δ} не повинні перевищувати потужності, що може віддавати ТН у класі точності 3, тобто $S_2 + S_{\Delta} \leq S$ класу 3 .

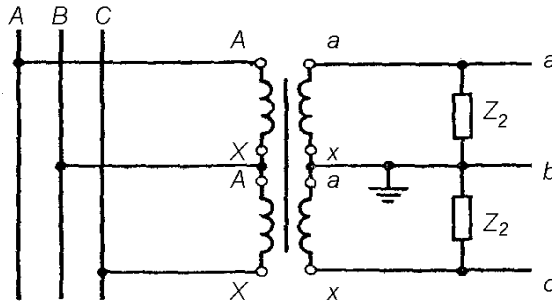


Рис. 8.9. Приєднання навантаження через два ТН в трифазній мережі.

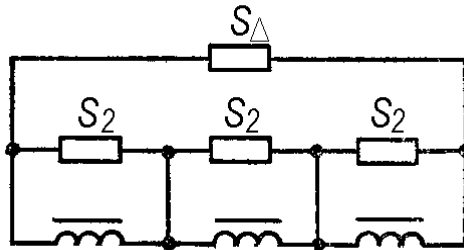


Рис. 8.10. Схема приєднання додаткового навантаження на додаткові обмотки ТН, що з'єднані в відкритий трикутник.

На рис. 8.11 наведена схема з'єднання трьох однофазних ТН за схемою зірка - зірка з заземленням нейтралі.

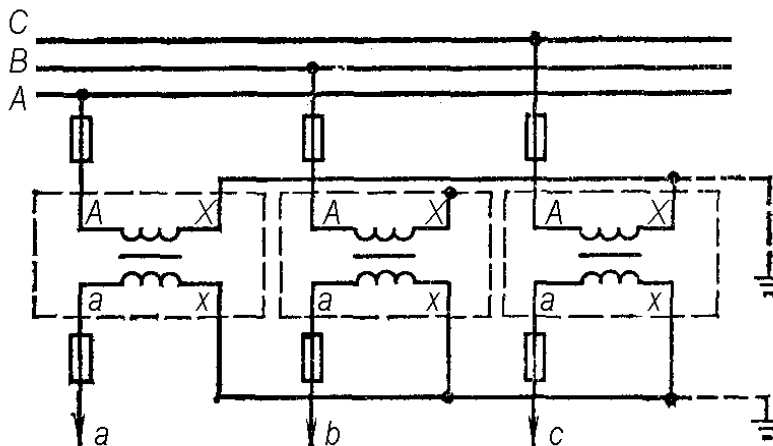


Рис. 8.11. Схема приєднання трьох однофазних трансформаторів напруги із заземленою нейтраллю.

На рис. 8.12 показано схему трифазного тристержневого трансформатора, що використовується у мережі з ізолюваною нейтраллю

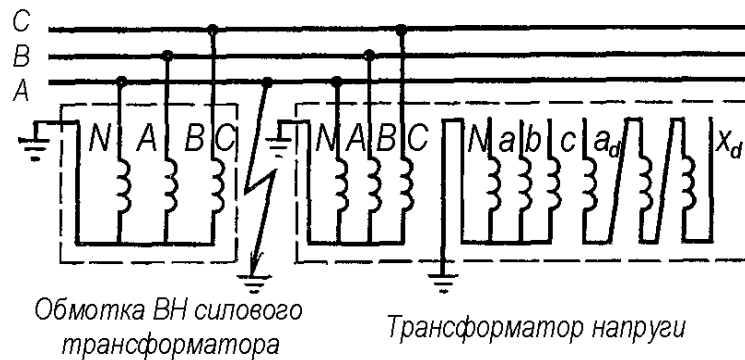


Рис. 8.12. Схема з'єднання трифазного тристержневого трансформатора, що використовується в мережі з ізолюваною нейтраллю.

Для контролю ізоляції в мережі з ізолюваною нейтраллю використовується схема з триобмотковими ТН на рис. 8.13.

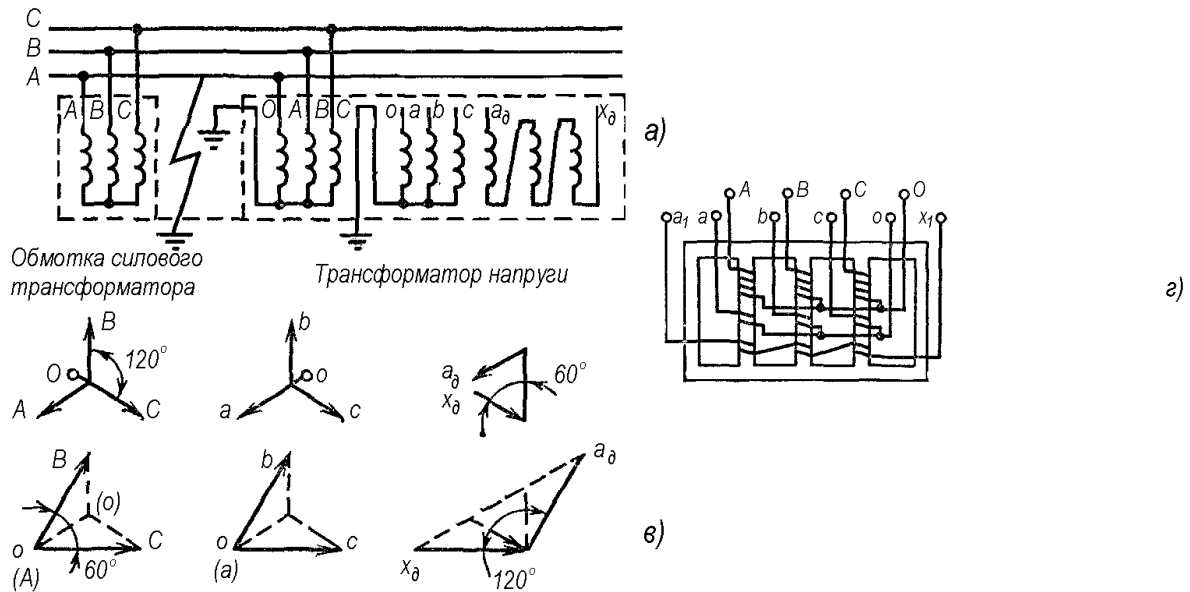


Рис. 8.13. Схема використання трифазного ТН для контролю ізоляції в мережі з ізолюваною нейтраллю. а) – схема приєднання; б) – векторна діаграма в нормальному режимі; в) – векторні діаграми напруг в режимі замикання фази А на землю; г) – ТН з п'ятистержневим магнітопроводом.

4. Конструкції трансформаторів напруги.

Типові позначення трансформаторів напруги.

Типові позначення ТН розшифровуються в такий спосіб:

НОМ — однофазний, із природним масляним охолодженням;

НТМИ — трифазний, із природним масляним охолодженням, з обмоткою для контролю ізоляції мережі;

ЗНОМ — однофазний, із природним масляним охолодженням із заземленим виводом первинної обмотки;

НКФ — каскадний, у порцеляновій оболонці;

НДЕ — з ємнісним дільником напруги (конденсаторний ТН).

Буква Л в типовому позначенні трансформатора напруги означає виконання з литою ізоляцією, Г - з газовою ізоляцією.

4.1. ТН напруги з литою ізоляцією (сухі).

Трансформатори напруги серій НОЛ і ЗНОЛ являють собою литий блок, у якому в епоксидному компаунді залиті обмотки і магнітопровід. Магнітопровід стиржевого типу, шихтований, розрізний, С - подібний чи Ш - подібний, намотаний з електротехнічної холоднокатаної сталі. Обмотки розташовані на магнітопроводі концентрично. Внутрішньою обмоткою є додаткова вторинна обмотка (для ТН серії ЗНОЛ), на ній розташована основна вторинна обмотка, поверх якої намотана первинна обмотка. Первинна обмотка екранована алюмінієвою фольгою, з'єднаною з вводом високої напруги первинної обмотки. Екран служить для підвищення імпульсної електричної стійкості трансформатора.

У литому блоці разом з магнітопроводом і обмотками залиті втулки, до яких кріпиться втулка, з'єднана з магнітопроводом. На основі розташований вузол заземлення ТН і табличка технічних даних. Виводи

вторинної чи вторинних обмоток і вивід заземлення первинної обмотки закриті кришкою.

Трансформатори, що призначаються для вбудовування в струмопроводи турбогенераторів, обладнані ножовим вторинним контактом.

4.1. Масляні ТН

Шихтовані магнітопроводи зібрані з пластин електротехнічної сталі. Обмотки шарові, намотані круглим чи прямокутним обмотувальним проводом на каркасах з електроізоляційного картону. Обмотка високої напруги складається з двох чи більше котушок, з'єднаних послідовно і мають електростатичні екрани для захисту від перенапруг. На кришці трансформатора напруги типів НОМ і НТМИ змонтовані вводи високої і низької напруги, установлена пробка для доливки трансформаторного масла.

4.3. Каскадні ТН.

Принципова схема двокаскадного ТН представлена на рис.8.14. На двох магнітопроводах 1 і 2 розташовано дві частини первинної обмотки 3 і 4. На кожен магнітопровід підведено потенціал середньої точки намотаної на нього частини первинної обмотки. Це дозволяє виконати ізоляцію кожного каскаду на четверту частину фазної напруги і зменшити вартість і габарити ТН. Вторинні обмотки 7 використовуються для під'єднання навантаження. Крім того, маютья дві обмотки зв'язку 5 і 6, що знаходяться на тих же

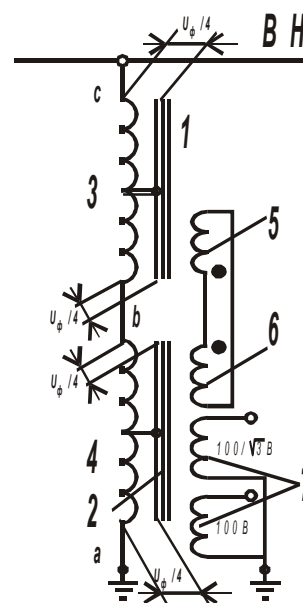


Рис. 8.14. Принципова схема каскадного ТН

магнітопроводах 1 і 2.

Якщо допустити, що ТН працює в режимі холостого ходу, коли всі обмотки розімкнуті, а магнітопроводи 1 і 2 ідентичні, то напруга між обмотками 3 і 4 ділиться порівну. Приєднання навантаження викликає зменшення вхідного опору нижнього каскаду між точками а і b і напруга на навантаженні зменшується. Для вирівнювання напруги служать обмотки зв'язку 5 і 6, увімкні зустрічно. При нерівності первинних напруг U_{ab} і U_{bc} по обмотках 5 і 6 тече вирівнюючий струм, що навантажує верхній каскад. При цьому напруга U_{ab} зростає, а напруга U_{bc} зменшується. Таким чином рівномірно навантажуються обидва каскади.

Масляні каскадні ТН у залежності від номінальної напруги виготовляються на напруги 110 кВ одноблоковими, а на 220, 330 і 400, 500 кВ - відповідно двох, трьох і чотириблочними.

Кожен блок складається зі стержневого магнітопроводу з двома стержнями. Обмотка високої напруги рівномірно розподілена по всіх стержнях магнітопроводу. Обидві вторинні обмотки низької напруги, основна і додаткова, розташовані на нижньому стержні нижнього магнітопроводу, що має найменший потенціал відносно землі (один кінець первинної обмотки заземлюється). На інших стержнях також розміщені проміжні (вирівнююча і сполучна) обмотки, необхідні для створення рівномірного розподілу навантаження вторинних обмоток по всіх стержнях.

4.4. Конденсаторний ТН

Трансформатори типу НКФ напругою більше 110 кВ мають невелику точність через великий активний і реактивний опори обмоток. Для підвищення точності необхідно зменшувати навантаження.

Великими труднощами є також рівномірний розподіл напруги між елементами НКФ в перехідних режимах. Тому для первинних напруг більших 110 кВ доцільно застосовувати конденсаторні трансформатори напруги (Рис. 8.31). Ємність конденсатора $C_1 \ll C_2$ і як результат $U_{C2} \ll U_{C1}$. Напруга

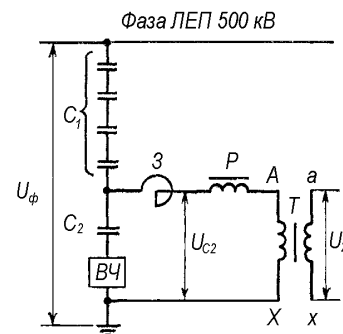


Рис. 8.15. Принципова схема конденсаторного ТН

нижньої ступені С2 за звичаєм складає 10 кВ. Тому напруга U_2 , прикладена до навантаження, подається через трансформатор АХ/ах. Вторинна напруга $U_2 = 100$ В.

Конденсаторні трансформатори напруги серії НДЕ складаються з ємнісного дільника напруги з екраном, електромагнітного пристрою, роз'єднувача і розрядника. Ємнісний дільник напруги складається з конденсаторів зв'язку і конденсатора відбору потужності, з'єднаних послідовно і встановлених один на одному, що ізолює підставки й екран.

Екран дільника утворюється алюмінієвим корпусом звареної конструкції, нагорі якого розташований контактний затиск, і алюмінієвим кільцем, виконаним зі зварених труб. Електромагнітний пристрій, що живиться від ємнісного дільника, складається з реактора, однофазного триобмоткового понижуючого трансформатора і демпфера, розміщених у загальному баці з масляним заповненням. Обмотка реактора з'єднана послідовно з первинною обмоткою понижуючого трансформатора, демпфер з'єднаний паралельно з основною вторинною обмоткою понижуючого трансформатора.

Реактор служить для компенсації ємнісного падіння напруги в дільнику і підтримки постійного значення напруги в первинній обмотці понижуючого трансформатора при зміні навантаження.

Демпфер складається з магнітопроводу стержневого типу, на кожному стержні якого розміщена обмотка з мідного проводу, і призначений для демпфірування субгармонічних коливань, що виникають у вторинному колі при вимкненні навантаження або під час коротких замикань.

Регулювання напруги й індуктивності проводиться тільки на підприємстві-виготовлювачі.

Високочастотний загороджувач являє собою резонансний контур, призначений для обмеження струмів високої частоти в діапазоні 30-500 кГц. Високочастотний загороджувач складається з котушки індуктивності,

розрядника, конденсатора і резистора, розмішених у порцеляновому корпусі, установленому на двох опорних ізоляторах.

Між дільником і високочастотним загороджувачем приєднується однополюсний роз'єднувач, між високочастотним загороджувачем і електромагнітним пристроєм приєднується вентильний розрядник РВС-20, призначений для захисту ізоляції електромагнітного пристрою від атмосферних перенапруг.

4.5. Оптико-електронні ТН

Для виміру високих і надвисоких напруг, а також для дослідження електричних апаратів на ці напруги традиційні електромагнітні трансформатори стають малопридатними внаслідок великої маси, габаритів і погрішностей, що виникають через застосування каскадних схем з великим числом елементів.

В оптико-електронних трансформаторах напруги (ОЕТН) застосовується зовнішня амплітудна модуляція світлового сигналу (Рис. 8.16). В якості перетворювачів використовуються рідкі кристали Керра (Рис. 8.16,а) або Поккельса (Рис. 8.16,б). Перший являє собою прозору посудину, у яку налитий спеціальний рідкий діелектрик (нітробензол). В кристалі розміщені два електроди, між якими виникає однорідне електричне поле, яке створене вимірюваною напругою. Це поле перпендикулярне напрямку проходження світлового потоку. Світловий потік від джерела 1 проходить через оптичну систему 2 і поляризатор 3 і подається в перетворювач Керра (4). Потім промінь проходить через аналізатор 5 і подається на фотоприймач. Площини поляризації поляризатора й аналізатора зміщені на 90° . У результаті при відсутності напруги U фотосигнал на виході 5 дорівнює нулю.

Подача напруги U визначається появою на виході фотосигналу, який у відносних одиницях описується рівнянням

$$I_{\kappa} = \frac{I_{\text{н}}}{I_0} = \sin^2 \left(\pi B_{\kappa} l \frac{U^2}{d^2} \right)$$

де B_{κ} - постійна Керра; l - довжина шляху, що проходить світлом у електрооптичній середі; d - відстань між електродами; I_0 - інтенсивність світла, що надходить у електрооптичну середу.

Для перетворювача Керра характерна квадратична залежність вихідного фотосигналу від напруги. Ця залежність представлена на рис. 8.16,в.

Для роботи на квазілінійній ділянці цієї залежності необхідна подача напруги, що зміщує точку відліку на $0,707U_{\pi(\kappa)}$. Через те, що подача такої напруги пов'язана із значними труднощами, вихід на лінійну ділянку здійснюється оптичним шляхом. Між поляризатором і перетворювачем знаходиться пластинка слюди, що створює ефект, аналогічний напрузі, що зміщується. Таким чином, при відсутності напруги система знаходиться в точці 0 на кривій Рис. 8.16,в.

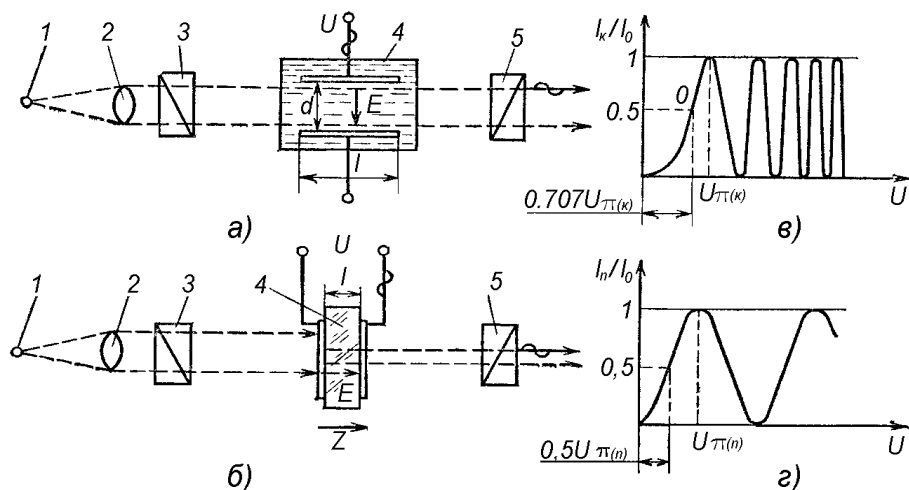


Рис. 8.16. Перетворювачі напруги в інтенсивність світлового сигналу та їх статичні характеристики а – перетворювач Керра; б – перетворювач Поккельса; в і г – статичні характеристики.

Конструкції найбільш розповсюджених трансформаторів напруги.

На рисунках 8.17 – 8.23 наведені конструкції найбільш розповсюджених трансформаторів напруги, а на рис.8.24 – схема трансформатора напруги конденсаторного типу.

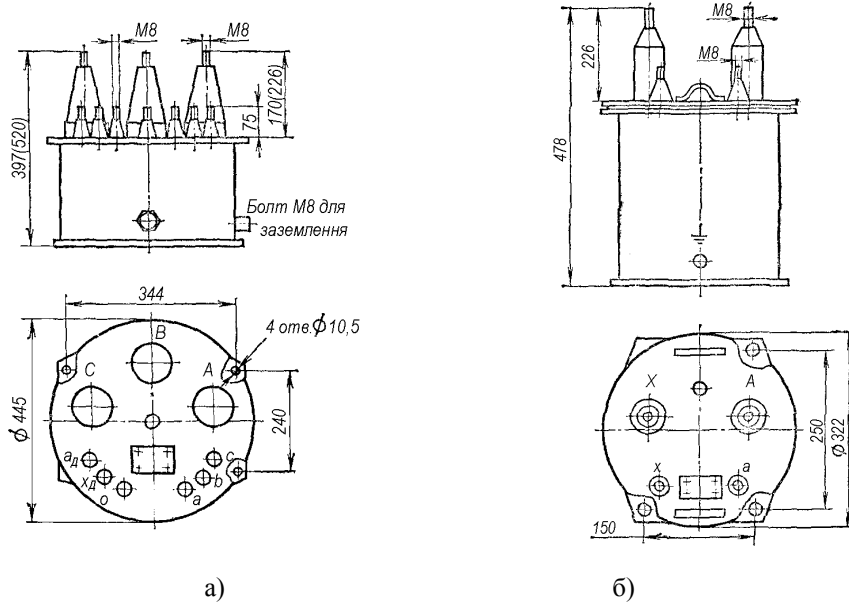


Рис. 8.17. а - трансформатор напруги НТМИ-6-66 (в дужках дані розміри для ТН НТМИ-10-66); б - трансформатор напруги НОМ-10-66.

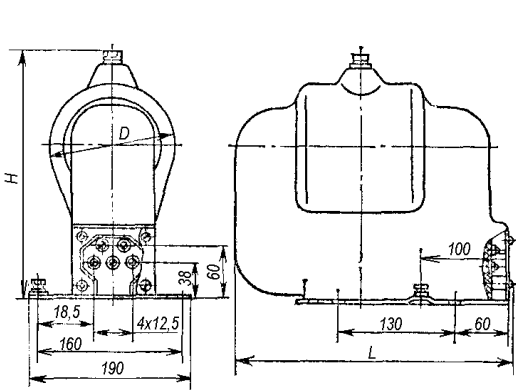


Рис. 8.18. Трансформатор напруги ЗНОЛ.06

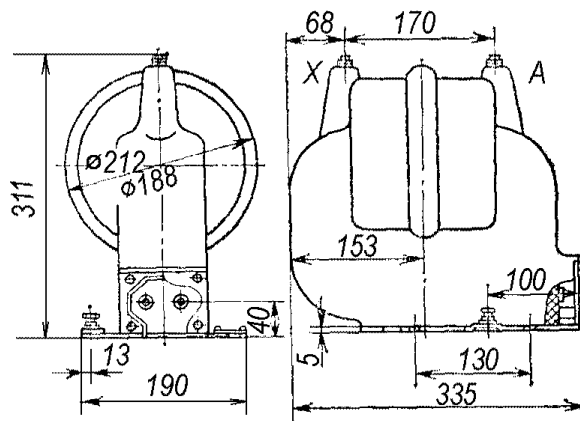


Рис. 8.19. Трансформатор напруги НОЛ.08-10.

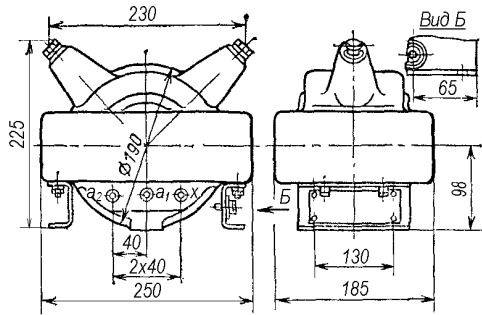


Рис. 8.20. Трансформатор напруги НОЛ.11-6.

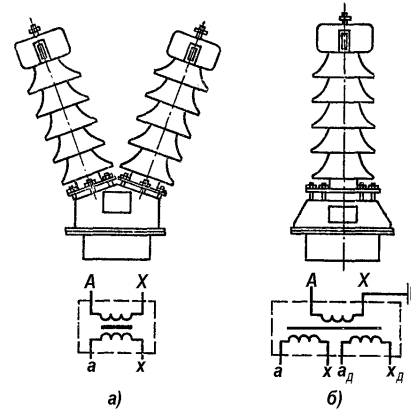


Рис. 8.21. ТН типу НОМ-35 (а) та

ЗНОМ-35 (б)

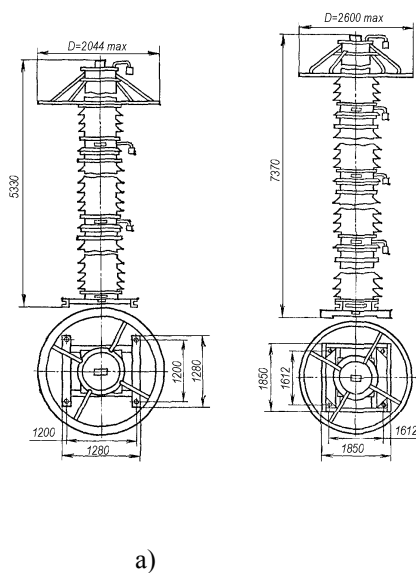


Рис. 8.22 НКФ-330-73 (а) і НКФ-500-78 (б).

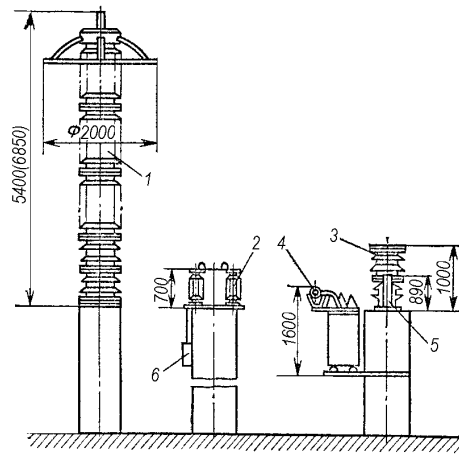


Рис. 8.23. НДЕ-500-72

1 – діляник напруги; 2 – однополюсний роз'єднувач; 3 – електромагнітна установка; 4 – високочастотний загороджувач; 5 – вентиляний розрядник; 6 – привод роз'єднувача.

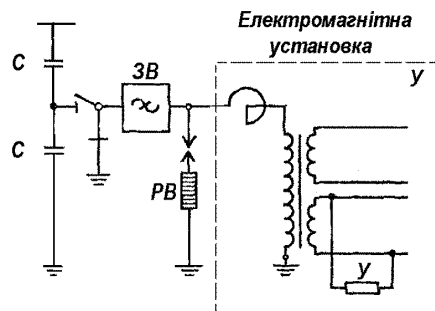


Рис. 8.24. Принципова електрична схема конденсаторного трансформатора напруги

C_1 – конденсатор зв'язку; C_2 – конденсатор відбору потужності; В – однополюсний роз'єднувач; ЗВ – високочастотний загороджувач; РВ – вентиляний розрядник; Р – реактор; У – демпфер.

Питання для самоконтролю

1. Призначення ТС.
2. Основні конструктивні елементи ТС, їх призначення.
3. Особливості роботи ТС порівняно з силовим Тр-ром.
4. Схема підключення ТС.
5. Які частини ТС підлягають заземленню?
6. Маркування виводів первинної і вторинної обмотки, її призначення.
7. Послідовність вимкнення приладів від вторинної обмотки ТС. Чому неможна розмикати вторинну обмотку ТС при наявності струму в первинній обмотці.?
8. Від чого і яким чином залежить похибка ТС.
9. На які прилади і реле впливає тільки струмова похибка, а на які – струмова і кутова?
10. Яким чином можна компенсувати похибку ТС?
11. Основні нормативні параметри, що характеризують ТС.
12. Номінальний клас точності. Які ще бувають класи точності ТС? Робота ТС при різних класах точності. Максимальна кратність вторинного струму.
13. Конструкції ТС. Розташування основних конструктивних елементів ТС.
14. Міжвиткова ізоляція первинної та вторинної обмоток ТС різних типів та їх ізоляція однієї від іншої та від осердя.
15. Призначення ТН.
16. Основні конструктивні елементи ТН, їх призначення.
17. Особливості роботи ТН порівняно з силовим Тр-ром.
18. Схема підключення ТН.
19. Які частини ТН підлягають заземленню?
20. Маркування виводів первинної і вторинної обмотки, її призначення.
21. Від чого і яким чином залежить похибка ТН.
22. На які прилади і реле впливає тільки похибка напруги, а на які – напруги і кута?
23. Яким чином можна компенсувати похибку ТН?
24. Основні нормативні параметри, що характеризують ТН.
25. Робота ТН при різних класах точності. Гранична потужність ТН.
26. Конструкції ТН. Розташування основних конструктивних елементів ТН.

27. Міжвиткова ізоляція первинної та вторинної обмоток ТН різних типів та їх ізоляція однієї від іншої та від осердя.
28. Чим відрізняються схеми вимірів в мережі з ізолюваною та заземленою нейтраллю?
29. Для чого потрібен ТН з магніто проводом, що має п'ять стержнів?
30. Використання ТН для контролю ізоляції в мережах з ізолюваною нейтраллю.
31. Принцип роботи конденсаторного ТН.
32. Принцип роботи оптикоелектронних ТН.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

КОМПЛЕКТНІ РОЗПОДІЛЬЧІ УСТАНОВКИ

Загальні положення

На електричних станціях і підстанціях широко застосовуються комплектні розподільчі установки (КРУ) високої і низької напруг, основні елементи яких у вигляді шаф виготовляють і випробовують на заводі, а потім поставляють готовими для зборки.

Переваги використання КРУ в порівнянні зі збірними розподільчими установками (РУ) наступні:

- Підвищується надійність роботи РУ, зручність і безпека обслуговування;
- Спрощується будівельна частина електроустановок, скорочуються терміни їх проектування і будівництва;
- Забезпечується швидке розширення електроустановки і реконструкції;
- Електроустановка займає менше місця (компактність);
- Забезпечується краща захищеність від запилення та забруднення;
- Електромонтаж КРУ зводиться до установки потрібних комірок (шаф) і приєднанню їх до збірних шин КРУ, а останніх – до електричної мережі;
- Надійність роботи КРУ дозволяє збільшити міжревізійні і міжремонтні терміни і, отже, зробити експлуатацію більш дешевою.

Комплектні розподільчі установки випускають як для внутрішньої (КРУ), так і для зовнішньої установок (КРУЗ).

Особливості конструкцій КРУ

Як ізоляцію між струмоведучими частинами різних фаз КРУ, а також між струмоведучими та заземленими частинами можна використовувати

газ (повітря, елегаз), рідину (трансформаторне масло) та твердий діелектрик (полівінілхлорид, епоксидну смолу, поліетилен).

Промисловість виготовляє шафи КРУ на напругу 6-35 кВ із повітряною ізоляцією та КРУ на напруги до 800 кВ із елегазовою ізоляцією. Шафи на напругу 6-35 кВ випускають для схеми з однією системою збірних шин з малооб'ємними вимикачами (типів ВМП, ВММ, ВМПЕ, ВМПП і МГГ-10) та електромагнітними вимикачами (типу ВЕМ) на візках, що викочуються. Функції роз'єднувачів там виконують втичні контакти.

Кожна проектована КРУ складається з комірок різних приєднань: кабельних та повітряних ліній, живильних вводів; секційних зв'язків; шинних трансформаторів напруги та розрядників; трансформаторів власних потреб і т. п. Тому заводи, що виготовляють кожну серію КРУ, випускають цілий набір шаф для різних приєднань, відповідно до запланованої сітки схем. Усі шафи однієї серії для зручності компонування мають однакові габарити. Оскільки номінальні струми живильних вводів та секційних зв'язків значно більші номінальних струмів інших приєднань, то для них передбачають додаткову серію шаф. Габарити цих шаф (ширина, висота) звичайно трохи більші габаритів основної (опорної) серії.

Конструкції КРУ.

1. Комплектна РУ серії КРУ 2-10.

У КРУ2-10 (Рис. 9.1) встановлено малооб'ємний вимикач серії ВМП-10 для внутрішньої установки на напругу до 10 кВ і номінальні струми головних кіл 630, 1000, 1600, 2000, 2500, 3200 А. Його номінальний струм вимкнення $I_{\text{вим}} = 20$ кА, електродинамічна стійкість до струмів короткого замикання головних кіл $i_{\text{дин}} = 52$ кА, термічна $I_{\text{T}}/t_{\text{T}} = 20/4$ кА/с.

Шафи КРУ в залежності від використаної апаратури головних кіл (Рис. 9.1.б) мають наступні позначення:

- КВЕ - з масляним вимикачем і електромагнітним приводом;
- ШВМЕ - з масляним вимикачем на номінальний струм до 3200 А;
- КВП - з масляним вимикачем і вбудованим пружинним приводом;
- КВЕП - з масляним вимикачем і електромагнітним приводом для установок з підвищеною частотою комутацій;
- КНОМ - з однофазним трансформатором напруги типу НОМ;
- КНТМІ - із трифазним трансформатором напруги типу НТМІ;
- КРД - з контактами, що встроюються (роз'єднувачами);
- ШРД - те ж на номінальний струм до 3200 А;
- КРВП - з розрядником;
- КЗБ - з кабельними зборками і перемичками;
- КТМ - із силовим трансформатором 2 кВ·А;
- КА - комбінований (наприклад, з розрядником і конденсаторами, або з розрядником і трансформатором напруги, і т.д.);
- КЗК - із силовими запобіжниками.

Шафи КРУ мають однакове загальне компонування (див. Рис. 9.1,а), але трохи відрізняються конструкцією викочуваного візка і габаритними розмірами. Основа шафи - сталевий каркас, до якого кріпиться устаткування, і стінки комірки. Візок відділений від відсіків 1 і 2 шторками, що автоматично відкриваються при вкочуванні візка і закриваються при викочуванні. Це перешкоджає випадковому дотику обслуговуючого персоналу до частин, що знаходиться під напругою у відсіках 1 і 2.

Шафи можна розділити на три основних відсіки: збірних шин (1); лінійного відсіку (2), у якому розміщені трансформатори струму і кабельне устаткування; відсіку викочуваної частини (3); у верхній частині КРУ, з боку фасаду, знаходиться релейна шафа (4). Для огляду і ревізії збірних шин і ізоляторів у верхній частині відсіку 1 знаходиться знімна кришка. У відсіку 3 розміщується візок, на який встановлена основна апаратура

розподільчого пристрою, що підлягає викочуванню (вимикач, трансформатор напруги, розрядники та ін.). Таке розташування дозволяє проводити часткову ревізію обладнання, його випробовування, заміну та ремонт в безпечних умовах без знеструмлення розподільчого пристрою. Візок являє собою тверду каркасну конструкцію. У верхній і нижній частинах каркаса візка розташовані втичні контакти 6 первинного кола, зв'язані ошиновуванням з верхнім і нижнім контактами силових кіл рухомої і нерухомої частин шафи.

Візок відділений від відсіків 1 і 2 шторками, що автоматично відкриваються при вкочуванні візка і закриваються при викочуванні, це перешкоджає випадковому дотику обслуговуючого персоналу до частин, що знаходиться під напругою у відсіках 1 і 2.

Візок має два фіксованих положення в межах шафи: робоче, яке відповідає нормальному робочому режиму приєднання, і іспитове (контрольне), при якому втичні контакти силового кола розімкнуті і знаходяться на безпечній відстані друг від друга, а контакти вторинного кола, замкнуті безпосередньо або за допомогою спеціальних переносних штепсельних подовжувачів для забезпечення можливості випробування кіл управління і сигналізації. У робочому і контрольному положеннях візок фіксується стопорами за допомогою рукоятки, розташованої на її фасаді.

Щоб уникнути помилкового викочування та вкочування візка, коли вимикач знаходиться в положенні “увімкнено”, шафа має блокування зв'язане з приводом вимикача, яке закриває отвір через який здійснюється привод механізму викочування. У шафах з вимикачем передбачені також блокування, що не допускають увімкнення та вимкнення вимикача коли він знаходиться між робочим і контрольним положеннями, а також блокування заземлення кабельної лінії, коли візок знаходиться в шафі розподільчого пристрою.

Візок може бути висунутий в ремонтне положення, при якому струмоведучі частини автоматично відгороджуються захисними шторками. На передній стінці викочуваного візка змонтований привід вимикача з допоміжною апаратурою.

Для спостереження за апаратурою, яка встановлена на візку, і за рівнем масла у вимикачах на фасадній стороні візка мається спеціальне оглядове вікно.

У релейній шафі з дверцями знаходяться прилади виміру й обліку електроенергії, апаратура управління, захисту і сигналізації. У верхній частині релейної шафи є магістральний щиток, на який виводяться ізольовані проводи схеми вторинної комутації.

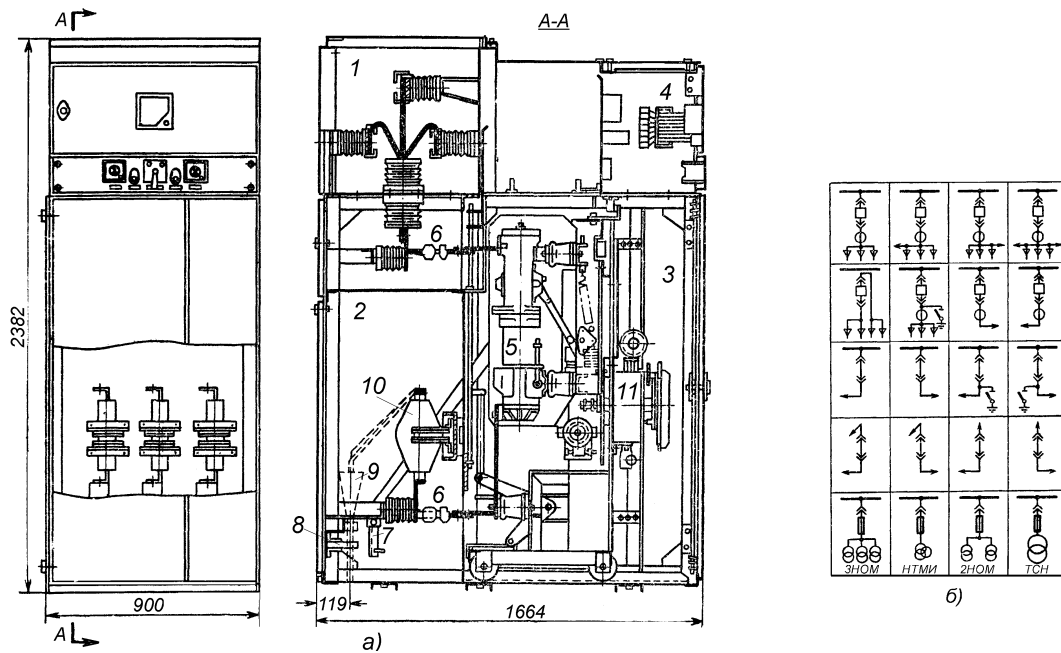


Рис 9.1 Шафа серії КРУ2-10. (а) та набір комірок (б):

1 - відсік збірних шин; 2 - лінійний відсік; 3 - відсік викочуваного візка; 4 - релейна шафа; 5 - вимикач; 6 - втичний роз'єднувач; 7 - роз'єднувач, що заземлює; 8 - земляний трансформатор струму; 9 - кабельна воронка; 10 - трансформатор струму; 11 - привід вимикача.

У шафах КВП, КВЕ, КВЕП, КРД, що мають заземлюючі ножі, передбачається блокування, що не допускає переміщення візка в робоче

положення при увімкненому заземлюючому ножі і увімкнені заземлюючого ножа, при робочому положенні візка.

2. Комплектна РУ серії К-ХІІ (К-ХХVІ) з вимикачами типу ВМП-10 (ВМПЕ-10).

Шафи цієї серії компактні і дешеві, а набір схем достатньо широкий. Їх часто використовують на станціях (для вимикачів ліній з реакторами в ГРУ 6-10 кВ ТЕЦ, на власних потребах), на трансформаторних підстанціях, в їх частинах де напруга 6...10 кВ, і в розподільчих пунктах.

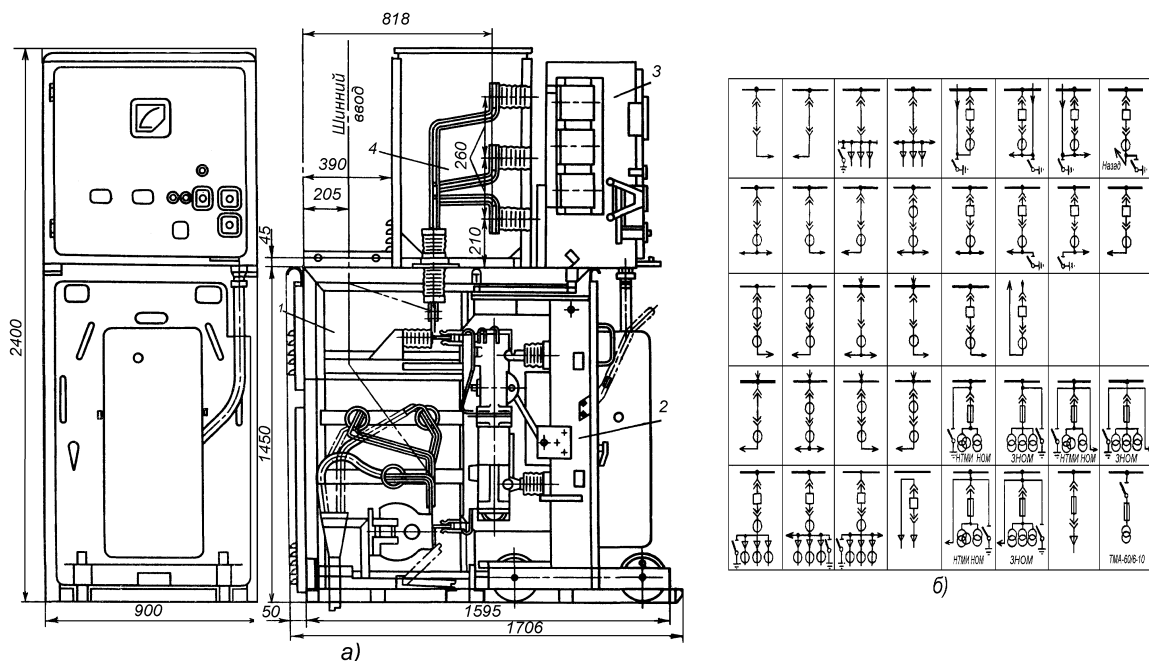


Рис 9.2 Шафа КРУ серії К-ХІІ (з вимикачем ВМП-10К) (а) та набір комірок (б), цієї серії. 1 – корпус; 2 – візок, що викочується, з вимикачем; 3 – збірні шини; 4 – шафа приладів.

Шафа КРУ з вимикачем ВМП-10К (Рис. 9.2) складається із чотирьох основних частин: корпуса 1, у якому розміщені трансформатори струму, устаткування для заземлення, кабельна арматура, нерухомі частини роз'єднуючих контактів; візка 2, на якому встановлені вимикач з приводом та рухомі частини втичних контактів; шафа 3 приборів захисту, управління та сигналізації і секція збірних шин - 4.

3. Комплектні РУ серії К-Х з вимикачем типу ВЕМ-6.

Комплектні РУ серії К-Х з вимикачем типу ВЕМ-6 застосовують у системі власних потреб потужних теплових та атомних електростанцій, а також для РУ 6-10 кВ підстанцій з частими операціями увімкнення і вимкнення. Це пояснюється тим, що електромагнітні вимикачі добре працюють у режимах частих комутацій.

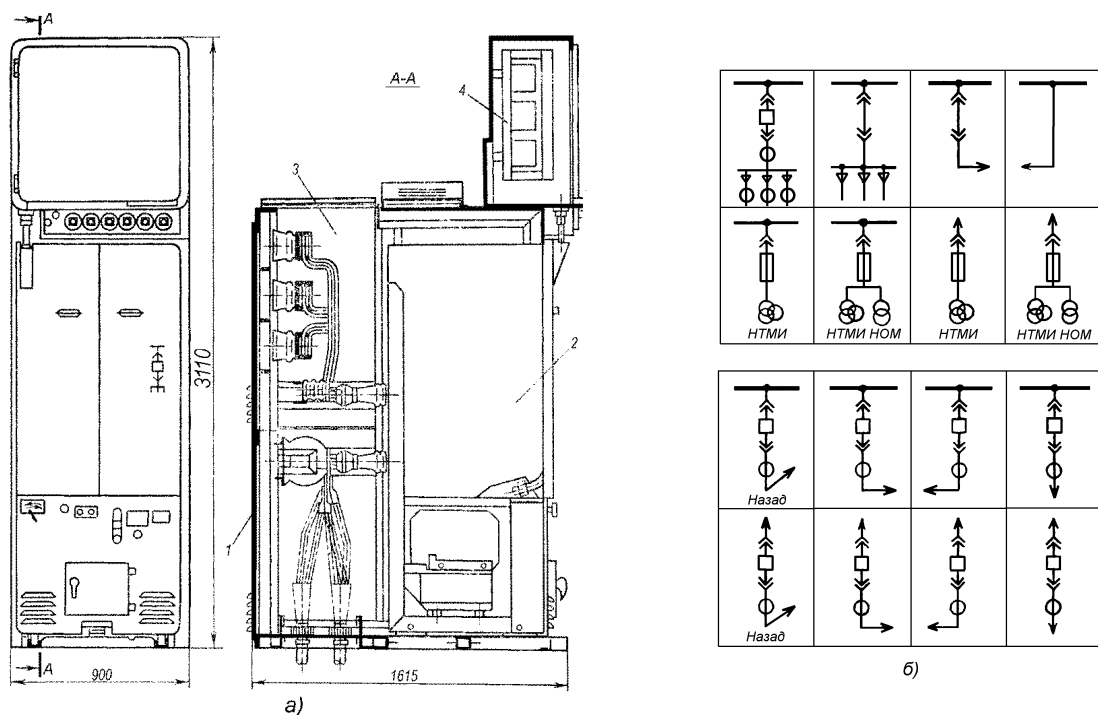


Рис. 9.3. Шафа серії К-Х (з вимикачем серії ВЕМ-6) (а) та набір комірок (б), цій серії. 1 – корпус; 2 – візок, що викочується, з вимикачем; 3 – збірні шини; 4 – шафа приладів.

Шафа серії К-Х (Рис. 9.3) в основному складаються з таких же елементів, що і шафа серії К-ХІІ, а саме: корпуса - 1, візка 2 з вимикачем, відсіку збірних шин - 3 і шафи приладів вторинних кіл - 4. Однак габарити і компонування цих частин і, відповідно габарити шафи, інші в порівнянні з шафою серії К-ХІІ. Глибина шафи з ВЕМ-6 трохи менша, а висота більша ніж у шафи з вимикачем ВМП-10.

Живильні вводи і секційні зв'язки комплектують шафами серії К-ХХІ, розрахованими на номінальний струм 2000 А.

4. Комплектні РУ серії КР10-Д9 з вимикачем типу МГГ.

Комплектні РУ серії КР10-Д9 з вимикачем типу МГГ використовують для ГРУ 6-10 кВ ТЕЦ з номінальними струмами приєднань до 3500 А та ударними струмами до 170 кА.

Шафа серії КР10-Д9 з великогабаритним вимикачем типу МГГ-10 (Рис.9.4) має помітно великі розміри в порівнянні з розмірами шаф серій К-ХІІ і К-Х; його глибина в 1,52-1,62 рази, ширина в 1,67, а висота в 1,7-1,32 рази більші відповідних розмірів шаф К-ХІІ і К-Х. Шафа складається з корпусу - 1, візка з вимикачем - 2 та шинного короба - 3.

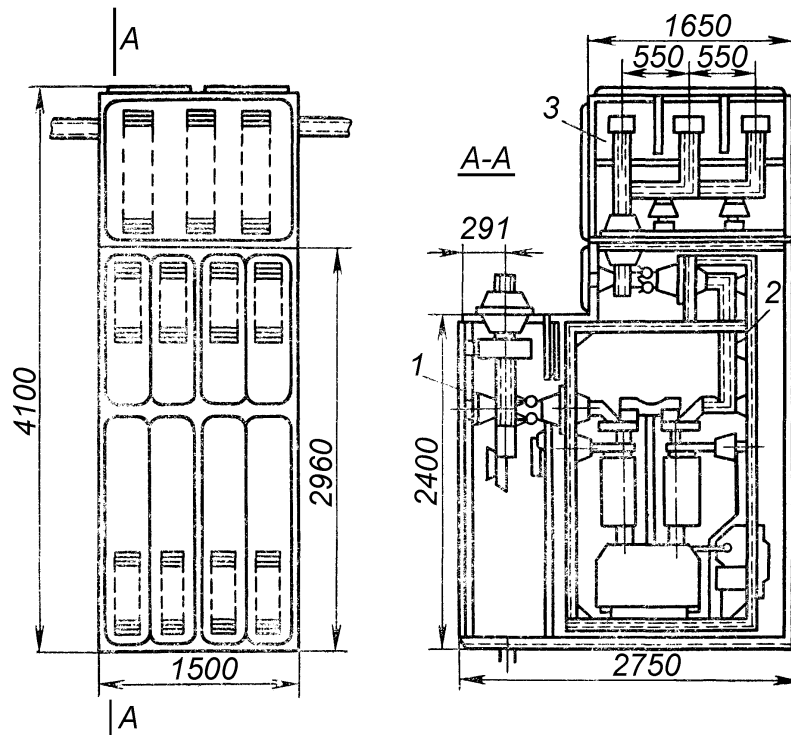


Рис. 9.4. КРУ серії КР10-Д9 (з вимикачем типу МГГ).

1 - корпус; 2 – візок, що вихочується, з вимикачем; 3 - шинний короб.

В ГРУ 6-10 кВ ТЕЦ вимикачі типу МГГ використовують у приєднаннях генераторів, трансформаторів зв'язку, трансформаторів

власних потреб та секційних зв'язків. По компонованню комірки цих приєднань вимагають шинного вводу, що і передбачено в шафі КР10-Д9.

Крім шафи з вимикачем типу МГГ, у серію входять шафи: зі штепсельним (що встроюється) роз'єднувачем, з шинним трансформатором напруги, з лінійними реакторами і східчастою установкою фаз, з секційними реакторами і горизонтальною установкою фаз. Розміри шаф для різних приєднань, на відміну від інших серій, неоднакові: найбільші габарити мають шафи реакторів.

5. КРУ зовнішньої установки серії К-37 з вимикачем типу ВМПЕ-10 (ВМПП-10).

Комплектні РУ зовнішньої установки серії К-37 з вимикачем типу ВМПЕ-10 (ВМПП-10) призначені для підстанцій з вторинною напругою 6-10 кВ, у тому числі для комплектних трансформаторних підстанцій (КТП).

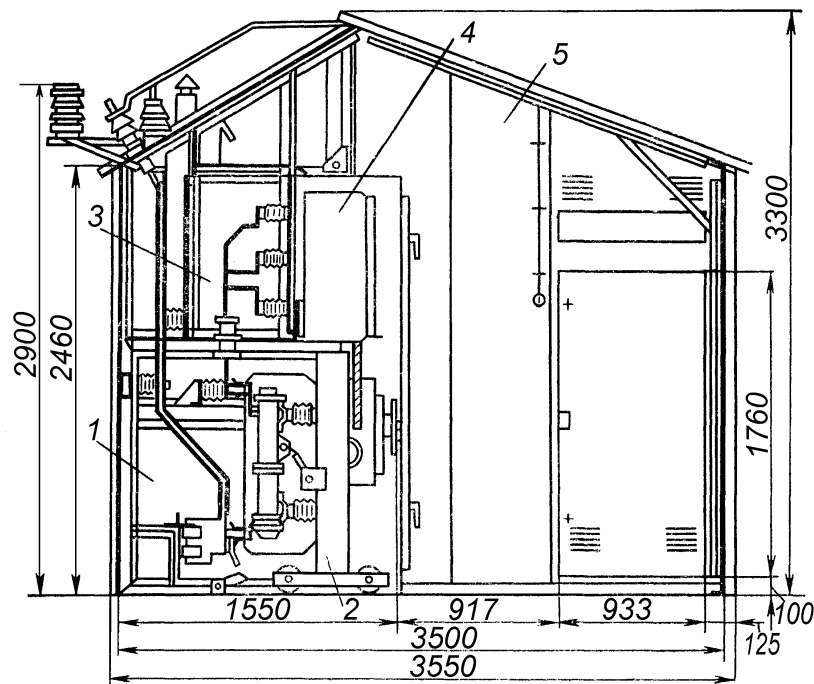


Рис. 9.5. Шафа КРУЗ серії К-37 (з вимикачем типу ВМПЕ-10).

1 – корпус; 2 – візок з вимикачем; 3 – відсік збірних шин; 4 – шафа приладів; 5 – коридор управління.

Шафи серії К-37 мають одnobічне обслуговування і з цією метою обладнуються коридором управління. Елементи коридору поставляють комплектно зі шафами і збирають на місці монтажу. Наявність коридору обслуговування забезпечує сприятливі умови експлуатації та ремонту устаткування незалежно від погодних умов. В основу серії К-37 покладено шафи для внутрішньої установки серії К-ХІІ.

Комплектна РУ серії К-37 складається з наступних частин (Рис. 9.5): корпусу шафи - 1, в якому розміщені трансформатори струму, нерухомі роз'єднувальні контакти, заземлювачі; візок - 2, на якому встановлений вимикач з приводом та рухомі втичні контакти; блоку шин - 3, що складається з відсіку збірних шин і відсіку повітряного вводу; шафи - 4 приладів релейного захисту, вимірювальних приладів, управління та сигналізації; коридору керування - 5.

Для живильних (трансформаторних) вводів та секційних вимикачів використовують шафи серії К-33 з номінальними струмами 2500 і 3000 А.

6. Комплектні РУ з елегазовою ізоляцією.

Використання в якості середовища, для ізоляції і гасіння дуги шестифтористої сірки, яку ще називають електротехнічним газом (чи скорочено елегазом) дозволило створити компактні КРУ на підвищені напруги і тим самим сильно зменшити займані ними площі. Ця перевага особливо суттєва для електроустановок, що розташовані у густонаселених районах, на територіях промислових комплексів чи в умовах складного рельєфу місцевості. Крім компактності, КРУ з елегазовою ізоляцією (КРУЕ) мають ще такі переваги: надійність в роботі, безпека в обслуговуванні, пожежна безпека, безшумність вимикачів, збільшення міжремонтного періоду.

Кожен елемент КРУЕ – вимикач, роз'єднувач, ввід і т. д. - встановлюють у металевий герметичний заземлений кожух (блок), заповнений елегазом з надлишковим тиском. Корпуси цих блоків з'єднують за допомогою газощільних фланців, а електричні з'єднання елементів – втичними контактами розеточного типу. Блоки, відділені один від одного газощільними перегородками, утворюють систему відсіків. Ця система відсіків дозволяє, у випадку втрати щільності газу в одному з елементів в аварійних умовах чи при необхідності заміни одного з елементів, зберегти газове заповнення в іншій частині комірки КРУЕ. У більшості випадків КРУЗ виконують з розділеними фазами, тобто з рознесеним по фазах устаткуванням. Відповідно і збірні шини мають фазні кожухи.

У зв'язку з тим, що КРУЕ для кожного рівня напруг виконується типовими вузлами, вона може бути виготовлена для будь-якої схеми електричних з'єднань - з однією системою збірних шин, за схемою багатокутника, за схемою з 3/2 чи 4/3 вимикачами на приєднання і т. д.

У тому випадку, коли для розміщення РУ є майданчик з розмірами меншими, чим це потрібно для звичайної ВРУ, можна застосувати так звану «гібридну» конструкцію РУ, у якій частину електроустаткування монтують для зовнішньої установки, а іншу частину у вигляді неповної КРУЕ. Так, наприклад, дві системи шин та шинних роз'єднувачів можуть бути укладені в блок з елегазовою ізоляцією, а для вимикача, трансформаторів струму та напруги і розрядників застосовані звичайні конструкції для зовнішньої установки. Таке «гібридне» компонування дозволяє зменшити ширину площадки для РУ майже в 2 рази. Можливий також варіант РУ з однією системою шин, у якому елегазовий вимикач разом із трансформаторами струму та напруги і лінійним роз'єднувачем утворюють один елегазовий блок, а інше електроустаткування - система

збірних шин, шинні роз'єднувачі і розрядники - монтуються як для зовнішньої установки.

Використання КРУЕ на відкритому повітрі при температурі нижче -30°C , потребує особливої уваги та розгляду можливості і доцільності встановлення пристроїв для підігріву елегазу, оскільки за такої температури при певних тисках відбудеться скраплення елегазу, що призведе до зниження його вимикаючої здатності вимикачів. При встановленні КРУЕ в приміщенні відносно невеликого об'єму забезпечення в останньому температури не нижче -30°C не складає ніяких проблем і може бути легко здійснене електрообогревом, що автоматично включаються при зниженні температури.

Використанням КРУЕ в приміщенні забезпечується більш надійна робота устаткування, тому що останнє захищене від дощу, снігу, запилення, інсоляції, різких змін температури навколишнього середовища, впливу забруднень, що агресивно діють на кожухи середовища. У приміщенні забезпечуються кращі умови для роботи персоналу при проведенні як періодичних оглядів, так і ремонтів. Хоча ремонти в КРУЕ проводяться достатньо рідко, їхня тривалість більша, ніж для звичайних відкритих РУ, через виняткову компактність КРУЕ і високу вимогу у відношенні газощільності і чистоти. Безсумнівно, що при установці КРУЕ в приміщенні буде забезпечена краща якість ремонтних робіт і скорочення їхньої тривалості. З огляду на викладене, варто віддавати перевагу установці КРУЕ в приміщеннях, а зовнішню їхню установку застосовувати тільки в особливо сприятливих кліматичних і місцевих умовах.

Застосування КРУЕ дозволяє виконати міські понижуючі підстанції компактними. На Рис. 9.6 показана схема та компоновка підстанції 110/20 кВ (Німеччина). Тут РУ 110 і 20 кВ виконані як КРУЕ.

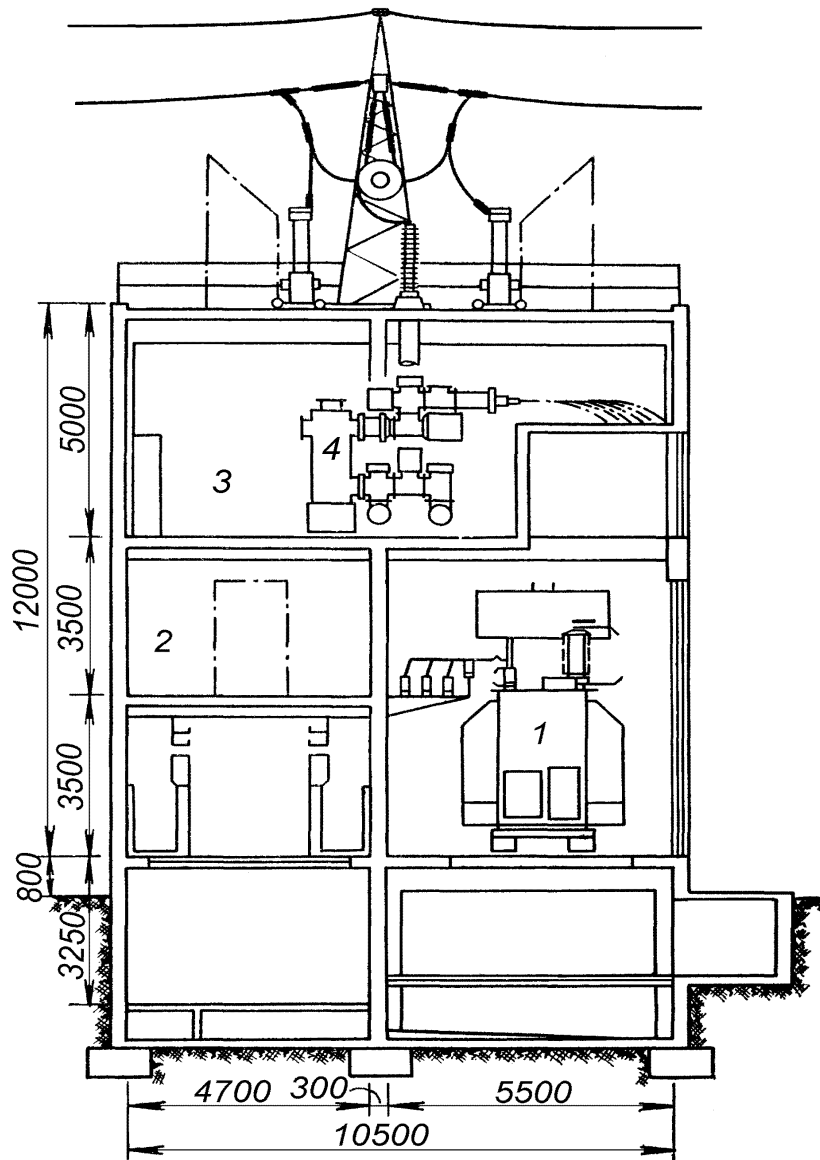


Рис. 9.6. Підстанція 110/20 кВ з КРУЕ.

1 – трансформатор; 2 – допоміжне приміщення; 3 – приміщення КРУЕ 110 кВ; 4 – КРУЕ 110 кВ.

Розрядники, трансформатори напруги, прохідні ізолятори на комплектних закритих елегазових струмопроводах, що приєднують виводи повітряних ліній до комірок КРУЕ 110 кВ, установлені на даху будівлі. Дах будівлі підстанції використовується також для установки на ньому лінійних порталів та підвісних високочастотних загороджувачів.

Комірка АЕГ (Німеччина) з елегазовою ізоляцією.

На Рис. 9.7. показана комірка КРУЕ виробництва АЕГ (Німеччина), яка може використовуватися в такому комплектуванні розподільчих установок, що показано на Рис. 9.6. Як видно з Рис. 9.7, габарити комірки наступні: ширина - 1,2 м, глибина - 3,15 м, висота - 3,55 м.

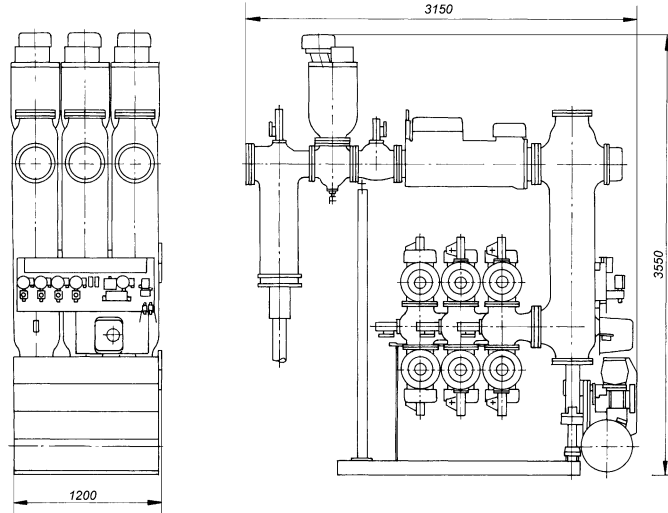


Рис. 9.7. Елегазова комірка виробництва АЕГ (Німеччина).

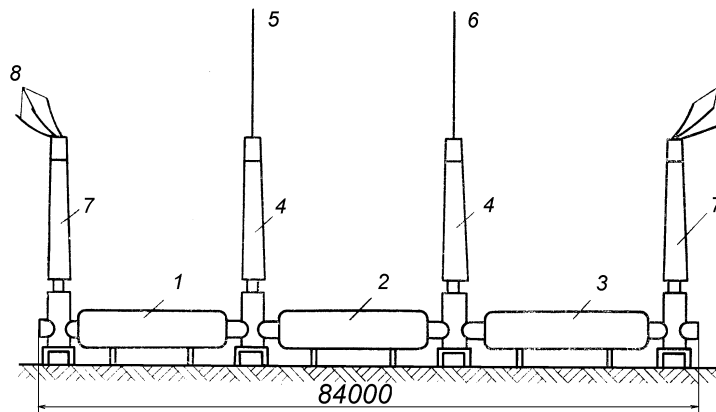


Рис. 9.8. Комплектна РУ 500 кВ з елегазовою ізоляцією (Японія) в схемі з трьома вимикачами на два приєднання.

Комірка КРУЕ 500 кВ (Японія) для схеми 3/2 являє собою ланцюжок із трьох складених укрупнених блоків 1-3 (Рис. 9.8). У кожен блок входять: вимикач, два роз'єднувачі, трансформатори струму та заземлювачі. Внутрішні з'єднання між блоками виконані за допомогою проміжних блоків 4. Відкритим гнучким ошиновуванням до них підводяться приєднання трансформаторів 5 і повітряних ліній 6. Від торцевих блоків 7 до збірних шин 8

відходить гнучке ошиновування. Технічні дані КРУЕ 500 кВ: номінальний струм 4000 А, номінальний струм вимикання вимикача 50 кА, струм електродинамічної стійкості (амплітуда) 125 кА. Глибина комірки 84 м.

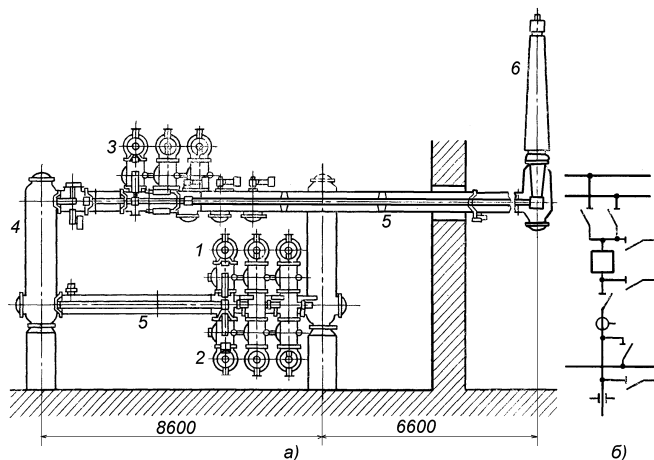


Рис. 9.9. Комплектна РУЕ 420 кВ фірми ВВС.
а - розріз; б - схема з'єднань:

Комплектна РУЕ 420 кВ (Швейцарія, фірма ВВС) для схеми з двома системами збірних шин та третьою обхідною представлена на Рис. 9.9. (1 – блок першої системи збірних шин; 2 – блок другої системи збірних шин; 3 - блок обхідної системи збірних шин; 4 – елегазовий вимикач; 5 – струмопроводи з елегазовою ізоляцією; 6 – прохідний ізолятор.). Елегазова КРУ розміщена усередині будівлі.

Якщо до звичайної відкритої РУ з двома системами шин і одним вимикачем на коло додати третю, обхідну систему шин, то це призведе до значного збільшення ширини РУ, то доповнення КРУЕ обхідною системою шин практично не збільшить його ширину, як це можна бачити на малюнку. Збірні шини виконані з кожухами для кожної фази. Усі з'єднання між елементами КРУЕ (блоками збірних шин 1-3 та елегазовим вимикачем 4) здійснені струмопроводами з елегазовою ізоляцією 5. Для зменшення висоти вимикачів КРУЕ при ще більш високих напругах (500 і 750 кВ) фірма ВВС виконує ці вимикачі з двома вертикальними баками на фазу з установкою в кожному баку по дві - три послідовно з'єднані гасильні камери з примкнутими активними опорами для кожного розриву.

КРУЕ 765—800 кВ фірми Сіменс (Німеччина).

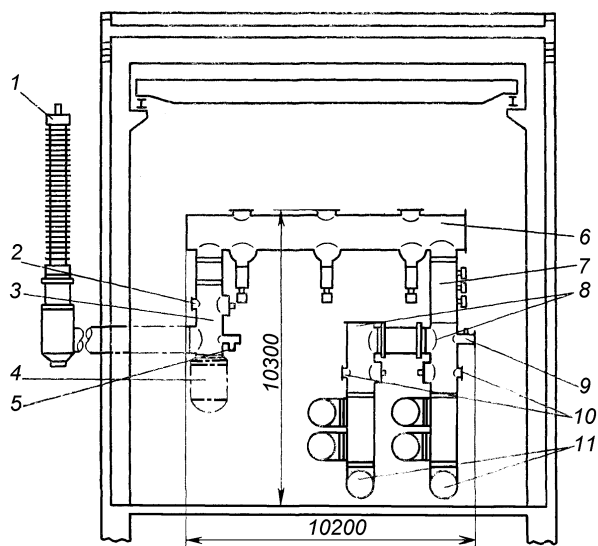


Рис. 9.10. Переріз КРУЕ 765-800 кВ
фірми Сіменс (Німеччина)
розташованого у будівлі.

1 - прохідний ізолятор зовнішньої установки; 2 - заземлювач; 3 - лінійний роз'єднувач; 4 - трансформатор напруги; 5 - лінійний заземлювач; 6 - елегазовий вимикач; 7 - трансформатор струму; 8 - шинний роз'єднувач; 9, 10 - заземлювачі; 11 - збірні шини.

На Рис. 9.10 показано обладнання КРУЕ 765-800 кВ фірми Сіменс (Німеччина) розташоване у будівлі. КРУЕ виконана з двома екранованими для кожної фази системами збірних шині зовнішнім вводом повітряної лінії чи трансформатора за допомогою екранованих для кожної фази елегазових струмопроводів . Крок комірки - 4,5 м.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення РУ.
2. Перелічіть обладнання, яке встановлюється на РУ та його призначення.
3. Нарисуйте електричну схему найпростішого РУ з однією шиною.
4. Дайте визначення КРУ.
5. Назвіть переваги використання КРУ в порівнянні з РУ, що монтуються на місці використання.
6. Складові КРУ. Які основні частини КРУ ви знаєте?
7. Які основні блокування використовуються в КРУ.
8. Як реалізуються блокування КРУ?
9. Як впливає тип основного обладнання на конструкцію комірки?
10. Як впливає призначення комірки на її конструкцію?
11. Назвіть переваги використання елегазових КРУ.
12. Назвіть особливості використання КРУЕ для закритих та відкритих РУ.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання/Є.І. Бардик, М.П. Лукаш /К.: "Політехніка" НТУУ "КПІ" 2012. 250 с.
2. Костишин, В.С. Електрична частина станцій та підстанцій: навч. посіб. /В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. - 243 с.
3. Остапчук, О.В. Електрична частина станцій та підстанцій: виконання та оформлення домашніх контрольних робіт [Електронний ресурс]: навч. посіб. /О.В. Остапчук, Р.В. Вожаков; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 84 с.
4. Гаряжа В.М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) /В.М. Гаряжа, А.О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 149 с
5. СОУ-Н ЕЕ 20.178:2008 Схеми принципів електричних розподільчих установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66629
6. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання /Орлович А.Ю, Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Величко Т.В., Котиш А.І. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 272 с.
7. Правила улаштування електроустановок.-Введ.2017-08-21.-К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості,2017.-617 с.
8. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Х.: Форт, 2017 – 376 с.