

ГЛАВА 11

РОЗ'ЄДНУВАЧІ, ВІДДІЛЬНИКИ І КОРОТКОЗАМИКАЧІ

Навчальні цілі глави – ознайомити студента з призначенням, конструкціями і особливостями експлуатації роз'єднувачів, віддільників і короткозамикачів.

11.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Роз'єднувачі призначені для вмикання і вимикання мереж високої напруги або при струмах, значно менших номінальних, або у випадках, коли вимикається номінальний струм, але напруга на контактах апарата недостатня для утворення дуги.

У першому випадку роз'єднувачі застосовуються, як правило, для від'єднання від напруги високовольтного устаткування перед ревізією чи ремонтом (рис. 11.1, а).

Відповідно до правил техніки безпеки устаткування, виведене в ремонт, повинне бути вимкнено. Між выводами вимкненого апарата і колом, що залишилося під напругою, повинний бути створений видимий повітряний проміжок, що гарантує безпечні умови роботи обслуговуючого персоналу.

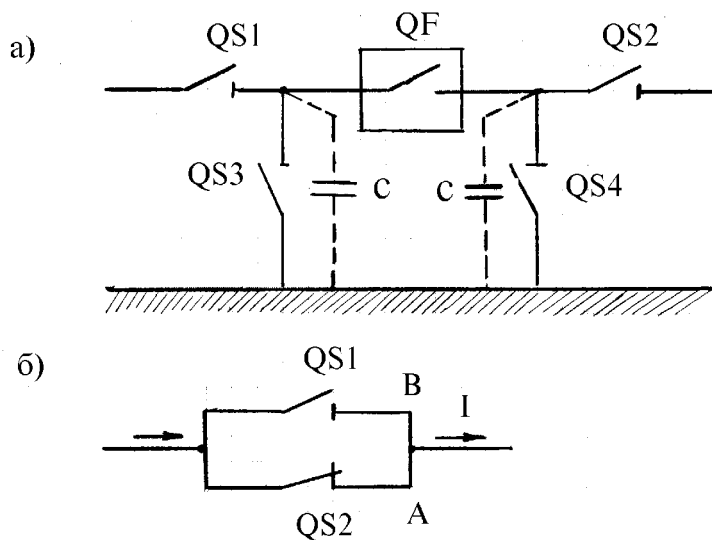


Рис. 11.1 Схема включення роз'єднувачів

ножі $QS3$ і $QS4$ не заземлені, то на выводах вимикача QF може виникати високий потенціал за рахунок ємнісного зв'язку з лініями високої напруги. Для здешевлення і спрощення схем комутації роз'єднувачі використовуються для вмикання невеликих струмів (струмів холостого ходу трансформаторів, зарядних струмів повітряних і кабельних ліній).

Для безаварійної роботи струм у колі спочатку вимикається вимикачем QF , і тільки потім розмикаються контакти роз'єднувачів $QS1$ і $QS2$. У цьому випадку роз'єднувачами вимикаються невеликі ємнісні струми, створювані опорною ізоляцією апарата, що вимикається, і приєднаними до нього провідниками.

Після розмикання $QS1$ і $QS2$ вимикач QF , що підлягає ремонту, повинний бути заземлений по обидва боки за допомогою додаткових роз'єднувачів $QS3$ і $QS4$. Якщо

У ряді випадків роз'єднувачами можна користатися для переключення навантаження з однієї вітки *A* на іншу *B* (рис. 11.1,б). Для цього при замкнутому роз'єднувачі *QS2* включають роз'єднувач *QS1*. Після цього роз'єднувач *QS2* вимикають. Дуга на його контактах не виникає, тому що напруга на них дорівнює падінню напруги на вітці *QS1*, що мізерно мало.

До роз'єднувачів пред'являються такі наступні вимоги:

1. Контактна система повинна надійно пропускати номінальний струм як завгодно тривалий час. В особливо тяжких умовах працюють роз'єднувачі зовнішніх установок, що піддаються впливу води, пилу, льоду. Контактна система повинна мати необхідну динамічну і термічну стійкість.

2. Роз'єднувач і механізм його привода повинні надійно утримуватися в увімкненому положенні при протіканні струму КЗ. У вимкненому положенні рухомий контакт повинний бути надійно фіксований, тому що мимовільне вмикання може привести до дуже важких аварій і людських жертв.

3. У зв'язку з особливою роллю роз'єднувача як апарата безпеки проміжок між розімкнутими контактами повинний мати підвищену електричну міцність.

4. Привод роз'єднувача доцільно блокувати з вимикачем. Операції з роз'єднувачем повинні бути можливими, тільки коли вимикач вимкнений.

11.2. КОНСТРУКЦІЯ РОЗ'ЄДНУВАЧІВ

Для внутрішніх установок, не підданих впливу атмосфери і з напругою, як правило, не вище 20 кВ, найбільше широко поширені роз'єднувачі рубая чого типу з рухом рухомого контакту (ножа) у вертикальній площині.

Для одержання електродинамічної стійкості контактів необхідно відповідне

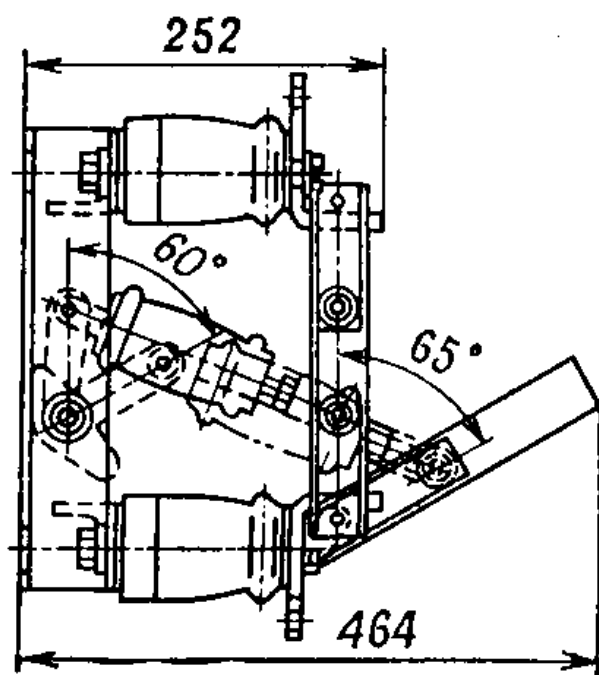


Рис. 11.2 Роз'єднувач типу РВ

контактне натискання. З ростом струму контактне натискання і зусилля, необхідне для вмикання, зростають. При ручних приводах контактні натискання прагнуть брати можливо малими. З цією метою застосовують здвоєні ножі й електромагнітні замки.

Для підвищення електродинамічної стійкості контактів роз'єднувачів широко використовуються електродинамічні сили, що виникають у струмоведучих елементах [1].

На рис. 11.2 показаний триполюсний роз'єднувач типу РВ на напругу 10 кВ і струм 400 А, а на рис. 11.3 – його контактна система.

Рухомий контакт *1* виконаний у виді двох рівнобіжних шин. При КЗ електродинамічна сила притискає шини *1* до стійок нерухомого контакту *2*.

При номінальному струмі контактне натискання створюється пружинами 3, що впливають на рухомий контакт через сталеві пластини 4.

Магнітний потік, створюваний протікаючим по шині струмом, замикається навколо них і через сталеві пластини 4. У системі виникають електродинамічні сили такого напрямку, щоб зросла енергія магнітного поля. Пластини наближаються до шин 1 і попадають у зону більш сильного магнітного поля. Електромагнітна енергія при цьому зростає. Таким чином створюється сила P , що притягає сталеві пластини до шин і збільшує контактне натискання.

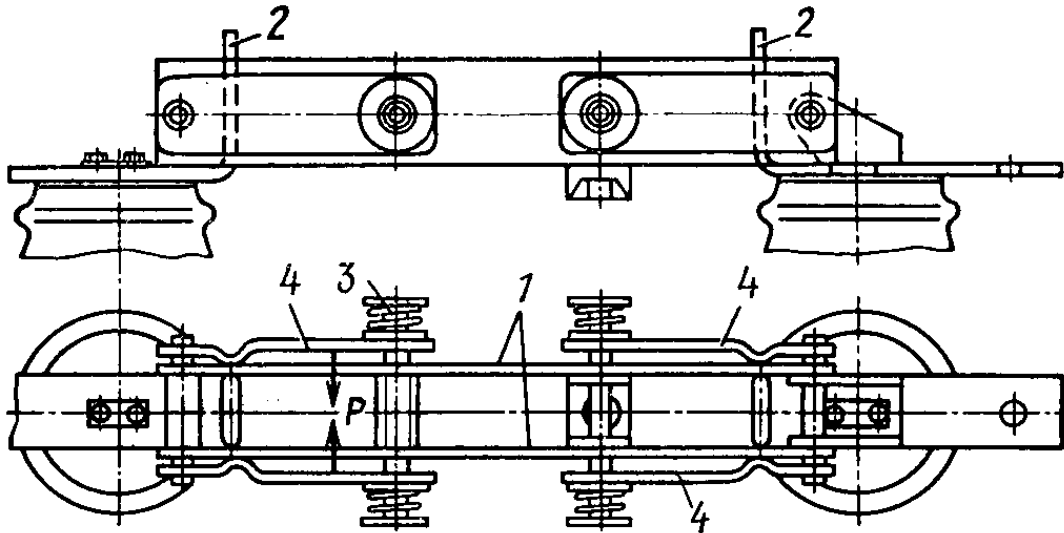


Рис. 11.3 Контактна система роз'єднувача типу РВ

Для керування роз'єднувачами типу РВ застосовуються важільні системи з ручним чи моторним приводом, а для дистанційного керування застосовуються електричні і пневматичні приводи [7].

Для зовнішньої установки широко використовуються роз'єднувачі поворотного типу РНД. На рис. 11.4 представлений роз'єднувач типу РНДЗ-1 на напругу 220 кВ і номінальний струм 2 кА. На рамі 1 змонтовані нерухомі ізолятори 2 і рухомі ізолятори 3, що можуть обертатися навколо своєї вертикальної осі. З рухомим ізолятором зв'язані контакти роз'єднувача у виді ножів 5, що обертаються в горизонтальній площині. Місця зчленування рухомих деталей захищені кожухом 4.

Для розмикання ножів 5 повертається правий ізолятор 3, що за допомогою тяги 8 повертає лівий ізолятор 3. При необхідності правий ніж у положенні «вимкнено» може бути заземлений за допомогою додаткового ножа 7, що обертається у вертикальній площині і замикається з контактом 6. Завдяки механічному блокуванню заземлення можливе тільки при вимкненому положенні ножів 5. Роз'єднувачі такого типу застосовуються при напрузі до 750 кВ.

Слід зазначити, що площа відкритого розподільного пристрою у значній мірі визначається площею, яку займають роз'єднувачі. При напрузі $U_{\text{ном}} > 330$ кВ значну економію площі дають підвісні роз'єднувачі [13].

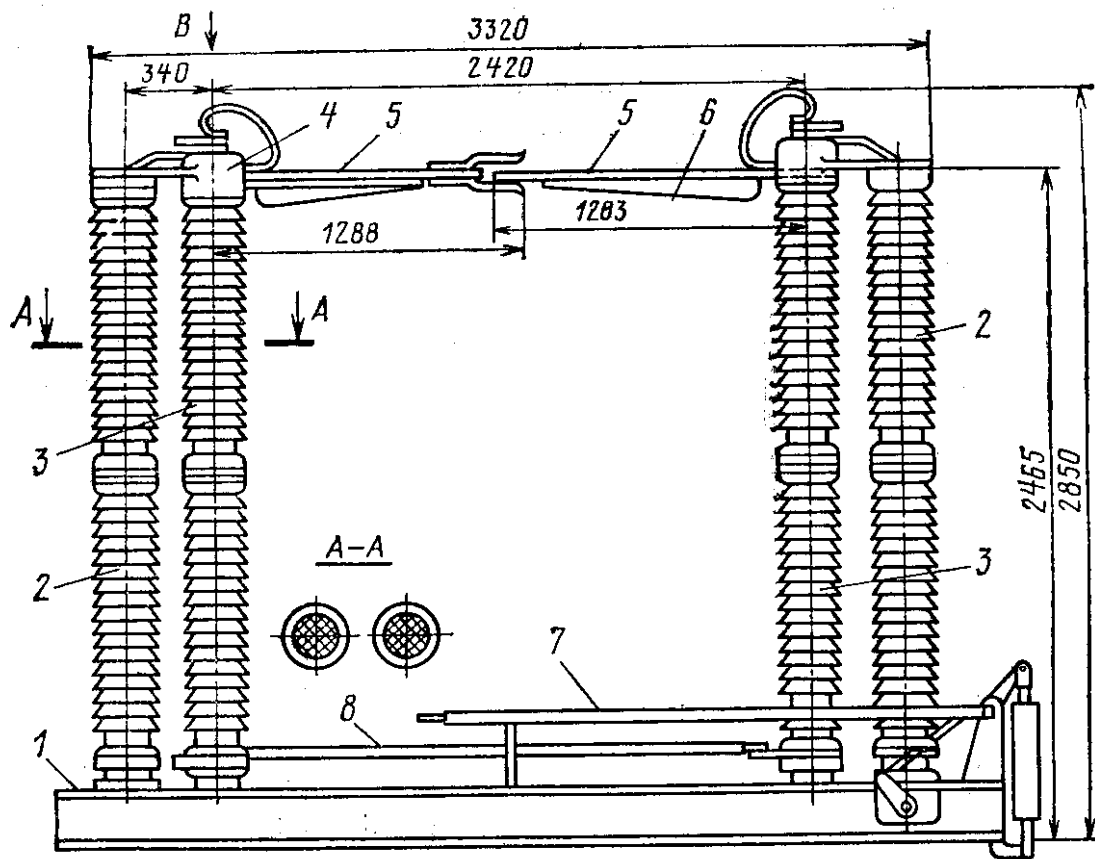


Рис. 11.4 Роз'єднувач типа РДЗ-1

Вимкання роз'єднувача при проходженні через нього номінального струму веде до важкої аварії, іноді з поразкою людей. Виникаюча дуга дуже рухлива, швидко подовжується, що веде до перемикання полюсів і виникненню КЗ. Щоб уникнути таких наслідків роз'єднувачі блокуються з вимикачами за допомогою механічних, механічних замкових і електромагнітних замкових блокувань.

У першому випадку важіль привода роз'єднувача виявляється вільним тільки при вимкненому положенні механізму вимикача. При такому блокуванні дуже важко зв'язати механізм вимикача з багатьма приводами роз'єднувачів. У кожному окремому випадку приходиться конструювати свій механізм, що блокує, стосовно до конструкції розподільного пристрою. У силу цього подібне блокування застосовується рідко.

При механічному замковому блокуванні на вимикачі і зв'язаному з ним роз'єднувачі встановлені спеціальні замки, що можуть бути відкриті тільки спеціальним ключем. Ключ знаходиться в замку, установленому на вимикачі. Його можна вийняти з замка тільки при вимкненому стані вимикача, тобто при відсутності струму через роз'єднувач. Після цього ключ вставляють у замок на приводі роз'єднувача і звільняють його механізм. Роз'єднувач може включатися і виключатися тільки в тому випадку, коли ключ знаходиться в його замку. Операції з іншими роз'єднувачами при цьому неможливі. Таким чином, тут відсутній механічний зв'язок приводів вимикача і роз'єднувачів.

Більш досконале електромагнітне замкове блокування, при якій для блокування всіх роз'єднувачів досить одного ключа на весь розподільний пристрій [7].

11.3. ВІДДІЛЬНИКИ І КОРОТКОЗАМИКАЧІ

В даний час широко застосовуються високовольтні підстанції без вимикачів на живильній лінії (в основному ГПП великих промислових підприємств). Це дозволяє здешевити і спростити устаткування при збереженні високої надійності. Для заміни вимикачів на стороні високої напруги використовуються короткозамикачі і віддільники.

Короткозамикач—це швидкодіючий контактний апарат, за допомогою якого по сигналу релейного захисту створюється штучне КЗ мережі.

Віддільник являє собою роз'єднувач, що швидко вимикає знеструмлене коло після подачі команди на його привод. Якщо в звичайному роз'єднувачі швидкість вимикання мала, то у віддільнику процес вимикання триває 0,5—1 с.

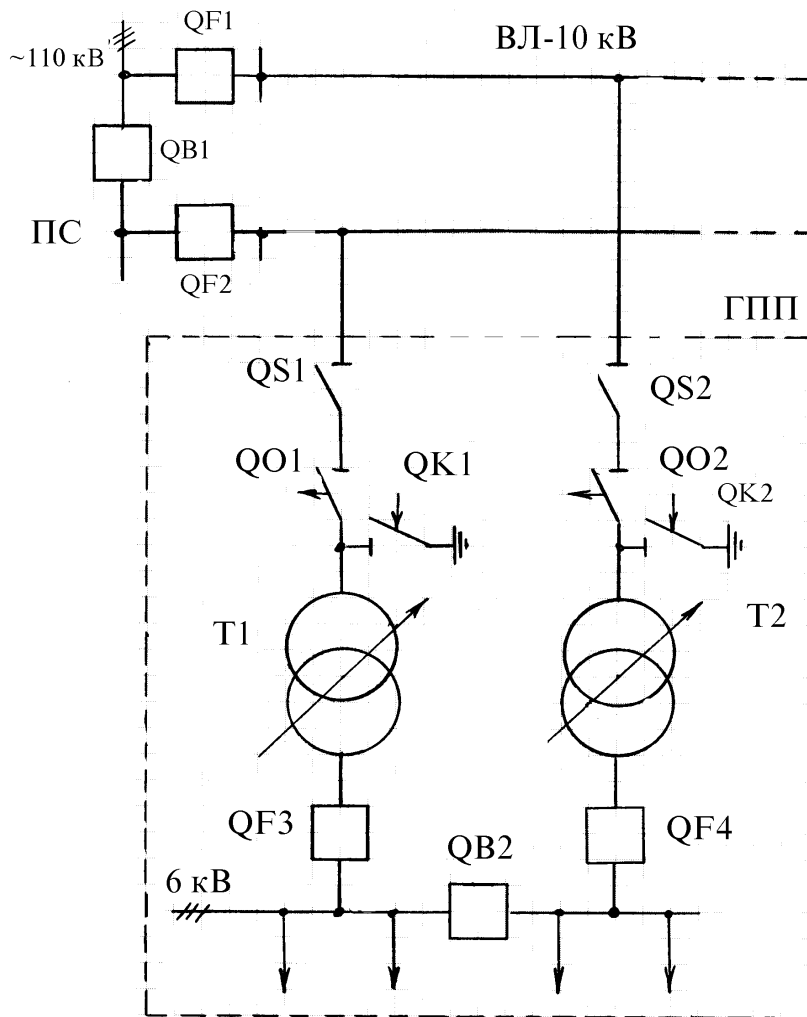
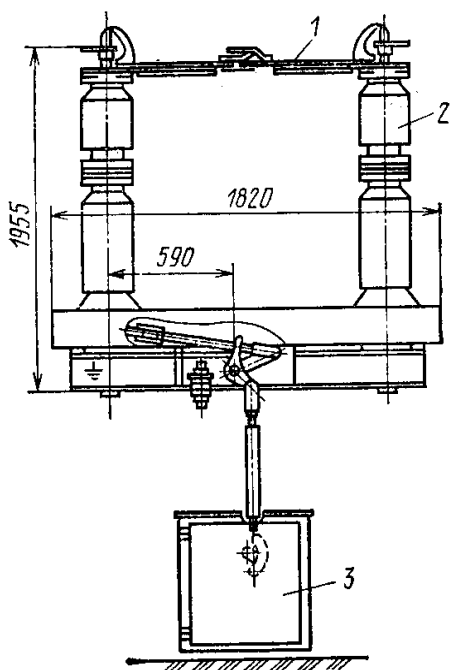


Рис. 11.5 Схема комутації головної підстанції з віддільниками та короткозамикачами

Приклад застосування ГПП із короткозамикачами і віддільниками представлений на рис. 11.5. Короткозамикачі і віддільники увімкнені на високій стороні трансформаторів $T1$ і $T2$. У нормальному режимі роботи підстанції віддільники $QO1$ і $QO2$ замкнуті, а короткозамикачі $QK1$ і $QK2$ розімкнуті. При внутрішнім ушкодженні в трансформаторі $T1$ (наприклад погіршенні ізоляції) релейний захист головних вимикачів $QF1$ і $QF2$ не спрацьовує. Газовий захист трансформатора $T1$ подає сигнал на вмикання короткозамикача $QK1$ і в мережі виникає штучне КЗ. По сигналу релейного захисту вмикаються вимикачі $QF1$ і $QF2$ і трансформатори $T1$ і $T2$ знеструмлюються. За допомогою релейного захисту вмикається вимикач $QF3$ на низькій стороні трансформатора $T1$. Потім з деякою витримкою часу вмикається віддільник $QO1$. Тому що режим штучного КЗ виявився вимкненим, пристроєм автоматичного повторного вмикання АПВ знову вмикаються вимикачі $QF1$ і $QF2$. Якщо до аварії секційний вимикач $QB2$ був вимкнений, то після вмикання живлення він вмикається. При цьому відновлюється живлення на шинах 6 кВ.

Таким чином, у цій схемі вдається не ставити вимикачі на стороні високої напруги трансформаторів $T1$ і $T2$. Однак для надійної роботи необхідна чітка послідовність у роботі короткозамикачів, вимикачів і віддільників. Інакше можливі такі важкі аварійні випадки, як вимкання струму КЗ віддільниками, тощо.



**Рис. 11.6 Віддільник
ОД – 110 У**

Ефективність такої схеми тим вище, чим більше номінальна напруга мережі. Зазначений ефект досягається за рахунок відсутності вимикачів на стороні 35...220 кВ, а також акумуляторних батарей і компресорних установок. Зменшується площа підстанції, скорочуються терміни будівництва. Створюється можливість наближення напруги 35...220 кВ безпосередньо до споживачів, тобто відбувається органічне злиття живильних мереж 1-й ступіні розподілу електроенергії з високовольтними розподільними мережами підприємства (2-я ступінь розподілу електроенергії).

Застосування віддільників і короткозамикачів дозволяє здешевити вартість підстанції на 40...50 % і практично зберегти ту ж надійність [1].

В основу конструкції віддільника ОД-110У на 110 кВ (рис. 11.6) покладений двоколонковий роз'єднувач з обертанням ножів 1 у горизонтальній площині. Надання руху стовпчикам 2 здійснюється пружинним приводом 3 з електромагнітним керуванням. В включеному положенні пружини привода заведені. При подачі команди пружина звільняється і контакти розходяться за час 0,4...0,5 с. На рис. 11.7 представлений короткозамикач КЗ-110 на напругу 110 кВ. На сталевій коробці 1 встановлений опорний ізолятор 2 . Вгорі опорного ізолятора розташований нерухомий контакт 3 , що

знаходиться під високою напругою. Рухомий заземлений контакт — ніж 4 укріплений на валу 5 привода короткозамикача. Для створення необхідної міцності ніж 4 має ребро жорсткості 6. Підстава 1 ізолювана від землі і приєднується до одного кінця первинної обмотки трансформатора струму, другий кінець якої заземлений. На вал 5 діє пружина привода, що заводиться у вимкненому стані. Для вмикання подається команда на електромагніт привода, що звільняє засувку механізму. Під дією пружини ніж переміщається у вертикальній площині нагору і заземлює контакт 3. Час вмикання такого короткозамикача 0,15...0,25 с. Параметри вітчизняних короткозамикачів і віддільників приведені в [15].

Описані вище конструкції короткозамикачів і віддільників мають великий час спрацьовування (0,5...1 с), що задовольняє сучасні вимоги до енергосистем. У перспективі цей час повинний бути зменшене до 0,08...0,12 с при напругах до 220 кВ. Розглянуті апарати не забезпечують також достатню надійність роботи при ожеледі і сильних морозах. Для зменшення часу вмикання замикача і часу вимикання віддільника необхідно скорочувати міжконтактну ізоляційну відстань шляхом застосування елегазового чи вакуумного середовища. Більш перспективним є використання елегазових апаратів, тому що вдається одержати необхідну міцність при одному розриві. Для вакуумних апаратів необхідне вмикання декількох розривів послідовно [13].

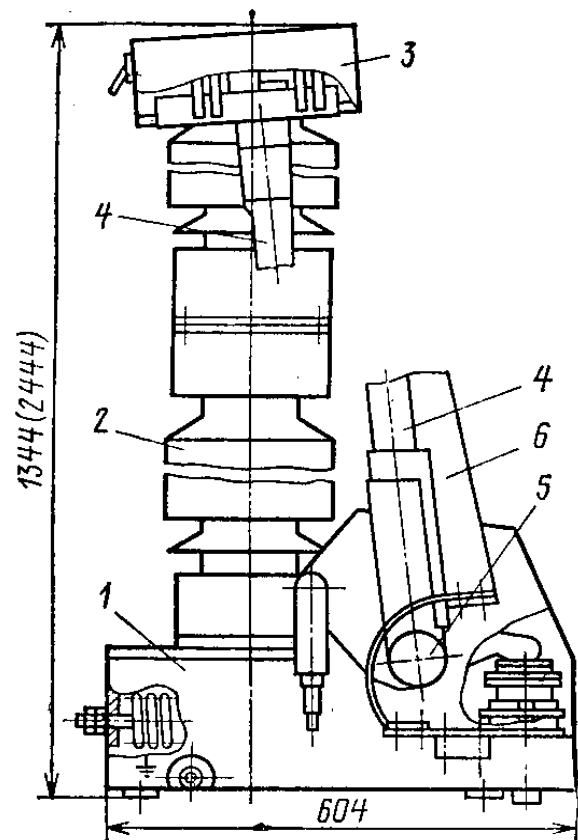


Рис. 11.7 Короткозамикач

Запитання для самоперевірки

1. Призначення і область використання роз'єднувачів.
2. Особливості конструкцій роз'єднувачів для внутрішньої і зовнішньої установки.
3. Які функції виконують віддільники і короткозамикачі у схемах високовольтних підстанцій без вимикачів на живильній лінії?
4. Переваги і недоліки схем комутації головних понижувальних підстанцій з віддільниками та короткозамикачами.

ГЛАВА 12

ОБМЕЖУЮЧІ АПАРАТИ

Навчальні цілі глави - ознайомити студента з призначенням, конструкціями і особливостями експлуатації реакторів і розрядників.

12.1. РЕАКТОРИ

12.1.1. Загальні положення

Реактор - це електричний апарат у виді котушки з незмінною індуктивністю для обмеження струмів КЗ і підтримки напруги на шинах при аварійному режимі. Для пояснення розглянемо схему рис. 12.1. Генератор G живить збірні шини 1 , від яких відходять лінії 2 до споживача. Візьмемо два випадки: у першому за вимикачем $QF1$ відсутній реактор, у другому за вимикачем $QF2$ установлений реактор L .

При трифазному КЗ струм I_{K1} визначається в основному індуктивним опором генератора

$$I_{K1} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}X_G} \quad (12.1)$$

Відносний індуктивний опір генератора у відсотках

$$x_G \% = \frac{I_{ном.Г} X_G \sqrt{3}}{U_{ном}} 100, \quad (12.2)$$

де $I_{ном.Г}$ - номінальний струм генератора.

З (12.1) і (12.2) випливає, що
$$I_{K1} = I_{ном.Г} \frac{100}{x_G \%}, \quad (12.3)$$

У цьому випадку при КЗ напруга на збірних шинах буде дорівнює нулю і на всіх лініях, що відходять, пропаде напруга. Формула (12.3) дуже зручна для визначення струму КЗ у випадку, коли його значення визначається опором одного елемента схеми.

Необхідно відзначити, що вимикач $QF1$ повинний бути обраний по струму КЗ I_{K1} . Струм КЗ у лінії з реактором I_{K2} визначається сумарним опором генератора і реактора:

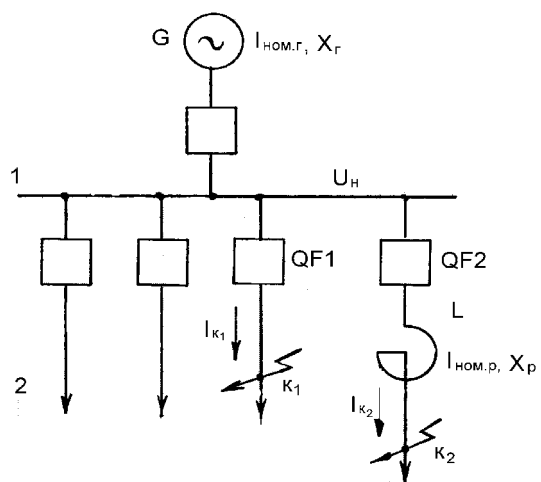


Рис. 12.1 До принципу дії реактора

$$I_{K2} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}(x_{Г} + x_{P})} \quad (12.4)$$

Відносний індуктивний опір реактора у відсотках

$$x_{P \%} = \frac{I_{ном.P} x_{P} \sqrt{3}}{U_{ном}} 100 \quad (12.5)$$

Звичайно один генератор обслуговує кілька десятків споживачів. Тому номінальний струм лінії в багато разів менше номінального струму генератора. Тривалий струм реактора вибирається рівним току лінії. Таким чином, $I_{ном.P} \ll I_{ном.Г}$.

Покладемо, що $x_{Г\%} = x_{P\%}$. Тоді з (12.1) і (12.5) випливає, що $X_{P} \gg X_{Г}$. При цьому можна написати, що

$$I_{K2} \approx \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}X_{P}} = I_{ном.P} \frac{100}{x_{P\%}} \ll I_{K1} \quad (12.6)$$

Таким чином, при зроблених припущеннях струм КЗ практично визначається тільки параметрами реактора.

Реактор має винятково високу надійність. Тому вибір апаратури лінії виробляється по струму $I_{K2} < I_{K1}$, що значно полегшує й здешевшує розподільний пристрій.

У тривалому режимі втрата напруги на реакторі невелика. У спеціальних здвоєних реакторах утрата напруги в номінальному режимі ще менше [1].

У номінальному режимі обмотка реактора нагрівається протікаючим струмом. Потужність, виділювана обмоткою реактора у виді тепла, складає декілька кіловат у реакторах на малі струми і кілька десятків кіловат у реакторах на великі струми ($I_{ном.P} = 2000$ А). При проходженні струму КЗ температура реактора швидко підвищується. Тому до основних параметрів реактора вводяться номінальна напруга $U_{ном}$, тривалий номінальний струм $I_{ном.P}$ і струм термічної стійкості $I_{Т}$, віднесений до визначеного часу $t_{Т}$. Іноді термічна стійкість задається добутком $I_{Т} \sqrt{t_{Т}}$ [13].

При проходженні струму КЗ між реакторами й усередині реактора створюються електродинамічні сили, що прагнуть його зруйнувати. Механічна міцність реактора характеризується ударним струмом електродинамічної стійкості. При розрахунку електродинамічної стійкості за основу береться ударний струм

$$i_{уд} = 1,8 \sqrt{2} I_{к.р}, \quad (12.7)$$

де $I_{к.р} = I_{ном.P} \frac{100}{X_{P \%}}$ найбільший струм, що проходить через реактор [13].

Одним з основних параметрів реактора є його індуктивність L , що розраховується по спеціальних методиках [4].

Застосування феромагнітних магнітопроводів дозволяє різко знизити розміри реактора. Однак при великих струмах відбувається насичення магнітопроводів і зменшення індуктивності, що зменшує струмообмежуючий ефект реактора. У зв'язку з цим застосування магнітопроводів у струмообмежуючих реакторах не одержало поширення.

Реактор споживає з мережі також реактивну потужність, рівну для трифазного комплексу

$$Q=3I_{\text{ном.р}}^2 X_p \cdot 10^{-3} \text{ квар.} \quad (12.8)$$

Основними параметрами реактора є: номінальна напруга $U_{\text{ном.}}$; номінальний струм $I_{\text{ном.р.}}$; реактивний опір $X_p\%$; струм термічної стійкості I_T для часу t ; струм динамічної стійкості $i_{\text{уд.}}$.

12.1.2. Конструкція реакторів

Найбільш поширені бетонні реактори. На рис.12.2 представлений трифазний комплект таких реакторів. З багатожильного проводу l відповідного перерізу намотані котушки реакторів А, В, С. Заливанням у спеціальні форми виходять бетонні вертикальні стійки — колони 2, що скріплюють між собою окремі витки котушки.

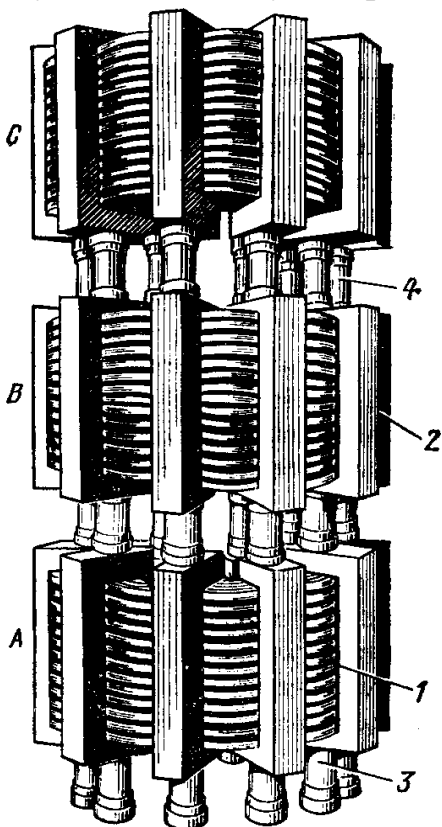


Рис. 12.2 Трифазний комплект реакторів

Торці колон мають шпильки з ізоляторами 3, 4.

Для одержання необхідної міцності електричної ізоляції після затвердіння бетону реактор піддають інтенсивному сушінню під вакуумом і просоченню вологостійким ізоляційним лаком.

Між окремими витками в ряді і між рядами витримуються значний зазор $(3,5 \dots 4,5) \cdot 10^{-2}$ м, що поліпшує охолодження окремих витків і підвищує електричну міцність ізоляції.

При великих номінальних струмах (більш 400 А) застосовується кілька паралельних віток. Для рівномірного розподілу струму по віткам застосовується транспозиція витків. Усі витки віток повинні бути однаково розташовані щодо осі реактора.

Як обмотувальний провід використовується багатожильний мідний чи алюмінієвий кабель великого перерізу. Кабель покривається декількома шарами кабельного папера товщиною

$0,12 \cdot 10^{-3}$ м і бавовняною обпліткою. Загальна товщина ізоляції приблизно складає $1,5 \cdot 10^{-3}$ м. Максимальна припустима температура при тривалому режимі не вище 105°C при КЗ — не вище 250°C .

Охолодження реакторів, як правило, природне.

У трифазному комплекті (рис. 12.2) найбільшому нагріванню піддається верхній реактор, оскільки повітря, що підходить знизу, вже підігріте реакторами, розташованими нижче. Через виділення реактором великої потужності в розподільному пристрої повинні бути передбачені спеціальні канали для охолоджуючого повітря, особливо при великих струмах.

Потужне магнітне поле реактора замикається навколо обмотки. Усі феромагнітні тіла в цьому полі створюють додаткові активні втрати потужності і можуть нагріватися до дуже високих температур. Для зменшення цих утрат усі феромагнітні деталі (балки, арматура залізобетонних стін) віддаляються від обмотки на відстань, не менше її зовнішнього радіуса [13].

Відстань між реакторами визначається висотою опорних ізоляторів. Тому що при напрузі 6—10 кВ висота цих ізоляторів мала, то при великих струмах у реакторах виникають електродинамічні сили, що можуть зруйнувати ізолятори, що працюють і на стиск, і на розрив.

У найбільш важких умовах працюють ізолятори верхнього реактора. Для зменшення зусилля, що розриває, діючого на ізолятори, змінюють напрямок поля середнього реактора на зворотне. При цьому велике відштовхуюче зусилля стає притягуючим. Зміна напрямку поля середнього реактора досягається зміною напрямку його намотування щодо напрямку намотування крайніх реакторів. Реактори, призначені для вертикальної установки в комплектах, мають маркування *B* (верхній), *C* (середній) і *H* (нижній).

У реакторах на великі струми електродинамічні сили при вертикальній установці в аварійному режимі настільки великі, що ізолятори не можуть забезпечити необхідну електродинамічну стійкість. У цих випадках приходиться прибігати до горизонтальної установки реакторів. Відстань між осями може бути обране досить великим [13].

Бетонні реактори застосовуються в закритих розподільних пристроях при напрузі не вище 35 кВ. Недоліком їх є великі габаритні розміри і маси. Ведуться роботи зі зменшення маси і габаритних розмірів таких реакторів за рахунок застосування сучасних ізоляційних матеріалів.

При напругах більш 35 кВ і для установки на відкритій частині підстанцій застосовуються реактори в масляному виконанні (рис. 12.3). У сталевий бак *1* із трансформаторним маслом занурена обмотка *2*. Застосування масла дозволяє зменшити ізоляційні відстані між обмоткою і заземленими частинами реактора і поліпшити охолодження обмотки за рахунок конвекції масла. У результаті ма-

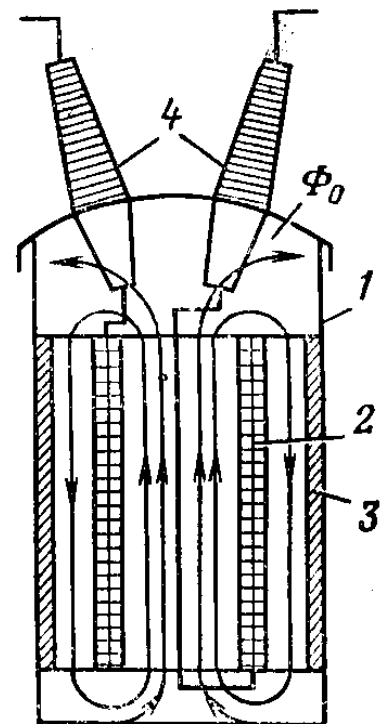


Рис. 12.3 Масляний реактор

са і габаритні розміри апарата зменшуються. Виводи обмотки приєднуються до контактів прохідних ізоляторів 4.

Змінний магнітний потік реактора Φ_0 замикається по стінках бака, що приводить до його нагрівання до неприпустимих температур через появу вихрових струмів. Щоб уникнути цього, усередині бака 1 установлюється короткозамкнений виток у виді екрана 3. Такий виток збільшує магнітний опір кола і, отже, зменшує магнітний потік, що замикається через бак, і викликані цим потоком утрати на вихрові струми [13].

В даний час розроблені тороїдальні реактори [4]. Обмотка такого реактора має тороїдальну форму, але не містить магнітопровід. При такій формі обмотки зовнішнє поле розсіювання практично відсутнє і нагрів бака не виникає. Тороїдальні реактори на напругу 110 кВ і вище мають більш високі технічні й економічні показники в порівнянні з масляними реакторами.

12.1.3. Здвоєні реактори

Прагнення до зменшення втрат напруги на реакторі в номінальному режимі, до спрощення і здешевлення розподільних пристроїв привело до

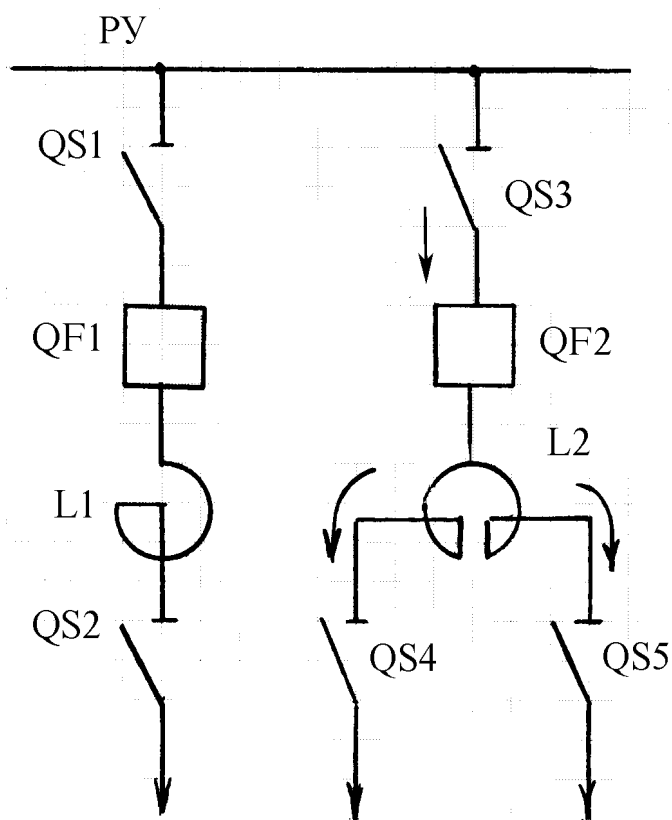


Рис. 12.4 Включення одинарних та здвоєних реакторів

створення здвоєних реакторів (рис. 12.4).

При звичайних реакторах $L1$ кожна лінія, що відходить, має свій реактор, розрахований на номінальний струм лінії. Кожна трифазна група реакторів розміщується в спеціальній ячійці розподільного пристрою.

У здвоєних реакторах $L2$ реактори сусідніх виток зближені так, що між ними існує сильний магнітний зв'язок. Сполучення в одному реакторі двох зменшує габарити апарата, здешевлює і спрощує розподільний пристрій.

У номінальному режимі магнітні поля реакторів спрямовані зустрічно і роб-

лять один на одній дію, що розмагнічує. У результаті індуктивний опір вітки падає. Відповідно зменшується спадання напруги на реакторі. Спадання напруги на вітці реактора ΔU_B при номінальному струмі

$$\Delta U_B = I_{\text{ном.в.}} (X_{\text{р.в.}} - X_M) = I_{\text{ном.р.}} X_{\text{р.у.}} \left(1 - \frac{X_M}{X_{\text{р.в.}}}\right) = I_{\text{ном.р.}} X_{\text{р.в.}} (1 - k) \quad (12.9)$$

де $X_{\text{р.в.}}$ - індуктивний опір вітки реактора; $X_M = \omega M$ - опір взаємної індукції віток реактора (M -коефіцієнт взаємної індуктивності); $k = M/L_{\text{р.в.}}$ - коефіцієнт зв'язку віток реактора; $L_{\text{р.в.}}$ - індуктивність однієї вітки.

Чим більше коефіцієнт зв'язку, тим менше спадання напруги у вітці. З погляду зменшення спадання напруги в номінальному режимі бажане збільшення коефіцієнта зв'язку k .

Для збільшення коефіцієнта зв'язку реактори повинні бути можливо ближче друг до друга.

При КЗ в одній з віток спадання напруги на реакторі, в основному, визначається її опором $X_{\text{р.в.}}$. Вплив сусідньої вітки, обтічної номінальним струмом, мало, тому що дія цієї вітки, що розмагнічує, незначна.

Якщо перша вітка реактора, розімкнута, а в другий проходить струм КЗ, то в реакторі першої вітки наводиться додаткова ЕДС, рівна $E = I_k k X_{\text{р.в.}}$.

У результаті напруга на першій вітці реактора зростає і може досягти подвоєного значення [13].

При одночасному КЗ в обох лініях, що відходять від реактора, між ними виникають великі електродинамічні сили. Це відбувається через те, що, по-перше, реактори близько розташовані друг до друга і, по-друге, зростає струм КЗ, тому що падає реактивний опір галузей.

Для обмеження перенапруг і електродинамічних сил коефіцієнт зв'язку береться в межах від 0,3 до 0,5.

Як показали дослідження бетонні здвоєні реактори без застосування спеціальних мір піддаються руйнуванню при одночасному КЗ в обох вітках. Збільшення електродинамічної стійкості досягається в збірній конструкції.

На рис. 12.5, а показана в розрізі ліва половина такого реактора. Стяжка реактора здійснюється за допомогою металевих стрижнів 1 і стрижнів 2 з ізоляційного матеріалу. Котушка реактора покладена на ізоляційних прокладках 3.

Найбільша відштовхуюча сила діє на витки рядів 4 і 5, розташовані близько друг до друга. Для одержання необхідної електродинамічної стійкості прилеглі ряди віток реактора бандажуються скляною стрічкою, як це показано на мал. 12.5, б [13].

Для зниження можливості одночасного КЗ обидві вітки реактора не повинні проходити близько друг до друга [14]. Основні параметри здвоєного реактора:

- 1) номінальний тривалий струм кожної вітки $I_{\text{ном.р.}}$;
- 2) індуктивний опір (у відсотках) однієї вітки (при відсутності струму в іншій)

$$x_{\text{р.у.}} \% = \frac{I_{\text{ном.р.}} X_{\text{р.в.}} \sqrt{3}}{U_{\text{ном}}} 100$$

- 3) коефіцієнт зв'язку

$$k = \omega M / X_{\text{р.в.}} = M / L_{\text{р.в.}}$$

4). електродинамічна стійкість кожної вітки; визначається зусиллями, що виникають між витками кожної вітки і між витками сусідніх фаз (при двох- і трифазних КЗ).

При одночасному КЗ на обох вітках одного реактора виникають зусилля, що

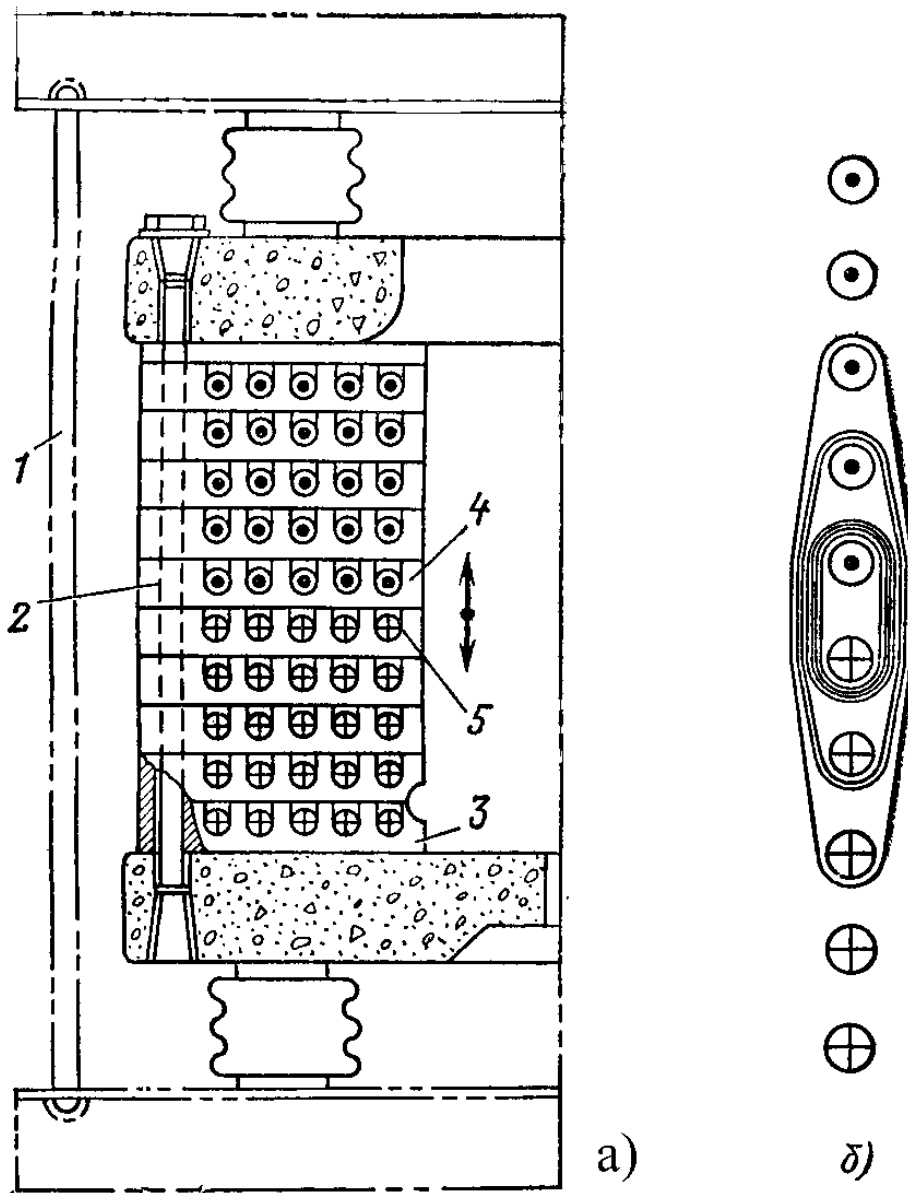


Рис. 12.5 Конструкція здвоєного реактора

розривають реактор, тому що струми у вітках спрямовані зустрічно. Звичайно динамічна стійкість при таких ушкодженнях у 2...3 рази менше, ніж при КЗ в одній вітці;

5) термічна стійкість однієї вітки.

12.2. РОЗРЯДНИКИ

При роботі електричних установок виникають напруги, що можуть значно перевищувати номінальні значення (перенапруги). Ці перенапруги можуть пробити електричну ізоляцію елементів устаткування і вивести установку з ладу. Щоб уникнути пробою електричної ізоляції, вона повинна витримувати ці перенапруги, однак габаритні розміри устаткування виходять надмірно великими, тому що перенапруги можуть бути в 6...8 разів більше номінальної напруги. З метою полегшення ізоляції виникаючі перенапруги обмежують за допомогою розрядників і ізоляцію устаткування вибирають по цьому обмеженому значенню перенапруг. Виникаючі перенапруги поділяють на дві групи внутрішні (комутаційні) і атмосферні. Перші виникають при комутації електричних кіл (котушок індуктивностей, конденсаторів, довгих ліній), дугових замиканнях на землю й інших процесах. Вони характеризуються відносно низкою частотою напруги, що впливає, (до 1000 Гц) і тривалістю впливу до 1 с. Другі виникають при впливі атмосферної електрики, мають імпульсний характер напруг, що впливають, і малу тривалість (десятки мікросекунд). Електрична міцність ізоляції при імпульсах залежить від форми імпульсу, його амплітуди [13].

Залежність максимальної напруги імпульсу від часу розряду називається вольт-секундною характеристикою.

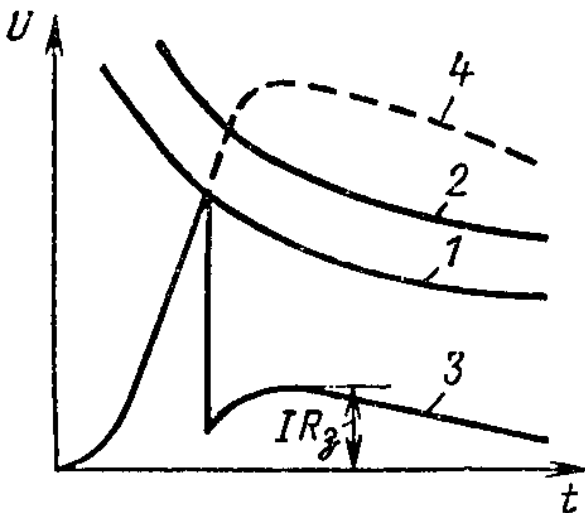


Рис. 12.6 Узгодження характеристик розрядника та захищеного обладнання

4) і обмеженою розрядником перенапругою (крива 3). Під час пробою через розрядник протікає імпульс струму.

Напруга на розряднику при протіканні імпульсу струму даного значення і форми називається напругою, що залишається. Чим менше ця напруга, тим краще якість розрядника.

Після проходження імпульсу струму іскровий проміжок виявляється іонізованим і легко пробивається номінальною фазною напругою. Виникає КЗ на зе-

Основним елементом розрядника є іскровий проміжок. Вольт-секундна характеристика цього проміжку (крива 1 на рис. 12.6) повинна лежати нижче вольт-секундної характеристики устаткування, що захищається, (крива 2). З появою перенапруги проміжок повинний пробитися раніш, ніж ізоляція устаткування, що захищається. Після пробою лінія заземлюється через опір розрядника. При цьому напруга на лінії визначається струмом I , що проходить через розрядник, опорами розрядника і заземлення R_z .

Чим менше ці опори, тим ефективніше обмежуються перенапруги, тобто більше різниця між можливою (крива

млю, при якому через розрядник протікає струм промислової частоти, що називається супровідним. Супровідний струм може змінюватися в широких межах.

Щоб уникнути вимикання устаткування від релейного захисту, цей струм повинний бути вимкнений розрядником у можливо малий час (біля напівперіоду промислової частоти).

До розрядників пред'являються такі наступні вимоги.

1. Вольт-секундна характеристика розрядника повинна йти нижче характеристики об'єкта, що захищається, і повинна бути положистою.

2. Іскровий проміжок розрядника повинний мати визначену гарантовану електричну міцність при промисловій частоті (50 Гц) і при імпульсах.

3. Напруга, що залишається на розряднику, яка характеризує його обмежуючу здатність, не повинна досягати небезпечних для ізоляції устаткування значень.

4. Супровідний струм частотою 50 Гц повинний вимкатися за мінімальний час.

5. Розрядник повинний допускати велике число спрацьовувань без огляду і ремонту.

Основними типами розрядників у даний час є трубчасті і вентиляльні.

Трубчастий розрядник (рис. 12.7) при нормальній роботі установки відділений від лінії повітряним проміжком S_2 . З появою перенапруги пробиваються проміжки S_1 і S_2 і імпульсний струм відводиться в землю. Після проходження імпульсного струму по розряднику тече супровідний струм промислової частоти. У вузькому каналі обойми (трубки) 1 з газогенеруючого матеріалу (вініпласту чи фібри) у проміжку S_1 між електродами 2 і 3 загоряється дуга.

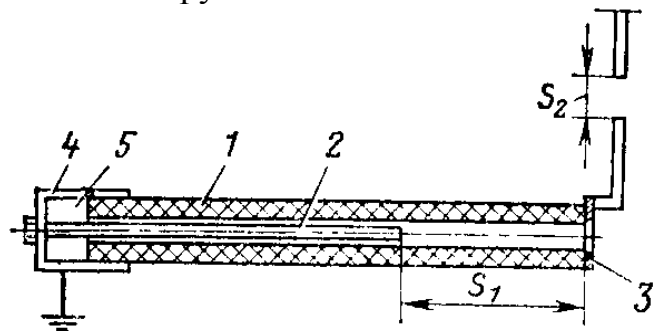


Рис. 12.7 Трубчастий розрядник

Усередині обойми піднімається тиск. Газу, що утворюється, можуть виходити через отвір у кільцевому електроді 3 .

При проходженні струму через нуль відбувається гасіння дуги під дією охолодження проміжку 5 газами, що виходять з розрядника.

У заземленому електроді 4 маєтся буферний обсяг 5 , де накопичується потенційна енергія стиснутого газу. При проході струму через нуль створиться газове дуття з буферного обсягу, що сприяє ефективному гасінню дуги.

Граничний струм промислової частоти, що вимикається, визначається механічною міцністю обойми і складає 10 кА для фібробакелітової обойми і 20 кА для вініпластової, зміцненої склотканиною на епоксидній смолі [13].

Вентильний розрядник типу РВС-10 (розрядник вілітовий станційний на 10 кВ) показаний на рис. 12.8. Основними елементами є вілітові кільця 1 , іскрові проміжки 2 і робочі резистори 3 . Ці елементи розташовані усередині порцелянового кожуха 4 , що з торців має спеціальні фланці 5 для кріплення і приєднання розрядника.

Робочі резистори 3 змінюють свої характеристики при наявності вологи. Крім того, волога, осідаючи на стінках і деталях усередині розрядника, погіршує його ізоляцію і створює можливість перебиття. Для виключення проникнення вологи кожух розрядника герметизується по торцях за допомогою пластин 6 і ущільнювальних гумових прокладок 7.

Робота розрядника відбувається в наступному порядку.

З появою перенапруги пробиваються три послідовно включених блоки іскрових проміжків 2 (рис. 12.8).

Імпульс струму при цьому через робочі резистори замикається на землю.

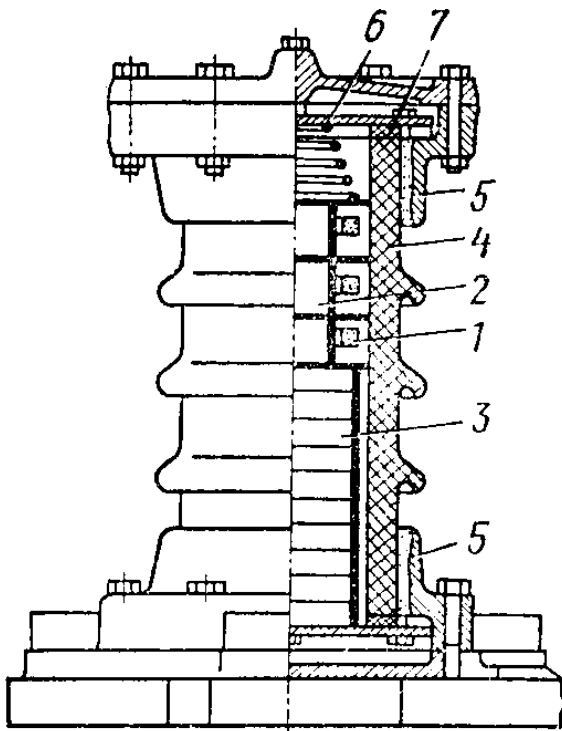


Рис. 12.8 Вентильний розрядник

Виникший супровідний струм обмежується робочими резисторами, що створюють умови для гасіння дуги супровідного струму.

Після пробою іскрових проміжків напруга на розряднику

$$U_p = IR_p. \quad (12.10)$$

з ростом струму зменшується. Залежність між напругою і струмом у цьому випадку виражається як

$$U_p = AI^\alpha \quad (12.11)$$

де A — постійна, що характеризує напругу на опорі R_p при струмі 1А; α — показник нелінійності. Випадок, коли $\alpha = 0$, є ідеальним, тому що напруга U_p не залежить від струму.

Описані розрядники одержали назву вентильних, тому що при імпульсних струмах їхній опір різко падає, що дає можливість пропустити великий струм при відносно невеликому спаданні напруги.

Як матеріал нелінійних резисторів широко застосовується виліт. В області великих струмів його показник нелінійності $\alpha = 0,13 \dots 0,2$ [13].

При невеликих струмах опір R_p великий і напруга лінійно росте з ростом струму. При великих струмах опір різкий зменшується і напруга U_p майже не росте.

Робочі резистори виготовляються у виді дисків діаметром 0,1...0,15 м і висотою $(20 \dots 60) \cdot 10^{-3}$ м.

Віліт дуже гігроскопічний. Для захисту від вологи циліндрична поверхня дисків покривається ізолюючою обмазкою. Торцеві поверхні є контактними і металізуються.

Як правило декілька робочих резисторів у виді дисків з'єднуються послідовно.

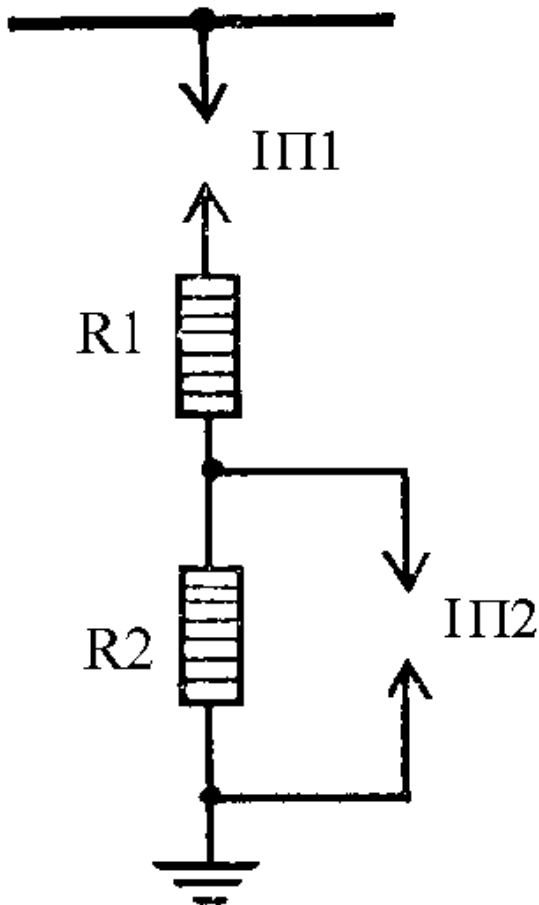


Рис. 12.9 Комбінований розрядник з термітовими резисторами

При проходженні струму температура дисків підвищується. При протіканні імпульсу струму великої амплітуди, але малої тривалості (десятки мікросекунд) резистори не встигають нагріватися до високої температури. При тривалому протіканні навіть невеликих струмів промислової частоти (один напівперіод дорівнює 10 мс) температура може перевищити припустиме значення, диски утрачають свої вентиляльні властивості, і розрядник виходить з ладу.

Гранично припустима амплітуда імпульсу струму для диска діаметром 100 мм дорівнює 10 кА при тривалості імпульсу 40 мкс. Припустима амплітуда прямокутного імпульсу з тривалістю 2000 мкс не перевищує 150 А. Такі струми диск без ушкодження пропускає 20...30 разів [1].

Експериментально встановлено, що одиночний іскровий проміжок здатний викинути супровідний струм з амплітудою 80...100 А при діючому значенні напруги 1...1,5 кВ [13].

Число одиничних проміжків вибирається виходячи з цієї напруги. Кількість дисків

робочого резистора повинне бути таким, щоб максимальне значення струму не перевищило 80...100 А. При цьому гасіння дуги забезпечується за один напівперіод.

Для обмеження внутрішніх перенапруг використовується аналогічний віліту матеріал тервіт, що володіє великою термічною стійкістю і підвищеним показником нелінійності $\alpha = 0,15...0,29$ [13].

Термітові диски використовуються в комбінованих розрядниках (рис. 12.9), призначених для захисту як від внутрішніх (комутаційних), так і від зовнішніх (атмосферних) перенапруг. При внутрішніх перенапругах працюють обидва нелінійних резистора $R1$ і $R2$. При атмосферних перенапругах через великий струм напруга на $R2$ пробиває іскровий проміжок $III2$ і напруга на лінії, що захищається, знижується.

Вентильні розрядники працюють безшумно. Число спрацьовувань фіксується спеціальним реєстратором, що включається між нижнім виводом розрядника і заземленням.

На основі оксиду цинку, що має різко виражену нелінійність вольт-амперної характеристики, розроблена серія нелінійних обмежників перенапруг (ОПН) на номінальну напругу 110...500 кВ.

ОПН являє собою нелінійний резистор з високим коефіцієнтом нелінійності $\alpha = 0,04$ (проти 0,1...0,2 для вільниту). Він підключається паралельно об'єкту, що захищається, (між потенційним виводом і землею), без розрядних проміжків. Завдяки високій нелінійності при номінальній фазній напрузі через ОПН протікає мізерний струм 1 ма. При збільшенні напруги опір ОПН різко зменшується, струм, що протікає через нього, росте. При напрузі $2,2U_{\phi}$ через ОПН протікає струм до 10^4 А. Після проходження імпульсу напруги струм у колі ОПН визначається фазною напругою мережі.

ОПН обмежують комутаційні перенапруги до рівня $1,8 U_{\phi}$ і атмосферні перенапруги до $(2...2,4)U_{\phi}$.

При зниженні перенапруг з $2U_{\phi}$ до U_{ϕ} струм, що протікає через резистори ОПН-500, зменшується в 10^6 разів. Супровідний струм, що протікає після спрацьовування апарата, невеликий (міліампери), так само як і невелика потужність, що виділяється у резисторах. Це дозволяє відмовитися від послідовного з'єднання декількох іскрових проміжків і дає можливість приєднувати ОПН безпосередньо до устаткування, що захищається, що значно підвищує надійність роботи.

Висока нелінійність резисторів ОПН (для області великих струмів $\alpha \approx 0,04$) дозволяє значно знизити перенапруги і зменшити габарити устаткування, особливо при напрузі 750 і 1150 кВ.

Габаритні розміри і маса ОПН набагато менше, ніж у звичайних вентильних розрядників того ж класу напруги.

Більш детально конструкції розрядників вивчаються в курсі «Техніка високих напруг».

Запитання для самоперевірки

- 1. Призначення реакторів.*
- 2. Основні елементи конструкцій бетонних реакторів.*
- 3. Особливості використання масляних реакторів.*
- 4. Для чого використовуються здвоєні реактори?*
- 5. Призначення та основні конструктивні елементи розрядників.*

ГЛАВА 13.

АПАРАТИ ДЛЯ ВИМІРІВ

Навчальні цілі глави - ознайомити студента з призначенням, конструкціями, схемами з'єднання та особливостями експлуатації трансформаторів струму і трансформаторів напруги.

13.1. ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ

Трансформатор струму призначений для зменшення первинного струму до значень, найбільш зручних для вимірювальних приладів і реле, а також для відділення кіл виміру і захисту від первинних кіл високої напруги.

Трансформатор струму має замкнутий магнітопровід 2 (рис. 13.1) і дві обмотки — первинну 1 і вторинну 3. Первинна обмотка вмикається послідовно в коло вимірюваного струму I_1 ; до вторинної обмотки приєднуються вимірювальні прилади, які обтікаються струмом I_2 .

Трансформатор струму характеризується номінальним коефіцієнтом трансформації

$$K_I = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}} \quad (13.1)$$

де $I_{1ном}$ і $I_{2ном}$ - номінальні значення первинного і вторинного струмів відповідно.

Значення номінального вторинного струму прийняті рівними 5 і 1 А.

Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму не є строго постійною величиною і може відрізнитися від номінального значення внаслідок погрішності, обумовленої наявністю струму намагнічування. Струмова погрішність визначається згідно виразу

$$\Delta I \% = \frac{K_I I_2 - I_1}{I_1} 100 \quad (13.2)$$

Погрішність трансформатора струму залежить від його конструктивних особливостей: перерізу магнітопроводу, магнітної проникності матеріалу магнітопроводу, середньої довжини магнітного шляху, значення $I_1 w_1$.

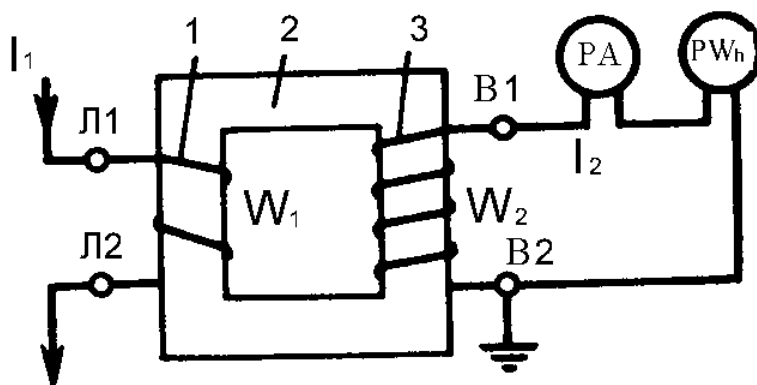


Рис. 13.1 Схема включення трансформатора струму

У залежності від пропонованих вимог випускаються трансформатори струму з класами точності 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Зазначені цифри являють собою токову погрішність у відсотках від номінального струму при навантаженні первинної обмотки струмом 100...120 % для перших трьох класів і 50...120% для двох останніх.

Для трансформаторів струму класів точності 0,2; 0,5 і 1 нормується також кутова погрішність [1].

Погрішність трансформатора струму залежить від вторинного навантаження (опір приладів, проводів, контактів) і від кратності первинного струму стосовно номінального. Збільшення навантаження і кратності струму приводить до збільшення погрішності.

При первинних струмах, значно менших номінального, погрішність трансформатора струму також зростає.

Трансформатори струму класу 0,2 застосовуються для приєднання точних лабораторних приладів, класу 0,5 — для приєднання лічильників грошового розрахунку, класу 1 — для всіх технічних вимірювальних приладів, класів 3 і 10 - для релейного захисту.

Крім розглянутих класів випускаються також трансформатори струму з вторинними обмотками типів Д (для диференціального захисту), З (для земляного захисту), Р (для інших релейних захистів).

Токові кола вимірювальних приладів і реле мають малий опір, тому трансформатор струму нормально працює в режимі, близькому до режиму КЗ. Якщо розімкнути вторинну обмотку, магнітний потік у магнітопроводі різко зростає, тому що він буде визначатися тільки МДС первинної обмотки. У цьому режимі магнітопровід може нагрітися до неприпустимої температури, а на вторинній розімкнутій обмотці з'явиться висока напруга, що досягає в деяких випадках десятків кіловольт.

Через зазначені явища не дозволяється розмикати вторинну обмотку трансформатора струму при протіканні струму в первинній обмотці. При необхідності заміни вимірювального приладу чи реле попередньо замикається накоротко вторинна обмотка трансформатора струму (чи шунтується обмотка реле, приладу) [7].

Трансформатори струму для внутрішньої установки до 35 кВ мають литу епоксидну ізоляцію.

По типу первинної обмотки розрізняють котушкові (на напругу до 3 кВ включно), одновиткові і багатовиткові трансформатори струму.

На рис. 13.2, *а* схематично показане виконання магнітопроводів і обмоток, а на рис. 13.2, *б* — зовнішній вигляд трансформатора струму ТПОЛ-20 (прохідний, одновитковий, з литою ізоляцією на 20 кВ). У цих трансформаторах струмоведучий стрижень, що проходить через «вікна» двох магнітопроводів, є одним витком первинної обмотки. Одновиткові трансформатори струму виготовляються на первинні струми 600 А і більш; при менших струмах МДС первинної обмотки $I_1 w_1$ виявиться недостатньою для роботи з необхідним класом точності. Трансформатор ТПОЛ-20 має два магнітопровода, на кожний з яких намотана своя вторинна обмотка. Класи точності цих трансформаторів струму 0,5; 3 і Р. Магнітопроводи разом з обмотками заливаються компаундом на основі епоксидної смоли, що після затвердіння утворює монолітну масу. Такі транс-

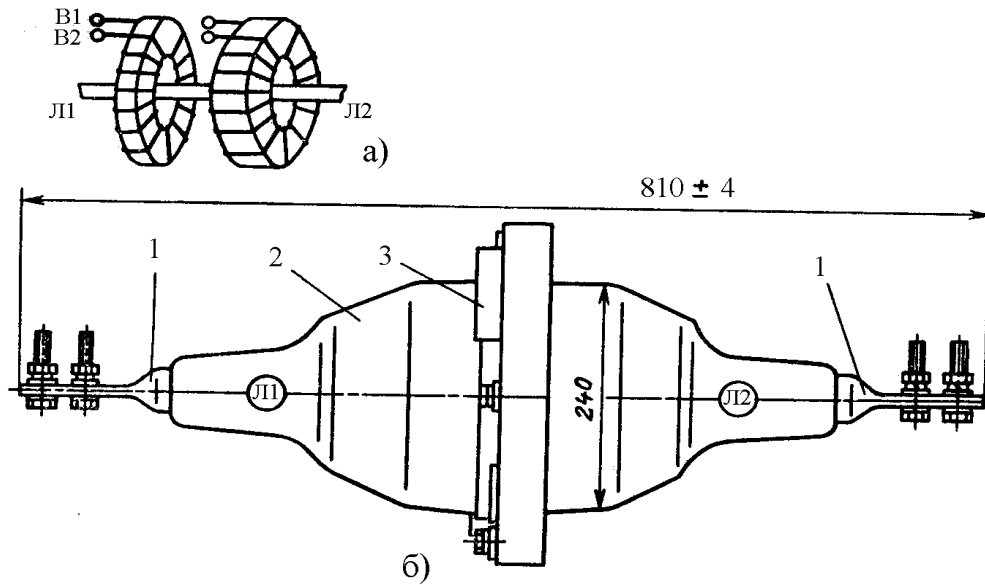
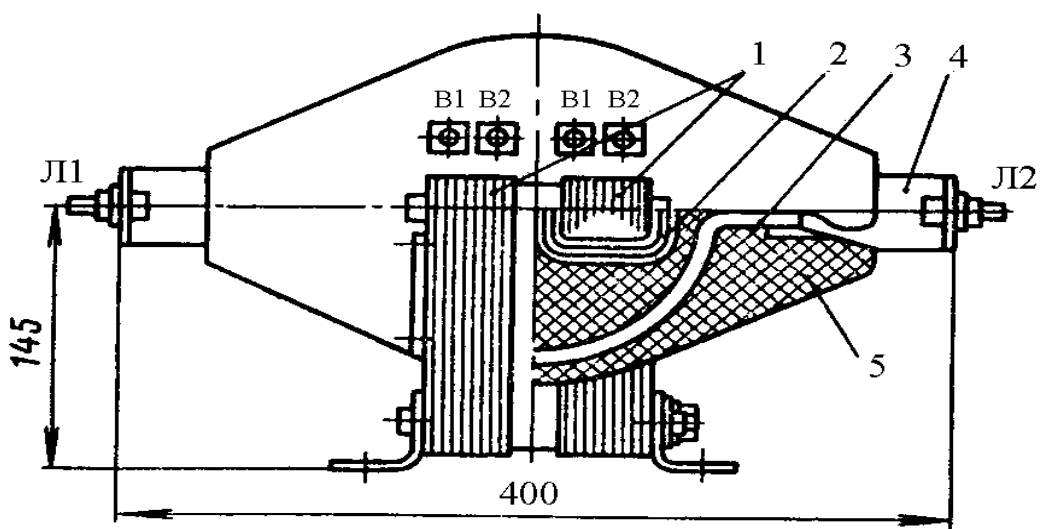


Рис. 13.2 Трансформатор струму ТПОЛ-20:
 а — принципове розташування магнітопроводів з обмотками;
 б—конструкція: 1— вивід первинної обмотки; 2 — епоксидна ізоляція;
 3 — виводи вторинної обмотки

форматори струму мають значно менші розміри, чим трансформатори з порцеляновою ізоляцією, що випускалися раніше, і володіють високою електродинамічною стійкістю.

Розглянутий трансформатор струму в розподільному пристрої виконує одночасно роль прохідного ізолятора.

При струмах, менших 600 А, застосовуються багатовиткові трансформатори струму ТПЛ, у яких первинна обмотка з складається з декількох витків, кількість яких визначається необхідною МДС (рис. 13.3).



**Рис. 13.3 Трансформатор струму ТПЛ-10
 с двома магнітопроводами:**
 1-магнітопровід; 2-вторинна обмотка;
 3-первинна обмотка; 4-вивід первинної обмотки; 5-литий епоксидний корпус

У комплектних розподільних пристроях (КРП) застосовуються опорно-прохідні трансформатори струму ТЛМ-10, ТПЛК-10, конструктивно сполучені з одним зі штепсельних рознімачів первинного кола ячейки КРП.

На великі номінальні первинні струми застосовуються трансформатори струму, у яких роль первинної обмотки виконує шина, що проходить усередині трансформатора. На рис. 13.4 показаний трансформатор струму ТШЛ-20 (шинний, з литою ізоляцією, на 20 кВ і струми 6000...18000 А). Ці трансформатори являють собою кільцеподібний епоксидний блок із залитим у ньому магнітопроводом і вторинними обмотками. Первинною обмоткою є шина струмопроводу. В ізоляційний блок залите екрануюче сілумінове кільце, електрично з'єднане із шиною за допомогою пружини. Електродинамічна стійкість таких трансформаторів струму визначається стійкістю шинної конструкції.

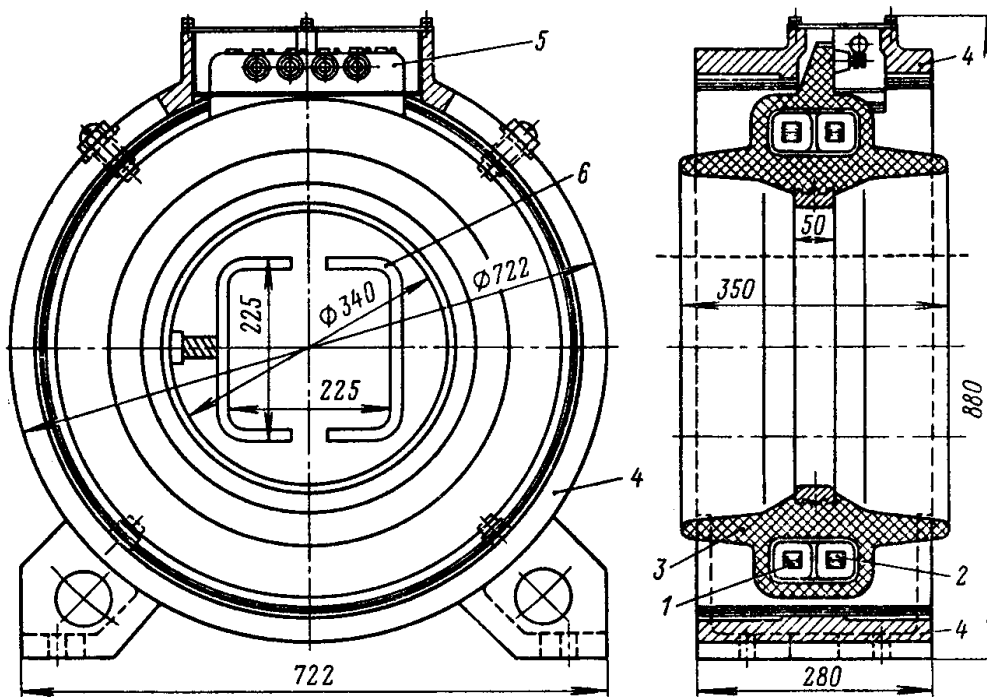


Рис. 13.4 Трансформатор струму ТШЛ-20:

1- магнітопровід класу 0,5; 2- магнітопровід класу Р;
3-литий епоксидний блок; 4-корпус; 5-коробка виводів
вторинних обмоток; 6-струмоведуча шина

У комплектних струмопроводах застосовуються трансформатори струму ТШВ - 15, ТШВ - 24.

Для зовнішньої установки випускаються трансформатори струму опорного типу в порцеляновому корпусі з паперово-масляною ізоляцією типу ТФЗМ (рис. 13.5).

У порожньому порцеляновому ізоляторі, заповненому трансформаторним маслом, розташовані обмотки і магнітопровід трансформатора. Конструктивно первинна і вторинна обмотки нагадують дві ланки ланцюга.

Первинна обмотка складається з двох секцій, що 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 маслорозширювач 1,

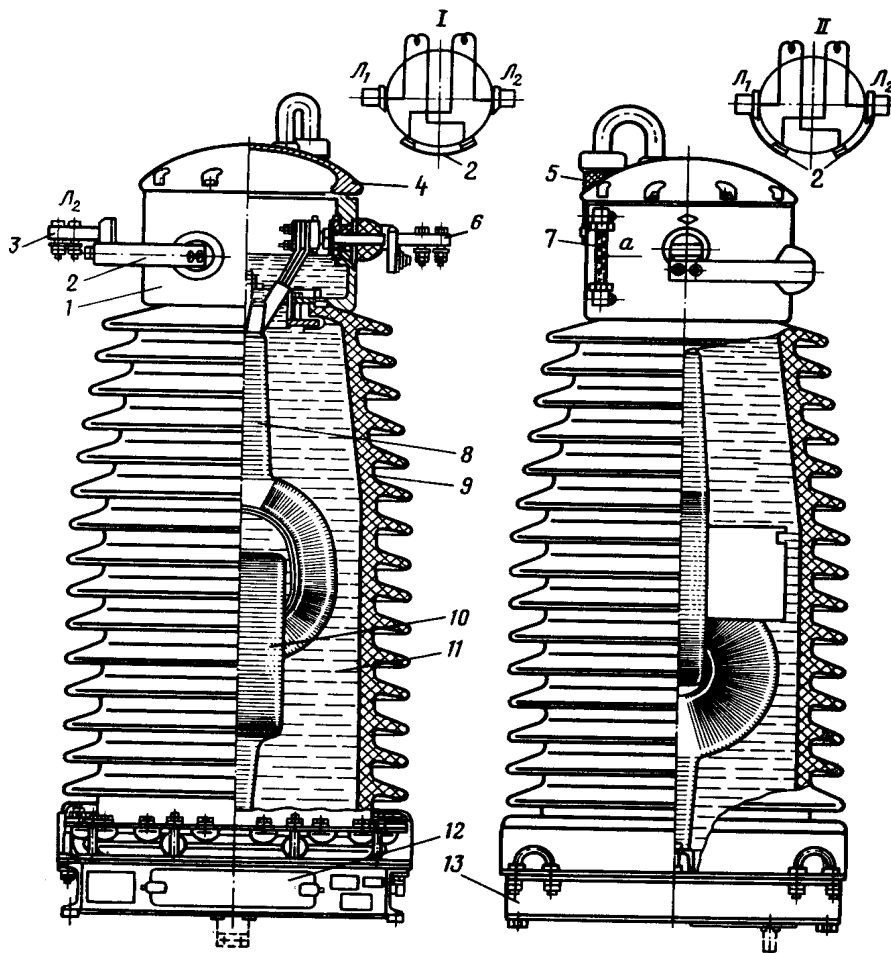


Рис. 13.5 Трансформатор струму ТФМЗ:

1-маслорозширювач; 2-перемикач первинної обмотки; 3-ввід L_2 ; 4- кришка; 5- вологопоглинач; 6-ввід L_1 ; 7-маслопоказчик; 8-первинна обмотка; 9-порцелянова покришка; 10-магнітопровід з вторинною обмоткою; 11-масло; 12-коробка виводів вторинних обмоток; 13-цоколь

що сприймає коливання рівня масла. Сілікагелевий вологопоглинач 5 призначений для поглинання вологи зовнішнього повітря, з яким сполучується внутрішня порожнина маслорозширювача. Обмотки і порцелянова покришка кріпляться на сталевому цоколі 13. Коробка вторинних виводів 12 герметизована. Знизу до неї кріпиться кабельна муфта, у якій знаходиться оправлення кабеля вторинних кіл.

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

В установках 330 кВ і більш застосовуються каскадні трансформатори струму ТФРМ із 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 [7].

Вбудовані трансформатори струму застосовуються в установках 35 кВ і більш. У вводи високої напруги масляних вимикачів і силових трансформаторів вбудовуються магнітопроводи з вторинними обмотками. Первинною обмоткою є струмоведучий стрижень вводу. Вторинні обмотки убудованих трансформаторів струму мають відпайки, що дозволяють регулювати коефіцієнт трансформації відповідно до первинного струму. Для вбудовування в масляні вимикачі застосовуються трансформатори струму. Кожному типу масляного бакового вимикача відповідає визначений тип трансформатора струму, паспортні дані яких приводяться в каталогах вимикачів і в довідниках. Для вбудовування в силові трансформатори або автотрансформатори застосовуються трансформатори струму серії ТВТ. Крім розглянутих типів трансформаторів струму випускаються спеціальні конструкції для релейних захистів: трансформатори струму нульової послідовності ТНП, ТНПШ, ТЗ, ТЗЛ; трансформатори, що швидко насичуються, ТКБ; трансформатори для поперечного диференційного захисту генераторів ТШЛО.

Чим вище напруга, тим суужніше ізолювати первинну обмотку ВН від вторинної, вимірювальної обмотки трансформаторів.

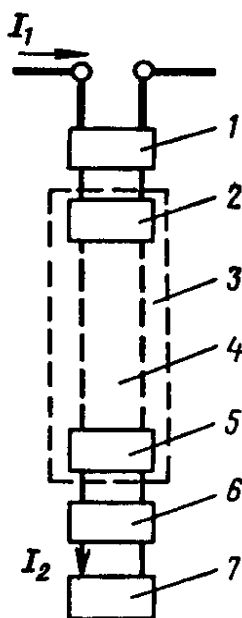


Рис. 13.6 Структурна схема оптико-електронного трансформатора струму:

1-первинний перетворювач; 2- світлодіод; 3-оптична система; 4-

Каскадні вимірювальні трансформатори на 500, 750 і 1150 кВ складні у виготовленні і дорогі, тому замість них розроблені принципово нові оптико-електронні трансформатори (ОЕТ). У них вимірюваний сигнал (струм, напруга) перетворюється у світловий потік, що змінюється по визначеному закону і передається в прийомний пристрій, розташований на заземленому елементі. Потім світловий потік перетворюється в електричний сигнал, сприйманий вимірювальними приладами (рис. 13.6). Таким чином пристрій, що передає і знаходиться під високою напругою, і прийомний пристрій, з'єднаний із землею, зв'язані між собою тільки пучком світла.

Світловий потік передається усередині порожнього ізолятора по трубці з дзеркальними стінками чи по діелектричним стрижневим і волоконним світловодам, що виготовляються зі спеціального оптичного скла з ізолюючою оболонкою. Передавальний пристрій ОЕТ може бути побудований на різних принципах, наприклад, з використанням у деяких трансформаторах струму (ОЕТТФ)

ефекту Фарадея [7], в установках 750 кВ і вище, а також для виміру великих струмів (20...50 кА) при напрузі 10...24 кВ, імпульсних струмів і параметрів перехідних режимів [7].

13.2. ТРАНСФОРМАТОРИ НАПРУГИ

Трансформатор напруги призначений для зниження високої напруги до стандартного значення 100 чи $100/\sqrt{3}$ В и для відділення кіл виміру і релейного захисту від первинних кіл високої напруги. Схема вмикання однофазного трансформатора напруги показана на (рис. 13.7). Первинна обмотка включена на напругу мережі U_1 , а до вторинної обмотки (напруга U_2) приєднані паралельно котушки вимірювальних приладів і реле. Для безпеки обслуговування один вихід вторинної обмотки заземлений. Трансформатор напруги на відміну від трансформатора струму працює в режимі, близькому до холостого ходу, тому що опір паралельних котушок приладів і реле великий, а струм, споживаний ними, дуже малий.

Номінальний коефіцієнт трансформації визначається наступним вираженням:

$$K_U = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}} \quad (13.3)$$

де $U_{1ном}$, $U_{2ном}$ - номінальні первинна і вторинна напруга відповідно.

Розсіювання магнітного потоку і втрати в сердечнику приводять до погрішності виміру

$$\Delta U\% = \frac{K_U U_2 - U_1}{U_1} 100 \quad (13.4)$$

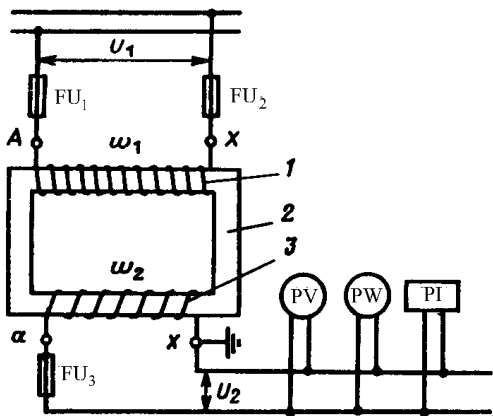


Рис. 13.7 Схема вмикання трансформатора напруги:
1-первинна обмотка;
2-магнітопровід;
3-вторинна обмотка

Так само як і в трансформаторах струму, вектор вторинної напруги здвинутий щодо вектора первинної напруги приблизно на кут 180° . Це визначає кутову погрішність.

У залежності від номінальної погрішності розрізняють класи точності 0,2; 0,5; 1; 3.

Погрішність залежить від конструкції магнітопровода, магнітної проникності стали і від коефіцієнта потужності $\cos \alpha$ вторинного навантаження. У конструкції трансформаторів напруги передбачається компенсація погрішності по напрузі шляхом деякого зменшення числа витків первинної обмотки, а також компенсація кутової погрішності за рахунок спеціальних обмоток, що компенсують.

Сумарне споживання обмоток вимірювальних приладів і реле, підключених до вторинної обмотки трансформатора напруги

ги, не повинне перевищувати номінальну потужність трансформатора напруги, тому що в протилежному випадку це приведе до збільшення погрешностей.

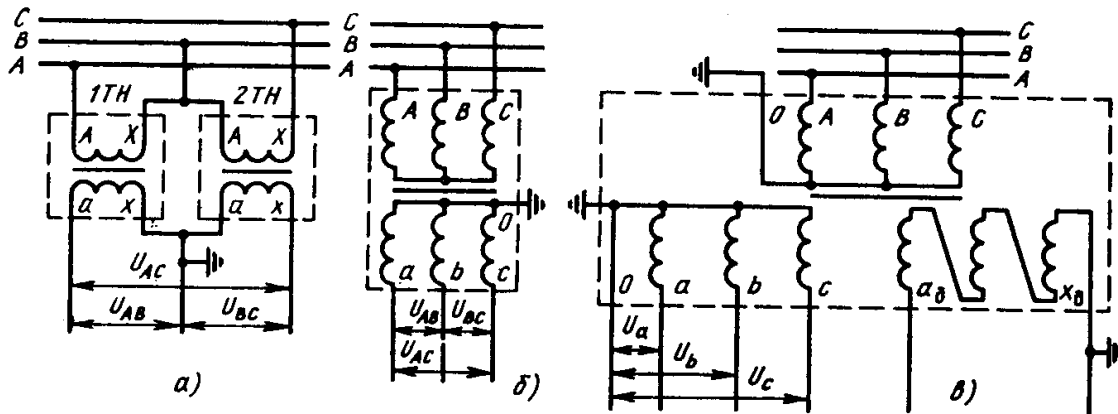


Рис. 13.8 Схеми з'єднання обмоток трансформаторів напруги

У залежності від призначення можуть застосовуватися трансформатори напруги з різними схемами з'єднання обмоток. Для виміру трьох міжфазних напруг можна використовувати два однофазних двохобмоточних трансформатори НОМ, НОС, НОЛ, з'єднаних за схемою відкритого трикутника (рис. 13.8, а), а також трифазний двохобмотковий трансформатор НТМК, обмотки якого з'єднані в зірку (рис. 13.8, б).

Для виміру напруги щодо землі можуть застосовуватися три однофазних трансформатори, з'єднаних за схемою Y_0/Y_0 , чи трифазний трьохобмотувальний трансформатор НТМІ (рис. 13.8, в). В останньому випадку обмотка, з'єднана в зірку, використовується для приєднання вимірювальних приладів, а до обмотки, з'єднаної в розімкнутий трикутник, приєднується реле захисту від замикань на землю. У такий же спосіб у трифазну групу з'єднуються однофазні трьохобмотувальні трансформатори типу ЗНОМ і каскадні трансформатори НКФ.

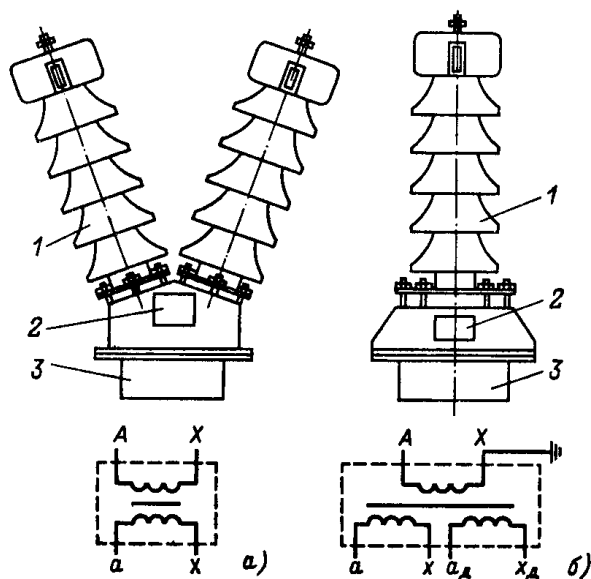


Рис. 13.9 Трансформатори напруги однофазні масляні:

- а-типа НОМ-35;
- б-типа ЗНОМ-35;
- 1-введення високої напруги;
- 2-коробка введень НН;
- 3-бак

По конструкції розрізняють трифазні й однофазні трансформатори. Трифазні трансформатори напруги застосовуються при напрузі до 18 кВ, однофазні — на будь-які на-

пруги. По типу ізоляції трансформатори можуть бути сухими, масляними і з литою ізоляцією.

Обмотки сухих трансформаторів виконуються проводом ПЕЛ, а ізоляцією між обмотками служить електрокартон. Такі трансформатори застосовуються в установках на напругу до 1000 В (НОС - 0,5 - трансформатор напруги однофазний, сухий, на 0,5 кВ).

Трансформатори напруги з масляною ізоляцією застосовуються на напругу 6...1150 кВ у закритому і відкритому розподільних пристроях. У цих трансформаторах обмотки і магнітопровід залиті маслом, що служить для ізоляції й охолодження.

Варто відрізнити однофазні двохобмотувальні трансформатори НОМ-6, НОМ-10, НОМ-15, НОМ-35 від однофазних трьохобмотувальні ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-35.

Схема обмоток перших показана на рис. 13.9, а. Такі трансформатори мають два вводи ВН і два вводи НН, їх можна з'єднати по схемах відкритого трикутника, зірки, трикутника. У трансформаторів другого типу (рис. 13.9, б) один кінець обмотки ВН заземлений, один ввід ВН розташований на кришці, а ввід НН — на бічній стінці бака. Обмотка ВН розрахована на фазну напругу, основна обмотка НН — на $100/\sqrt{3}$ В, додаткова обмотка — на $100/3$. Вони називаються трансформаторами, що називаються що заземлюються, і з'єднуються за схемою, показаної на рис. 13.8, в.

Трансформатори типів ЗНОМ-15, ЗНОМ-20, ЗНОМ-24 встановлюються в комплектних шинопроводах потужних генераторів. Для зменшення утрат від намагнічування їхні баки виконуються з немагнітної сталі.

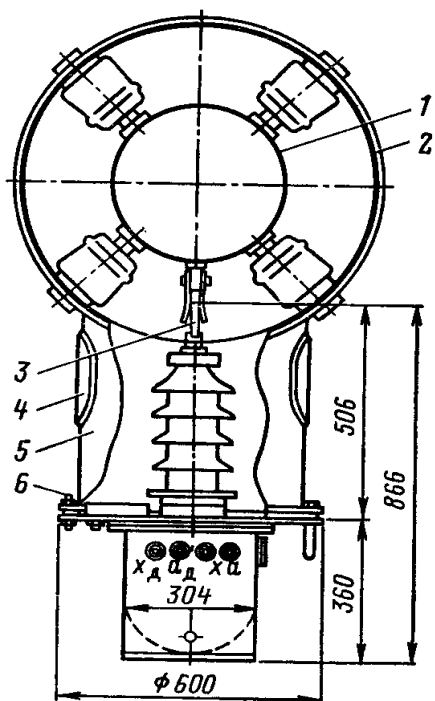


Рис. 13.10 Установка трансформатора напруги ЗНОМ-20 в комплектнім струмопроводі

На рис. 13.10 показана установка такого трансформатора в комплектному струмопроводі. Трансформатор за допомогою ножового контакту 3, розташованого на ввіді ВН, приєднується до пружних контактів, закріплених на струмопроводі 1, закритому екраном 2. До патрубку 5 з оглядовими люками 4 болтами 6 прикріплена кришка трансформатора. Таким чином, вводи ВН трансформатора знаходяться в закритому відростку екрана на струмопроводі. Затиски обмоток НН виведені на бічну стінку бака і закриваються окремим кожухом.

Трифазні масляні трансформатори типу НТМІ мають п'ятистрижневий магнітопровід і три обмотки, з'єднані за схемою, показаної на мал. 13.8, в. Такі трансформатори призначені для приєднання приладів контролю ізоляції.

Усе ширше застосовуються трансформатори напруги з литою ізоляцією. Трансформатори напруги, що заземлюються, серії ЗНОЛ-06 мають п'ять вико-

нань по номінальній напрузі: 6, 10, 15, 20 і 24 кВ. Магнітопровід у них стрічковий, розрізний, С-образний, що дозволило збільшити клас точності до 0,2. Такі трансформатори мають невелику масу, можуть встановлюватися в будь-якім положенні, пожежебезпечні. Трансформатори ЗНОЛ-06 призначені для установки в комплектних розподільних пристроях і комплектних струмопроводах замість масляних трансформаторів НТМІ і ЗНОМ, а трансформатори серії НОЛ.08 — для заміни НОМ-6 і НОМ-10.

На рис. 13.11 показаний однофазний двохобмотковий трансформатор з незаземленими виводами типу НОЛ.08-6 на 6 кВ. Трансформатор являє собою литий блок, у який залиті обмотки і магнітопровід. Виводи первинної обмотки А, Х, висновки вторинної обмотки розташовані на передньому торці трансформатора і закриті кришкою.

В установках 110 кВ і вище застосовуються трансформатори напруги каскадного типу НКФ. У цих трансформаторах обмотка ВН рівномірно розподіляється по декількох магнітопроводах, завдяки чому полегшується її ізоляція [2]. Трансформатор НКФ-110 (рис. 13.12) має двохстрижневий магнітопровід, на кожному стрижні якого розташована обмотка ВН, розрахована на $U_{\phi}/2$.

Тому що загальна точка обмотки ВН з'єднана з магнітопроводом, то він стосовно землі знаходиться під потенціалом $U_{\phi}/2$. Обмотки ВН ізолюються від магнітопровода також на $U_{\phi}/2$. Обмотки НН (основна і додаткова) намотані на нижньому стрижні магнітопровода. Для рівномірного розподілу навантаження по обмотках ВН служить обмотка зв'язку П. Такий блок, що складається з магнітопровода й обмоток, міститься в порцелянову сорочку і заливається маслом.

Трансформатори напруги на 220 кВ складаються з двох блоків, встановлених один над іншим, тобто мають два магнітопровода і чотири ступіні каскадної обмотки ВН з ізоляцією на $U_{\phi}/4$. Трансформатори напруги НКФ-330 і

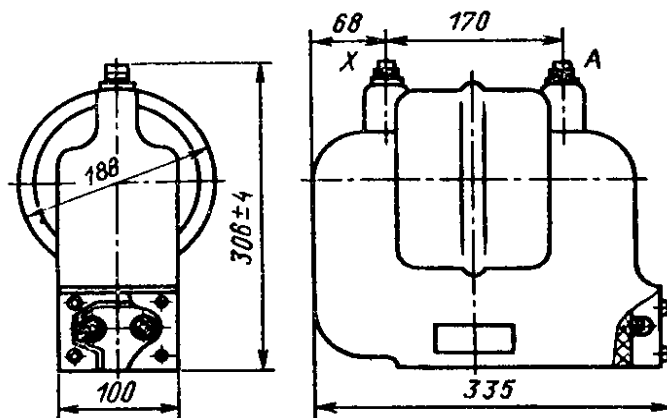


Рис. 13.11 Трансформатор напруги НОЛ. 08-6

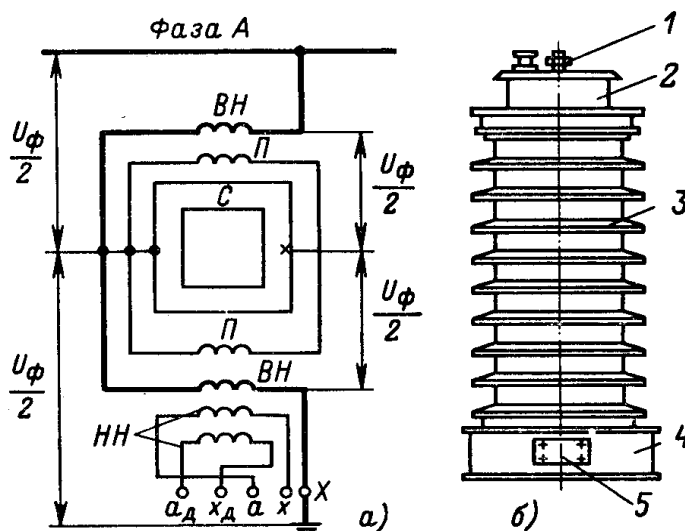


Рис. 13.12 Трансформатор напруги НКФ-110:
а-схема; б-конструкція;
1-введення високої напруги;
2-маслорозширювач;
3- порцелянова сорочка;
4-основа;
5-коробка введень НН

НКФ-500 відповідно мають три і чотири блоки, тобто шість і вісім ступіней обмотки ВН.

Чим більше каскадів обмотки, тим більше їх активний і реактивний опір, зростають погрішності, і тому трансформатори НКФ-330, НКФ-500 випускаються тільки в класах точності 1 і 3. Крім того, чим вище напруга, тим складніше конструкція трансформаторів напруги, тому в установках 500 кВ і вище застосовуються трансформаторні пристрої з ємнісним доббором потужності, приєднані до конденсаторів високочастотного зв'язку $C1$ за допомогою конденсатора добору потужності $C2$ (рис. 13.13). Напруга, що знімається з 32 (10...15 кВ), подається на трансформатор TV , що має дві вторинні обмотки, що

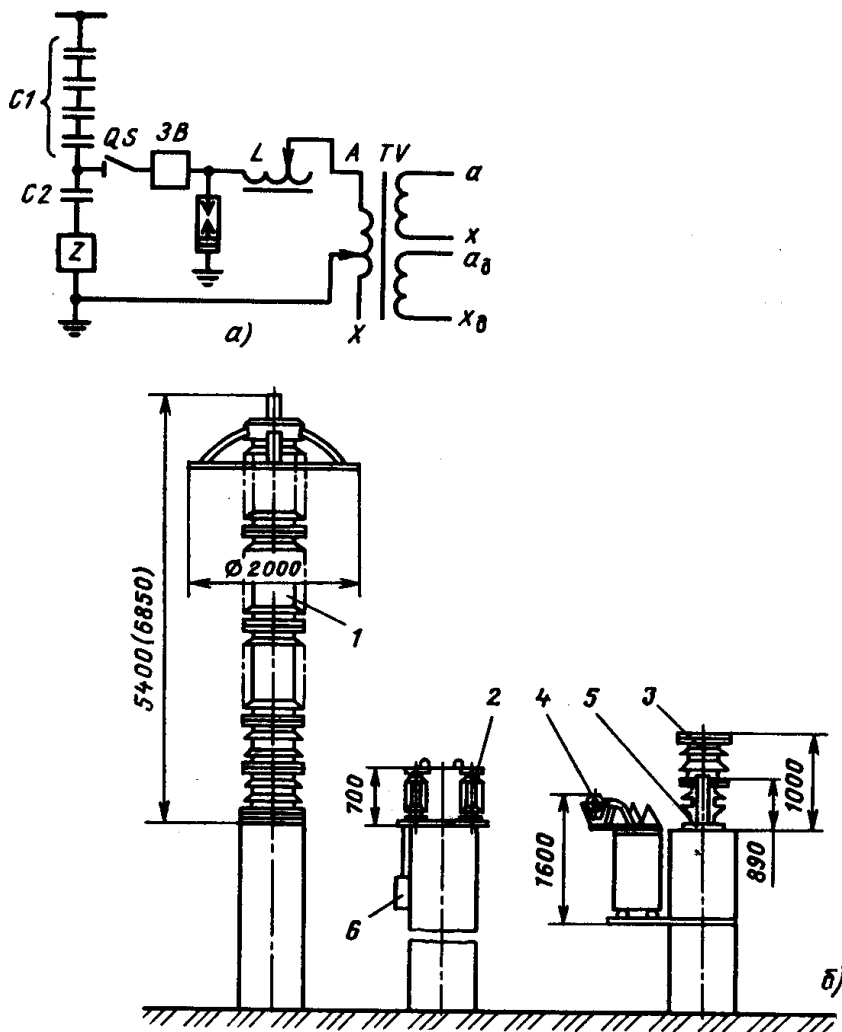


Рис. 13.13 Трансформатор напруги НДЄ:

а-схема; б- установка НДЄ-500-72:

1-дільник напруги; 2-роз'єднувач;

3-трансформатор напруги та дросель;

4-загороджувач високочастотний;

5-розрядник; 6-привод



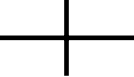
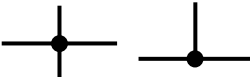


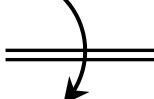

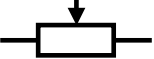

з'єднуються по такій же схемі, як і в трансформаторах НКФ чи ЗНОМ. Для збільшення точності роботи в коло його первинної обмотки ввімкнутий дросель L , за допомогою якого контур добору напруги настроюється в резонанс із конденсатором $C2$. Дросель L , трансформатор TV вбудовуються в загальний бак і заливаються маслом. Загороджувач ZB не пропускає струми високої частоти в трансформатор напруги. Фільтр приєднання Z призначений для підключення високочастотних постів захисту. Такий пристрій одержав назву ємнісного трансформатора напруги НДЄ. На рис. 13.13, б показана установка НДЄ-500-72.

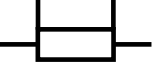
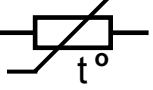
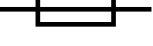







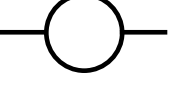
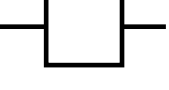
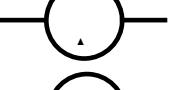

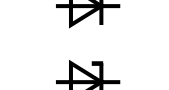



При належному виборі всіх елементів і настроюванню схеми пристрій НДЄ може бути виконаний на клас точності 0,5 і вище. Для установок 750 і 1150 кВ застосовуються трансформатори НДЄ-750 і НДЄ-1150 [7].

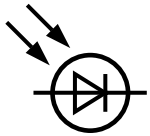
Запитання для самоперевірки

- 1. Призначення і основні конструктивні елементи трансформаторів струму.*
- 2. Чому неприпустима робота трансформатору струму з розімкненою вторинною обмоткою?*
- 3. Які існують основні типи (конструкції) трансформаторів струму?*
- 4. Призначення і основні конструктивні елементи трансформаторів напруги.*
- 5. Які існують схеми з'єднання обмоток трансформаторів напруги?*

Умовні графічні позначення, що використовуються в електричних схемах відповідно до єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД)

	Рід струму (напруги):
—	постійний струм
+	позитивна полярність
-	негативна полярність
~	змінний струм
$m \sim f U$	змінний струм кількістю фаз m , частотою f , напругою U
	Трифазна обмотка, з'єднана в:
	- трикутник
	- зірку
—	Лінія електричного зв'язку, провід, кабель, шина
	перетинання проводів
	з'єднання проводів
	Механічний зв'язок
	
	Обертальний рух по годинниковій стрілці
	резистор постійний
	резистор змінний
	резистор підстроювальний

	шунт вимірювальний
	терморезистор
	запобіжник плавкий
	конденсатор із постійною ємністю
	конденсатор електролітичний поляризований
	конденсатор із змінною ємністю
	конденсатор підстроювальний
	котушка індуктивності, дросель без сердечника
	котушка індуктивності, дросель із магнітопроводом
	реактор (у схемах енергопостачання)
	Прилад електровимірювальний:
	- що показує
	- що реєструє
	амперметр
	вольтметр
	діод
	стабілітрон
	світлодіод



Фотодіод



тиристор із керуванням по катоду



транзистор біполярний типу P-N-P



транзистор польовий із каналом
типу N



лампа накаливання



обмотка електричної машини (загальне
позначення)



обмотка паралельного збудження



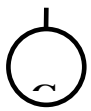
обмотка послідовного збудження



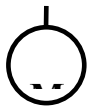
компенсаційна обмотка



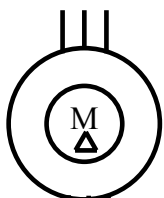
обмотка додаткового полюса



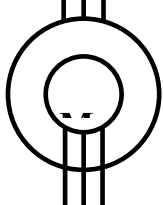
генератор (загальне позначення)



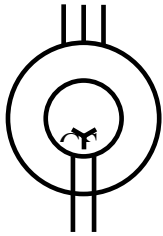
двигун (загальне позначення)



трифазний асинхронний двигун із
короткозамкненим ротором, обмотка
статора з'єднана у трикутник

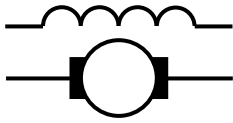


трифазний асинхронний двигун із
фазним ротором

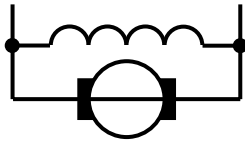


трифазний синхронний генератор, обмотка статора з'єднана у зірку

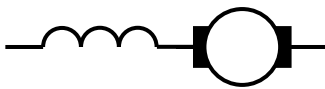
Машини постійного струму:



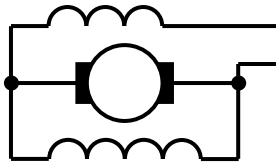
- із незалежним збудженням



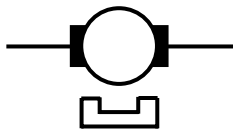
- із паралельним збудженням



- із послідовним збудженням

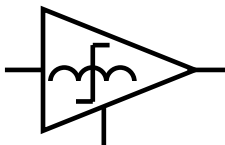


- із змішаним збудженням



- із збудженням від постійного магніту

Магнітний підсилювач:

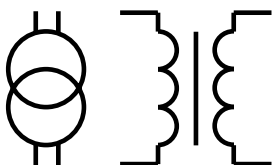


- загальне позначення

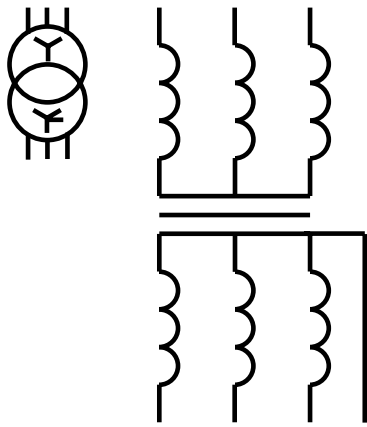


- із двома робочими та загальною керуючою обмотками

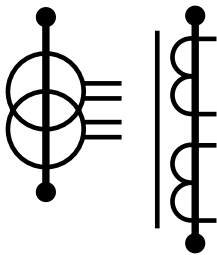
Трансформатори:



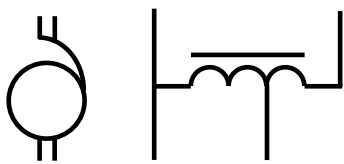
- однофазний двообмоточний із ферромагнітним магніто-проводом



- трифазний двообмоточний із феромагнітним магніто-проводом, з'єднання обмоток зірка – зірка із виведеною нейтральною точкою



Вимірювальний трансформатор струму з одним магнітопроводом та двома вторинними обмотками

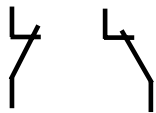


Однофазний автотрансформатор із феромагнітним магнітопроводом

Контакти комутаційних пристроїв:



- що замикає



- що розмикає



- що перемикає

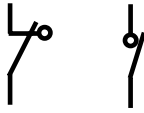


- що перемикає із нейтральним центральним положенням

Контакти без самоповернення:



- що замикає



- що розмикає

Контакти із самоповерненням:

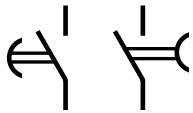


- що замикає

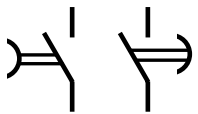


- що розмикає

Контакти, що замикають,
із затримкою, що діє:



- при спрацюванні

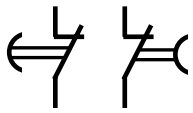


- при поверненні

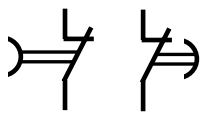


- при спрацюванні та поверненні

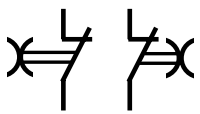
Контакти, що розмикають,
із затримкою, що діє:



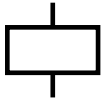
- при спрацюванні



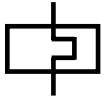
- при поверненні



- при спрацюванні та поверненні



Котушка електромеханічного пристрою (електромагніта, реле, контактора, магнітного пускача)



Пристрій, що сприймає, електротеплового реле

Силові контакти контактора:



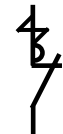
- що замикає



- що розмикає



- що замикає й гасить дугу



- що розмикає й гасить дугу



- що замикає із автоматичним спрацюванням



Контакт вимикача



Контакт роз'єднувача



Контакт вимикача-роз'єднувача

Контакти кінцевого вимикача:

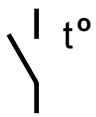


- що замикає

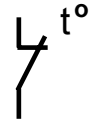


- що розмикає

Контакти чутливі до температури:

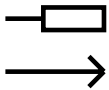


- що замикає

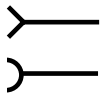


- що розмикає

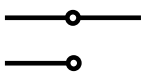
Контакти роз'ємного з'єднання:



- штир



- гніздо



Контакти розбірного з'єднання



Контакти нерозбірного з'єднання

Вимикач кнопковий натискний:

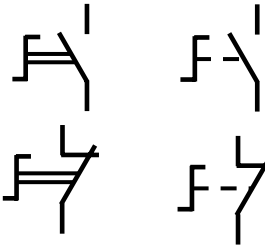


- із контактом, що замикає



- із контактом, що розмикає

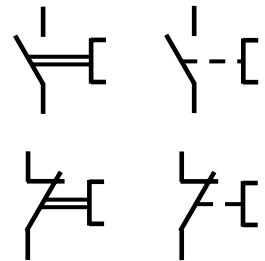
Вимикач кнопковий поворотний:



- із контактом, що замикає

- із контактом, що розмикає

Вимикач із витягуванням кнопки:



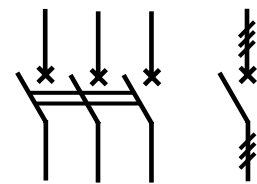
- із контактом, що замикає

- із контактом, що розмикає

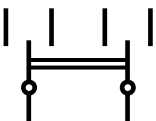
Примітка: передбачається, що привод кнопок має самоповернення



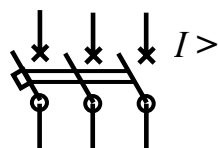
Вимикач ручний



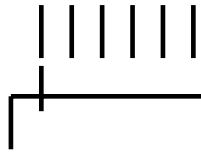
Вимикач триполюсний



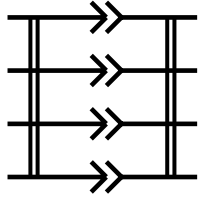
Перемикач двополюсний трипозиційний із нейтральним положенням



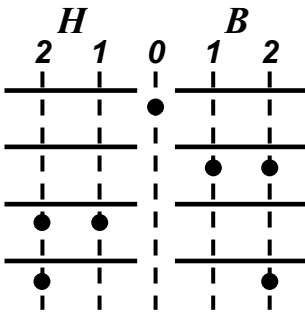
Вимикач триполюсний із автоматичним спрацьовуванням максимального струму



Перемикач однополюсний багатопозиційний (шестипозиційний)



З'єднання контактне роз'ємне чотирипровідне



Багатопозиційний перемикач зі складною комутацією
(замикання контакту в кожному положенні вказується крапкою)

**Буквені коди електричних елементів і пристроїв,
що використовуються у електричних схемах відповідно до
Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД)**

A	пристрої, підсилювачі
BE	сольсин-приймач
BC	сольсин-датчик
BK	тепловий датчик
BL	фотоелемент
BP	датчик тиску
BR	тахогенератор
BV	датчик швидкості
C	ємності
DA	аналогова мікросхема
DD	цифрова мікросхема, логічний елемент
FU	запобіжник плавкий
G	генератори, джерела живлення
HA	прилад звукової сигналізації
HL	прилад світлової сигналізації
K	реле, контактори, пускачі
KA	реле струму
KK	реле електротеплове
KM	контактор, магнітний пускач
KT	реле часу
KV	реле напруги
L	катушки індуктивності, дроселі, реактори
M	двигуни
P	прибори, вимірювальні пристрої
PA	амперметр
PV	вольтметр

PW	ватметр
Q	вимикачі і роз'єднувачі в силових колах
QF	вимикач автоматичний
QS	роз'єднувач
R	резистори
RK	терморезистор
RP	потенціометр
RS	шунт вимірювальний
S	комутаційні пристрої в колах керування, сигналізації і вимірювання
SA	вимикач, перемикач
SB	вимикач кнопочний
SF	вимикач автоматичний
	вимикачі, що спрацьовують від різних впливів:
SL	- рівня
SP	- тиску
SQ	- положення
SR	- частоти обертання
SK	- температури
T	трансформатори, автотрансформатори
TA	трансформатор струму
TS	електромагнітний стабілізатор
TV	трансформатор напруги
VD	діод, стабілітрон
VT	транзистор
VS	тиристор
X	контактні з'єднання
XP	штир
XS	гніздо
YA	електромагніт
YB	гальма з електромагнітним приводом
YC	муфта з електромагнітним приводом

**Нагрівостійкість електроізоляційних матеріалів
(згідно ДЕРЖСТАНДАРТА 8865-87)**

Клас нагрівостійкості	Температура, °С	Характеристика основних груп електроізоляційних матеріалів, відповідних даному класу нагрівостійкості
У	90	Непросочені та незанурені в рідкий електроізоляційний матеріал волокнисті матеріали з целюлози, бавовни та шовку, а також відповідні даному класу інші матеріали та інші сполучення матеріалів
А	105	Просочені чи занурені в рідкий електроізоляційний матеріал волокнисті матеріали з целюлози, бавовни або шовку, а також відповідні даному класу інші сполучення матеріалів
Е	120	Деякі синтетичні органічні плівки, а також відповідні даному класу інші матеріали та інші сполучення матеріалів
В	130	Матеріали на основі слюди (в тому числі на органічних підложках), азбесту та скловолокна, застосовувані з органічними сполуками, що зв'язують та просочують, а також відповідні даному класу інші матеріали та інші сполучення матеріалів
F	155	Матеріали на основі слюди, азбесту та скловолокна, застосовувані у сполученні з синтетичними сполуками, що зв'язують та просочують, а також відповідні даному класу інші матеріали та інші сполучення матеріалів
Н	180	Матеріали на основі слюди, азбесту та скловолокна, застосовувані у сполученні з кремнійорганічними сполуками, що зв'язують та просочують, кремнійорганічні еластомери, а також відповідні даному класу інші матеріали та інші сполучення матеріалів
200 220 250	200 220 250	Слюда, керамічні матеріали, скло, кварц, застосовувані без сполучних составів або з неорганічними або кремнійорганічними сполучними составами, а також відповідні даному класу інші матеріали та інші сполучення матеріалів

Припустимі перевищення температури елементів апаратів низької напруги (для температури навколишнього повітря +40° С)

Назва частин апарату	Апарати розподілу енергії. Тривалий режим роботи		Апарати управління приймачами енергії. Тривалий, преривчасто-тривалий, повторно-короткочасний та короткочасний режим роботи	
	у повітрі	у трансформаторному маслі	у повітрі	у трансформаторному маслі
1	2	3	4	5
1. Контакти, які комутують головні кола:				
а) з міді	55	40	65; див. примітки 1,2	65; див. примітку 1
б) гальванічно покриті сріблом	див. примітку 3	50	див. примітку 3	65
в) з накладками з срібла та металокерамічних композицій на базі срібла з окисом кадмію або з окисом міді	див. примітку 4	50	див. примітку 4	65
2. Допоміжні контакти з накладками з срібла	80	50	80; див. примітку 2	65

1	2	3	4	5
3. Контактні з'єднання усередині апаратів та гвинтові, болтові, заклепочні та інші жорсткі з'єднання, що не розмикаються, (крім паяних та зварених):				
а) з міді та її сплавів; з алюмінію та його сплавів без захисних покриттів контактних поверхонь	55	50	55	55
б) з міді та її сплавів, з алюмінію та його сплавів і з низьковуглецевої сталі, захищені від корозії покриттям контактних поверхонь відповідним металом, що забезпечує стабільність перехідного опору краще міді	65	50	65	65
в) з міді та її сплавів та з низьковуглецевої сталі, захищені від корозії покриттям контактних поверхонь сріблом	95	50	60	65
4. Обмотки багатошарових катушок з ізоляційними матеріалами нагрівостійкістю по Держстандарту 8865—70:				
класу А	65	60	80	60
класу Е	80	60	90	60
класу В	90	60	100	60
класу F	110	-	120	-
класу Н	130	-	140	-

Примітки:

1. При тривалому режимі роботи перевищення температури повинно бути не більш 55 °С.

2. Вказане перевищення температури при повторно-короткочасовому режимі роботи не повинно збільшуватися при іспитах в умовах, коли на контактах виникає електрична дуга.

3. Температура обмежується нагрівостійкістю сусідніх частин, якщо шар срібла не пошкоджується електричною дугою и не стирається при іспитах на механічну зносостійкість при нагрітих контактах. У протилежному випадку ці контакти повинні роздивлятися як такі, що не мають покриття сріблом.

4. Температура обмежується нагрівостійкістю сполучених частин, але не повинна перевищувати 200 °С.

**Припустимі температури нагріву елементів
високовольтних електричних апаратів**

Елементи апаратів та комплектних розподільних пристроїв	Найбільша припустима температура нагріву, °С		Перевищення температури над температурою навколишнього повітря (+35 °С), °С	
	у повітрі	в маслі	у повітрі	в маслі
Струмоведучі (за винятком контактних сполучень) та неструмоведучі металеві частини, не ізольовані та не дотичні з ізоляційними матеріалами	120	-	85	-
Те ж, але дотичні з трансформаторним маслом	-	90	-	55
Струмоведучі та неструмоведучі металеві частини, ізольовані або дотичні з ізоляційними матеріалами, а також деталі з ізоляційних матеріалів класів нагрівостійкості по ДЕРЖ-СТАНДАРТУ 8865—87				-
У	80	-	45	
А	95	90	60	55
Е	105	90	70	55
В	120	90	85	55
Ф	140	90	105	55
Н	165	90	130	55

Технічні дані вакуумних контакторів

Параметр	Напруга, В	Номінальний струм, А		
		63	160	400
Вмикаюча здатність, А	660	2700	4600	8800
	1140	1650	2880	6500
Вимикаюча здатність, А	660	1500	2500	4800
	1140	1000	1750	3450
Стійкість при наскрізних токах, А: електродинамічна термічна протягом 0,2 с	660	4000	5000	10 000
	660	3200	4000	8000
	1140	3200	4000	8000
Радіус площадки торкання контактів, мм	-	0,35	0,44	0,88
Контактне натискання, Н	-	-	-	-
Перехідний опір контактів (стягування), мкОм	-	27	42	1668
	-	275	220	110
Зносостійкість, циклів	-	(15-20) 10 ⁶ (-40)...(+70)		
Діапазон робочих температур, °С	-			

Технічні дані гібридних контакторів серії КТ

Параметр	КТ-7000 Б	КТП-7000 Б	КТ-6500	КТП-6500	КТ-7032
Номінальний струм, А	100	100	100	100	250
	160	160	160	160	
Номінальна напруга, В	380	380	660	660	380
Зносостійкість циклів	10 ⁷	15·10 ⁶	10 ⁷	15·10 ⁶	10 ⁷
Припустима частота циклів, 1/ч	1200	2000	1200	2000	1200
Число полюсів	2...5	2...4	2...5	2...4	2...5
Напруга управління, В	110...380	24...220	110...380	24...220	110...500

Технічні дані головних контактів контакторів серії КТ-6000

Тип	Припустимі струми			
	Тривалий режим, А	Переважаючий режим, А	повторно-короткочасний режим (ПВ-40 %, Z = 600 1/год)	
			вмикання при номінальній напрузі, А	вимикання при 0,17 U _{ном} А
КТ-6014	60	80	480	80
КТ-6024	75	100	600	100
КТ-6022	120	180	900	160
КТ-6032	165	280	1500	250
КТ-6042	300	400	2700	400
КТ-6052	470	630	3800	630

Технічні дані по електромагнітам контакторів серії КТ-6000 та КТ-7000

Тип	Номінальний струм, А	Струм в обмотці, А				Час, с	
		Робочий при напрузі, В		Пусковий при напрузі, В		Спрацьовування	відпускання
		220	380	220	380		
КТ-6000	100	0,21	0,14	2,1	1,4	0,04	0,02
	160	0,21	0,14	2,1	1,4	0,04	0,02
	250	0,72	0,44	7,2	4,4	0,04	0,012
	400	0,98	0,7	9,8	9,8	0,05	0,02
	630	1,65	0,98	16,5	9,8	0,05	0,02
КТ-7000	100	0,26	0,12	3,7	1,8	0,034	0,015
	160	0,26	0,12	3,9	1,8	0,03	0,01

Примітка. Контактори на 100...160 А мають потужність обмотки 25 Вт, число витків w та діаметр дроту d при напругах: 220 В – $w = 1430$, $d = 0,35$ мм; при 380 В – $w = 2470$, $d = 0,27$ мм.

Технічні параметри магнітних пускачів

Параметр	ПМЕ-100	ПМЕ-100	ПМЕ-200	ПАЕ-300	ПАЕ-400	ПАЕ-500	ПАЕ-600
Номінальний струм при на- прузі 380/500 В, А	3/1,5	10/6	25/14	40/21	63/35	110/61	146/80
Граничний струм, що вмика- ється та вимикається при на- прузі 380 В та $\cos \varphi = 0,4$, А	30	100	280	400	630	100	1500
Початкове натискання на кон- тактний місток, Н	1,1	2,0	4,6	13	18	33	50
Розбіг головних контактів, мм	2,8	2,5	3	3	3,5	3,5	4
Металокераміка марки							
Матеріал контактної накладки	Срібло	КМК-А30	КМК-А10	КМК-А10	КМК-А10	КМК-А10	КМК-А1
Номінальна потужність об- мотки, Вт	3,6	6	8	17	20	26	38
Пускова потужність обмот- ки, Вт	65	130	160	260	465	800	3400
Теплове реле	-	-	ТРН-25	ТРН-40	ТРП-60	ТРП-150	ТРП-160
Комутаційна зносостійкість	$2,5 \cdot 10^6$	-	$2,5 \cdot 10^6$	10^6	10^6	10^6	10^6
Механічна зносостійкість	$16 \cdot 10^6$	-	$16 \cdot 10^6$	$12 \cdot 10^6$	$12 \cdot 10^6$	10^7	10^7

Автоматичні повітряні вимикачі серії А-3100 та А-3700

Тип	Номинальний струм, А	Напруга, В	Число полюсів	Можливість заказа з розчепителем		Струм уставки розчепителя, А	Граничний струм вимикання, кА		Час вимкнення, с
				тепловим	електромагнітним		Постійний	Змінний	
A3160	50	110 и 120	1,2,3	+	-	15...20	1,6...3,6	2,5...4,5	0,025
A3110	100	220	2,3	-	+	15...100	5	2,5...10	0,015
A3120	200	220	2,3	-	+	15...100	20	18	-
A3130	200	220	2,3	-	+	100...200	17...28	14...25	0,015
A3710Б- A3740Б	160...130	440,660	2,3	+	+	-	110	45...60	-
A3140	600	220	2,3	-	+	250...600	25...50	32...40	0,03
A3710Ф- A3730Ф	160...630	220,380	2,3	+	+	-	25...50	25...50	-

Примітка. Автомати 3710Б— А3740Б струмообмежуючі з напівпровідниковими або електромагнітними розчепителями. Автомати А3710Ф—А3730Ф неструмообмежуючі з електромагнітним та тепловим розчепителями.

Межа міцності $\sigma_{см}$ різних металів на зминання

	$\sigma_{зм}$, МПа		$\sigma_{зм}$, МПа
Мідь тверда.....	520	Цинк.....	430
Мідь м'яка.....	390	Олово.....	45
Алюміній відпалений.....	110	Свинець.....	23
Алюміній твердо тягнутий.....	150	Графіт.....	132
Золото.....	530	Молібден.....	1690
Платина.....	780	Срібло.....	340

Бібліографічний список

1. Василенко В.Н., Лавринович В.А., Перепелкин С.Н. Вакуумный выключатель высокой коммутационной способности типа ВВЭ – (С) М – 10 – 40 // Электро. - 2003. - № 1. - с. 32 – 36.
2. Воробьев М.Н., Апольцев Ю.А. Вакуумные выключатели нового поколения и их обслуживание // Электрика. - 2003. - № 1. - с. 20 – 23
3. Кузнецов Р.С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В. - М.: Энергия, 1970. - 543 с.
4. Лейтес Л.В. Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. - М.: Энергия, 1981. - 392 с.
5. Основы теории электрических аппаратов / Под. ред. Г.В. Буткевича. – М.: Высшая школа, 1970. - 600 с.
6. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. Учебники для техникумов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.-304 с.
7. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов. – М.: Энергия, 1987. - 600 с.
8. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (общие вопросы проектирования). Учебное пособие для студентов электротехнических вузов. - М.: Энергия, 1971. - 560 с.
9. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 450 с.
10. Таев И.С. Электрические аппараты. Общая теория. - М.: Энергия, 1977. - 272 с.
11. Теория электрических аппаратов / Под ред. Г.Н. Александрова. - М.: Высшая школа, 1985. - 312 с.
12. Хмельницкий Р.С., Шеховцева Н.А. Быстродействующие плавкие предохранители. - М.: Информэлектро, 1983. - 44с.

13. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1988. - 720 с.
14. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А.А. Васильева. - М.: Энергия, 1980. - 608 с.
15. Электротехнический справочник МЭИ. т. I, II. - М.: Энергоиздат, 1985, 1986. - 488 и 712 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

		низької напруги	127
А			
Апарати електричні	10		
- комутаційні	10		
- обмежуючі	10		
- пускорегулюючі	10		
- для контролю заданих електричних і неелектричних параметрів	10		
- для вимірювання	11		
В			
Вимоги до електричних апаратів загальні	14		
Вібрація контактів	21		
Вмикання контактів	20		
Вимикання контактів	26		
Вольт-амперна характеристика дуги	38		
Відновлення напруги	40		
Вплив на стовп електричної дуги	44		
Вимикачі позиційні	64		
Вимикачі	115, 129		
-			
автоматичні повітряні низької напруги	115		
- змінного струму високої напруги	129		
- багатооб'ємні (бакові) масляні	133		
- маломасляні (малооб'ємні)	135		
- повітряні високої напруги	139		
- елегазові	144		
- електромагнітні	146		
- вакуумні	149		
Віддільники	157		
Вибір			
- контакторів	85		
- магнітних пускачів	85		
- запобіжників	110		
- вимикачів змінного струму високої напруги	154		
- автоматичних вимикачів			
Г			
Гradient Еп			44
Д			
Дуга електрична			
- постійного струму			36
- змінного струму			39
Дуття магнітне			46
Е			
Ерозія контактів			21
З			
Запобіжники			99
- низьковольтні			104
- високовольтні			107
К			
Кліматичні фактори			12
Кліматичні виконання			13
Категорії розміщення			13
Контакти електричні			16
- рухомі			32, 34
- нерухомі			30
- ковзний струмознімний			31
- роликівий струмознімний			31
- розривний			32
- плоский			33
- торцевий			33
- розеточний			33
- щітковий			33
- рідинно металевий			34
Контакт герметичний			20
Камери дугогасильні			46
Комутація безконтактна			56

Контролери	59	Р	
Командоапарати	61	Райони макрокліматичні	13
Кнопки управління	61	Режими роботи контактів	20
Командоконтролери	62	Рухомі контактні з'єднання, що не розмикаються	30
Ключі управління	66	Решітка дугогасильна	48
Контактори	71	Резистори	66
- постійного струму	75	Реостати	70
- змінного струму	77	Регулятор тиристорний	92
- вакуумні	81	Рубильники	95
- серії МК	79	Роз'єднувачі	157
Короткозамикачі	157	Реактори	164
Класифікація електричних апаратів	9	- бетонні	166
М		- масляні	167
Матеріали контактів	26	- здвоєні	168
Н		Розрядники	171
Нагрів контактів	20	- трубчасті	172
Напруга запалювання дуги	39	- вентильні	173
Напруга гасіння дуги	39	- комбіновані	174
О		С	
Оболонки електричних апаратів захисні	12	Стовп дуги	36
Опір контакту перехідний	17	Способи гасіння електричної дуги	44
П		Т	
Пристрій дугогасильний	44	Типи атмосфери	13
Перемикачі універсальні	65	Трансформатори струму	176
Пускачі магнітні	82	Трансформатори напруги	182
- нереверсивні	83	У	
- реверсивні	84	Умовні графічні позначення електричних апаратів та їх елементів	188
- тиристорні	88	Х	
Перемикач	95	Характеристика дуги динамічна	39
Прикордонний струм запобіжника	99	Характеристика запобіжника часоострумова	99
Плавка вставка запобіжника	99		

