

Лекція 9

(4 години)

ЕЛЕКТРИЧНА АПАРАТУРА

Електрична апаратура призначена для передачі електричної енергії, керування роботою генераторів, трансформаторів, ліній електропередачі і споживачів електричної енергії та для захисту їх від пошкоджень в аварійних режимах.

Електричну апаратуру розділяють за напругою – *високої і низької напруги*, за струмом – *постійного і змінного струму*, за ступенем захисту апаратів від навколишнього середовища – *відкриті, захищені (закриті), вибухобезпечні* та за іншими ознаками.

Під час експлуатації мереж вся електрична апаратура повинна працювати надійно і точно. Рівень електричної ізоляції визначається робочою напругою апарата та умовами експлуатації (в приміщенні або на відкритому повітрі). Напруга є основним параметром, який істотно впливає на конструкцію електричної апаратури.

9.1 Електричні контакти

Електричним контактом називають сукупність двох або більше з'єднаних між собою провідників, через які проходить струм з одного електричного кола в інше.

Із струмопровідних частин електричних апаратів і розподільних установок у цілому найвищі вимоги ставлять до електричних контактів. Від якості контактних з'єднань в значній мірі залежить надійність роботи обладнання та системи в цілому.

За умовами роботи і за призначенням контакти розділяють на дві групи: *контакти що не розмикаються і контакти що розмикаються*.

Контактні з'єднання обох груп повинні:

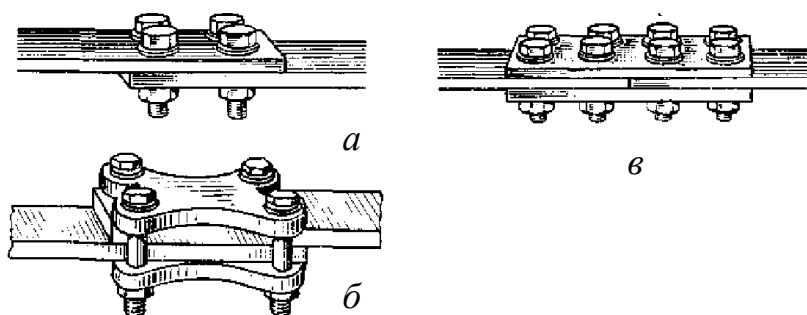
- надійно без перегрівання працювати в умовах нормального режиму;
- мати певну термічну і електродинамічну стійкість у режимі короткого замикання.

Контактні з'єднання що не розмикаються в свою чергу розділяють на *рухомі і нерухомі* контакти.

В нерухомих контактних з'єднаннях відсутнє переміщення одних контактних частин відносно інших – наприклад болтове з'єднання шин.

Нерухомі контактні з'єднання в розподільних установках виконують:

- внакладку (рисунок 9.1, *а*);
- внакладку із додатковими накладками (рисунок 9.1, *б*);
- у стик із додатковими накладками (рисунок 9.1, *в*);
- зварюванням.

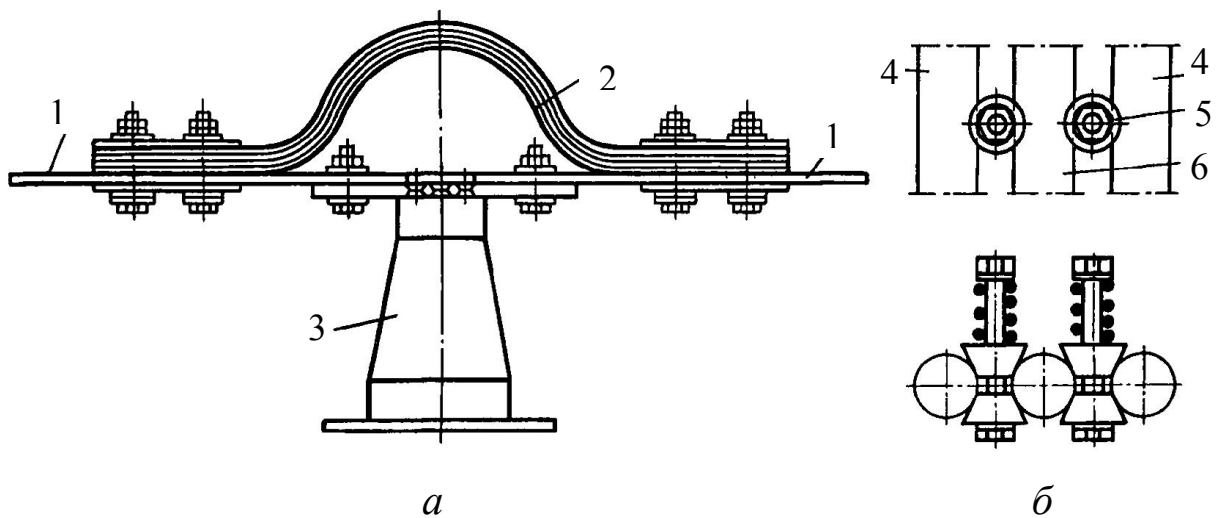


а – внакладку; *б* – внакладку із додатковими накладками;
в – у стик із додатковими накладками

Рисунок 9.1 – Нерухомі контакти (з'єднання шин)

В рухомих контактних з'єднаннях, що не розмикаються, відбувається ковзання або кочення.

Прикладом рухомого контакту, що не розмикається, може бути шинний компенсатор (рисунок 9.2, *а*). Він виготовляється із великої кількості гнучких пластинок 2 для забезпечення температурної компенсації шин 1 при можливій зміні їх довжини внаслідок коливання температури.



a – шинний компенсатор; *б* – роликові контакти

Рисунок 9.2 – Рухомі контакти, що не розмикаються

Іншим прикладом рухомого контакту, що не розмикається, можуть бути роликові контакти (рисунок 9.2, *б*), які призначенні для знімання струму із нерухомих елементів (стержнів) 4, які перемикаються роликами 5 на рухомий контакт 6.

Контакти, що розмикаються, виконуються завжди рухомими.

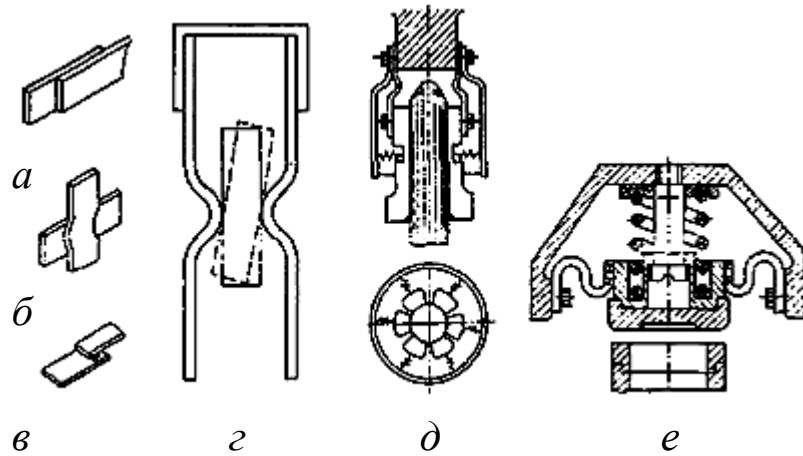
Рухомі контакти – основний елемент комутаційних апаратів. Вони повинні мати підвищену дугостійкість та витримувати певну кількість циклів «ввімкнення-розімкнення».

За принципом притискання контакти, що розмикаються, можуть бути: *плоскими, лінійними* та *точковими*.

Плоскі контакти (рисунок 9.3, *a*) притискаються широкою поверхнею, мають несталий перехідний опір та недостатню електродинамічну міцність.

Лінійні контакти (рисунок 9.3, *б*) притискаються лише вузькою поверхнею (лінією), мають сталий перехідний опір, високий питомий тиск в місці контакту, високу електродинамічну стійкість, просте і надійне регулювання.

Точкові контакти (рисунок 9.3, *г*) дотикаються в одній або кількох точках, мають високий питомий тиск і тому характеризуються стабільністю перехідного опору, мають просте і надійне регулювання.



a – плоскі; *б* – лінійні; *в* – точкові; *г* – врубні; *д* – розеткові; *е* – торцеві;

Рисунок 9.3 – Типи рухомих електричних контактів, що розмикаються

За виконанням контакти, що розмикаються, розділяють на:

- **врубні** – складаються із ножа (рухомого контакту) і стояка (нерухомого контакту), вони можуть бути з плоским, лінійним або точковим притисканням (рисунок 9.3, *г*), використовують в рубильниках та роз'єднувачах;

- **розеткові** контакти мають лінійне дотикання розетки (нерухомого контакту) із стержнем (рухомим контактом) (рисунок 9.3, *д*), застосовують в апаратах напругою понад 1000 В;

- **торцеві** контакти можуть бути з плоским, лінійним, або точковим дотиканням (рисунок 9.3, *е*), їх використовують в апаратах напругою 110 кВ і вище.

Пружності і необхідної сили тиску на контакт в контактах, що розмикаються, досягають за рахунок пластинчастих та спіральних пружин.

Форма і конструкція нерухомих і рухомих контактів різноманітні і залежать від призначення, принципу роботи і конструкції апаратури.

Рухомі контакти, що застосовуються для вмикання і вимикання великих струмів, доцільно виконувати з подвійною контактною системою. Вона складається із **робочих** і **дугогасильних контактів**, з'єднаних паралельно. При вмиканні кола спочатку замикаються дугогасильні контакти, а потім – робочі. При вимиканні кола, навпаки, спочатку розмикаються робочі, а потім дугогасильні контакти.

Застосування подвійної контактної системи дає можливість виконувати робочі контакти з дуже малим перехідним опором, розраховані на тривалий струм навантаження і короткочасний струм к.з. при замкнутому колі (приклад, контакти вимикачів навантаження ВН – 16 та ВН – 17).

Дугогасильні контакти виготовляють із тугоплавких матеріалів із високою дугостійкістю (сталь, молібден, вольфрам). Робочі контакти виготовляють із матеріалів із високою електропровідністю (мідь, сплави міді та ін.).

Між поверхнями контактних з'єднань, що притискаються, існує активний опір – *перехідний опір*.

$$R_K = \frac{C}{F^m}, \quad (9.1)$$

де C – коефіцієнт, який залежить від матеріалу контактів;

F – сила притискання контактів, Н;

m – коефіцієнт що залежить від типу контакту:

$m = 0,5$ – точковий контакт (сфера – сфера);

$m = 1$ – щітковий контакт.

Значення коефіцієнта C : мідь – $(0,3 \dots 0,4) \cdot 10^{-3}$; сталь-мідь – $(10 \dots 30) \cdot 10^{-3}$; алюміній – $(1,3 \dots 1,6) \cdot 10^{-3}$; сталь – $(25 \dots 80) \cdot 10^{-3}$; срібло – $(0,2 \dots 0,6) \cdot 10^{-3}$

Перехідний опір характеризує кількість енергії, що поглинається в контактному з'єднанні і нагріває його.

При проходженні струму в перехідному опорі виділяється теплота, яка нагріває контакт. Внаслідок цього перехідний опір збільшується, що призводить до збільшення теплоти, яка виділяється в ньому, а тим самим – до підвищення температури контакту.

При надмірному нагріванні контактне з'єднання окислюється, що спричиняє ще більше зростання перехідного опору і, отже, ще більше підвищення температури контакту. Активне окислення контактів розпочинається при температурі 70°C .

Підвищення температури в місці контакту може призвести до злипання або до зварювання контактів. Таке явище є дуже

шкідливим для рухомих контактів, що розмикаються. Тому поверхня контактів повинна бути достатньою для зменшення перехідного опору і розсіювання теплоти.

На перехідний опір також впливає спосіб обробки контактних поверхонь та їх стан в процесі експлуатації.

Поверхні контактів завжди нерівні, на них є виступи і заглиблення. Зі збільшенням тиску на поверхню виступи деформуються, зменшуючи перехідний опір. При значних струмах контакти покривають сріблом або іншим металом, що добре проводить струм та є стійким до окислення при підвищеній температурі.

Контактні з'єднання виготовляють з міді, латуні, алюмінію та сталі. Для виготовлення рухомих контактів, що розмикають електричне коло, окрім перелічених матеріалів, часто застосовують металокерамічні з'єднання (мідь з вольфрамом або молібденом, срібло з вольфрамом та ін.). Вони поєднують високу провідність міді або срібла з високою температурою плавлення вольфраму або молібдену.

Щоб уникнути місцевого перегрівання, оплавлення і зварювання контактів при вмиканні і вимиканні електричного кола, необхідно збільшувати швидкість вмикання або розмикання контактів. Рухомі контакти також повинні мати достатню стійкість до електричної дуги та витримувати певну кількість комутаційних операцій без механічних пошкоджень.

9.2 Поняття про електричну дугу

При розмиканні електричного кола густина струму в місці контакту різко збільшується внаслідок швидкого зменшення площі притискання контактів (збільшується перехідний опір), що в свою чергу спричиняє місцеве перегрівання, а висока температура, відповідно, спричиняє **термічну емісію електронів** з металу контактів. Крім цього, у момент розривання кола між контактами швидко встановлюється напруга

мережі і виникає потужне електричне поле із великою напруженістю, що може призвести до появи електричної дуги. Електрична дуга з'являється якщо напруга в місці розривання кола більша ніж 10...20 В, а струм перевищує 100 мА.

Під дією високої температури молекули і атоми середовища, в якому горить дуга, розпадаються на електрони і позитивні іони – відбувається процес *іонізації*. Іонізоване середовище (плазма) характеризується високою провідністю, завдяки чому підтримується горіння дуги. Провідність плазми наближається до провідності металів.

Одночасно із процесом іонізації відбувається *деіонізація* газу. Теплота відводиться в навколишнє середовище, а електрони і позитивні іони, зустрічаючись, з'єднуються в нейтральні (за зарядом) молекули і атоми. Якщо деіонізація протікає інтенсивніше, ніж іонізація, то електрична дуга гасне і, навпаки, якщо іонізація інтенсивніша ніж деіонізація, то дуга горітиме необмежено довго.

Розрізняють три стадії горіння дуги:

- *запалювання дуги* (внаслідок ударної іонізації запалюється дуга, інтенсивність іонізації перевищує інтенсивність деіонізації);
- *стійке горіння дуги* (інтенсивність іонізації і деіонізації рівні);
- *згасання дуги* (інтенсивність деіонізації вища ніж іонізації).

Температура електричної дуги може досягати декількох тисяч градусів (до 10000...15000 °С). При напрузі 110 кВ і вище довжина дуги може досягати декількох метрів. Електрична дуга представляє значну небезпеку, тому її необхідно якнайшвидше загасити для обмеження можливого руйнування елементів електричних апаратів.

Процеси гасіння дуги, як і її горіння, різні при постійному і при змінному струмі. При змінному струмі дуга загоряється і гасне із заданою частотою.

Дугу можна погасити при збільшенні відстані між контактами (збільшення довжини дуги). При певній довжині дуги, більшій за критичну, кількість теплоти, що відбирається від дуги, буде більшою ніж кількість теплоти, що в ній виділяється – дуга гасне.

Електричну дугу в колах змінного струму гасити простіше, ніж у колах постійного струму. Струм промислової частоти (50 Гц) 100 раз за секунду проходить через нульове значення. При нульовому значенні струму енергія в електричній дузі не виділяється. Якщо відібрати від дуги достатню кількість теплоти, то можна досягти такої деіонізації міжконтактного проміжку, при якій розірветься коло електричного струму і дуга погасне.

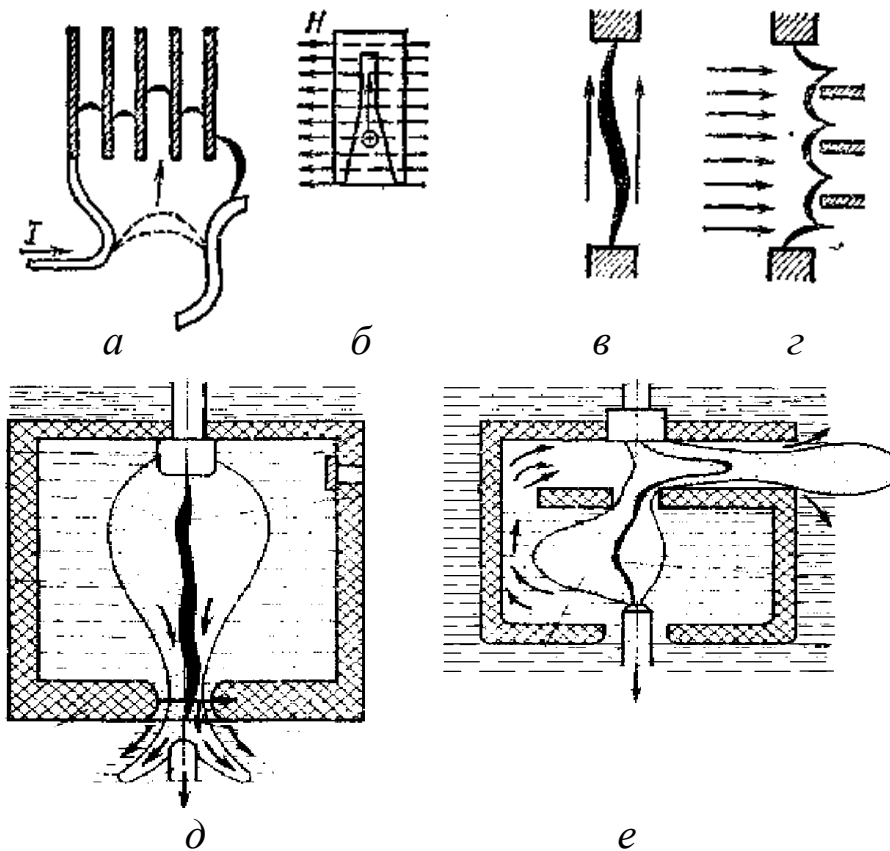
Гасіння електричної дуги змінного струму можна поділити на дві категорії: гасіння відкритої дуги і гасіння дуги в дугогасильних пристроях.

Умови гасіння відкритої електричної дуги змінного струму аналогічні умовам гасіння дуги постійного струму. В момент переходу через нульове значення відкрита дуга може погаснути. Для цього контакти розміщують так, щоб електродинамічні сили і рухомі потоки нагрітого повітря розтягували дугу. Гасіння відкритої дуги застосовують при відносно невеликій напрузі і струмах. Гасіння такої дуги забезпечується лише тоді, коли її довжина буде не меншою від деякого критичного значення.

При $U > 1000$ В, навіть при порівняно невеликих струмах, гасіння відкритої дуги утруднюється і для цього використовують спеціальні дугогасильні пристрої різних типів.

Гасіння дуги в металевих ґратках. Дуга подрібнюється, зтягується в металеві ґратки під дією електромагнітного поля, та охолоджується (рисунок 9.4, а). Застосовують в автоматичних вимикачах та контакторах напругою до 1000 В.

Гасіння дуги у вузьких щілинах із дугогасильного матеріалу (гетинаксу, фібри або вініпласту) який при підвищенні температури розкладається і виділяє газ, що не підтримує горіння дуги. Додатково відбувається інтенсивне охолодження дуги стінками вузької камери (рисунок 9.4, б). Для підсилення ефекту гасіння може застосовуватися магнітне поле, яке створюється за рахунок котушки підключеної послідовно із контактами. Такий спосіб гасіння дуги застосовують у вимикачах навантаження ВН-16, ВН-17 та ін.



a – в металевих ґратках; *б* – у вузьких щілинах; *в, г* – стисненим повітрям; *д* – у маслі, в дугогасильних камерах із поздовжнім дуттям; *е* – у маслі, в дугогасильних камерах із поперечним дуттям

Рисунок 9.4 – Способи гасіння електричної дуги

Гасіння дуги під високим тиском. Високий тиск утворюються від горіння самої дуги в щільно закритих камерах, із ростом тиску знижується іонізація газу і зростає його теплопровідність, що сприяє гасінню дуги. Такий спосіб гасіння дуги застосовують в плавких запобіжниках напругою до та понад 1000 В.

Гасіння дуги стисненим повітрям. Дуга обдувається потоком стисненого повітря вздовж (рисунок 9.4, *в*) або поперек (рисунок 9.4, *г*). Такий спосіб гасіння дуги застосовують у повітряних високовольтних вимикачах.

Гасіння дуги у маслі. Під дією високої температури трансформаторне масло в зоні дуги розкладається і утворюється газовий пухир, основним компонентом його є водень і пари масла які гасять дугу. Інтенсивність гасіння дуги підвищується також за рахунок зростання тиску всередині газового пухиря.

Чим ближче масло до дуги і чим вище швидкість його руху, тим швидше гаситься дуга. Цього досягають в спеціальних

дугогасильних камерах. Такий спосіб гасіння дуги застосовують в масляних високовольтних вимикачах (багато- та малооб'ємних).

За принципом дії розрізняють три групи дугогасильних камер:

– *камери із авто дуттям*, коли високий тиск і швидкість руху газу в зоні дуги створюється за рахунок енергії, що виділяється при взаємодії дуги і масла. Розрізняють камери із поздовжнім (рисунок 9.4, д) та поперечним дуттям (рисунок 9.4, е);

– *камери із примусовим дуттям*, коли використовуються гідравлічні пристрої, що під тиском нагнітають масло в камеру;

– *камери із магнітним гасінням в маслі* – дуга під дією магнітного поля переміщується у вузькі щілини камери, що розташована в маслі.

Гасіння дуги в елегазі. Елегаз має значно вищу електричну міцність у порівнянні із повітрям (6...9 МВ/м). Навіть при атмосферному тиску в елегазі дуга швидко гасне. Такий спосіб гасіння дуги застосовують в елегазових високовольтних вимикачах та у вимикачах навантаження.

Гасіння дуги у вакуумі. В глибокому вакуумі ($\approx 10^{-4}$ Па) дуга гасне при першому переході струму через нуль при порівняно незначних відстанях між контактами (5...15 мм). Спосіб застосовують у високовольтних вакуумних вимикачах сучасних серій.

Перелічені вище способи гасіння дуги, при застосуванні в електричних апаратах, можуть комбінуватися.

У більшості сучасних конструкцій дугогасильних пристроїв вдається досягти необхідної для гасіння дуги деіонізації при одному переході змінного струму через нульове значення.

9.3 Шини розподільних пристроїв

Всі електричні приєднання одного ступеня напруги в розподільних пристроях (пунктах) виконують за допомогою *збірних шин* – не ізольованих фазних провідників, що закріплені на ізоляторах.

В розподільних пристроях напругою вище 1000 В використовують *круглі, прямокутні та коробчасті шини*, виготовлені із міді, алюмінію або сталі. Здебільшого застосовують алюмінієві шини.

У відкритих розподільчих пристроях (ВРП) шини виконують багатодотовими сталєалюмінієвими проводами, а в закритих розподільчих пристроях (ЗРП) – плоскими алюмінієвими або мідними шинами прямокутного перерізу.

В залежності від сили струму шини збирають по одній, дві, три смуги в одному пакеті по фазі. Для кращого охолодження шин між смугами в пакеті зазор приймають рівним товщині смуги.

Коробчасті перерізи шин застосовують при струмах, які перевищують 3000 А.

Шини фази А (L1) фарбують в жовтий колір, фази В (L2) – в зелений, а фази С (L3) – в червоний.

Якщо шини мають значну довжину, то їх окремі ділянки з'єднують гнучкими перемичками – компенсаторами (рухомий нероз'ємний контакт).

9.4 Ізолятори для електричних установок

Для безаварійної роботи електричної апаратури слід забезпечити надійну ізоляцію струмопроводів між собою і відносно землі. Для виконання цих функцій та для закріплення струмоведучих частин використовують *станційні, апаратні та лінійні ізолятори*. Стійкість ізоляції визначається пробивною напругою та механічною міцністю.

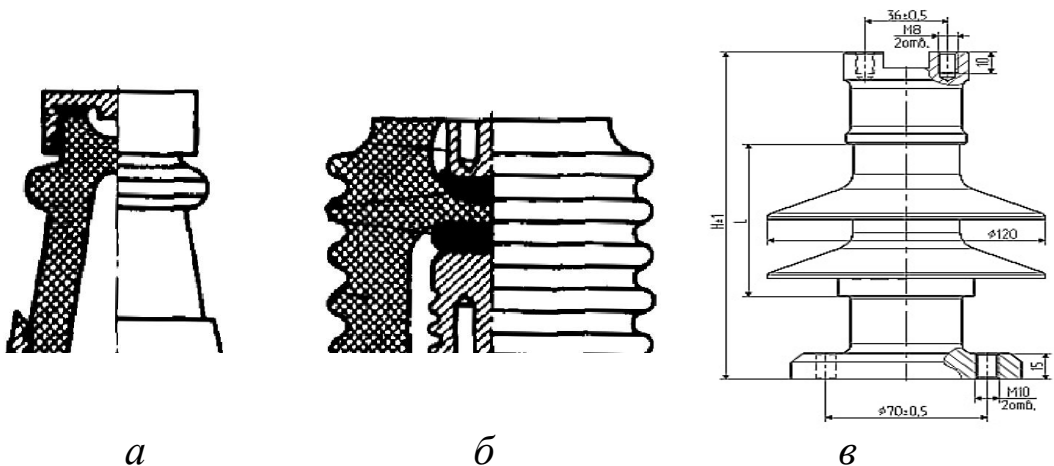
Ізолятори, які використовують для кріплення проводів повітряних ліній і шин ВРП називаються *лінійними*. Вони можуть бути штирові, або підвісні. Виготовляють лінійні ізолятори із скла, фарфору та полімерних матеріалів (склопластикова

трубка або стержень, захищена від зовнішніх впливів ребристим покриттям із кремнійорганічної гуми).

Станційні та апаратні ізолятори використовуються для кріплення та ізоляції шин або відповідних струмоведучих частин електричних апаратів. Їх поділяють на **опорні** та **прохідні**.

Для внутрішнього встановлення випускають ізолятори, розраховані на напругу до 110 кВ.

Опорні ізолятори (опорно-стержневі) ВРП типу ОФ на напругу 6...35 виготовляють із зовнішнім (рисунок 9.5, *а*) або внутрішнім (рисунок 9.5, *б*) закладенням арматури, із овальною, круглою або квадратною основою і використовують для кріплення шин та апаратів розподільних пристроїв. На даний час активно застосовуються полімерні опорні ізолятори (рисунок 9.5, *в*).



а – фарфоровий із зовнішнім закладенням арматури (ОФ);
б – фарфоровий із внутрішнім закладенням арматури (ОФ);
в – полімерний із внутрішнім склопластиковим стержнем (ОСК)

Рисунок 9.5 – Опорні стержневі ізолятори на напругу 10 кВ

ОФ-10-375-П УЗ: О – опорний; Ф – фарфоровий; клас напруги 10 кВ; мінімальне руйнівне навантаження на згинання – 3,75 кН; П – наявність арматури спеціального типу для кріплення запобіжників; УЗ – кліматичне виконання (для роботи в приміщенні).

ОСК 4-10-В02-1-УХЛ1: О – опорний; С – стержневий; К – захисна оболонка із кремнійорганічної гуми; 4 – мінімальне руйнівне навантаження на згинання – 4 кН; клас напруги 10 кВ; УХЛ1 – кліматичне виконання (для роботи на відкритому повітрі).

Опорні ізолятори розподільних пристроїв виготовляють:

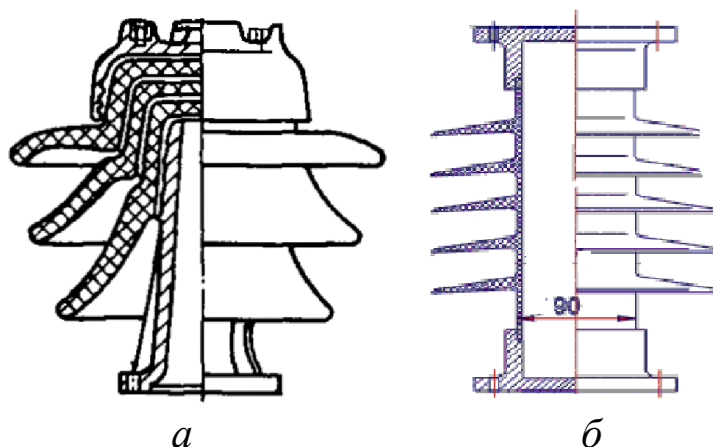
- *опорно-штировими*: типу ШН із скла на напругу до 20 кВ; типу ОНШ із фарфору на напругу 10...35 кВ (рисунок 9.6, *а*);
- *опорно-стерневими*: типу ОНС із фарфору на 10...110 кВ; типу ОС із фарфору на 20...35 кВ.

Взамін фарфорових ізоляторів застарілих серій типу ОНШ встановлюють полімерні ізолятори типу ОНШП (рисунок 9.6, *б*).

ШН-10-490 – штировий опорний ізолятор зовнішнього встановлення, мінімальне руйнівне навантаження 4,9 кН.

Із ізоляторів ОНШ-35 і ОС-35 на напругу 35 кВ збирають колонки для установок напругою 110 і 220 кВ (відповідно з трьох і п'яти ізоляторів).

У ізоляторів для ВРП для підвищення електричної міцності поверхня більш розгалужена, ніж у ізоляторів для ЗРП.

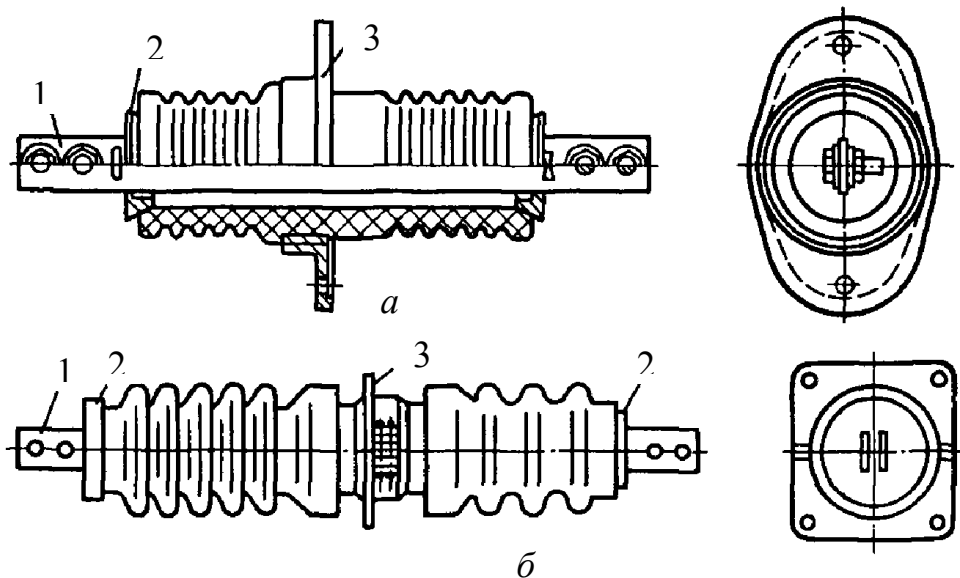


а – ОНШ-10; *б* – ОНШП-10

Рисунок 9.6 – Опорні ізолятори зовнішнього встановлення

Прохідні ізолятори для закритих та відкритих розподільних пристроїв (ЗРП та ВРП) призначені для виведення струмопровідних частин із приміщення і для прокладання шин через стіни і перекриття, для виведення струмоведучих частин із корпусів електричних апаратів та обладнання (рисунок 9.7).

ИП – найбільш поширений прохідний ізолятор на напругу 6...35 кВ і струм 400...1600 А (для внутрішнього встановлення) та 630...10000 А (для зовнішньо-внутрішнього встановлення).



a – ИП-10/1000-7,5 УХЛ2; *б* – ИП-35/1000-7,5 УХЛ2;

Рисунок 9.7 – Прохідні ізолятори

ИП-10/1000-7,5 – ізолятор прохідний на напругу 10 кВ, струм 1000 А, мінімальне руйнівне навантаження – 7,5 кН.

Якщо одна частина прохідного ізолятора працює на повітрі, а інша в маслі (трансформатори, бакові вимикачі), то його виготовляють несиметричним (частина, що призначена для роботи на повітрі має більш розвинену поверхню).

На напругу від 110 кВ і вище, і струми до 2000 А широко застосовують маслонаповнені вводи (ГМБТ-110/1000, БМП-110/1000, ГМЛБ-90-110/1000). У них порожнина між фарфором і струмопровідним стержнем заповнена трансформаторним маслом або паперово-масляною ізоляцією.

9.5 Плавкі запобіжники

Плавкий запобіжник – це найпростіший апарат захисту та комутації, який призначений для автоматичного однократного відключення електричних кіл при короткому замиканні або при тривалих перевантаженнях шляхом розплавлення нагрітої струмом **плавкої вставки**, яка представляє собою штучно послаблену

ділянку мережі. Плавка вставка нагрівається струмом, що протікає через неї, і перегоряє, коли струм перевищує допустимі значення.

Запобіжник включається послідовно в електричне коло, що захищається і складається із наступних частин: контактний стояк, патрон (корпус) із плавкою вставкою і системою для гасіння дуги.

До основних переваг запобіжників можна віднести:

- простота конструкції;
- низька вартість;
- швидке відключення електричного кола при к.з.;
- здатність до обмеження струму к.з. (деякі типи запобіжників).

Завдяки вказаним перевагам, в електричних мережах напругою до 1000 В запобіжник є одним із основних засобів захисту. В мережах напругою понад 1000 В застосовуються запобіжники напругою до 110 кВ.

До основних недоліків плавких запобіжників, які обмежують їх використання, можна віднести:

- значний розкид характеристик, що утруднює узгодження розташованих послідовно апаратів;
- можливість виникнення неповнофазних режимів роботи обладнання при перегорянні плавкої вставки в одній фазі;
- не чітка робота при перевантаженнях мережі;
- забезпечують селективність дії лише в радіальних мережах із одностороннім живленням;
- необхідність заміни плавкої вставки, що перегоріла.

Плавкі запобіжники характеризуються: номінальною напругою $U_{н.зан}$, номінальним струмом запобіжника $I_{н.зан}$, номінальним струмом плавкої вставки $I_{н.в}$ та номінальним (граничним) струмом відключення $I_{гр.відкл.}$.

Номінальний струм запобіжника $I_{н.зан}$ характеризує його корпус і контактну систему.

Номінальний струм плавкої вставки $I_{н.в}$ – струм на який розрахована плавка вставка при тривалій роботі.

До одного й того ж корпусу запобіжника можна вставити ряд плавких вставок на різні струми. Необхідно при цьому щоб виконувалася умова:

$$I_{н.в.} \leq I_{н.зан} \quad (9.2)$$

Граничний струм відключення $I_{гр.відкл.}$ – це найбільше допустиме діюче значення періодичної складової струму короткого замикання ($I_y^{(3)}$), яке може відключити запобіжник при заданих умовах.

Відключення запобіжником струмів, що перевищують допустимі значення, може призвести до руйнування корпусу та контактної системи і навіть до перекриття між фазами мережі.

Основним елементом запобіжника є **плавка вставка** – штучно послаблена ділянка електричного кола, яка перегоряє при перевищенні струмом заданого значення. Після спрацювання запобіжника необхідно вручну замінити плавку вставку.

Умовно роботу запобіжника можна розділити на три періоди:

- 1) аварійний струм нагріває плавку вставку до заданої температури t ;
- 2) плавлення плавкої вставки;
- 3) гасіння дуги.

Плавкі вставки запобіжників виготовляють із свинцю, сплавів свинцю та олова, цинку, алюмінію, міді, срібла, константану та інших матеріалів.

Щоб знизити температуру плавлення вставки використовують матеріали з низькою температурою плавлення та високою теплоємністю: свинець (327°C), свинець із оловом ($240 \dots 320^{\circ}\text{C}$) та цинк (419°C).

Плавкі вставки з цих матеріалів мають порівняно великий переріз із-за високого питомого опору матеріалу ($\rho = (0,06 \dots 0,2) \cdot 10^{-6}$ Ом·м), забезпечують значні витримки часу спрацювання при перевантаженнях і легко витримують короточасні перевантаження.

Такі плавкі вставки мають відносно великий переріз. При їх перегорянні утворюється велика кількість парів металу, що утруднює процес гасіння дуги.

Срібло і мідь мають менший питомий опір ($\rho = (0,016 \dots 0,018) \cdot 10^{-6}$ Ом·м) і більшу температуру плавлення (961 та 1083 °С відповідно), що дозволяє значно знизити переріз вставки та час її перегорання. Але малий переріз вставки веде до перегрівання корпусу запобіжника при малих перевантаженнях.

Для зниження температури плавлення вставки з тугоплавких матеріалів (міді та срібла) на вставку наплавляють олов'яні кулі (рисунок 9.7), які мають значно нижчу температуру плавлення ніж матеріал вставки. При розплавленні вони розчиняють основний метал вставки і ведуть до його інтенсивного руйнування («металургійний ефект»). Плавка вставка перегоряє при температурі, яка наближається до температури плавлення олова.

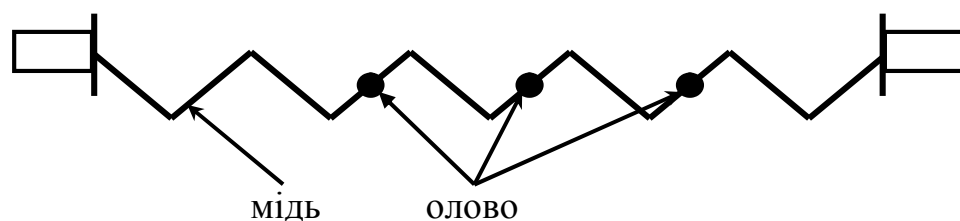


Рисунок 9.7 – Використання металургійного ефекту в запобіжниках

За умовами гасіння електричної дуги запобіжники розділяють на дві групи:

- запобіжники, що забезпечують ефект обмеження струмів короткого замикання;
- запобіжники, що не забезпечують ефект обмеження струмів короткого замикання.

Перша група запобіжників не впливає на значення стуму к.з., а лише відключає його через певний час.

В запобіжниках, що забезпечують ефект обмеження струму, розплавлення вставки та гасіння дуги відбувається раніше ніж струм к.з. досягне свого максимального значення (ударного струму).

Швидке гасіння дуги забезпечується за рахунок:

- високого тиску газів, що виділяються із корпусу запобіжника (фібра, вініпласт, поліметилакрилат та ін.) під впливом температури дуги;
- гасіння дуги в вузьких щілинах і каналах;
- за рахунок інтенсивного відведення теплоти від дуги дрібнозернистим наповнювачем (кварцовий пісок).

При короткому замиканні на затискачах запобіжників із ефектом обмеження струму к.з. в момент перегорання вставки можуть виникати комутаційні перенапруги. Для обмеження цих перенапруг застосовують ряд заходів, наприклад, використовують вставки ступінчастого перерізу (до 250 В – два звуження, до 500 В – чотири звуження перерізу вставки).

При великих струмах к.з. вставка перегоряє одночасно в кількох звужених місцях, а при малих перевантаженнях нагрівається звужена частина і тепло віддається через розширену частину в контактну систему без зайвого перегріву. В цьому випадку вставка перегоряє в місці переходу від її вузької частини до широкої.

При значних струмах к.з. вставка плавиться одразу по всій довжині. Струм у колі миттєво зникає і тому виникає перенапруга, яка пробиває міжконтактний проміжок, після чого загоряється дуга. В електричній мережі напругою понад 1000 В перенапруга може досягати до $4,5 U_n$.

Для обмеження перенапруги також застосовують плавкі вставки з кількох завитих у вигляді спіралі дротів різного перерізу. Спочатку перегоряє вставка меншого перерізу, а потім більшого.

Для цієї ж мети використовують іскровий проміжок. Спочатку плавиться неперервана (суцільна) вставка, а потім від невеликої перенапруги пробивається іскровий проміжок і плавиться наступна (паралельна) плавка вставка із проміжком.

Час спрацювання плавкої вставки в основному визначається часом її нагрівання до температури плавлення.

Очевидно, що чим більший струм, що протікає через вставку, тим менше час плавлення вставки.

Плавка вставка запобіжника характеризується захисною або часо-струмовою (ампер-секундною) характеристикою (рисунок 9.8).

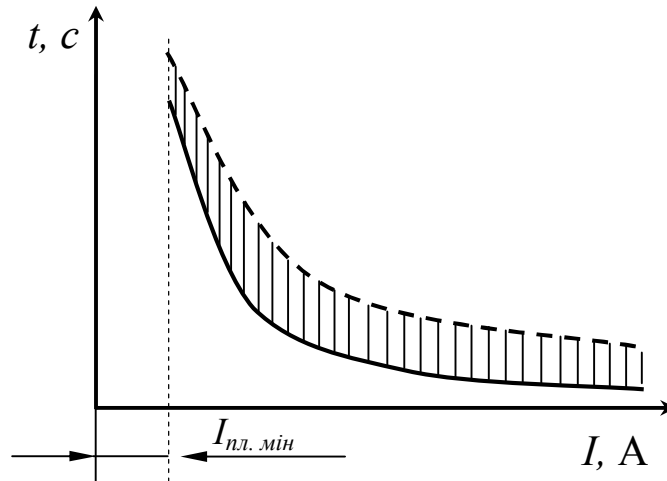


Рисунок 9.8 – Захисна характеристика запобіжника

Окрім величини струму к.з. на процес і на час перегорання плавкої вставки впливають також ряд інших факторів: температура навколишнього середовища, значення струму режиму, що передував к.з., старіння (зношення) вставки запобіжника та ін.

У зв'язку із цим характеристики запобіжників мають значний розкид, і їх необхідно зображувати у вигляді певної зони (рисунок 9.8).

9.5.1 Плавкі запобіжники напругою до 1000 В

До 1000 В застосовуються наступні основні типи запобіжників:

– запобіжники, що розбираються, із фібровими трубками: ПР1 (до 250 В); ПР2 (до 500 В);

– запобіжники з фарфоровим корпусом із кварцовим наповнювачем (піском): ПН2 (насипний, розбірний, до 1000 В); НПН2 (насипний, нерозбірний, до 1000 В).

Запобіжники типу ПР виготовляють на напругу 220 та 500 В і на струм патрону 15...1000А.

Патрон 2 запобіжника (рисунок 9.9) виготовляють із фібрової трубки з латунними обоймами 5 (із різьбою) на кінцях. Латунні обойми притискають контактні ножі 1 до яких приєднана гвинтами ступінчаста плавка вставка 3.

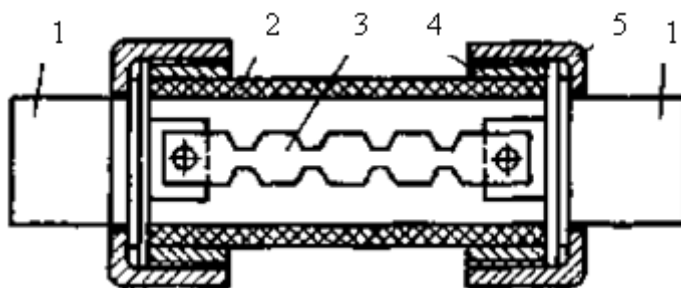


Рисунок 9.9 – Плавкий запобіжник типу ПР

Ці запобіжники забезпечують ефект обмеження струму к.з. В них електрична дуга гаситься високим тиском газів (водень та вуглекислий газ), що генеруються фібровою трубкою.

Перевагою запобіжників ПР в порівнянні із насипними запобіжниками є простота заміни вставки.

Недоліком таких запобіжників є дещо більші габарити.

Запобіжники типу ПН2 (рисунок 9.10) мають кварцовий наповнювач 5, який заповнює фарфоровий патрон 2. Патрон закривається кришками 1. Плавка вставка 6 запобіжника ПН2 виготовляється із однієї або декількох мідних стрічок які мають прорізи. На мідь напаяються кульки із олова. В електричне коло запобіжник вмикається за допомогою ножів 4.

Запобіжник ПН2 забезпечує ефект обмеження струму к.з. за рахунок розділення дуги (перегоряє одночасно декілька пластинок) і швидкого охолодження її кварцовим піском.

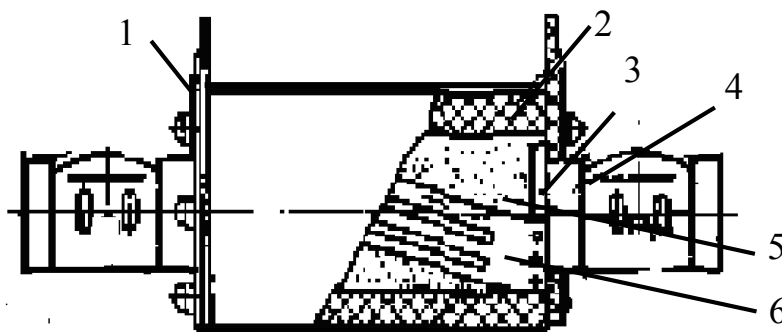


Рисунок 9.10 – Плавкий запобіжник типу ПН2

Принцип дії запобіжника НПН2 (нерозбірний) такий же як і в запобіжника ПН2. Його корпус (патрон) виготовляють із скляної трубки із латунними ковпачками. Трубка заповнена кварцовим піском в якому розташована плавка вставка із декількох мідних дротів, на які посередині напаяні олов'яні кульки. Цей запобіжник також забезпечує обмеження струму к.з.

Для сільських електроустановок промисловість випускає насипні нерозбірні запобіжники ППЗ1 на струм 32...1000 А і напругу 660В. Всі струмоведучі частини і плавка вставка запобіжника типу ППЗ1 виготовлені із алюмінію.

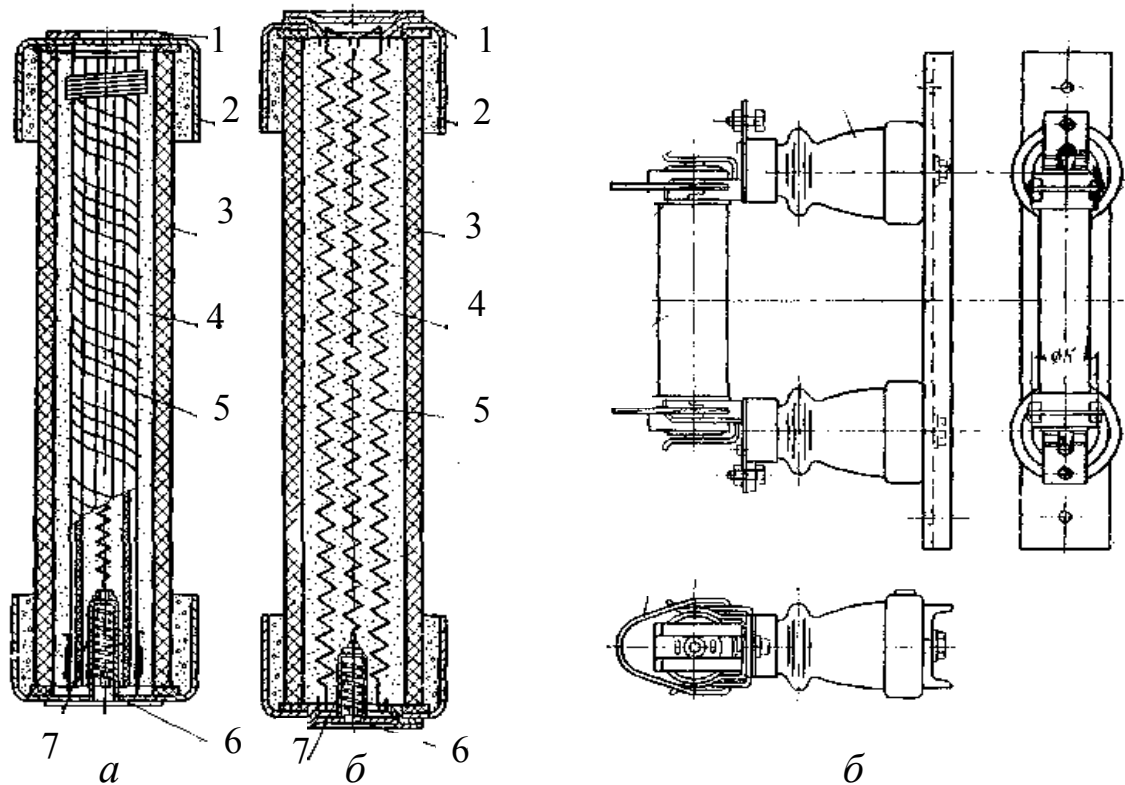
9.5.2 Плавкі запобіжники напругою вище 1000 В

В сільських електричних мережах напругою вище 1000 В застосовують запобіжники ПКТ (ПК), ПКТН (ПКТ), ПКТНУ, ПКТВ (ПС, ПСН) та ін. (в дужках вказана попередня назва запобіжника).

Найбільш поширені запобіжники ПКТ-10 на напругу 10 кВ, які встановлюють на стороні вищої напруги трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ.

Патрон 3 запобіжника ПКТ-10 (рисунок 9.11) виготовляють із фарфорової трубки із латунними ковпачками 2 та кришками 1, яка заповнена кварцовим піском 5. Плавкі вставки виготовляють із посрібленого мідного дроту, які намотані на ребристе керамічне осердя (на струм до 7,5 А). При струмах 10...400 А встановлюють паралельно декілька спіральних вставок. На плавких вставках застосовують металургійний ефект.

Про спрацювання запобіжника сигналізує покажчик 6, який викидається назовні пружиною 7. В нормальному стані покажчик утримується сталлюю вставкою, яка перегоряє вслід за робочими.



a – на струм до 7.5А; *б* – на струм 10...400 А; *в* – запобіжник ПКТ-10 у зібраному вигляді

Рисунок 9.11 – Плавкий запобіжник типу ПКТ-10 (ПК-10)

Для захисту вимірювальних трансформаторів напруги застосовують запобіжники типу ПКТ (ПК). На відміну від запобіжника ПКТ (ПК) їх плавка вставка виготовляється із константанового дроту, який намотаний на керамічне осердя.

Завдяки високому опору і малому перерізу плавкої вставки забезпечується значний ефект обмеження струму к.з.

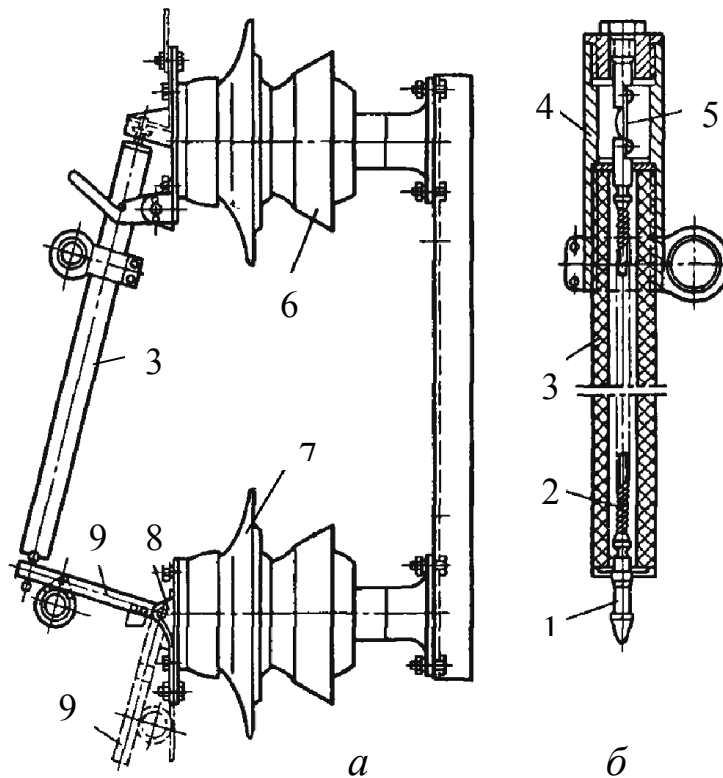
Запобіжники ПКТ мають менші габарити в порівнянні із ПКТ і не мають покажчика спрацювання.

ПКНУ – запобіжник аналогічний ПКТ, але підсилений і розрахований на відключення к.з. необмеженої потужності.

Технічні характеристики запобіжників наведено в додатку Е.

Запобіжники типу ПКТ (ПК) (рисунок 9.12), вихлопні (стріляючі), виготовляють на напругу 10...110 кВ. Вони призначені для встановлення у відкритих розподільчих пристроях.

В сільських електричних мережах також застосовуються запобіжники ПКТ-35 (ПК-35) на напругу 35 кВ для захисту силових трансформаторів напругою 35/10 кВ.



a – запобіжник у зібраному вигляді; *б* – патрон запобіжника

Рисунок 9.12 – Плавкий запобіжник типу ПВТ (ПС)

Патрон запобіжника має металевий патрубок 4, в металевий патрубок встановлена трубка 3 із газогенеруючого матеріалу (вініпласт). Плавка вставка 5 виготовляється із посрібленого мідного дроту із олов'яною кулькою. Паралельно до основної вставки розміщена стальна вставка. Одним кінцем стальна вставка закріплена до металевого патрубку, а іншим – до гнучкого зв'язку 2. При перегорянні плавкої вставки (мідної і сталльної) поводок витягується із трубки підпружиненим важелем 9 за наконечник 1. В трубці створюється високий тиск газів, які, в свою чергу, створюють після виходу гнучкого зв'язку із каналу потужне поздовжнє дуття, яке деформує і гасить дугу.

В модернізованих запобіжниках ПВТ-35 МУ в металевий патрубок вмонтований мідний клапан, що закриває поперечний отвір для дуття. При гасінні великих струмів к.з. тиск газу достатній для спрацювання клапану і створення поперечного дуття. При гасінні дуги із незначними струмами клапан не спрацьовує і гасіння дуги відбувається за рахунок високого тиску в патроні.

Запобіжник ПВТ не забезпечує ефект обмеження струму к.з., так як дуга гасне при першому переході струму через 0.

На сьогодні на базі запобіжників ПВТ розроблені і застосовуються на підстанціях керовані запобіжники на напругу 35 та 110 кВ, наприклад запобіжник УПС-35.

Гнучкий зв'язок 2 запобіжника УПС-35 з'єднаний із плавкою вставкою 5 не жорстко а через контактну систему, яка забезпечує механічне розривання кола плавкої вставки під впливом привода при спрацюванні релейного захисту. При значних струмах к.з. плавка вставка запобіжника перегоряє раніше ніж спрацює релейний захист. Існують також варіанти керованих запобіжників без плавкої вставки.

9.6 Автоматичні вимикачі

Автоматичний повітряний вимикач (автомат) – це захисний та комутаційний апарат, який застосовується в електричних мережах напругою до 1000 В для захисту їх від струмів к.з., струмів перевантаження, зниження напруги в мережі а також для нечастого вимикання і вмикання електричних мереж (не більш як 2-3 рази на годину). Гасіння дуги в автоматичних вимикачах відбувається в повітрі, тому їх називають повітряними.

Основними елементами автоматів є контакти із дугогасильною системою (камерою), привод із механізмом вільного розчеплення, розчіплювачі та допоміжні контакти. Всі вузли автоматів розміщуються у корпусі із ізоляційного матеріалу.

Переваги автоматів:

– застосування трифазних автоматів замість плавких запобіжників виключає можливість виникнення неповнофазних режимів роботи мережі;

– автомати не потребують заміни елементів після відключення струму к.з. або перевантаження;

– забезпечують надійний захист мереж при перевантаженні.

Автоматичні вимикачі характеризуються: номінальною напругою $U_{н.авт}$ та номінальним струмом автомата $I_{н.авт}$, номінальним струмом розчіплювачів $I_{н.р.}$, граничним струмом відключення $I_{гр.відкл.}$, допустимою кількістю комутацій на годину.

На рисунку 9.13 наведено схему автоматичного повітряного вимикача (положення «відключено») із основними елементами.

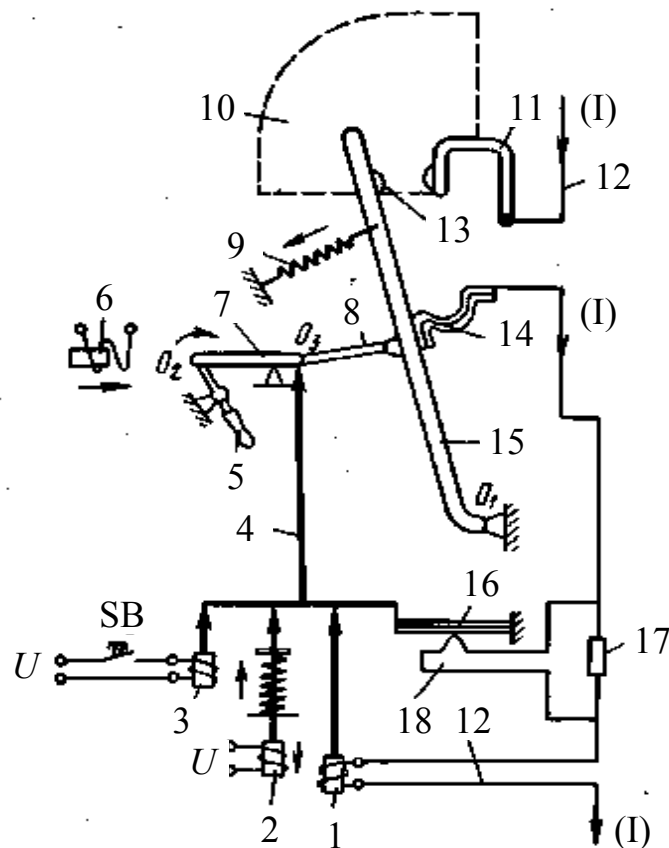


Рисунок 9.13 – Схема та основні елементи автоматичного вимикача

При вмиканні вимикача вручну (рисунок 9.13) повертають важіль 5 за часовою стрілкою. При цьому зусилля через важелі 7 та 8 механізму вільного розчеплення передається контактному важелю 15, який переміщується і зводить пружину відключення 9 та замикає контакти 13, через які протікає струм I .

При автоматичному або дистанційному відключенні вимикача під дією будь-якого із розчіплювачів (1– максимальний

електромангітний, 2 – мінімальної напруги, 3 – незалежний, 16 – тепловий) через тягу 4 «зламуються» важелі 7 та 8, під дією пружини 9 повертається контактний важіль 15 і контакти 13 розмикаються.

Розчіплювачами називають електромагнітні або термобіметалічні механізми, які контролюють заданий параметр мережі і спрацьовують коли він досягає певного, встановленого раніше, значення.

В автоматичних вимикачах використовуються електромагнітні, теплові, незалежні, мінімальної напруги, напівпровідникові та інші типи розчіплювачів.

Електромагнітний розчіплювач – це електромагніт, який при зростанні струму в обмотці (котушці) до недопустимих величин (перевантаження або к.з.) миттєво притягує або виштовхує (в залежності від конструкції) феромагнітний якір, внаслідок чого звільнюється заскочка і відбувається спрацьовування вимикача.

В автоматичних вимикачах широко використовуються **максимальні струмові розчіплювачі** 1 (рисунок 9.13), які забезпечують швидке (до 0,02 с) відключення автомата внаслідок протікання струму к.з. в колі що захищається. Електромагнітний розчіплювач може бути забезпечений механізмом витримки часу.

Незалежний електромагнітний розчіплювач 3 призначений для дистанційного відключення автомата.

Електромагнітний розчіплювач мінімальної напруги 2 (нульовий розчіплювач) контролює зникнення напруги в мережі або її зниження нижче встановленого рівня. Його можна використовувати також в якості незалежного розчіплювача.

Тепловий розчіплювач (термобіметалевий) – елемент аналогічний тепловому реле. Він складається із нагрівального елемента 18 і біметалевої пластини 16 (рисунок 9.13). Тепловий розчіплювач призначений для розмикання мережі при перевантаженні.

Теплові розчіплювачі мають значну теплову інерцію і тому не можуть забезпечити необхідної швидкості спрацювання при к.з. Найбільш часто теплові розчіплювачі використовуються в комплекті із електромагнітними (*комбінований розчіплювач*).

Для покращення захисту від однофазних коротких замикань (підвищення чутливості захисту), в сільських електричних мережах застосовують автоматичні вимикачі із електромагнітним *розчіплювачем в нульовому проводі*. Струм спрацювання такого розчіплювача зазвичай менший ніж розчіплювачів у фазних проводах.

В автоматах, що розраховані на незначні струми встановлюють одну пару контактів на фазу. При відключенні значних струмів к.з. в автоматах застосовують дві пари контактів на фазу – головні та дугогасні.

Для покращення умов гасіння дуги використовують дугогасильні камери із стальними (мідними) пластинами, поздовжньо-щілинні та лабіринтно-щілинні камери із електромагнітами для магнітного дуття.

Найбільш поширеними є автоматичні вимикачі наступних серій: АЕ-1000, АЕ-2000; АП-50Б (замість знятого АП-50); А-3700 – на струм до 630 А, АК-50, АК-63, ВА51, ВА52, ВА57, ВА61, ВА88, ВА99, АВ53 та ін.

Конструктивні особливості автоматичних вимикачів розглянемо на прикладі вимикача серії А3700 (рисунок 9.14).

Контактна система автомата включає головні контакти 8, які зв'язані із механізмом вільного розчеплення та контакти 7, які забезпечують обмеження струму к.з.

Контакти 7 при струмі к.з. в декілька кА під впливом електродинамічних зусиль розмикаються за час 10...15 мкс, тобто розмикаються до спрацювання електромагнітного розчіплювача максимального струму.

Термічна стійкість контактів забезпечується металокерамічними пластинами 9.

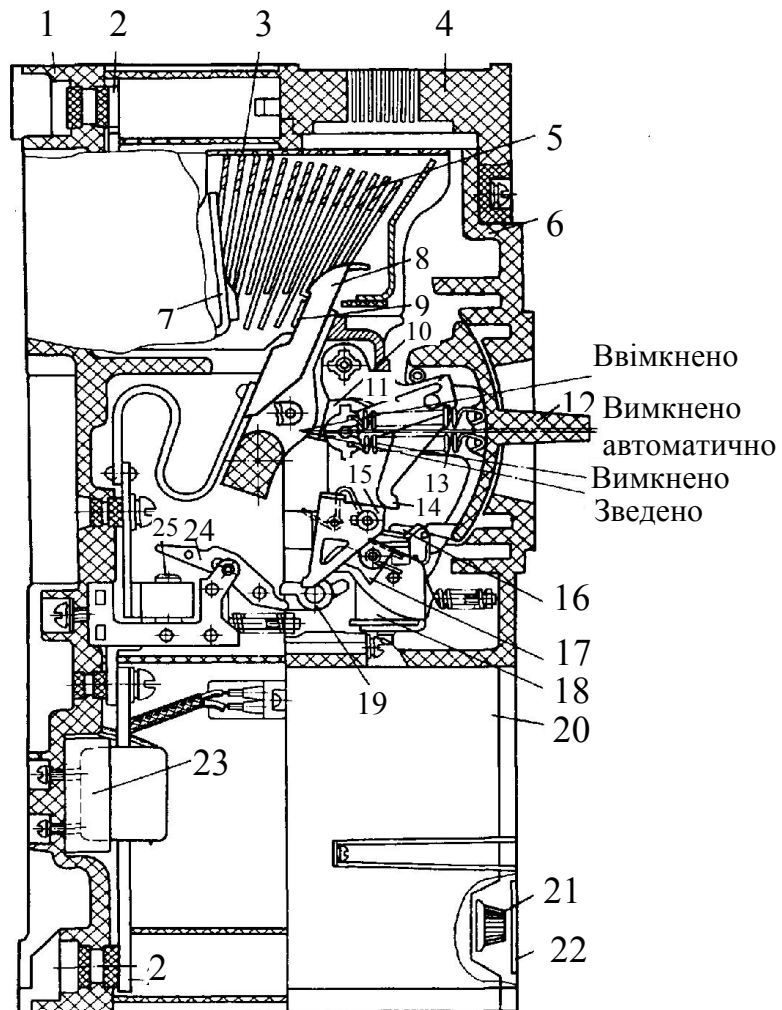


Рисунок 9.14 – Автоматичний вимикач серії А3700

Рукоятка автомата 12 має чотири положення: «включено», «відключено автоматично», «відключено вручну», «зведено».

Автомат А3700 має напівпровідниковий розчіплювач 20, який забезпечує відключення автомата при к.з. із залежною витримкою часу. Джерелом інформації про струм в мережі є трансформатор струму 23.

Напівпровідниковий розчіплювач спрацьовує (подає команду на незалежний розчіплювач) тоді коли струм к.з. недостатній для спрацювання електромагнітного розчіплювача, але перевищує уставку спрацювання напівпровідникового розчіплювача.

Автомати серії АП-50Б (АП-50) (П – пускові) на струм до 63 (50) А широко застосовуються для запуску та захисту асинхронних двигунів. Вони призначені для захисту мереж і електродвигунів від к.з. та перевантажень. Допускають 6...30 циклів «включення-відключення» на добу. Автомати АП мають кнопкове керування.

Автомати ВА51, ВА52 виготовляють на струм 16...630 А. Вони застосовуються для захисту мереж від струмів к.з. та перевантаження, від недопустимого зниження напруги а також для не частих (до 6 на добу) оперативних комутацій мережі.

При виробництві автоматичних вимикачів нових серій (ВА88, ВА99) використовують нові сучасні електротехнічні матеріали, які підвищують зносостійкість та надійність апаратів. Підсилюється їх контактна система, змінюється форма контактів та підвищується надійність механізму керування.

9.7 Роз'єднувачі

Роз'єднувачами називають комутаційні апарати, які використовують для вмикання і розмикання електричних кіл напругою вище 1000 В без струму і для забезпечення безпеки при виконанні робіт в електричних установках шляхом створення видимого розриву кола у повітрі.

За умовами техніки безпеки, при ремонті та обслуговуванні обладнання розподільчих пристроїв, в струмопровідних частинах електроустановки з усіх боків, звідки може бути подана напруга, необхідно створити видимий розрив. Ця вимога здійснюється роз'єднувачем (рисунок 9.15).

Контактна система роз'єднувачів не має дугогасильного пристрою і тому в разі помилкового відключення їх під струмом навантаження виникає стійка дуга, що може привести до аварії в розподільчому пристрої.

В окремих випадках роз'єднувачами можна вимикати при відсутності навантаження (неробочий хід) силові трансформатори і вимірювальні трансформатори напруги, а також дуже незначні струми навантаження (до 15 А при напрузі ≤ 10 кВ).

Для виведення в ремонт ПЛ 10 кВ необхідно виконати операції в заданій послідовності:

- відключити вимикач – Q;
- відключити лінійний роз'єднувач QS1;
- відключити лінійний роз'єднувач QS2.

Для введення ПЛ 10 кВ в роботу операції виконують в зворотній послідовності.

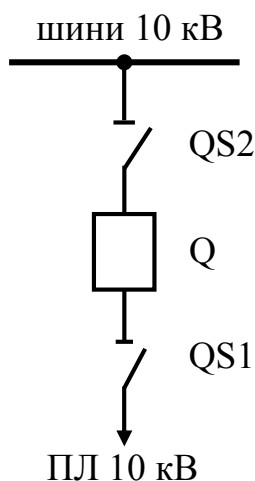


Рисунок 9.15 – Комірка відхідної лінії 10 кВ

Роз'єднувачі повинні забезпечувати електродинамічну та термічну стійкість при протіканні через них струмів к.з., чітке вмикання та вимикання при найгірших умовах роботи (відкладення ожеледі, снігу та ін.), необхідну механічну міцність, повинні виключати можливість довільного відключення.

За місцем установлення розрізняють: роз'єднувачі внутрішнього і зовнішнього встановлення; за кількістю полюсів – одно-, дво- і триполюсні; за напрямком руху контактів – втичні (штепсельні), горизонтально- і вертикальноповоротні; із заземлюючими ножами та без них.

В роз'єднувачах серії РВ (В – внутрішнього встановлення) (рисунок 9.16) на загальній металевій рамі 4 скомплектовані три однополюсні роз'єднувачі з загальним валом і приводним важелем 3 для трьох полюсів.

Нерухомі контакти 1 представляють собою зігнуті під кутом 90° мідні шини. Ножі кожної фази (рухомі контакти) виготовлені із двох

пластин, які при замиканні охоплюють нерухомі контакти. Тиск в контактах забезпечується за рахунок пластинчастих фігурних пружин.

Для запобігання довільного розмикання контактів роз'єднувача внаслідок електродинамічної дії струмів к.з. використовують магнітний замок – дві сталеві пластини, закріплені ззовні на кінцях ножа. Роз'єднувачі типу РВ здебільшого мають ручний привід типу ПР.

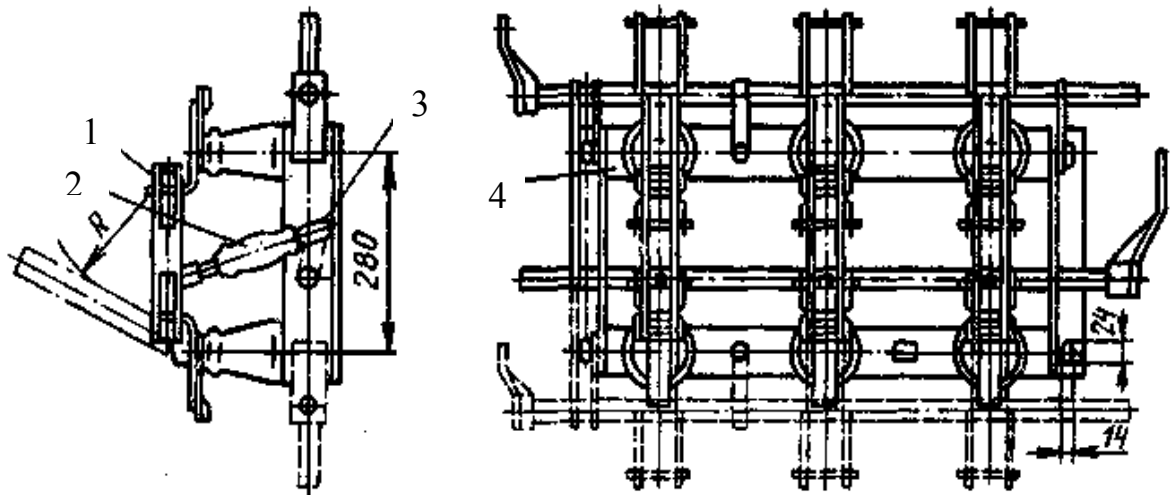


Рисунок 9.16 – Роз'єднувач внутрішнього встановлення РВ3-10/400

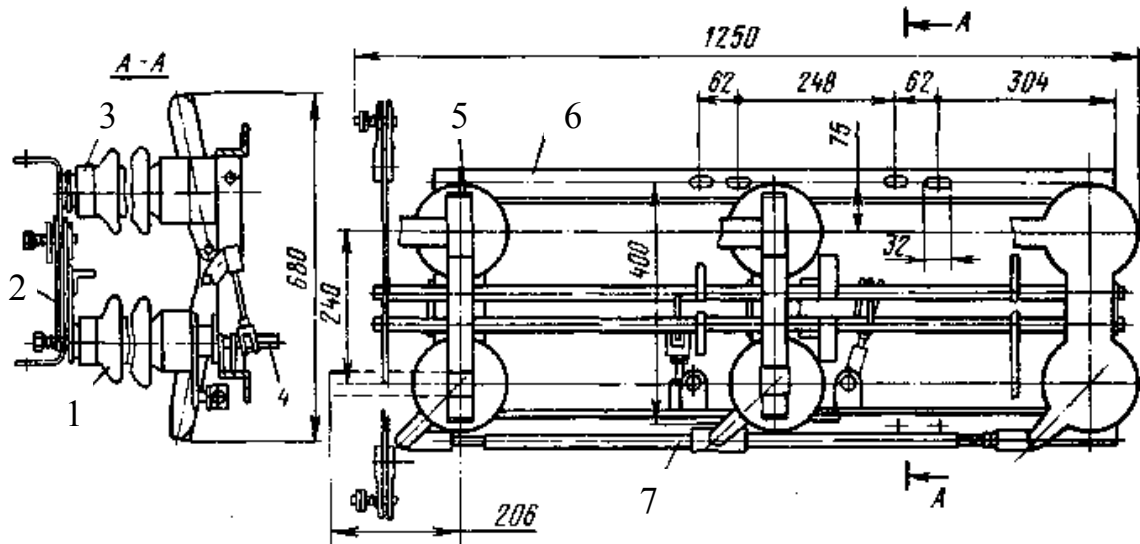
Роз'єднувачі зовнішнього встановлення повинні мати підвищену механічну міцність, щоб забезпечити без великих зусиль приводу руйнування ожеледі в місцях розходження контактів і рухомих частин роз'єднувача. Ізоляція цих роз'єднувачів повинна також відповідати умовам роботи на відкритому повітрі в несприятливих умовах (розвинена ребриста поверхня ізоляторів).

РЛНД-10/400 (рисунок 9.17): Р – роз'єднувач; Л – лінійний, Н – зовнішнього встановлення, Д – двоколодковий; з мідними ножами; номінальна напруга $U_n = 10$ кВ; номінальний струм $I_n = 400$ А.

Роз'єднувач РЛНДА-10 аналогічний за конструкцією із роз'єднувачем РЛНД-10, але він має алюмінієві контактні ножі. Виготовляються роз'єднувач РЛНДА-10 на струм 200, 400 та 630 А.

Ножі вказаних роз'єднувачів закріплені на нерухомих опорних ізоляторах і при повороті входять між ламелей нерухомих контактів, які також закріплені на опорних ізоляторах.

В сільських електричних мережах також застосовуються роз'єднувачі типу РЛНТ-10. Роз'єднувач лінійний, зовнішнього встановлення із трьома опорними колонками (ізоляторами). Він забезпечує два розриви на фазу. Роз'єднувач може комплектуватися одним або двома заземлюючими ножами.



1 та 3 – опорно-ізоляційні колонки; 2 – головні ножі; 4 – вал приводу; контактний вивід; 6 – рама; 7 – тяга

Рисунок 9.17 – Роз'єднувач зовнішнього встановлення РЛНД-10/400

У відкритих електроустановках напругою 35...500 кВ використовують роз'єднувачі типу РНД або РНДЗ (із заземлюючими ножами) наприклад РНД-35/1000; РНДЗ-110/1000. Ці роз'єднувачі мають по два рухомі ізолятори на фазу і відповідно два рухомих напівножі, що спрощує розмикання мережі.

До сучасних комутаційних апаратів відноситься трипозиційний роз'єднувач типу РТЭ із елегазовою ізоляцією (рисунок 9.18) на струм 630 та 1000А.

Роз'єднувач РТЭ складається із герметичного корпусу, всередині якого знаходиться контактна система, що має три положення: «увімкнено», «вимкнено» та «заземлено». Корпус роз'єднувача заповнений елегазом із надлишковим тиском близько 0,5 кгс/м². Застосовуються ручний привод або ручний привод із попередньо заведеною пружиною.

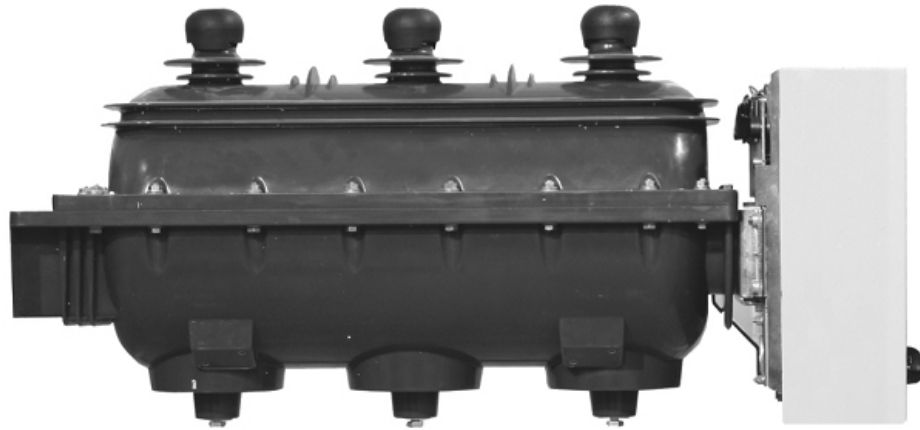


Рисунок 9.18 – Роз'єднувач РТЭ із елегазовою ізоляцією

Для роз'єднувачів із заземлюючими ножами є важливим виключити замикання головних контактів при замкнутих заземлюючих. З цією метою їх комплектують механічним блокуванням. Крім того, також використовується механічне або електромагнітне блокування, яке унеможлиблює замикання контактів роз'єднувача, якщо ввімкнений високовольтний вимикач, що встановлений з ним послідовно.

9.8 Вимикачі навантаження

Вимикачі навантаження представляють собою прості автогазові вимикачі. Їх використовують в електричних установках невеликої потужності напругою 6 та 10 кВ для вмикання і вимикання струму навантаження. Вимикачі навантаження не призначені для комутації струмів короткого замикання. Ці функції в деяких типах вимикачів навантаження можуть виконувати запобіжники, що підключені послідовно із контактами вимикача. Іноді ці вимикачі також називають *роз'єднувачами потужності*.

Найбільш поширені вимикачі навантаження типу ВН-16 (ВН-17) на напругу 10 кВ. При вимиканні дуга гаситься в дугогасильній камері із газогенеруючого матеріалу (оргскло).

Вимикачі ВН-16 та ВН-17 виготовляють на базі роз'єднувача типу РВ-10/400 (рисунок 9.19). Роз'єднувач, крім робочих контактів 3, додатково комплектується дугогасильними контактами 1 (рисунок 9.19), дугогасними камерами 5, пружинами вимикання 9 і буфером 10. У вимикачах ВНП-16 та ВНП-17, для захисту силових кіл від струму к.з., послідовно із контактами встановлюються запобіжники 4.

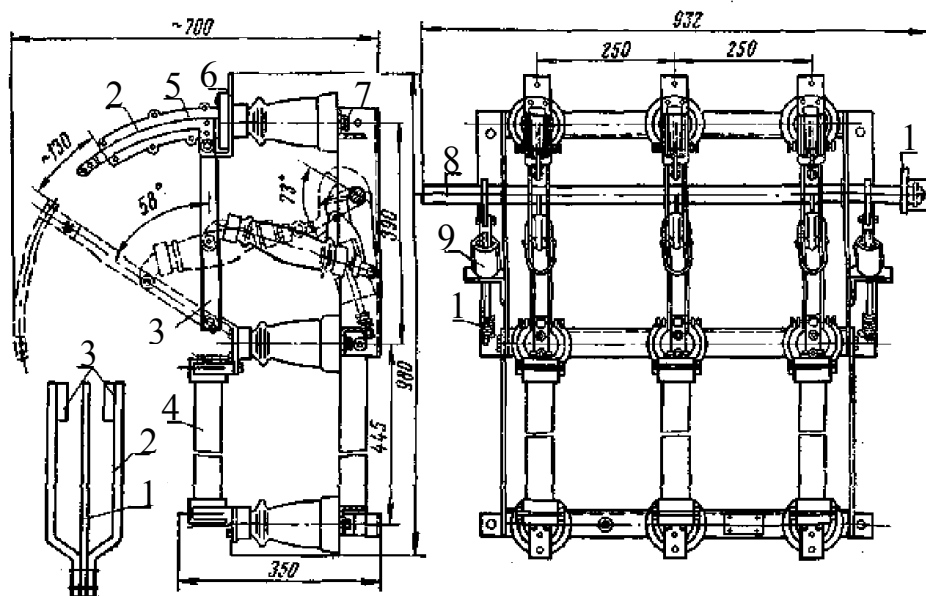


Рисунок 9.19 – Вимикач навантаження ВНП-16 (ВНП-17)

Вимикачі навантаження, також як і роз'єднувачі, можуть комплектуватися заземлюючими ножами.

Необхідна швидкість розмикання контактів вимикача забезпечується двома пружинами відключення 9.

При перегорянні вставки одного запобіжника живлення споживачів, що приєднані за вимикачем навантаження, буде неповнофазним. Цей недолік усунуто у вимикачі ВНП-17 (ВНТ-17), який вимикається спеціальним автоматичним пристроєм після перегорання хоча б одного запобіжника.

Для керування вимикачами навантаження можна використати електромагнітний привід ПЭ-11С, а керування ножами заземлення здійснюють ручним приводом ПР-10.

На даний час в електричних мережах, окрім розглянутих вище, використовують наступні вимикачі навантаження:

ВНВ-10/320; ВНА-Л-10/630, ВНР-10/400, ВНР-10/630, ВНП-Д-10/630, ВНП-10/400, ВНП-М1-10/630.

Більшість із вказаних вимикачів мають вмонтований пружинний привод, який дозволяє використовувати їх для реалізації елементів автоматизації мереж.

До сучасних вимикачів навантаження також відноситься трипозиційний вимикач ВНТЭ із елегазовою ізоляцією (рисунок 9.20) на струм 630 та 1000А.

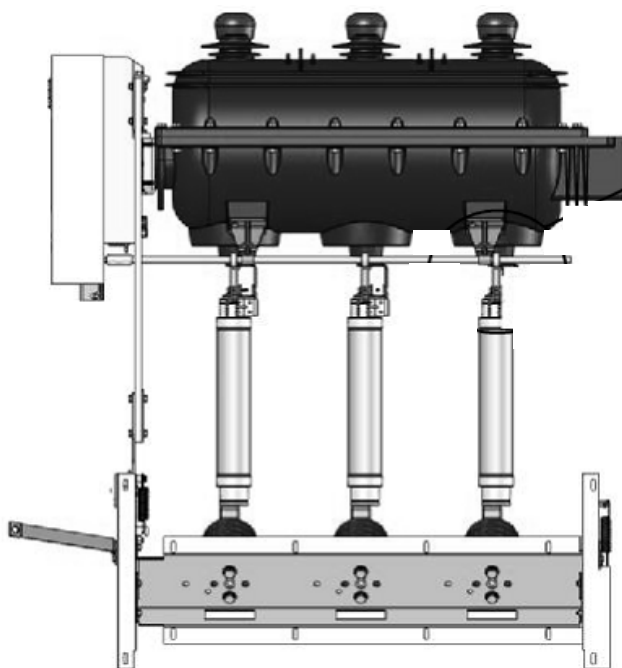


Рисунок 9.20 – Вимикач навантаження ВНТЭ із елегазовою ізоляцією

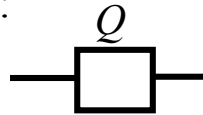
Вимикач навантаження ВНТЭ має конструкцію аналогічну до роз'єднувача РТЭ. Для захисту силових кіл від струмів к.з. вимикач додатково обладнаний плавкими запобіжниками, що включені послідовно із головними контактами.

9.9 Високовольтні вимикачі

Високовольтні вимикачі – це основні комутаційні апарати, що використовуються у високовольтних установках. Їх

використовують у високовольтних розподільних установках для вмикання і вимикання електричних кіл в усіх режимах роботи мережі – без навантаження, зі струмом навантаження і при струмах перевантаження та к.з. Найбільш тяжким режимом роботи високовольтних вимикачів є відключення струмів короткого замикання.

В електричних схемах високовольтні вимикачі позначаються наступним чином:



- До високовольтних вимикачів висувають наступні вимоги:
- надійне відключення струмів, як мінімальних так і струмів к.з.;
 - тривала робота в режимі номінального струму та напруги;
 - стійкість до термічної та динамічної дії струмів к.з.;
 - ефективно та швидко гасіння дуги;
 - малий час відключення;
 - можливість застосування для автоматики мереж;
 - зручність при експлуатації;
 - вибухо- та пожежобезпечність.

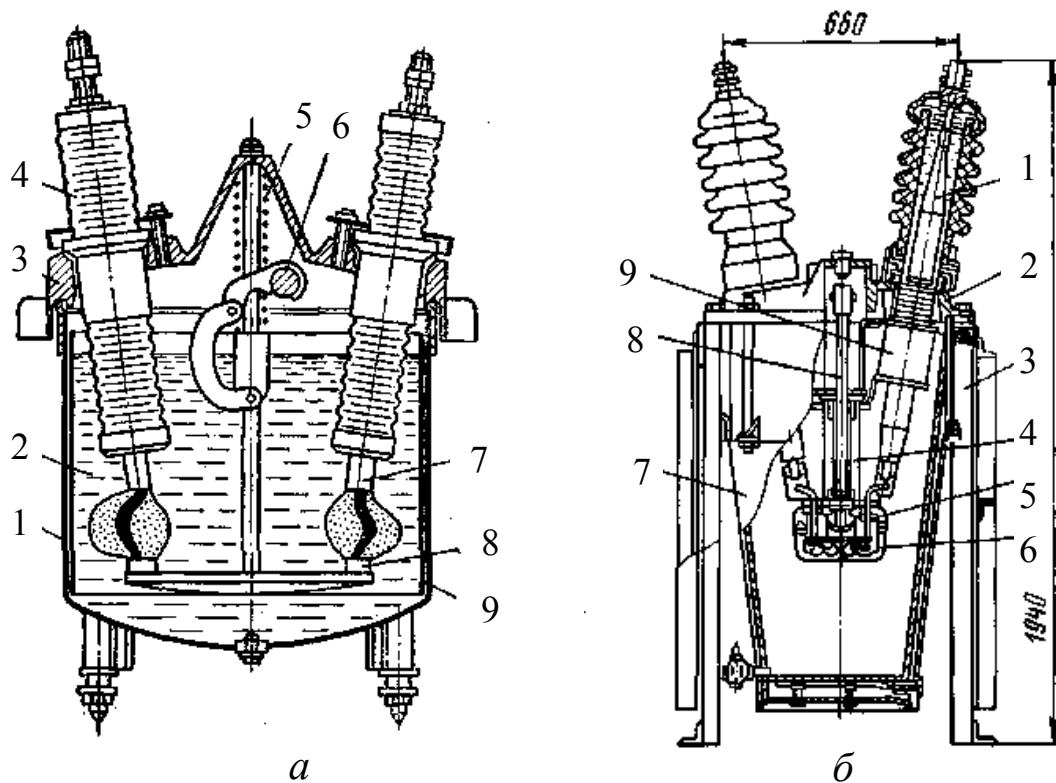
До основних конструктивних елементів високовольтного вимикача відносяться: корпус, контактна система із пристроєм гасіння дуги, струмоведучі частини, ізоляційна конструкція та механізм приводу контактів.

В залежності від середовища для гасіння дуги високовольтні вимикачі розділяють на: **масляні** (багатооб'ємні та малооб'ємні) та **безмасляні** (повітряні, електромагнітні, елегазові та вакуумні).

Масляні багатооб'ємні вимикачі (бакові). Контакти багатооб'ємного (бакового) масляного вимикача занурені у трансформаторне масло (рисунок 9.21).

Під дією високої температури електричної дуги масло розкладається, виділяючи газ, в якому дуга швидко гасне.

У багатооб'ємних вимикачах напругою 10 кВ усі три фази розміщені в одному баку (рисунок 9.21, а), а у вимикачах напругою 35 кВ і вище для кожної фази відведено окремий бак (рисунок 9.21, б).



a – схематичне зображення вимикача напругою 10 кВ;
б – вимикач напругою 35 кВ С-35-630-10

Рисунок 9.21 – Масляний багатооб’ємний (баковий) вимикач

Масло в бакових вимикачах призначене не тільки для гасіння дуги, а й для ізоляції струмопровідних частин.

Для секціонування сільських розподільчих мереж раніше виготовлялися бакові масляні вимикачі зовнішнього встановлення типу ВС-10 ($U_n = 10\text{кВ}$).

Вимикач складається із баку 1 (рисунок 9.21, *a*), який зсередини ізольований електротехнічним картоном 9 і закритий чавунною кришкою 3. Ввід і вивід здійснюється через фарфорові ізолятори 4 (по 2 на кожну фазу), всередині яких проходять струмопровідні стержні. На кінцях цих стержнів закріплені нерухомі контакти 7 із металокерамічною напайкою. На траверсі, що переміщується вниз і вгору, кривошипно-шатунним механізмом 6 та штангою 10 розміщуються рухомі контакти 8. Коли траверса перебуває вгорі, рухомі контакти притискуються до нерухомих. При вимиканні кола траверса з рухомими контактами під дією пружини 5 з великою швидкістю переміщуються вниз, утворюючи

по два розриви на кожен фазу. Виникає дуга. Під дією високої температури масло 2 в зоні дуги розкладається і утворюється газовий пухир. Основним його компонентом є водень, який добре гасить дугу.

Бакові вимикачі напругою 35 кВ (рисунок 9.21, б) мають додатково в кожній фазі, вмонтовані послідовно із нерухомими контактами 5, трансформатори струму 9. Контактна система вимикача розташована у рухомій дугогасильній камері 6 із поперечним дуттям.

Основні переваги бакових вимикачів: низька вартість, наявність вбудованих трансформаторів струму та проста конструкція.

Недоліки: бакові вимикачі пожежо- та вибухонебезпечні; їх необхідно розміщувати в окремих, повністю ізольованих від інших апаратів, камерах з дверима; мають великий об'єм масла (десятки літрів); розраховані на роботи при досить незначних струмах; мають значні експлуатаційні витрати; незручні у монтажі; потребують систематичного контролю за рівнем та якістю масла під час експлуатації та ін.

Технічні характеристики бакових вимикачів напругою 10 кВ:

BC-10-63-2,5;

BC- 10- 32-0,8;

$U_n = 10$ кВ;

$U_n = 10$ кВ;

$I_n = 63$ А;

$I_n = 32$ А;

$I_{n.відкл} = 2,5$ кА – струм вимикання; $I_{n.відкл} = 0,8$ кА.

Незважаючи на значні недоліки багатооб'ємних масляних вимикачів вони ще широко використовуються у відкритих розподільних установках.

На сьогодні використовують бакові вимикачі наступних серій: ВМБ-10; ВМН-6; ВМН-10; BC-10-63-2,5 BC-35; ВМ-35; ВБ-35; МКП-35-1000-25; С-35-3200-50; ВТ-35-800-12,5; ВТД-35-800-12,5 та ін.

Масляні малооб'ємні (горшкові) вимикачі. Багатооб'ємні масляні вимикачі на сьогодні значно витіснені

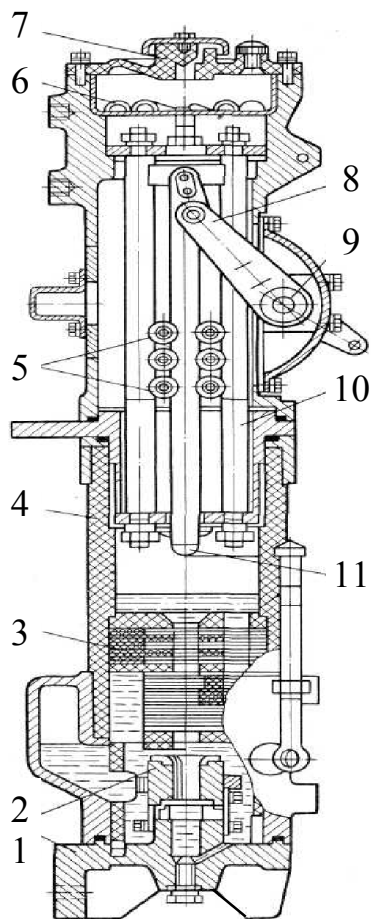
малооб'ємними (горшковими) вимикачами. В останніх масло є лише середовищем для гасіння дуги. Об'єм масла в них у десятки і навіть сотні разів менший, ніж у бакових (для вимикачів напругою 10 кВ – 1...12 літрів на полюс). Такі вимикачі можуть витримувати значний тиск і тому вони менше пожежо- і вибухонебезпечні в порівнянні із баковими, їх розміщують поряд із іншим устаткуванням підстанції, вони мають менші габарити. Гасіння дуги в малооб'ємних вимикачах відбувається в маслі в спеціальних дугогасильних камерах із діелектричного матеріалу.

На трансформаторних підстанціях та розподільних пунктах експлуатують малооб'ємні (горшкові) вимикачі таких типів: ВПМ-10-20/1000 (попередня назва ВМГ-10); ВМП-10; ВМ-10-630 (попередня назва ВММ-10); ВМПЭ-10 -1600-31,5; ВК-10-1600-31,5 (колонковий); ВКЭ-10-3165/1600 та ін.

В малооб'ємних масляних вимикачах кожна фаза вмикається і вимикається окремо. Горшкові баки закріплені на фарфорових ізоляторах, що розміщені на сталевій рамі. Таким чином усі три полюси вимикача ізольовані один від одного і від землі. Конструкція вимикача ВМП-10 представлена на рисунку 9.22.

Вимикач ВМП-10 виготовляють на струм 630, 1000 та 1600А (ВМП-10К). Для керування ним використовують електромагнітний привод постійного струму ПЭ -11 або пружинний привод ПП-67.

У включеному положенні кінець контактної стержня 11 знаходиться в розетці нерухомого контакту 2. При відключенні привод вимикача вивільняє пружину відключення, під її дією повертається головний вал і через систему тяг та важелів рух передається до рухомого контактної стержня 11. Останній переміщується вгору і в нижній частині полюса вимикача з'являється електрична дуга, яка розкладає масло. На початку свого руху стержень закриває поперечні канали дугогасильної камери 3 – тиск в камері зростає. Через деякий час рухомий контакт (стержень) відкриває перший поперечний канал, створюється газове поперечне дуття через дугу. Під тиском газу викидаються у верхню частину бака.



- 1 – нижня металева частина баку;
- 2 – розетковий контакт (нерухомий);
- 3 – дугогасильний пристрій (камера);
- 4 – корпус баку із склопластику;
- 5 – роликові контакти;
- 6 – масловіддільник;
- 7 – кришка;
- 8 – система важелів;
- 9 – вал;
- 10 – направляючі;
- 11 – рухомі контакти.

Рисунок 9.22 – Розріз полюса вимикача ВМП-10

По мірі руху контактного стержня дуга розтягується, при цьому відкриваються другий і третій поперечні канали. При проходженні струму через нуль дуга гасне і стиснене повітря нагнітає в зону дуги масло. Дуга гасне.

Вимикач типу ВМ-10 (320; 400; 630; 1000А) має вмонтований пружинний привід з повним комплектом захисту на оперативному змінному струмі.

В КРП в яких обладнання розміщується на викатник візках використовують спеціальні вимикачі колонкового типу, наприклад, ВК-10-1600-31,5. У вимикачів ВК-10, з метою збільшення терміну експлуатації, поверхню рухомого і нерухомого розеткового контактів покривають дугостійкою керамікою. Об'єм масла – 5 літрів на один полюс вимикача.

Перелічені вимикачі розповсюджені на трансформаторних підстанціях напругою 110/35/10, 110/10 та 35/6-10 кВ.

Малооб'ємні масляні вимикачі напругою 35 кВ мають аналогічну конструкцію із розглянутими вище вимикачами напругою 10 кВ. На відміну від вимикачів напругою 10 кВ їх полюси виготовляють у фарфоровому корпусі. Основні типи мало об'ємних вимикачів напругою 35 кВ, що застосовуються в сільських мережах: ВМКЭ-35А-16/1000; ВПКЭ-35-16/1000; ВМУЭ-35Б-25/1000; ВМП-35ТС.

Повітряні вимикачі. В повітряних вимикачах дуга гаситься стисненим повітрям. Використовують такі вимикачі на напругу від 35кВ і вище. Основні типи повітряних вимикачів: ВВН-35Б-40/3150; ВВУ-35А-40/2000; ВВЭ-35-20/1600.

Переваги: пожежо- і вибухобезпечні, швидкодіючі.

Недоліки: складна конструкція, необхідна компресорна установка, висока вартість.

Вакуумні вимикачі. Останнім часом в електричних мережах широко застосовують вакуумні вимикачі. Одним із перших вакуумних вимикачів, що застосовувався в електричних мережах України (СРСР) є вакуумний вимикач ВВВ-10/400. Він розрахований на струм 400А, граничний струм відключення – 4 кА, допустима кількість спрацювань – 40000. Гасіння дуги здійснюється в глибокому вакуумі (приблизно $10^{-5} \dots 10^{-7}$ Па). Електрична міцність вакууму досить висока, що забезпечує надійне гасіння протягом часу не більше 0,04 с.

Вакуумний вимикач ВВВ-10/400 призначений для дистанційного керування електричними навантаженнями трифазних електричних кіл і використовується в РП напругою 10 кВ. Контакти вимикача розташовуються у скляному балоні, який герметично з'єднаний із сильфоном. Хід головних контактів вимикача ВВВ-10 становить всього 10...15 мм, тому він має малі габарити, але потужність вимикання невелика. На сьогодні ці вимикачі є уже застарілими.

На даний час при реконструкції існуючих та спорудженні нових районних трансформаторних підстанцій в РП 10 кВ монтують

сучасні вакуумні вимикачі ВВ/TEL-10 (рисунок 9.23), які мають вбудований в кожний полюс малопотужний та надійний електромагнітний привод, що знаходиться на одній осі із головними контактами.

Конструктивно полюс вимикача серії ВВ/TEL складається із наступних основних елементів (рисунок 9.23): опорного ізолятора 10; вакуумної дугогасильної камери (ВДК) 2, що складається із верхнього (нерухомого) 3 і нижнього (рухомого) 4 контактів, керамічних ізоляторів 5 і сільфону 6; ошиновування, що складається із верхньої 1 та нижньої 8 струмоведучих шин та гнучкого струмознімача 7; тягового ізолятора 9; електромагнітного приводу із «магнітною» заскочкою 11, який складається із якоря 13, котушки 12, кільцевого магніту 15, пружини відключення 14 та пружини додаткового віджимання 16.

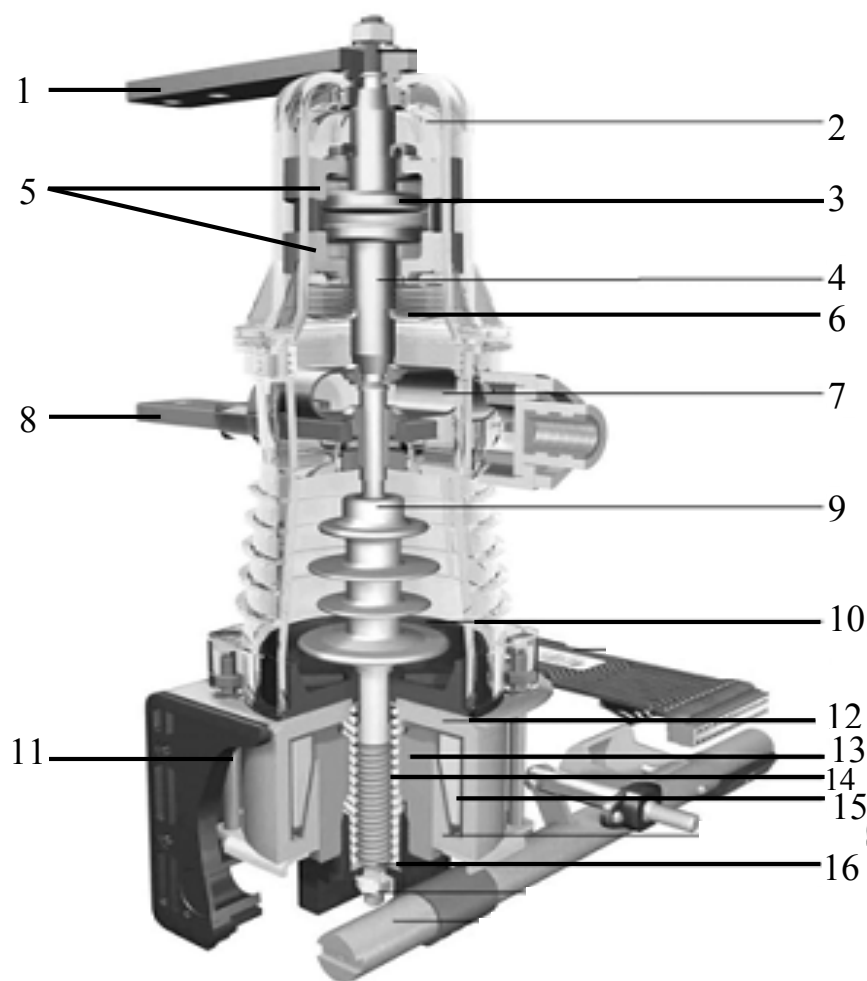


Рисунок 9.23 – Полюс вакуумного вимикача серії ВВ/TEL

Вакуумні високовольтні вимикачі в порівнянні із багато- та малооб'ємними масляними вимикачами мають ряд суттєвих переваг, які і визначають їх широке застосування на сучасному етапі розвитку техніки. До цих переваг відносять наступні:

- відключення струму при першому проходженні його через нуль, після розімкнення контактів та відсутність повторного замикання;

- швидке відновлення діелектричної міцності іскрового проміжку після відключення струму при незначному зазорі між контактами (декілька міліметрів);

- горіння електричної дуги в камері вимикача не більше 0,5 періоду;

- невеликі витрати потужності на включення і відключення, а також висока швидкість спрацьовування вимикача;

- повна пожежо- та вибухобезпека на підстанції;

- великий строк служби;

- низькі експлуатаційні витрати на обслуговування і відсутність необхідності в частому обслуговуванні;

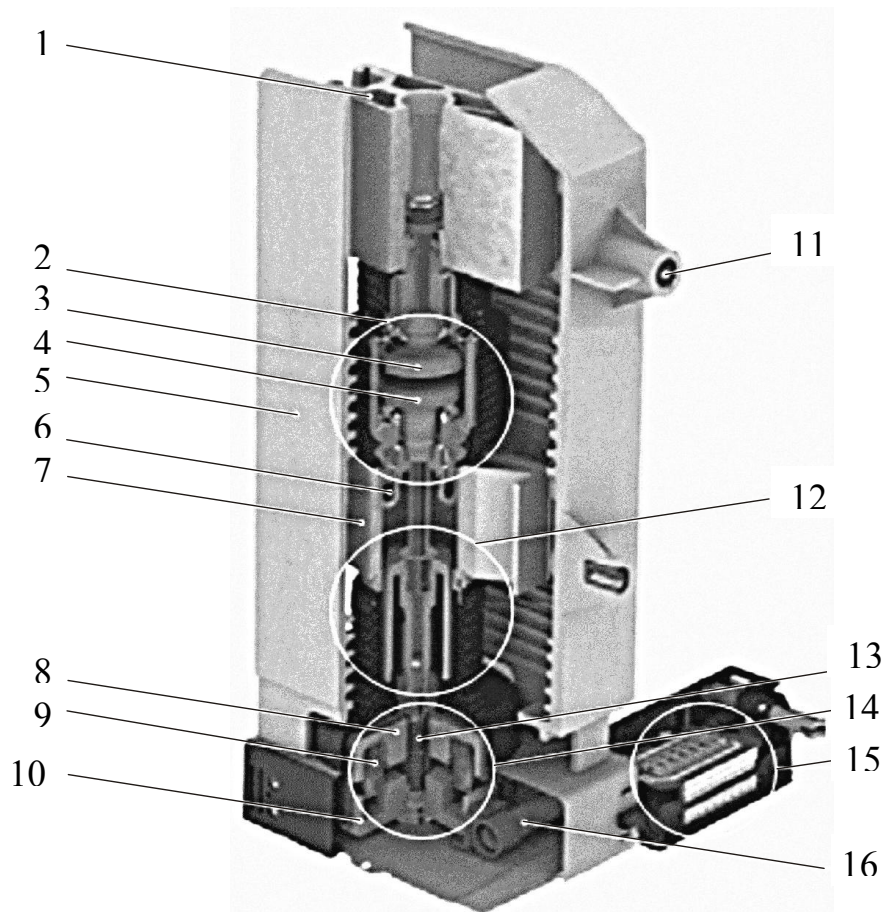
- можливість роботи вимикача без підігріву при низьких температурах;

- малі габарити та маса;

- можливість роботи в будь-якому положенні.

На сьогодні розпочато серійний випуск вакуумних вимикачів нового покоління ВВ/TEL серії Shell (рисунок 9.24), які мають ряд суттєвих переваг у порівнянні із вимикачами ВВ/TEL.

Основою вимикача ВВ/TEL конструкції Shell є вакуумна дугогасна камера четвертого покоління. Застосування ВВ/TEL Shell дозволяє повністю відмовитися від витрат на підтримку працездатності вимикача, оскільки упродовж усього терміну служби він не вимагає проведення ремонтних робіт.



1 – верхній термінал; 2– дугогасна камера; 3 – нерухомий контакт; 4 – рухомий контакт; 5 – опорний ізолятор; 6 – гнучкий струмознімач; 7 – нижній термінал; 8 – статор електромагніту; 9 – тяговий ізолятор; 10 – пружина віджимання; 11 – пружина відключення; 12 – кришка; 13 – котушка електромагніту; 14 – якір; 15 – задня гайка; 16 – тяговий ізолятор; 17 – пружина додаткового підтискання; 18 – електромагнітний привод; 19 – мікроконтакт; 20 – вал.

Рисунок 9.24 – Поліус вакуумного вимикача BB/TEL Shell

Конструкція BB/TEL Shell дозволяє застосовувати його з будь-яким типом релейних захистів, як при заміні масляних вимикачів, так і при проектуванні нових КРП в існуючих схемах.

BB/TEL Shell має мінімальні габарити, що дає можливість адаптувати вимикач у будь-який існуючий КРП, і зробити розподільний пристрій легшим і дешевшим.

Тягові ізолятори лабіринтового типу вимикачів BB/TEL нового покоління відрізняються меншими (на 30%) в порівнянні з традиційними розмірами, і високою стійкістю на розривання. Вони повністю захищають внутрішні елементи конструкції від

забруднень у вигляді пилу і крапель вологи і перешкоджають виникненню пробою по поверхні навіть при напрузі понад 60 кВ. Опорна ізоляція ВВ/TEL Shell виконана з термореактивного композиту, що має високу трекінго- і термостійкість, додатково захищає вимикач від механічних ушкоджень, виконує роль несучої конструкції (без опорних ізоляторів) і здійснює додаткову спрямовану вентиляцію кожного полюса окремо.

Термінали виконані у формі, що забезпечує ефективний тепловідвід від контактних з'єднань за рахунок природної конвекції, що забезпечує працездатність апарату в тяжких температурних умовах.

Технічні характеристики масляних малооб'ємних та вакуумних високовольтних вимикачів наведено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Технічні характеристики високовольтних вимикачів

Показник	ВММ-10-630-10У2	ВВ/TEL-10-630-10У2	ВВ/TEL-10-20/1000	ВВ/TEL-10-31,5/2000 «Shell»
Номінальна напруга, кВ	10	10	10	10
Максимальна напруга, кВ	12	12	12	12
Номінальний струм, А	630	630	1000	2000
Номінальний струм відключення, кА	10	12,5	20,0	31,5
Крізний струм к.з.: найбільший пік, кА	25,5	32	51,0	80,0
початкове діюче значення, кА	10,0	12,5	20,0	31,5
Повний час відключення, мс, не більш	105	25	42	35
Час відключення власний, мс, не більше	80	15	32	25
Час включення власний, мс, не більше	400	70	65	43
Ресурс за комутаційною стійкістю, тис. операцій	30	100	100	50
Ресурс за механічною стійкістю (число циклів “ВВ”), операцій	18000	50000	50000	30000
Маса вимикача, кг	90	35	37	52
Строк служби до списання, років	15	25	25	25

На напругу 10 кВ застосовують вакуумні вимикачі наступних серій: ВВ/TEL-10-12,5/630; ВВ/TEL-10-12,5/1000; ВВ/TEL-10-25/1600; ВВ/TEL-10-31,5/2000 «Shell» (Севастополь); ВВПК-В-10 (Мінськ); ВР1-10-20/1000; ВР2-10-31,5/2000 (Рівне); ВВ/АЭ-10-20/1000; ВВУ-СЭЦЭ-10-20/1600 (Росія).

На напругу 35 кВ застосовують наступні вакуумні вимикачі: ВБЗП- 35-40,5/1000; ВБЗЕ-35-40,5/1600 (механічний ресурс – 3000 циклів.); ВР-35-40,5/1250; ВР35НС-40,5/1600; (Рівне); ВВН-СЭЦ-35-25/1600; ВВЕ-СЭЦ-35-20/1600; ВБН-35-25/1600; ВБСК-10-20/630; ВВТЭ-М-10-20/1000 (Росія).

Електромагнітні вимикачі. Гасіння дуги в них відбувається в спеціальній дугогасильній камері з магнітним дуттям, яке виникає від взаємодії магнітного поля котушки зі струмом дуги. Електромагнітні вимикачі мають складну конструкцію дугогасильної системи і U_H не перевищує 20 кВ.

Застосовуються електромагнітні вимикачі наступних серій: ВЭМ-10Э-1000/20; ВЭ-10-1250-20; ВВЭ-10-31,5/3150.

Елегазові вимикачі. Для гасіння дуги в них застосовується спеціальний пристрій, який забезпечує обертання дуги (внаслідок взаємодії струму дуги з магнітним полем постійних магнітів) в елегазі (SF_6 – шестифториста сірка). Елегаз має велику електричну міцність, не горить і не підтримує горіння.

Відомі наступні елегазові вимикачі: ВЭМ-6; ВЭ-6; ВЭС-6 (застарілі). На даний час застосовують такі сучасні елегазові вимикачі: LF1-10; HD4-12 – на напругу 10 кВ та ВГТ-35 – на 35 кВ.

9.10 Короткозамикачі і віддільники

Для зменшення вартості підстанцій та підвищення економічності електропостачання інколи застосовують спрощені підстанції, що живляться від магістральних ліній 35...220 кВ. На

таких підстанціях на стороні вищої напруги замість високовольтних вимикачів встановлюють комплект із короткозамикачів та віддільників (рисунок 9.25).

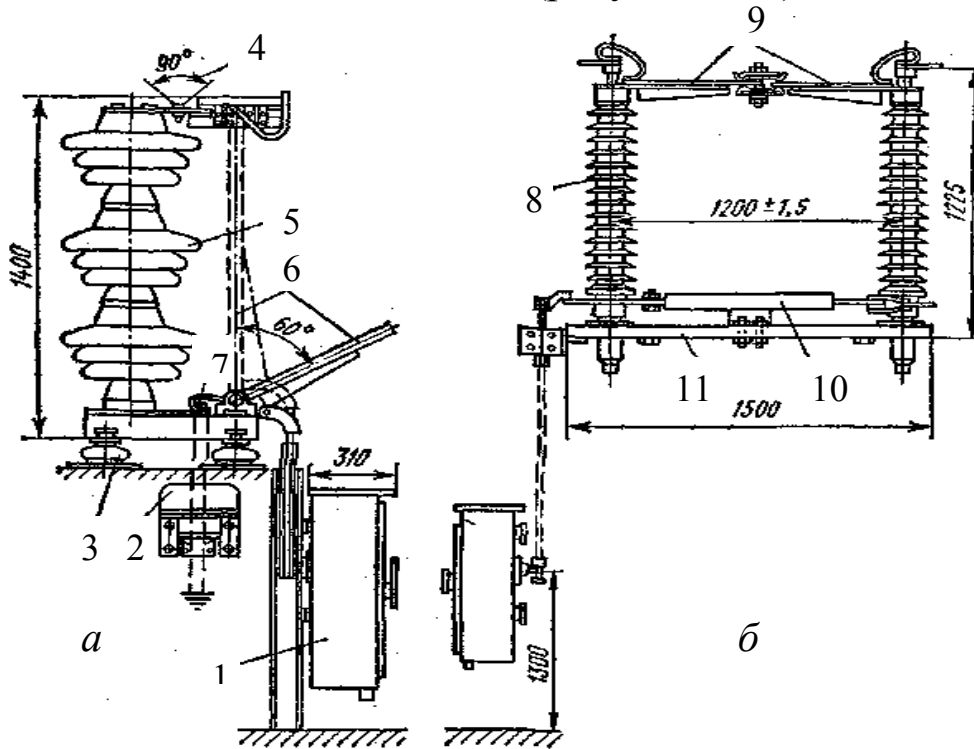


Рисунок 9.25 – Короткозамикач типу КЗ-110 (а) та віддільник типу ОД-110 (б)

Короткозамикач на напругу 35 або 110 кВ представляє собою роз'єднувач із розташованими вертикально ножами (рисунок 9.25, а). На напругу 35 кВ застосовують два полюси короткозамикача, а на напругу 110 кВ і вище – один (умови створення к.з.).

Відключають короткозамикач за допомогою ручного приводу. Вмикання короткозамикача відбувається автоматично за допомогою електромагніту, який звільняє заскочку, що утримує заведену пружину включення.

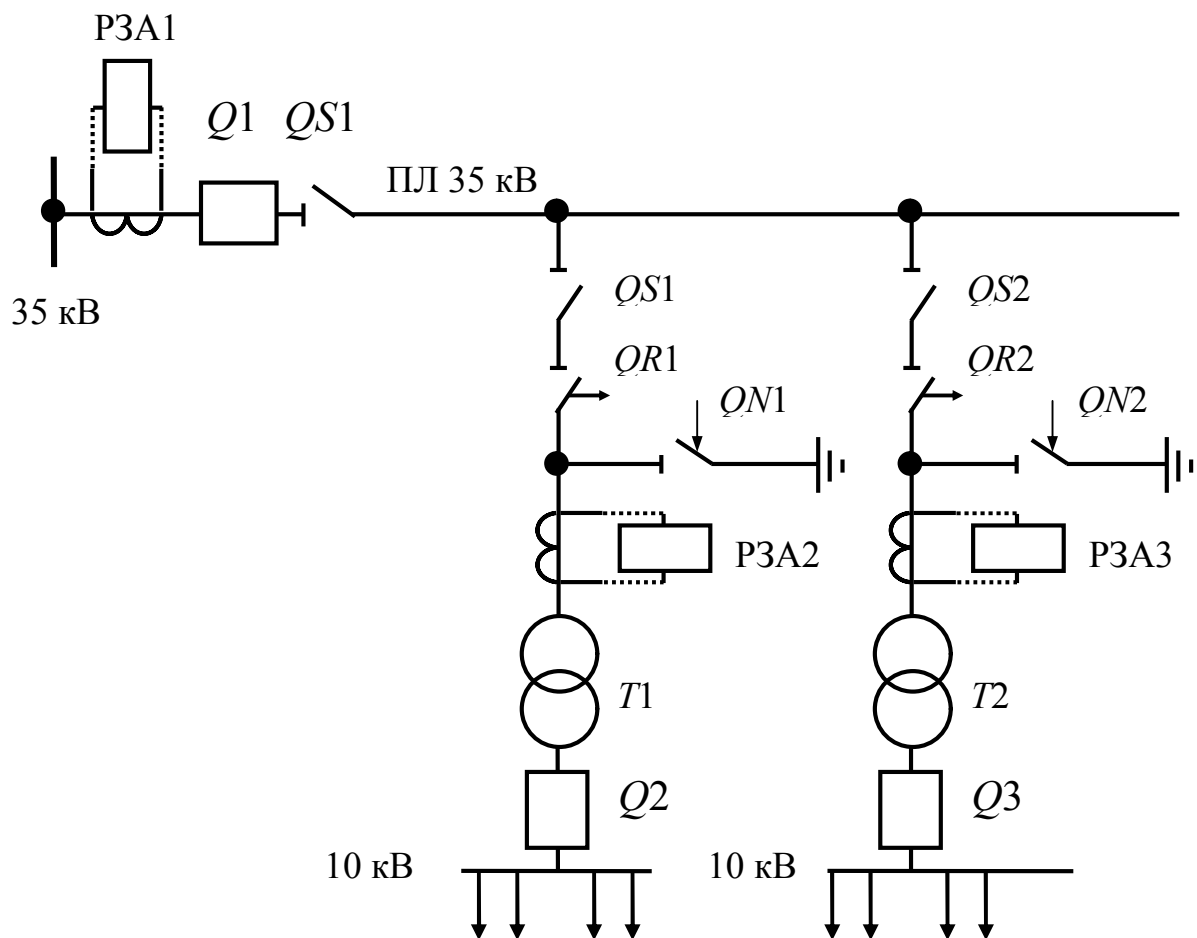
Короткозамикач призначений для створення штучного короткого замикання в мережі за командою релейного захисту.

Конструкція віддільників напругою 35 та 110 кВ (рисунок 9.25, б) подібна до конструкції двоколонкових роз'єднувачів зовнішнього встановлення. Замикається віддільник ручним приводом. Відключатися він може ручним приводом або

автоматично за допомогою електромагніту, який звільняє заскокку, що втримує заведену пружину відключення. Віддільник може комплектуватися заземлюючими ножами.

Віддільник призначений для автоматичного роз'єднання кола, що живить силовий трансформатор, під час без струмової паузи за командою релейного захисту.

Схема із роз'єднувачами та віддільниками на підстанції працює наступним чином (рисунок 9.26).



QS – роз'єднувач; QR – віддільник; QN – короткозамикач; $P3A$ – пристрої релейного захисту та автоматики; Q – високовольтний вимикач; QS – роз'єднувач

Рисунок 9.26 – Однолінійна схема електричної мережі із використанням короткозамикачів та віддільників на ТП

На підстанції безпосередньо перед трансформатором розміщують короткозамикач, потім (у напрямку до живильної лінії) віддільник, а після нього – звичайний роз'єднувач.

Схема спрощеної підстанції працює наступним чином. При пошкодженні, наприклад, трансформатора $T1$ спрацьовує його релейний захист РЗА2, який подає сигнал на включення короткозамикача $QN1$. Короткозамикач спрацьовує і створює штучне к.з. (двофазне – в мережі 35 кВ; однофазне – в мережі 110, 220 кВ) перед трансформатором. Внаслідок цього в лінії 35 кВ, що живить трансформатор $T1$ буде протікати струм к.з. Спрацює релейний захист РЗА1 лінії 35 кВ і відключить головний вимикач $Q1$. Мережа 35 кВ, що відходить від підстанції, знеструмлюється.

Як відомо всі лінії напругою вище 1000 В оснащені пристроями АПВ – автоматичного повторного ввімкнення.

Після відключення вимикача $Q1$, під час безструмової паузи, спрацює віддільник $QR1$. Коло живлення силового трансформатора $T1$ розмикається. Після спрацювання АПВ пункту РЗА1 відновлюється живлення повітряної лінії 35 кВ. Пошкоджений трансформатор $T1$ залишається відключеним від живлення контактами віддільника $QR1$, а всі інші споживачі лінії 35 кВ (трансформатор $T2$) після спрацювання АПВ продовжують отримувати живлення.

Відновити живлення трансформатора $T1$ можна лише вручну за допомогою електротехнічного персоналу, що є значним недоліком таких підстанцій.

В електричних мережах експлуатують віддільники типу ОД-35/630, ОДЗ-1-35/630, ОД-110/1000, ОДЗ-1-110/1000 та короткозамикачі типу КЗ-35Т1, КРН-35, КЗ-110, КЗ-110Б.

9.11 Приводи до комутаційних апаратів

Для включення та відключення комутаційних апаратів використовують спеціальні пристрої – *приводи*.

Приводи до апаратів можуть бути: ручні, вантажні, пружинні, електродвигунні, електромагнітні та пневматичні. За дією вони можуть бути автоматичними, напівавтоматичними і неавтоматичними.

Для керування роз'єднувачем, як правило, використовують ручний важільний або черв'ячний привод. Однополюсні роз'єднувачі приводять у дію також за допомогою ізольованої штанги.

Наявність привода дає можливість виконувати механічне або електричне блокування роз'єднувача і вимикача для запобігання помилкових операцій з цими комутаційними апаратами.

Для замикання-розмикання контактів роз'єднувачів застосовують ручні важільні приводи ПР-10; ПРБА і ПРА. Вони прості, надійні, зручні в експлуатації. Істотним їх недоліком є неможливість дистанційного вмикання.

Короткозамикачами і віддільниками керують за допомогою приводів типу: ПГ-10-К і ПГ-10-О або ШПК і ШПО.

Вимикачі навантаження комплектуються приводом ПР-17 (з ручним вмиканням та вимиканням) або ПРА-17 (з ручним вмиканням і ручним або автоматичним вимиканням), ПЭ-11 (з дистанційним або автоматичним включенням та відключенням).

Приводи високовольтних вимикачів призначаються для їх вмикання, утримування у включеному положенні та вимикання високовольтного вимикача.

Незалежно від конструкції привод вимикача має механізм вмикання, заскочку (для фіксації положення «ввімкнено») і механізм вимикання.

Найскладнішою операцією є вмикання вимикача, бо при цьому потрібно подолати тертя, опір пружин вимикання. Для цього привід повинен мати запас кінетичної енергії. Це може бути енергія піднятого вантажу (вантажний привід) або заведена пружина (пружинний привід).

Вантажні приводи ПГ і ПГМ набули широкого застосування в сільських електроустановках, але вони мають ряд істотних недоліків і тому їх виробництво тепер припинено.

Найбільш поширеними для керування масляними і безмасляними вимикачами є автоматичні пружинні та електромагнітні приводи.

Пружинні приводи. При використанні пружинних приводів ПП-67; ППМ-10; ПП-74 та ін. вмикання вимикача здійснюється попередньо стиснутою (заведеною) вимикаючою пружиною, яку можна заводити від руки або автоматичним моторним редуктором (АМР). Ці приводи можуть автоматично або дистанційно вмикатись багаторазово. Застосовуються для вимикачів напругою 10...35 кВ, забезпечують ручне або дистанційне (за рахунок вмонтованих електромагнітів) включення та відключення.

Основним недоліком пружинних приводів є складна механічна конструкція, через яку вони часто відмовляють та значні витрати електроенергії на їх роботу.

Електромагнітні (соленоїдні) приводи вмикають апарати потужним електромагнітом. Вони використовуються для керування потужними вимикачами. Надійні в експлуатації, прості за конструкцією, але споживають значну потужність від мережі постійного струму. Найбільш легкий і надійний сучасний привод ПЭ-11. Для вакуумних вимикачів серії ВВ/TEL застосовують вмонтовані електромагнітні приводи малої потужності (один на кожний полюс вимикача).

Пневматичні приводи призначені для повітряних високовольтних вимикачів. Вони працюють на стисненому повітрі, що нагнітається компресором. Пневматичні приводи конструктивно прості, мають невеликі розміри, високу швидкість вмикання, а енергія легко накопичується в простих повітряних резервуарах. Останнім часом їх використовують навіть в тих електроустановках, в яких немає повітряних вимикачів.

9.12 Вибір електричних апаратів

Електричні апарати вибирають за відповідними каталогами за параметрами їх роботи в нормальному режимі і перевіряють за аварійним режимом (коротке замикання).

Електричні апарати вибирають за наступними параметрами:

1. За місцем встановлення і конструктивним виконанням.

Апарати внутрішнього встановлення не можна використовувати на відкритих електроустановках, а навпаки – використання їх не доцільне.

2. За номінальною напругою.

Номінальна напруга апарата $U_{н.ап}$, що зазначена в паспорті або в каталозі, повинна бути не меншою від напруги установки (мережі) $U_{н.уст}$, для якої підбирають апарат:

$$U_{н.ап} \geq U_{н.уст} \quad (9.3)$$

Якщо ця умова не виконується, то можливий пробій ізоляції апарата.

4. За номінальним струмом:

$$I_{н.ап} \geq I_{роб\ max} \quad (9.4)$$

де $I_{роб\ max}$ – максимальний робочий струм мережі, А.

Якщо умова (9.4) не виконується, то виникає перегрів струмопровідних частин апарату та їх пошкодження.

Захисні комутаційні та комутаційні апарати, що призначені для комутації електричних кіл в аварійних режимах, крім того вибирають з урахуванням струму або потужності відключення:

$$I_{н.відкл} \geq I_{к\ max} \quad (9.5)$$

$$S_{н. відкл} \geq S_{к \max}, \quad (9.6)$$

де $I_{к \max}$ – максимальне діюче значення струму к.з. в мережі, кА;

$S_{к \max}$ – максимальна потужність к.з., кВА;

$I_{н. відкл}$ – номінальний струм відключення, кА.

Для мереж напругою 35 кВ і більше $I_{к \max} = I_y^{(3)}$.

Для мереж напругою 10 та 0,38 кВ, для $I_{к \max} = I_y^{(3)} = I_{к}^{(3)}$.

Якщо не виконувати вимогу (9.5) або (9.6), дуга не буде погашена, і, як наслідок, відбудеться пошкодження апарата з перекриттям усіх фаз.

За режимом короткого замикання електричні апарати перевіряють на електродинамічну і термічну стійкість. Перевірку виконують шляхом порівняння:

1) максимально допустимого струму апарату i_{\max} з ударним струмом трифазного короткого замикання $i_y^{(3)}$ (електродинамічна стійкість):

$$i_{\max} \geq i_y^{(3)}, \quad (9.7)$$

2) номінального струму термічної стійкості апарату I_t , що гарантується заводом протягом часу t , з розрахунковим усталеним струмом короткого замикання $I_{\infty}^{(3)} = I_{к}^{(3)}$ і приведеним часом дії короткого замикання t_{np} (термічна стійкість):

$$I_t^2 \cdot t \geq [I_{\infty}^{(3)}]^2 \cdot t_{np} \quad (9.8)$$

де t_{np} – приведений час короткого замикання, с.

$$t_{np} = t_3 + t_6, \quad (9.9)$$

де t_3 – витримка часу спрацювання струмового захисту, с.

t_6 – власний час відключення вимикача.

Апарати, що використовуються в електроустановках, здебільшого мають значний запас як за динамічною, так і за термічною стійкістю.

Високовольтні запобіжники споживчих ТП вибирають за номінальною напругою, за номінальним струмом, за граничним струмом вимикання. Також виконують вибір номінального струму плавкої вставки запобіжника за умовою:

$$I_{н.в} \geq 2I_{н.тр} \quad (9.10)$$

де $I_{н.тр}$ – номінальний струм трансформатора, А.

Так як запобіжники типу ПКТ мають ефект обмеження струму їх не перевіряють на термічну та динамічну стійкість.

Значення $I_{н.в}$ запобіжників, які рекомендуються для захисту трансформаторів споживчих ТП 10/0,4 кВ наведені в довідковій літературі.

Запитання для самоконтролю

1. Як класифікуються електричні контакти за призначенням та принципом притискання?
2. Що таке перехідний опір контакту і від чого він залежить?
3. Призначення робочих і дугогасильних контактів.
4. Які умови гасіння електричної дуги?
5. Які пристрої використовують для гасіння електричної дуги?
6. Як відбувається гасіння дуги у маслі?
7. Які переваги гасіння дуги у вакуумі?
8. Призначення і класифікація ізоляторів.
9. Будова і принцип роботи плавкого запобіжника.
10. Які переваги та недоліки плавких запобіжників у порівнянні із автоматами?

11. Якими способами прискорюють швидкість перегорання плавкої вставки?
12. Як забезпечується в запобіжниках обмеження струму к.з.?
13. Будова і принцип роботи автоматичного повітряного вимикача?
14. Які типи розчіплювачів застосовують в автоматичних вимикачах?
15. Яке призначення незалежного електромагнітного розчіплювача?
16. Будова та принцип дії роз'єднувача.
17. Будова та принцип дії вимикача навантаження.
18. Яким чином в мережах із вимикачами навантаження відключаються струми к.з.?
19. Будова та принцип дії масляного малооб'ємного вимикача.
20. Які основні недоліки багато- та малооб'ємних масляних вимикачів?
21. Які основні переваги вакуумних вимикачів?
22. Будова та принцип дії короткозамикача та віддільника.
23. Як працює схема підстанції із короткозамикачами та віддільниками?
24. Які приводи застосовують для високовольтних комутаційних апаратів?
25. Назвіть умови вибору комутаційних апаратів?