

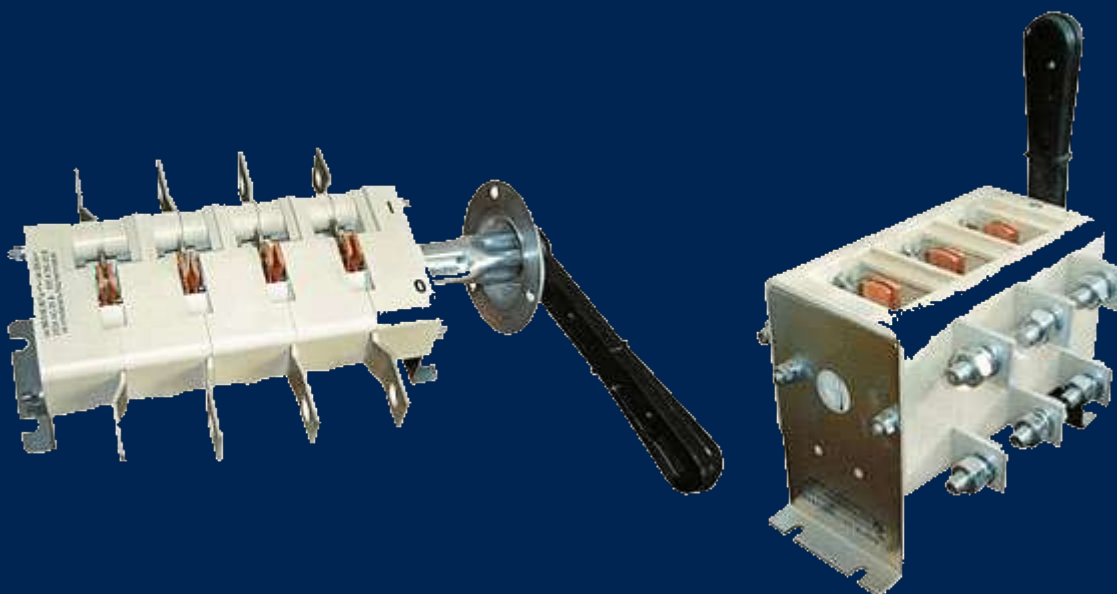
В. Д. Козлов
М. І. Соломаха



ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ



Комутаційні апарати
низької та середньої напруги



В. Д. Козлов
М. І. Соломаха

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

• • •

**Комутаційні апарати
низької та середньої напруги**

Посібник

2006

УДК 621.31 (042.4)
ББК 3 260 я 7
К 592

Рецензенти: докт. техн. наук, професор *М. В. Костерев* –
завідувач кафедри електричних станцій НТУУ „КПІ”;

канд. техн. наук, старш. наук. співроб. *С. Я. Меженний* –
заступник директора департаменту електроенергетики
Мінпаливенерго України

Затверджено на засіданні науково-методично-редакційної
ради Аерокосмічного інституту НАУ 4 жовтня 2005 року.

Козлов В. Д., Соломаха М. І.

К 592 Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати
низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006.
– 84 с.

У другій частині посібника розглянуто основні вимоги
до апаратів, конструкції та принципи роботи низьковольтних,
високовольтних (6 – 35 кВ) комутаційних електричних
апаратів та їх приводів, детально проілюстровано вибір цих
апаратів.

Для студентів спеціальностей 8.090603 ”Електро-
технічні системи електроспоживання”, 8.090605 ”Світло-
техніка і джерела світла” та 8.090600 ”Енергетичний
менеджмент”. Може бути корисним студентам напряму 0906
”Електротехніка” та інженерно-технічним працівникам
електроенергетичних компаній і підприємств.

УДК 621.31 (042.4)
ББК 3 260 я 7

© В.Д. Козлов, М.І. Соломаха, 2006

ЗМІСТ

Передмова	4
Глава 7. КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ ДО 1000 В	5
7.1. Класифікація комутаційних апаратів, категорії застосування	5
7.2. Рубильники та перемикачі	6
7.3. Контактори та пускачі	11
7.4. Автоматичні повітряні вимикачі	18
Глава 8. КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ БІЛЬШЕ 1000 В	33
8.1. Класифікація комутаційних апаратів більше 1000 В	33
8.2. Роз'єднувачі, короткозамикачі та відокремлювачі	33
8.3. Вимикачі навантаження	38
8.4. Силові вимикачі. Класифікація, технічні параметри	41
8.5. Маломасляні вимикачі	43
8.6. Вакуумні вимикачі	48
8.7. Елегазові вимикачі	50
8.8. Повітряні вимикачі	51
8.9. Електромагнітні вимикачі	53
8.10. Синхронізовані вимикачі	55
Глава 9. ПРИВОДИ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ	57
9.1. Визначення і класифікація приводів	57
9.2. Приводи комутаційних апаратів до 1000 В	58
9.3. Приводи роз'єднувачів та вимикачів навантаження	60
9.4. Приводи силових вимикачів	62
Глава 10. ВИБІР КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ	69
10.1. Загальні умови вибору електротехнічних пристроїв	69
10.2. Вибір рубильників, перемикачів, контакторів та магнітних пускачів	70
10.3. Вибір автоматичних повітряних вимикачів	72
10.4. Вибір роз'єднувачів та вимикачів навантаження	79
10.5. Вибір силових вимикачів	82

ПЕРЕДМОВА

Класичні великих обсягів російськомовні підручники з електричних апаратів авторів А.А. Чуніхіна, І.С. Таєва, Г.Н. Александрова та інших призначалися передусім для студентів, які спеціалізуються в електроапаратобудуванні. У них детально розглядалися всі електричні, теплові й електромеханічні процеси, що відбуваються в електричних апаратах у різних режимах їх роботи. Однак для спеціальностей 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання», 8.090605 «Світлотехніка і джерела світла» та 8.09600 «Енергетичний менеджмент» немає необхідності в такому детальному вивченні теорії електричних апаратів.

Мета посібника – дати студентам знання, необхідні для загального розуміння фізики процесів, що відбуваються в електричних апаратах при різних режимах їх роботи в процесі експлуатації, знання про конструкції сучасних електричних апаратів для напруг до 1000 В та 6 – 35 кВ і принципи їх роботи, а також вміння грамотного вибору електричних апаратів для розподільчих мереж цих напруг.

Автори висловлюють щиру вдячність рецензентам *М.В. Костереву* та *С.Я. Меженному* за ретельний перегляд рукопису і зроблені зауваження, які були враховані й сприяли покращенню посібника.

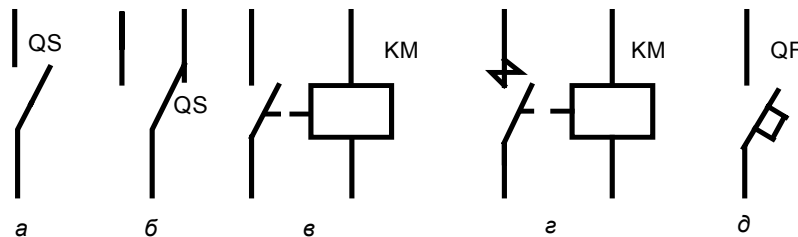
Зауваження та пропозиції щодо поліпшення посібника автори приймуть з вдячністю і врахують в подальшій роботі. Зв'язатись з авторами можна за *e-mail: KozlovVD@ukr.net* та *pr40let@yahoo.com*.

Глава 7. КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ ДО 1000 В

7.1. Класифікація комутаційних апаратів, категорії застосування

До силових комутаційних апаратів до 1000 В (низьковольтних) відносять рубильники (рис. 7.1, а), перемикачі (рис. 7.1, б), контактори (рис. 7.1, в), пускачі (рис. 7.1, г) та автоматичні повітряні вимикачі (рис. 7.1, д). Визначення та призначення кожного виду апаратів дано у відповідному параграфі.

Графічні зображення названих апаратів наведені на рис. 7.1.



Усі низьковольтні комутаційні апарати в процесі експлуатації комутують електричні кола з певними параметрами, зумовленими особливостями навантаження. Так, в момент пуску електродвигуна чи гальмування його шляхом противмикання в мережі спостерігаються струми, які багаторазово перевищують струми номінальних режимів. Комутувати кола з індуктивним навантаженням значно тяжче, ніж з активним. Випуск комутаційних апаратів лише для найважчих умов роботи економічно недоцільний, оскільки в багатьох випадках закладена в них електрична і механічна міцність ніколи не буде реалізована, що призведе до невиправданих витрат матеріальних та трудових ресурсів. Через це промисловість випускає різні серії комутаційних апаратів одного функціонального призначення, які використовуються в різних категоріях застосування.

ГОСТ 12434-83 [10] класифікує усі можливі області використання низьковольтних апаратів на наступні *категорії застосування* (для змінного струму): АС-1 – активне або малоіндуктивне навантаження, електропечі опору; АС-2 – пуск і

відключення електродвигунів з фазним ротором, гальмування противмиканням; АС-3 – прямий пуск електродвигунів з короткозамкнутим ротором, відключення двигунів, що обертаються; АС-4 – пуск двигунів з короткозамкнутим ротором, відключення нерухомих двигунів, або двигунів, що обертаються повільно, гальмування противмиканням; АС-11 – управління електромагнітами змінного струму; АС-20 – комутація кіл активних навантажень, включаючи помірні навантаження; АС-22 – комутація змінних активних та індуктивних навантажень, включаючи помірні перевантаження; АС-23 – комутація навантажених двигунів чи інших високоіндуктивних навантажень. В цьому ГОСТі наведені конкретні умови комутації кіл з визначеними параметрами для кожної категорії застосування, а також наведені категорії застосування комутаційних апаратів для кіл постійного струму, які позначаються буквами ДС та відповідними цифрами.

У технічних даних низьковольтних комутаційних апаратів, як правило, зазначається рекомендована категорія їх застосування.

7.2. Рубильники та перемикачі

Рубильником називають неавтоматичний вимикач на два положення (“Включено”, “Виключено”) з ручним управлінням. Використовують їх в колах змінної (до 660 В) та постійної (до 440 В) напруги. Рубильники без дугогасних камер призначені для відключення кіл зі струмом до $(0,2...0,3)I_{ном}$ та для створення видимого розриву кола при ремонтних роботах. Апарати, які оснащені дугогасними пристроями – поперечними ґратами зі сталених пластин, допускають відключення більших струмів $(0,5...1,0)I_{ном}$. Номінальні струми рубильників мають широкий діапазон (25 – 1000 А і більше).

У конструкції контактів сучасних рубильників частіше використовують лінійний контакт зі сталюю пружиною. Рубильники змінного струму виготовляють дво- та триполюсними, постійного струму – одно- та двополюсними.

Промисловість випускає кілька серій рубильників, які комплектуються різними видами приводів. До найбільш поширених належать серії Р, П, В, РБ, РП, РВ та ін. Перша літера характеризує функціональну особливість: Р – рубильник, П –

перемикач, В – вимикач. Сполучення другої та третьої – вид привода: Б – боковий, П – привод, ПЦ – привод центральний, Ш – управління штангою, О – однополюсний.

З умов безпеки рубильники з відкритими ножами і центральною чи бічною рукоятками можна застосовувати в обладнанні до 220 В. Конструкцію рубильника серії Р з центральною рукояткою наведено на рис. 7.2, а. На ізоляційній основі 1 закріплені контактні стояки нерухомого контакту 2 та шарніра 6 рухомого контакту (ножа) 5. На ізоляційній планці 3, яка пов'язує всі три полюси, закріплена рукоятка 4 ручного управління.

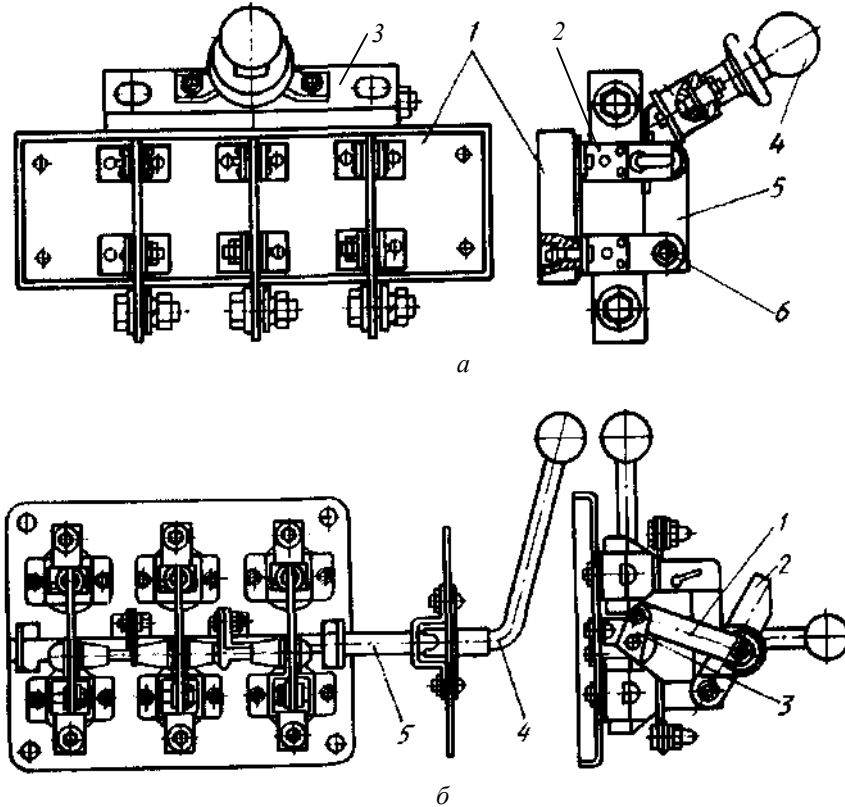


Рис. 7.2

В обладнанні 380 В і вище обов'язкове використання рубильників із закритими струмопровідними частинами.

Управління положенням ножів такого рубильника здійснюється нескладним приводом, що зв'язує рукоятку, яка знаходиться поза захисним кожухом, з рухомими контактами.

Залежно від конструкції, приводи бувають бічними виносними, важільними центральними та бічними, а також з маховиком (у важких рубильниках на великі струми). На рис. 7.2, б наведено конструкцію рубильника з бічним важільним приводом. У ньому зусилля від рукоятки 4 через вал 5 передається на важелі 3, які зв'язані тягами 1 з рухомими контактами 2.

У конструкції рубильника з центральним приводом (рис. 7.3) сама рукоятка 1 виконує роль важеля і передає зусилля через тягу 2 на рухомі контакти 4. Рубильник оснащений дугогасною камерою 3, змонтованою на нерухомих контактах.

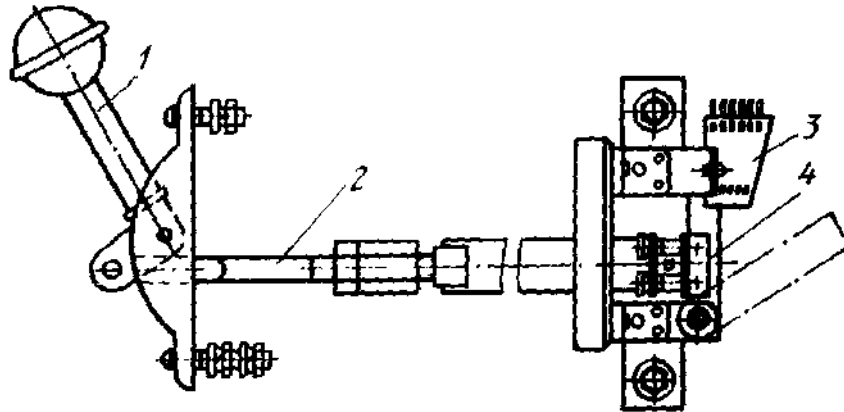


Рис. 7.3

Прагнення зменшити розміри низьковольтних розподільчих пристроїв, у яких, крім рубильників, використовуються і запобіжники, привело до розробки блоків „вимикач – запобіжник” серії БВП та „рубильник – запобіжник” – БРП з використанням запобіжників ПН, що мають високу механічну міцність. У них запобіжник, крім своєї основної функції – захисту мереж, – виконує роль рухомого ножа рубильника. Блоки виготовляють на номінальні струми 100, 250 та 400 А. На рис. 7.4 наведено конструкцію блока БВП з горизонтальним переміщенням запобіжника. На несучій конструкції розміщено важільний привід для переміщення патронів запобіжників з положення „Включено” в

положення „Виключено” і навпаки. Механічне блокування унеможливорює відкривання захисних дверцят, що закривають запобіжники, при включеному положенні апарата і його включення при відкритих дверцях.

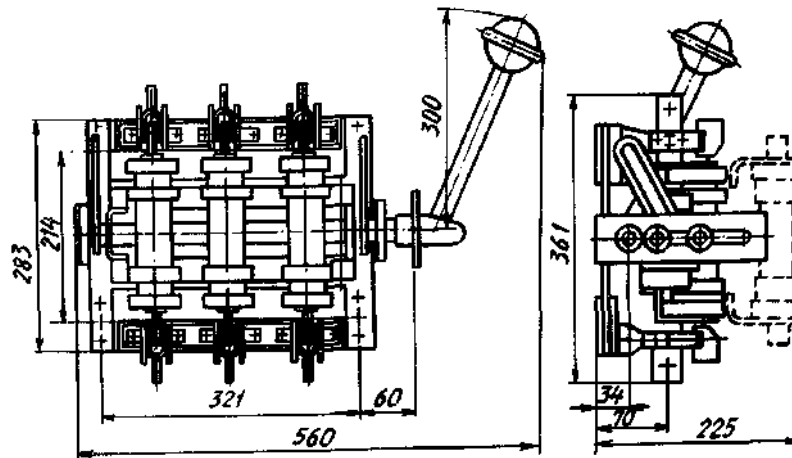


Рис. 7.4

Перемикачі призначені для комутації кількох електричних кіл. Перемикач на значні струми (більше 100 А) являє собою рубильник з трьома положеннями. У першому положенні він подає напругу на одну лінію, в другому – обидві лінії відключені, в третьому – підключається друга лінія (див. рис. 7.1, б).

Пакетні вимикачі та перемикачі випускаються на номінальні струми від 10 до 400 А при напрузі змінного струму 220 В і до 250 А при напрузі 380 В. Пакетні вимикачі складаються з набору однотипних елементів (пакетів), пов'язаних загальним центральним стержнем з поворотною рукояткою. Випускають пакетні перемикачі двох типів: з ковзними ламелями та кулачковим механізмом.

На рис. 7.5 наведено загальний вигляд пакетного вимикача типу ПВ і конструкція одного пакета. Нерухомі клиновидні контакти 8 розміщені парами по колу й закріплені на ізоляційній основі 6. Рухомі контакти 7 кожного пакета, виготовлені у вигляді частини кільця чи ножа, закріплені на ізоляційній шайбі 5, яка має квадратний отвір для спільного центрального стержня. Пакети за допомогою шпильок 2 кріпляться до основи 1 та кришки 3. У

кришці є так званий моментний механізм, який забезпечує постійну швидкість руху контактів незалежно від швидкості обертання рукоятки 4.

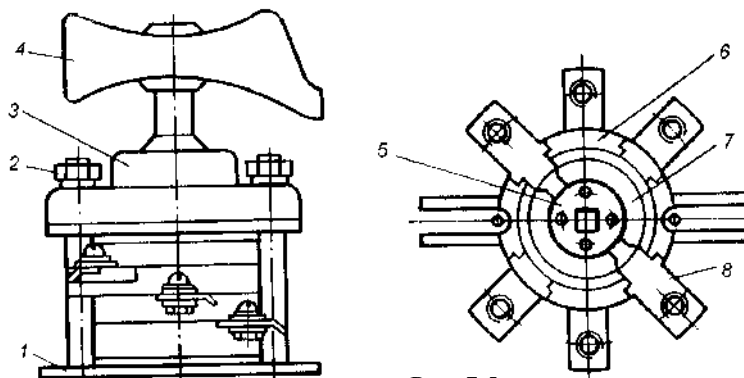


Рис. 7.5

Механізм виконаний на основі пружини, яка закручується при повороті центрального стержня і пружинної шайби. Достатньо висока комутаційна здатність пакетного вимикача забезпечується подвійним розривом на фазу та виконанням шайб з газогенеруючого матеріалу. В одному вимикачі можуть бути зібрані від двох до семи пакетів з різною кількістю полюсів, комутаційних положень та з рухомими контактами різної конфігурації, що дозволяє одержувати різноманітні схеми підключення.

Більш надійну контактну систему мають кулачкові пакетні перемикачі серії ПК (рис. 7.6). У кожному пакеті є фігурний кулачок 1, який обертається центральним стержнем. При повороті кулачка один зі штоків 2 потрапляє в його западинку, пружина 3 переміщує містковий рухомий контакт 4 та забезпечує потрібне притискання до нерухомих контактів 5. При подальшому повороті кулачок віджимає шток і рухомі контакти розмикають коло.

Пакетні та кулачкові перемикачі призначені для складних перемикачів одночасно в кількох електричних колах (колах управління, вимірювання, сигналізації та ін.). Випускають модифікації з фіксацією одного або кількох положень, з само-

поверненням в нульове положення та ін. Кількість контактів може бути від 2 до 32.

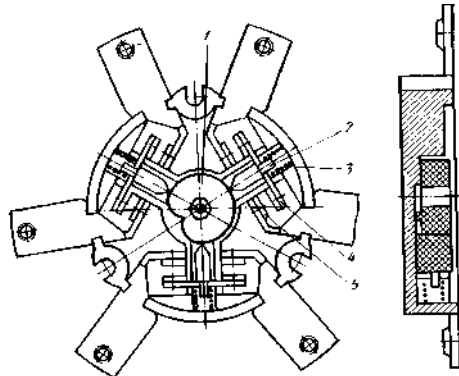


Рис. 7.6

Для комутації в складних схемах управління зі струмами до 16 А використовують перемикачі, які отримали назву *ключі управління*. Опис конструкції і схем комутації ключів управління можна знайти у посібнику [12].

7. 3. Контактори та пускачі

Контактори. *Контактор – електричний апарат, призначений для частих дистанційних включень та відключень електричного кола в нормальних режимах роботи. Контактори не обладнані якими-небудь захисними пристроями, але дозволяють здійснювати до кількох тисяч комутацій за годину. Вони мають високу механічну (до $10...20 \times 10^6$ циклів) та електричну (до 3×10^6 циклів) зносостійкість. Випускають для різних кліматичних факторів зовнішнього середовища, категорій розміщення, на різні класи, що відповідають найбільшій частоті включення за 1 годину в повторно-короткочасному режимі, та ін.*

Контактори повинні допускати роботу при напрузі на контактах $1,1 U_{ном}$, на котушці від 0,85 до $1,1 U_{ном}$. Контактори виготовляють для комутації силових кіл постійного і змінного струму. Електромагніти контакторів можуть виготовлятись для підключення котушок до кіл управління як постійного так і

змінного струму. По числу головних полюсів бувають від однополюсних до п'ятиполюсних. По номінальному струму головного кола: 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630 А та на більші струми по відповідних технічних умовах. По наявності допоміжних контактів – з допоміжними і без. Номінальні струми тривалого режиму роботи допоміжних контактів: 4; 6,3; 10 А.

В практиці найбільше поширення знайшли два конструктивних типи виконання контакторів: *прямоходовий* та *важільно-поворотний*. На рис. 7.7, а наведено спрощену схему конструкції контактора прямоходового типу. При підключенні електромагніта 1 до джерела змінного струму його якір втягується. Переміщення якоря передається штоком 2 рухомих контактам 5 мостикового

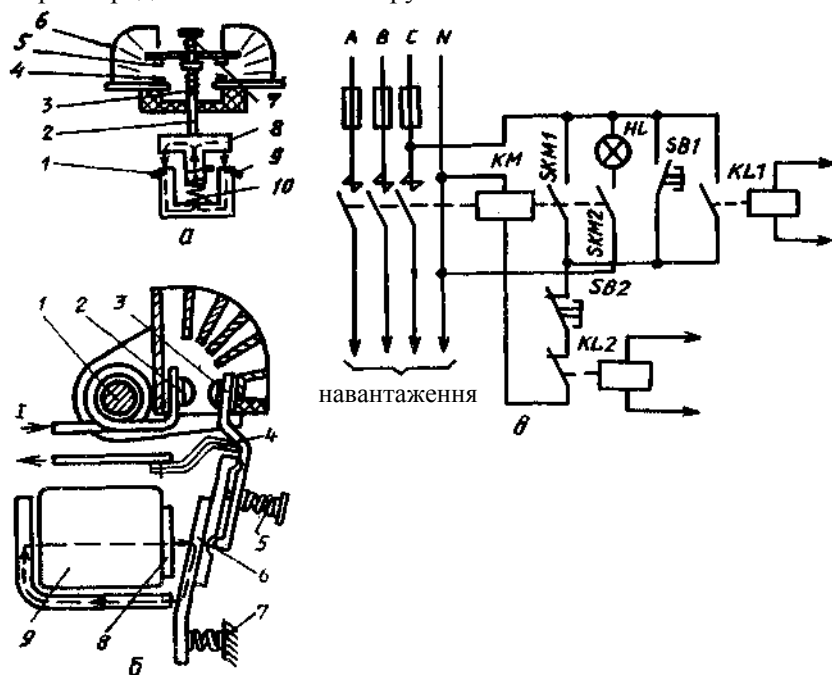


Рис. 7.7

типу, які замикають коло нерухомих контактів 4. При відключенні електромагніта зворотна пружина 3 піднімає мостиковий контакт угору. Дуга, яка утворилась між контактами, втягується у металеві грати 6 і гасне. Необхідний тиск контактів забезпечує пружина 7. Подовжня вібрація електромагніта змінного струму усувається

короткозамкнутими витками 9 та 1, які охоплюють частину полюсів магнітопровода, набраного з тонких, ізованих одна від одної пластин.

Основним недоліком прямоходової схеми є дрізк контактів у момент втягування та удару якоря об магнітопровід, що при великих пускових струмах, наприклад, потужних асинхронних двигунів, може викликати швидке зношення (підгоряння) контактів. Тому контактори прямоходової схеми використовуються для комутації струмів до 200 А.

Для важких режимів роботи, які характеризуються значною частотою включення та категоріями застосування АС-4, АС-11 та АС-23, використовують контактори важільно-поворотного типу (рис. 7.7, б). При підключенні електромагніта постійного струму 9 (на змінному струмі він має Ш-подібну конструкцію) до джерела, якір 6 притягується до осердя 8, зворотна пружина 7 стискається і рухомий контакт 3, закріплений на складовому важелі, замикається з нерухомим контактом 2. Пружина 5 забезпечує амортизацію при ударах якоря об осердя та необхідне притискання контактів. Така конструкція дозволяє отримати більшу механічну зносостійкість. Струмопідвід до рухомих контактів здійснюється мідними сплеченими дротами або набором з мідної фольги 4. Для покращення гасіння дуги поряд з металевими пластинками використовують „магнітне дуття” за допомогою спеціального електромагніта з осердям 1.

Схему підключення трифазного контактора змінного струму наведено на рис. 7.7, в. Контактор вмикається натисканням кнопки SB1 „Ввімкнути”. При цьому фазна (чи міжфазна) напруга подається на електромагніт КМ, він замикає основні контакти та одночасно допоміжні контакти SKM1 і SKM2. Контакти SKM1 шунтують пускову кнопку SB1 та утримують контактор у ввімкнутому положенні, контакти SKM2 замикають коло сигнальної лампи HL. Для вимикання контактора необхідно натиснути кнопку SB2 „Вимкнути”, при цьому розривається живлення електромагніта і під дією зворотної пружини відбувається вимикання основних і допоміжних контактів. Контактор можна також ввімкнути по сигналу якого-небудь пристрою автоматики, який має вихід на реле KL1, і вимкнути за допомогою реле KL2.

У ввімкнутому стані обмотка контактора постійно перебуває під струмом, що являє собою основну причину його відмови [5]. У колах, де контактори тривалий час ввімкнуті, доцільно використовувати контактори з клямкою, яка дозволяє вимикати основну обмотку після його включення. Вимикання такого контактора відбувається за допомогою спеціального електромагніта вимикання, який вибиває клямку.

В аеропортах найбільш поширені контактори змінного струму серії КТ (управління на змінному струмі) та КТП (управління на постійному струмі). Вони випускаються на струми 63...630 А та напругу до 660 В і мають два-п'ять допоміжних контактів. Наступні, після літер, дві цифри (60 чи 70) позначають номер серії. Серія 60 допускає частоту вмикань до 1200 вк/год, серія 70 – до 600 вк/год. Третя цифра (від 1 до 6) шифрує величину контактора, яка обумовлює його номінальний струм. Четверта цифра позначає кількість полюсів (фаз) контактора.

Промисловістю освоєно випуск **вакуумних контакторів** серії КТ 13 для тяжких умов роботи з номінальними струмами 250, 400 та 630 А. Основу контактора складає вакуумна камера КДВ-12, яка являє собою порожнистий циліндричний ізолятор (80×45 мм), герметично закритий металевими фланцями. Рухомий контакт зв'язаний з одним фланцем за допомогою сильфона, який забезпечує його хід у межах 1,5 мм, що цілком достатньо для гасіння дуги у вакуумі. Переміщення рухомого контакта здійснюється електромагнітом постійного чи змінного струму.

Магнітні пускачі. *Магнітний пускач призначений для дистанційного підключення та захисту від перевантажень асинхронних електродвигунів. Він складається з трифазного контактора й теплового реле.*

Через інерційність теплового реле магнітні пускачі не захищають мережу від можливих КЗ в електродвигунах. Для цих цілей необхідно передбачити встановлення *плавких запобіжників чи автоматів*.

Магнітні пускачі серії ПА, що випускалися раніше, мали у своєму складі контактор важільно-поворотного типу (рис. 7.7, б) з електромагнітом Ш-подібного типу. Пускачі нової серії ПМ використовують прямоходовий контактор (рис. 7.7, а) та двоелементне теплове реле ТРН з термокомпенсацією.

На рис. 7.8, а наведено спрощене зображення такого реле. Працює це реле так. Коли підвищений струм тече по пластинчатому нагрівачу 9, що ввімкнений послідовно в коло електродвигуна, нагрівається біметалічна пластина 8. Вона згинається ліворуч та повертає ізоляційну рамку 10 і, натискаючи на заскочку 6, стискає пружину 4. Заскочка виходить із виступу регулятора струму спрацювання 5, і пружина 1 виштовхує шток 3 угору та розмикає контакти 2 в колі електромагніта пускача (рис. 7.9, а). Пускач вимикається.

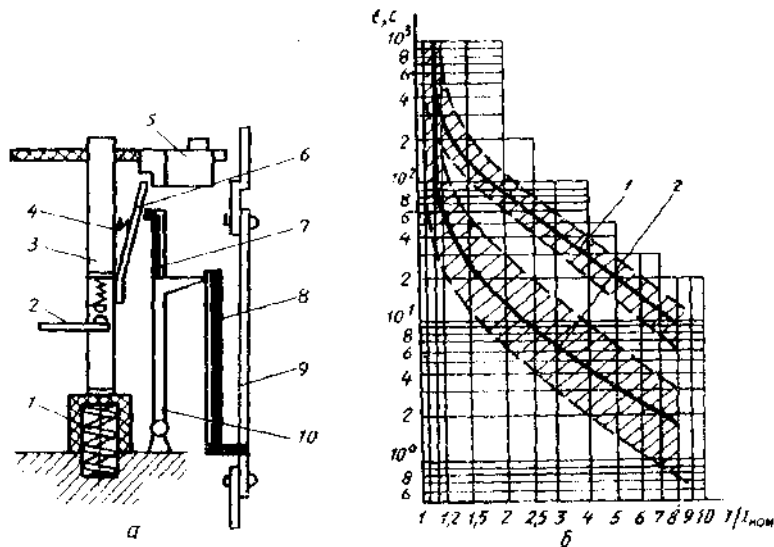


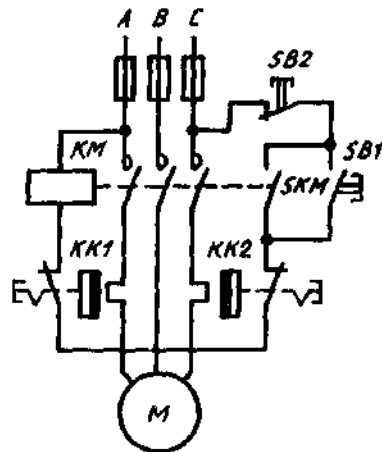
Рис. 7.8

Біметалічна пластина 8 згинається і при зміні температури довкілля. Щоб це не впливало на характеристику (рис. 7.8, б) теплового реле, у верхній частині рамки 10 закріплено термокомпенсатор 7. Термокомпенсатор з підвищенням температури довкілля вигинається праворуч (у бік, протилежний відносно переміщення біметалічної пластини 8).

Регулятор струму спрацювання 5 виконаний у вигляді ексцентрика, який змінює відстань між заскочкою 6 і термокомпенсатором 7. Межі регулювання струму спрацювання теплового реле – $(0,75 \dots 1,25) I_{nom}$. Значення I_{nom} вибивається на

кожному елементі теплового реле. На рис. 7.8, б наведено захисні характеристики реле ТРН-25 в холодному 1 і нагрітому 2 стані.

Після спрацювання теплового реле повторне ввімкнення магнітного пускача можливе тільки через певний час, необхідний для охолодження біметалічної пластини 8 і вирівнювання її праворуч. Після того потрібно натиснути на виступаючий кінець штока 3 (див. рис. 7.8, а). При цьому заскочка впреться у виступ регулятора 5, а контакти 2 замкнуться коло електромагніта, який можна знову ввімкнути натисканням кнопки SB1 „Пуск” (рис. 7.9, а). Електромагніт КМ притягне якор з основними контактами та підключить електродвигун до мережі, а допоміжний контакт SKM зашунтує коло кнопки SB1.



а

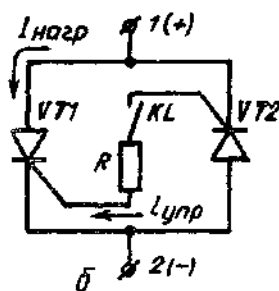


Рис. 7.9

Відключення електродвигуна від мережі здійснюється натисканням на кнопку SB2 „Стоп”, при цьому розривається коло живлення електромагніта КМ і під дією зворотної пружини контактор вимикає коло живлення електродвигуна. При зниженні напруги електромережі на 40...50 % від номінальної сила зворотної пружини пускача перевищує електромагнітну силу котушки вмикання, що призводить до самочинного вимкнення пускача.

Тривале перевантаження електродвигуна або його робота на двох фазах викликає спрацювання одного або двох теплових елементів КК1 чи КК2 реле ТРН і автоматичне вимикання пускача.

Достатність двох теплових елементів, встановлених у фазах А і С, пояснюється тим, що струм перевантаження в трифазній мережі не може проходити тільки по одній із фаз.

Промисловістю випускаються одноелементні теплові реле РТП (для пускачів ПА 4, 5 і 6-ї величин), а також теплові реле нових серій РТТ і РТЛ. Триполюсне виготовлення теплових реле РТТ і РТЛ, окрім захисту електродвигунів з короткозамкненим ротором від тривалих перевантажень, дозволяє отримувати прискорене відключення при обриві однієї з фаз. Реле РТТ виготовляють п'яти величин: 0, 1, 2, 3, 4 на струм 10, 25, 63, 160, 630 А відповідно. Для кожної величини реле існують теплові елементи з номінальними струмами в діапазоні від 0,2 до 1 вищеназваних струмів з можливістю регулювання $\pm 15\% I_{\text{ном}}$.

У двигунах важливих механізмів для захисту від неприпустимого підвищення температури обмоток статора використовується апарат **позисторного** захисту (АПЗ), яким можуть комплектуватись магнітні пускачі. Основою АПЗ є *позистор – нелінійний резистор з великим позитивним температурним коефіцієнтом питомого опору, який наклеюється на лобову частину обмотки* та реагує безпосередньо на її температуру. Конструктивно позистор – це диск діаметром 3,5 мм та товщиною 1 мм, покритий кремнійорганічною емаллю для підвищення вологостійкості та ізоляційних властивостей. Гарантійний строк служби – 20000 год. У разі нагрівання статора вище номінальної температури позистор, значно змінюючи свій опір, зумовлює спрацювання АПЗ. Вихідні контакти АПЗ розмикають коло живлення електромагніта пускача і відключають його. Залежно від класу ізоляції обмоток беруть позистори на температуру спрацювання $\theta = 105, 115, 130, 145$ або 160°C . Позистор різко змінює опір при температурі $\theta + 20^\circ\text{C}$ за час не більше 12 с.

Розшифровка цифр, що йдуть за буквенним позначенням серії в пускачах ПМА, ПМЕ, ПМЛ: перша цифра (від 0 до 6), що позначає величину пускача, вказує на значення його номінального струму (від 10 до 200 А) або допустимої потужності електродвигуна; друга цифра (від 0 до 9) шифрує наявність теплових реле, режиму реверсивності, АПЗ та механічного або електричного блокування (наприклад, цифра 2 означає нереверсивний пускач з тепловим реле, цифра 8 – реверсивний пускач з АПЗ та механічним блокуванням); третя цифра (від 0 до 6) шифрує виконання пускача

за ступенем захисту від навколишніх впливів та наявність в комплекті різних кнопок управління.

Тиристорні пускачі. Поява потужних тиристорів дозволила створити на їх основі безконтактні пускачі. Промисловість випускає для управління електродвигунами тиристорні пускачі типу ПТ-16-380 та ПТ-40-380 (де 16 та 40 – значення номінальних струмів, А; 380 – номінальна напруга, В). На рис. 7.9, б показано силову частину схеми тиристорного пускача (одна фаза). Силкові тиристори розраховані на номінальний та пусковий струми. У разі прикладання до клем 1 і 2 змінної напруги (розглянемо півперіод коли на клемі 1 – плюс, а на клемі 2 – мінус) і замикання контакту КЛ реле управління (обмотка реле, зв'язана з кнопками „Пуск” і „Стоп”, на схемі не показана) через керуючий електрод тиристора VT1 потече струм $i_{упр}$, обмежений опором R. Цей струм спричиняє ввімкнення (відкривання) тиристора VT1 і протікання через нього струму навантаження $I_{нав}$. Тиристор VT2 у цей півперіод закритий, тому що ввімкнений зустрічно прикладений напрузі. В момент проходження струму навантаження через нуль тиристор VT1 закривається. Наступного півперіода напрям струму $i_{упр}$ протилежний і відкриває тиристор VT2. Отже, доки контакти КЛ замкнуті, через навантаження буде протікати змінний струм. Для захисту двигуна від перевантаження контролюються спеціальною схемою величини вторинних струмів вимірювальних трансформаторів струму кожної фази і при перевищенні заданої величини припиняється подача сигналів відкриття тиристорів. Захист двигуна і силових тиристорів від струмів КЗ здійснюється швидкодіючими запобіжниками. В безконтактному тиристорному пускачі відсутня дуга при комутаціях, він має високу зносостійкість та досконалий захист від перевантаження, високе допустиме число включень (до 2000 за годину), швидке відключення (не більше 0,02 с), мають складну схему, високу вартість, більші габарити та значну вагу.

Пускачі зазначених типів допускають при ввімкненні комутацію струмів відповідно 560 і 1650 А (при $\cos \varphi$ навантаження не менше 0,6), а при вимиканні – 400 і 900 А та мають високу стійкість до зношення (не менше, як 5×10^6 циклів). Однак тиристорні пускачі мають значну вагу – 14 і 16 кг відповідно.

8.4. Автоматичні повітряні вимикачі

Автоматичні повітряні вимикачі (автомати) призначені для автоматичного вимикання низьковольтного електричного кола у разі виникнення в ньому ненормальних і аварійних режимів, а також для нечастих оперативних комутацій цих кіл.

Класифікація. Залежно від функціонального призначення і часу вимкнення автомати поділяються на чотири групи: установчі, універсальні, швидкодіючі і автомати гасіння поля.

Установчі (нормальні) автомати призначені для використання як у спеціальних електричних приміщеннях, так і в тих приміщеннях, куди має доступ некваліфікований персонал. Вони мають закритий кожух, який унеможлиблює дотик до струмопровідних частин і викид полум'я та іонізованих газів дуги. Час вимкнення таких автоматів знаходиться в межах $t_{в.в.} = 0,02 \dots 0,1$ с.

Універсальні (селективні) автомати комплектуються різними видами роз'єднувачів і з допомогою спеціальних пристроїв витримки часу дозволяють змінювати час спрацювання в значних межах (до 1 с). Наявність таких пристроїв дає можливість забезпечити селективну роботу кількох послідовно ввімкнених апаратів.

Швидкодіючі (струмообмежуючі) автомати мають час відключення $t_{в.в.} < 0,005$ с. Така швидкість дії дозволяє їм вимикати струм КЗ раніше, ніж він досягне свого максимального значення, таким чином вони обмежують ударний струм i_y КЗ. Струмообмежуючі автомати широко використовуються в електрифікованому транспорті, а також на потужних коротких лініях електропередач 0,4 кВ.

Автомати гасіння магнітного поля використовуються для комутації і відключення обмоток збудження великих електричних машин у разі виникнення в них КЗ. Ці автомати мають специфічну конструкцію.

Дві останні групи автоматів практично не використовуються в аеропортах і їх не розглядаємо.

Конструкція і принцип дії. На рис. 7.10 показано узагальнену електромеханічну схему автоматів, у яких можна виділити такі основні частини: приводи, механізм вільного роз'єднання (МВР),

струмопідводи, контактну систему, дугогасний пристрій та роз'єднувачі. У конкретних типів автоматів можуть бути відсутні певні пристрої узагальненої схеми.

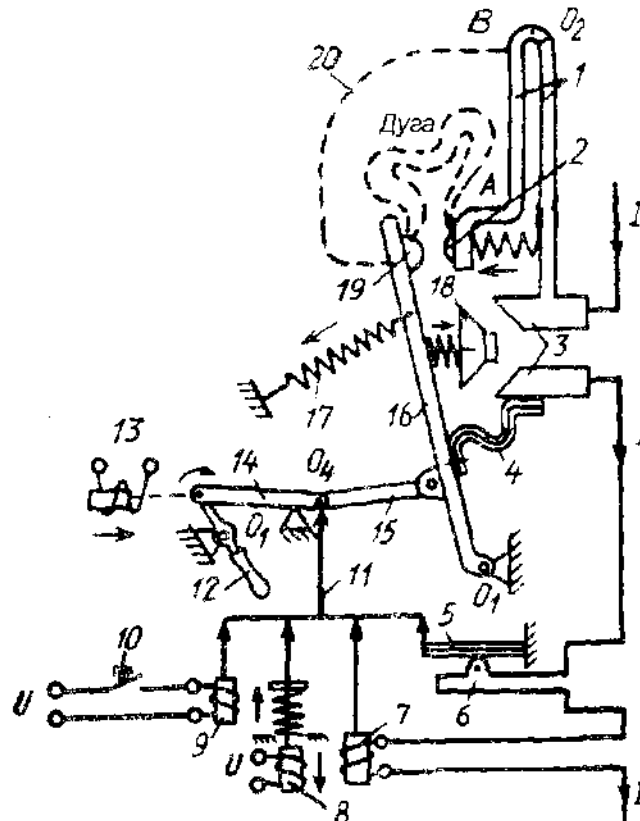


Рис. 7.10

Вмикання апарата виконується ручним 12 або електрифікованим 13 приводом. При цьому зусилля через важелі 14 та 15 механізму вільного роз'єднання передається на стійку 16 рухомих контактів 18 та 19. Останні стикаються з нерухомими основними 3 та дугогасним 2 контактами. Одночасно розтягується пружина відключення 17.

Вимкнення автомата проводиться або вручну, або відбувається автоматично при спрацюванні одного з роз'єднувачів: теплового,

що складається з нагрівального елемента 6 і біметалічної пластини 5; електромагнітного роз'єднувача 7, роз'єднувача мінімальної напруги 8, або від незалежного роз'єднувача 9, що викликає відключення автомата у разі натискання кнопки дистанційного управління 10.

Механічне зусилля, що виникає в роз'єднувачі при його спрацюванні, через тягу 11 передається на важелі 14 і 15 механізму вільного роз'єднання, викликаючи їх „зламування” і наступне переміщення стійки 16 під дією пружини вимикання 17. При цьому ручка приводу 12 залишається у ввімкненому положенні.

Конструкція контактної системи така, що спочатку розмикаються основні контакти 3 та 18. При цьому дуга між ними не виникає, тому що весь струм навантаження починає протікати крізь ще замкнені дугогасні контакти 2, 19 та гнучкий струмопідвід 4. З невеликою затримкою розмикаються і дугогасні контакти. Дуга, яка при цьому виникає між ними, гаситься в камері 20. Електродинамічні зусилля, що виникають в контактах при протіканні струмів КЗ, компенсуються силами відштовхування в рухомій частині шини 1, зігнутою петлею.

Розглянемо більш детально призначення і принципи дії основних вузлів автомата.

Механізм вільного роз'єднання (МВР) забезпечує вимкнення автомата по команді одного з роз'єднувачів, навіть коли привод (ручний або автоматичний) продовжує його вмикати. Необхідність такого пристрою в автоматах зумовлена трьома причинами.

По-перше, якщо б включення автомата, не оснащеного МВР, проходило на існуюче, але не відоме обслуговуючому персоналу КЗ, автомат не зміг би відключитися, доки його ручка утримувалася б у ввімкненому положенні. Це призвело б до спрацювання автомата або запобіжника, що стоять попереду, тобто до неселективного вимкнення в мережі з усіма несприятливими наслідками.

По-друге, у разі раптового вимкнення автомата відбувалося б переміщення його рукоятки, що могло б травмувати людину, яка знаходиться біля автомата.

По-третє, МВР забезпечує постійність та незалежність від оператора або приводу швидкості розходження контактів, що важливо для успішного гасіння дуги.

Конструкції МВР різноманітні і досить складні. Принцип його дії можна пояснити на прикладі важелів, „що зламуються” (рис. 7.11). Перед увімкненням автомата його ручку 8 необхідно відвести вниз до упору (рис. 7.11, а) для утворення жорсткого

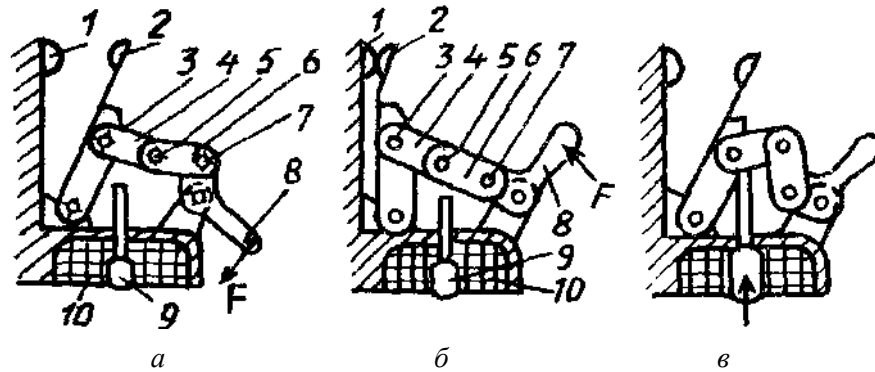


Рис. 7.11

зв'язку між важелями 4 і 6. При цьому центр шарніра 5 має лежати нижче від лінії, що з'єднує шарніри 3 і 7. Рухом ручки догори відбувається увімкнення автомата (рис. 7.11, б). Якщо увімкнення відбулося, наприклад, на наявне КЗ, роз'єднувач максимального струму 10 різко перемістить осердя 9 вгору і відбудеться „зламання” важелів 4 і 6 (рис. 7.11, в). Контакти 1 і 2 автомата під дією пружини відключення розімкнуться, а ручка управління автомата залишиться у увімкненому положенні. У сучасних автоматах для індикації автоматичного спрацювання рукоятка трохи переміщується вниз.

Контактна система в потужних автоматах ($I_{\text{ном.}} > 630 \text{ А}$) має окремі основні та дугогасні контакти (див. рис. 7.10). В установчих автоматах обидві функції об'єднуються в одному основному контакті, що часто виконується на основі металокераміки та має дугогасні роги, на яких збільшується довжина дуги при її переміщенні вгору.

Дугогасні пристрої в автоматах змінного струму виготовляють, як правило, на основі сталевих поперечних решіток. Може бути використане і „магнітне дуття”. В автоматах постійного струму широко використовуються дугогасні камери на основі подовжніх і

поперечних щілин в дугостійких ізоляційних матеріалах. Спроможність контактної системи автомата разом з дугогасним пристроєм вимикати ще без пошкоджень певний максимальний струм обумовлюється здатністю відключення автомата, яка характеризується *максимальним струмом відключення* $I_{\text{відкл. max}}$.

Роз'єднувачі. Роз'єднувачі – найпростіші релейні пристрої прямої дії, вмонтовані в автомат. Вони контролюють заданий параметр електричного кола та, у разі його відхилення за межі уставки, викликають відключення автомата, впливаючи на МВР.

Роз'єднувачі струму характеризуються такими параметрами:

номінальним струмом роз'єднувача $I_{\text{роз. ном}}$ називають максимальний струм, проходження якого необмежений час не викликає спрацювання роз'єднувача (бувають автомати з фіксованим значенням $I_{\text{роз. ном}}$ та з можливістю його регулювання);

струмом уставки роз'єднувача від КЗ $I_{\text{уст. КЗ}}$ називають регульоване або фіксоване значення струму, перевищення якого викликає спрацювання роз'єднувача фактично миттєво (*режим відсічки*) в установчих автоматах, або через заданий час $t_{\text{КЗ}}$ в селективних автоматах.

Залежно від параметра, що контролюється, розрізняють такі види роз'єднувачів.

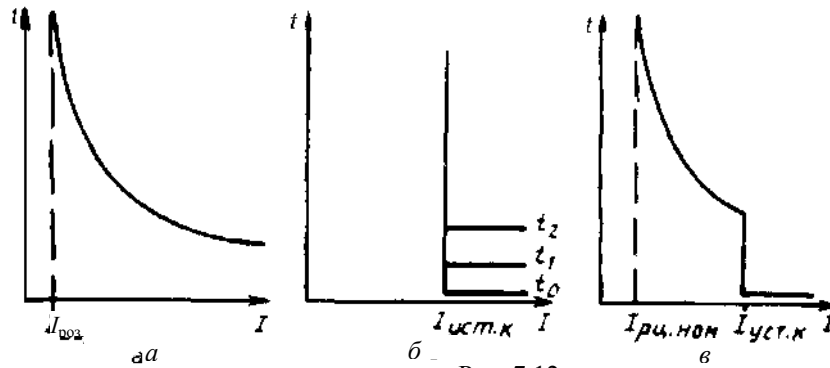


Рис. 7.12

Роз'єднувачі від струмів перевантаження видають сигнал на відключення автомата з затримкою часу, яка залежить від кратності струму перевантаження відносно $I_{\text{роз. ном}}$. Характерна захисна крива роз'єднувача такого виду зображена на рис. 7.12, а.

Роз'єднувачі такого виду можуть бути виконані на основі біметалічних елементів (рис. 7.10), електромагнітів з пристроями уповільнення або напівпровідникових пристроїв (рис. 7.19).

Роз'єднувачі від струмів КЗ подають сигнал на вимкнення автомата без затримки часу (режим відсічки) або з затримкою (селективні автомати) при перевищенні струмів в колі струму уставки роз'єднувача $I_{уст. КЗ}$. Цей вид роз'єднувачів виготовляється на основі електромагніта (рис. 7.10) з пристроєм уповільнення (або без нього) або на основі напівпровідникових пристроїв (рис. 7.19). На рис. 7.12, б наведено захисні характеристики роз'єднувача від струмів КЗ без затримки часу t_0 і з різними затримками часу $t_1, t_2_{КЗ}$.

Комбіновані роз'єднувачі об'єднують у собі роз'єднувачі першого і другого видів. На рис. 7.12, в наведено захисну характеристику комбінованого роз'єднувача.

Роз'єднувачі мінімальної напруги вимикають автомат при зниженні напруги в мережі нижче від встановленої уставки. Вони виконуються на основі електромагніта 8 (див. рис. 7.10), який при номінальній напрузі утримує якір притягнутим. Якщо напруга, прикладена до обмотки, знижується нижче певного рівня, електромагнітна сила не може протидіяти зворотній пружині і остання перемістить якір угору. Якір, діючи на МВР, спричиняє відключення автомата. Регулювання уставки спрацювання роз'єднувача здійснюється зміною натягу пружини. Для відстройки від короткочасного зниження напруги роз'єднувач може мати уповільнювач спрацювання. *Незалежні роз'єднувачі* призначені для дистанційного вимкнення автомата по команді оператора або пристрою автоматики. Вони виконуються на основі електромагніта 9 (див. рис. 7.8), який переміщує свій якір у разі прикладання напруги до обмотки. Якір, діючи на МВР, виключає автомат.

Розглянемо конструкції автоматів, які найбільш широко використовуються в системі електропостачання.

Автомати установчі серії АП50. Автомати серії АП50 призначені для захисту кіл від перевантажень, оперативних вмикань (до 30 вмикань на годину), захисту та управління асинхронними двигунами потужністю до 20 кВт при напрузі 380 В. Виготовляються автомати на номінальні струми 1,6...63 А.

Автомат має такі елементи (рис. 7.13): нерухомі 1 і рухомі 2 основні контакти (вони ж є і дугогасними), гнучкий струмопідвід 9,

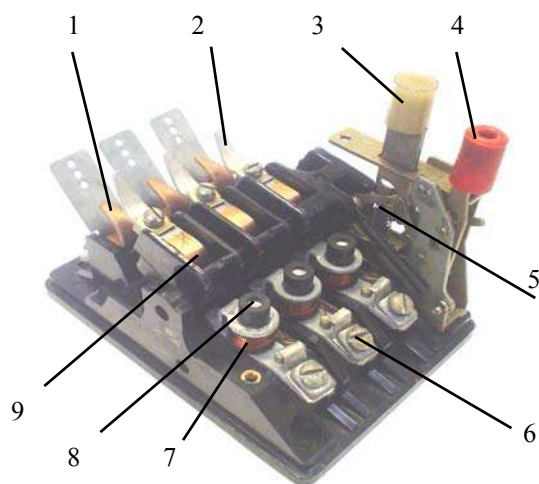


Рис. 7.13

кнопки привода "УВІМК" 3 і "ВИМК" 4, регулятор уставки $I_{\text{роз. ном.}}$, важелі 5 механізму вільного розчеплення, гвинтові контакти 6 для приєднання провідників, обмотку 7 і бойок 8 електромагнітного розчіплювача від КЗ.

Зі зворотного боку пластмасової основи автомата розміщуються теплові біметалеві розчіплювачі від струмів перевантаження і рейка впливу на МВР.

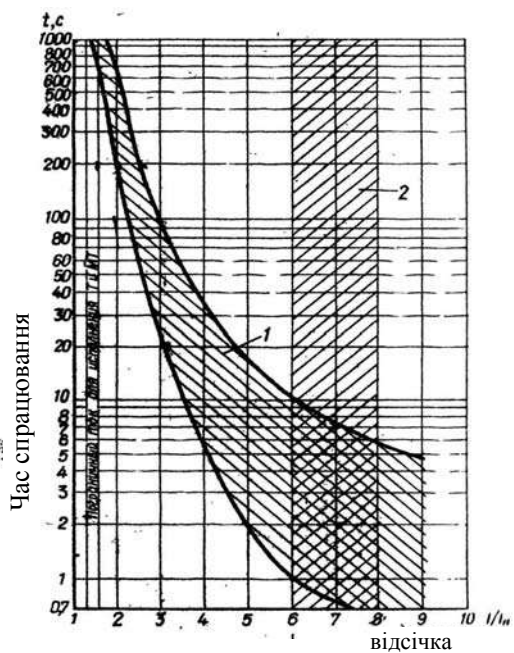


Рис. 7.14

Основний недолік автоматів АП50 – значні похибки по струму спрацювання. Так, похибка теплового розчіплювача складає $\pm 20\% I_{\text{роз. ном}}$ (зона 1 рис. 7.14), а електромагнітного 50% (зона 2).

Автомати серії АЕ. Установчі автомати серії АЕ2000 (рис. 7.15) замінили серію А3100 в діапазоні номінальних струмів

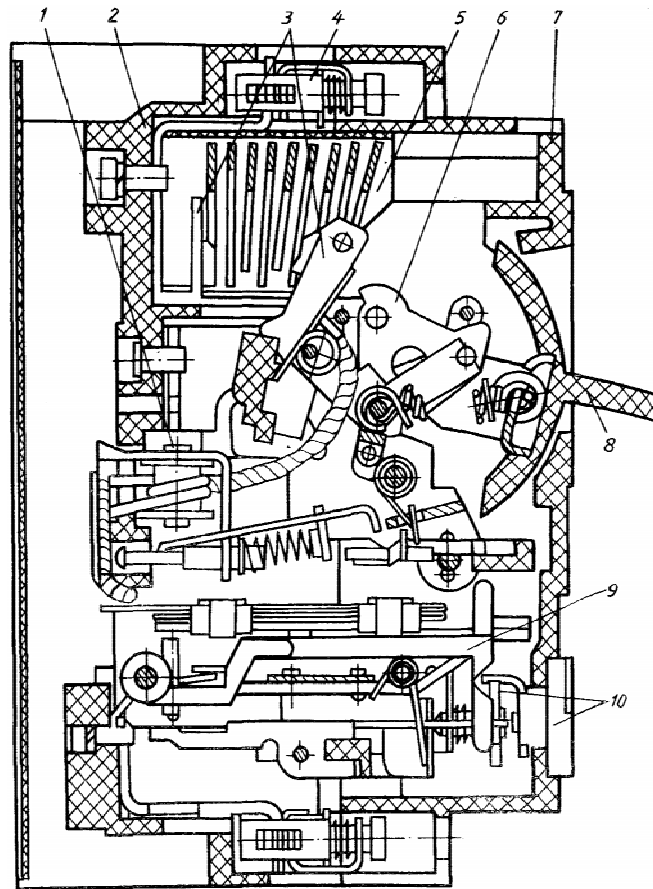


Рис.7.15

16...100 А. Вони призначені для роботи в мережах змінної 50 та 60 Гц до 660 В та постійної до 220 В напруги, захисту електричних кіл від перевантаження й струмів КЗ, захисту, пуску й зупинки асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором,

оперативного включення й відключення кіл (до 30 вкл/год). Автомати комплектуються тепловими та електромагнітними розчіплювачами. Номінальні струми перших знаходяться в діапазоні 0,3...100 А. У конструкції автомата передбачена можливість регулювати уставку теплового розчіплювача в межах $(0,9...1,1)I_{\text{роз. ном}}$. Електромагнітний розчіплювач від струмів КЗ має нерегульовану уставку $12I_{\text{роз. ном}}$.

На рис. 7.15 зображено конструкцію автомата АЕ2000. Автомат має: 1-електромагнітний розчіплювач; 2-корпус; 3-контактну систему; 4-вивідні затискачі; 5-дугогасний пристрій; 6-механізм вільного розчеплення; 7-кришку; 8- рукоятку; 9-тепловий розчіплювач; 10-регулятор номінального струму теплового розчіплювача.

На рис. 7.16 зображено захисну характеристику автомата АЕ2000.

Розшифрування позначень автоматів серії АЕ таке: цифра 20 означає порядковий номер розробки, третя цифра (2...6) означає величину автомата та відповідний до неї струм у діапазоні 16...100 А. Четверта цифра (2...8) шифрує кількість полюсів та розчіплювач, який використовується. Наступні цифри кодують наявність та кількість допоміжних контактів, допоміжного розчіплювача мінімальної напруги та незалежного розчіплювача.

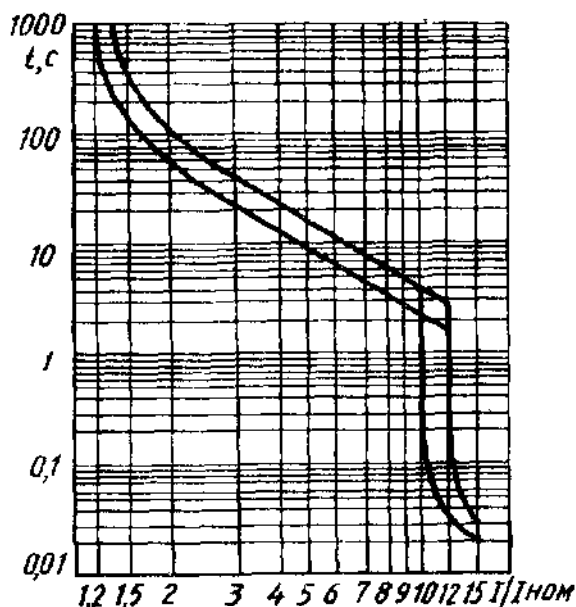


Рис. 7.16

В освітлювальних мережах 220 В використовуються автомати серії АЕ2500, що мають одно- та двополусне виконання. По

конструкції вони майже ідентичні серії АЕ2000. Автомати серії АЕ1000 виготовляються тільки однополюсними для мереж 380 В зі струмами до 25 А.

Автомати серії ВА. Автомати нової серії ВА88 російського виробництва випускаються шести габаритів (125, 160, 250, 400, 800, 1600 А) на номінальні струми теплового розчіплювача від 12,5 А до 1600 А. Вони виконані у вигляді моноблока і складаються з основи і кришки із псевдопанеллю, у якій є вікно для рукоятки керування і кнопки «Тест» (перевірки механізму відключення вимикача). Основа з термостійкої пластмаси 1 (див. рис. 7.17) є несучою конструкцією для клем приєднання 2, нерухомих силових контактів 3, дугогасної системи 4, рукоятки механізму керування 5 із системою рухомих контактів 6, ізолюючої рейки 7, плоскої рейки 8 і регулювальних гвинтів 9. Кришка закриває всі рухомі елементи механізму керування і внутрішні струмопровідні частини.

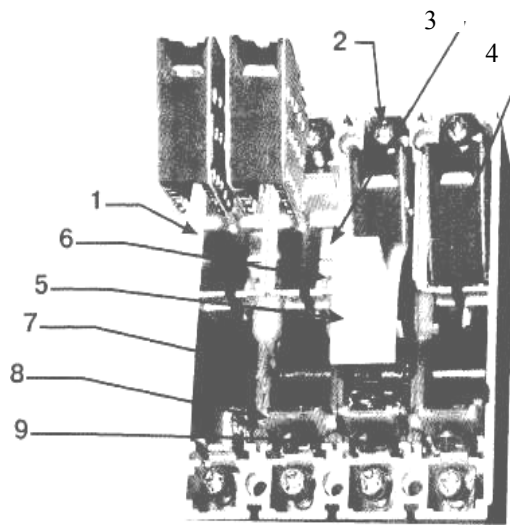


Рис. 7.17

Механізм керування вимикача має потужну поворотну пружину і побудований на принципі важелів, що зламуються. У разі зведення рукоятки механізму керування починає рухатися ізолююча рейка, на якій закріплені підпружинені рухомі силові

контакти (3 або 4 залежно від модифікації) з гнучкими струмопідводами. Рейка повертається в бічних напрямних та забезпечує не тільки замикання рухомих і нерухомих силових контактів, але і провали, необхідні для збільшення і вирівнювання тиску на рухомі контакти. Дія поворотної пружини відключення блокується елементами важеля, що зламається, які знаходяться в цей момент на одній прямій лінії й опираються одним коліном на виступ поворотного елемента “скидання” механізму керування.

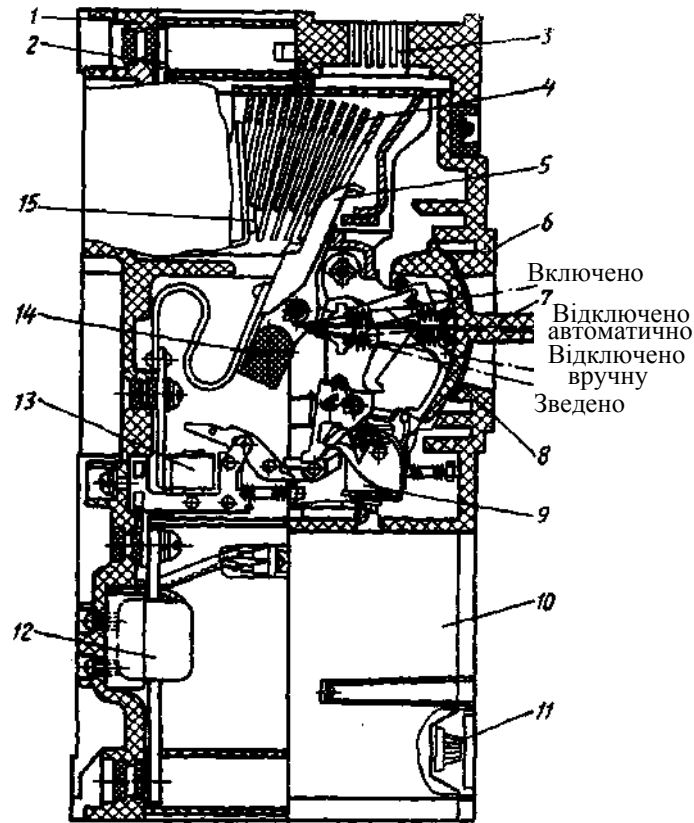


Рис. 7.18

Скидання механізму керування здійснюється за допомогою плоскої рейки, на яку через регульовальні гвинти діють штовхальники біметалічних пластин теплових розчіплювачів і електромагнітів

захисту від КЗ. Автомати можуть комплектуватися незалежним розчіплювачем для дистанційного вимкнення, розчіплювачем мінімальної напруги, додатковими і аварійними контактами та ручним поворотним і електромагнітним приводом.

Дугогасна система вимикачів у виконаннях ВА88-32, 33 складається з дугогасних ґрат зі сталевими нікельованими пластинами; у виконаннях ВА88-35 і вище застосовані додаткові розпилювачі дуги у вигляді товстих перфорованих сталевих пластин, вставлених у кришку.

А Автомати серії А3700. Автомати цієї серії замінили застарілу серію А3100 в діапазоні струмів 160...630 А. Вони призначені для експлуатації при напругах до 660 В змінного і до 440 В постійного струму і виготовляються трьох різновидів: нормального виконання, швидкодіючі і селективні.

А Автомати нормального виконання (маркуються – Ф) виготовляють з електромагнітним або комбінованим роз'єднувачем, а також без роз'єднувача (фактично це рубильник у закритому корпусі).

Швидкодіючі (струмообмежувальні) автомати (маркуються – Б) мають різні комбінації електромагнітного, теплового і напівпровідникового роз'єднувачів.

Селективні автомати (маркуються – С) оснащуються тільки напівпровідниковим роз'єднувачем. На рис. 7.18 зображено розріз селективного автомата серії А3700. Автомат складається із корпусу 1 і кришки 6, струмопроводів 2, закритих від обслуговуючого персоналу, блока напівпровідникових роз'єднувачів 10, незалежного роз'єднувача 9, електромагнітного роз'єднувача 13, механізму вільного роз'єднання 8, камери з дугогасною решіткою 4. У верхній частині кришки розміщена вогнегасна решітка 3. Контактна система складається з рухомих контактів 5, закріплених на ізоляційній вісі 14, і нерухомих контактів 15. Інформація про величину змінного струму, який проходить через автомат, надходить від трансформаторів струму 12. Наявні на лицьовій панелі чотири регулятори 11 дозволяють істотно змінювати (переміщувати) захисну криву автомата. Ручний привод вимикача 7 має чотири характерних положення (на рис. 7.18 показані пунктиром: увімкнено, вимкнено автоматично, вимкнено вручну та зведено).

На рис. 7.19, а наведено блок-схему напівпровідникового роз'єднувача, який використовується в автоматах серії АЗ700. Трансформатори струму 1, встановлені в кожну фазу, видають сигнал, пропорційний величині струму, в схему 2, яка забезпечує виділення найбільшого сигналу. Трансформатори струму також дають енергію в блок живлення 11, який забезпечує необхідну напругу для роботи всіх пристроїв роз'єднувача.

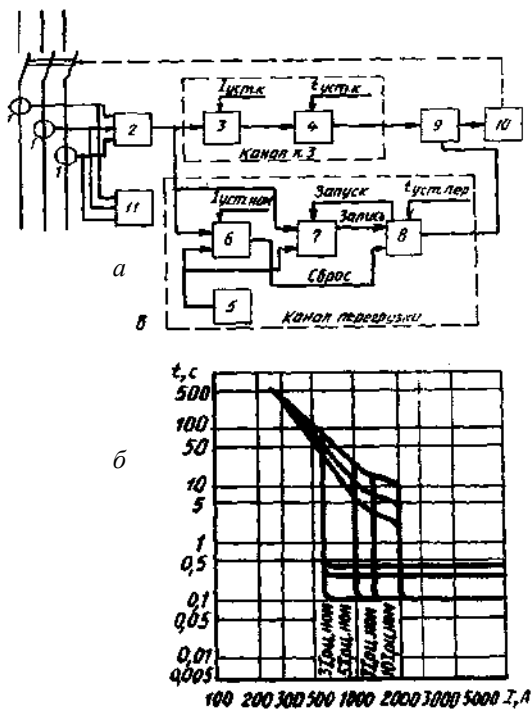


Рис. 7.19

Блокінг-генератор 5 безперервно виробляє імпульси, які поступають на входи блока перевантаження 6 і одновібратора 7. У разі відсутності струму перевантаження блок перевантаження пропускає імпульси від блокінг-генератора на вхід „Зброс” накопичувального лічильника 8 і безперервно його обнулює.

З підвищенням струму в колі вище від уставки номінального струму роз'єднувача (регулятор уставки $I_{рц. ном}$ впливає на блок перевантаження) блок 6 перестає пропускати імпульси і лічильник

8 починає рахувати імпульси, що надходять з одновібратора 7 по каналу „Запис”. Інтервал між вихідними із одновібратора 7 імпульсами обернено пропорційний величині сигналу, який надходить на одновібратор від схеми 2 (величині струму в силовому колі). В момент переповнення лічильника 8 (рівень задається регулятором часу перевантаження $t_{уст. пер}$) вихідне реле 9 дає команду на незалежний розчіплювач 10 і автомат вимикається. Так у каналі перевантаження встановлюється залежність, яка забезпечує швидше вимкнення автомата при більших струмах перевантаження (див. рис. 7.18).

У разі появи в силовому колі струму, який перевищує уставку струму КЗ $I_{уст. кз}$ блока 3, останній виробляє імпульс, що запускає блок затримки часу 4, котрий забезпечує затримку імпульсу, який надходить на вихідне реле 9, на час, що вводиться за допомогою регулятора $t_{уст. кз}$.

Наявність у напівпровідниковому розчіплювачі чотирьох регуляторів: $I_{роз. ном}$, $I_{уст. кз}$, $t_{уст. пер}$ та $t_{уст. кз}$ дозволяє значно змінювати вид та місце розташування захисної кривої автомата для його селективної роботи. Так напівпровідникові розчіплювачі автоматів серії А3700 дозволяють змінювати уставку номінального струму розчіплювача у межах $I_{уст. роз. ном}=1...1,5 I_{роз. ном}$, уставку струму від КЗ $I_{уст. кз}=(3...10)I_{роз. ном}$, уставку часу від перевантаження $t_{уст. пер}=4...16$ с при струмі, рівному $6 I_{рц. ном}$, та уставку часу при КЗ $t_{уст. кз}=0,1...0,4$ с. На рис. 7.19, б наведено зону можливого розташування захисних характеристик автомата А3700 ($I_{ном}=200$ А) з напівпровідниковим розчіплювачем.

Мінімальний розчіплювач напруги забезпечує вимикання автомата без витримки часу при напрузі на котушці не вище 0,3 номінальної для змінного струму та не вище 0,2 номінальної для постійного. Номінальний режим роботи мінімального розчіплювача напруги – тривалий.

Електромагнітний привід здійснює дистанційне включення та відключення, а також автоматичне зведення А3700 після його автоматичного відключення і не заважає ручному управлінню.

Автоматичні вимикачі серії АЕ2000 і А3700 розраховані на весь строк експлуатації без зачистки контактів та зміни будь-яких частин. Їх регулюють на потрібні параметри на заводі-виробнику і протягом гарантійного строку не розкривають.

Глава 8. КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ ВИЩЕ 1000 В

8.1. Класифікація комутаційних апаратів вище 1000 В

Усі комутаційні апарати для напруг вище 1000 В залежно від функціонального призначення діляться на три групи: роз'єднувачі (включно з відокремлювачами та короткозамикачами), вимикачі навантаження та силові вимикачі.

На рис. 8.1 подано графічні зображення та позначення названих апаратів: роз'єднувач (а), роз'єднувач з ножами заземлення (б),

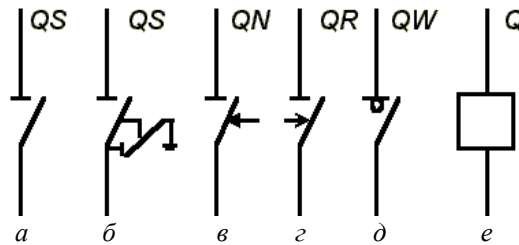


Рис. 8.1

короткозамикач (в), відокремлювач (г), вимикач навантаження (д) та силовий вимикач (е). У наступних параграфах кожна група буде докладно розглянута в діапазоні напруг 6..35 кВ.

8.2. Роз'єднувачі, короткозамикачі та відокремлювачі

Роз'єднувач - високовольтний апарат, призначений для ізолювання попередньо вимкнутих елементів електроустаткування шляхом створення видимого розриву електричного кола з метою підвищення безпеки проведення ремонтних робіт. Роз'єднувачі, оснащені ножами заземлення, використовуються для заземлювання електроустаткування під час ремонтних та профілактичних робіт.

Роз'єднувачі не мають ніяких дугогасних пристроїв. **Тому вмикати та вимикати електричні кола роз'єднувачами необхідно у знеструмленому стані.** Однак багаторічний досвід експлуатації показав, що безпосередньо роз'єднувачами можна комутувати незначні струми, які не викликають дугу або викликають слабку електричну дугу, що швидко згасає на відкритому повітрі.

Згідно з Правилами [1] роз'єднувачами дозволено проводити такі операції при напрузі до 10 кВ:

- вимикати струм навантаження до 15 А;
- комутувати струм холостого ходу силових трансформаторів потужністю до 750 кВА;
- комутувати кола трансформаторів напруги;
- комутувати зарядний струм збірних шин, повітряних ліній будь-якої довжини та кабельних ліній довжиною до 10 км;
- комутувати нейтралі силових трансформаторів та дугогасних реакторів.

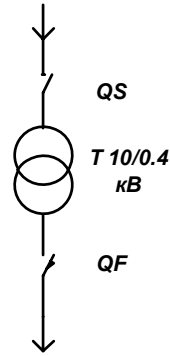


Рис. 8.2

Використання цих можливостей роз'єднувачів дозволяє в таких випадках (а в мережах електропостачання аеропортів досить часто) суттєво спростити та здешевити конструкції ТП.

На рис. 8.2 наведено можливу схему тупикової ТП, вона виконана без високовольтних вимикачів та збірних шин. Вимкнення силового трансформатора T зі сторони високої напруги в цій схемі виконується роз'єднувачем QS після зняття навантаження автоматом QF , тобто після переведення трансформатора в режим холостого ходу.

Залежно від місця встановлення розрізняють роз'єднувачі для внутрішніх та зовнішніх електроустановок. За конструкцією їх поділяють на такі різновиди: врубний, котковий, горизонтальноповоротний та пантографічний. Роз'єднувачі підвісного типу використовуються при напрузі 220 кВ та вище. Пантографічний тип роз'єднувача (аналогічні використовують на електровозах) у системі вітчизняного електропостачання не розповсюджений, але використовується за кордоном.

Роз'єднувачі врубного типу. Роз'єднувачі цього типу для внутрішньої встановлення найбільш широко використовуються в мережах електропостачання підприємств завдяки простоті конструкції та надійності в роботі. Промисловість випускає триполюсні роз'єднувачі серії РВ (роз'єднувач для внутрішнього

встановлення) та однополюсні серії РВО з номінальним струмом 400...2000 А на напругу 6...10 кВ. Різні модифікації цих серій позначаються відповідними буквами в маркуванні роз'єднувача: Л – лінійний, Р – рубаючий, З – з ножами заземлення, Ф – фігурний (з прохідними ізоляторами). Наступні за літерним скороченням дві групи цифр означають номінальну напругу в кіловольтах та номінальний струм в амперах. Наприклад, роз'єднувач РВЗ-10/1000 обладнаний ножами заземлення, має $U_{\text{ном}}=10$ кВ та $I_{\text{ном}}=1000$ А і призначений для внутрішньої установки.

Конструкція роз'єднувача типу РВ-10 показана на рис.8.3, а. На рамі 10, звареній зі сталейних кутників, закріплено шість опорних ізоляторів 9. На трьох передніх ізоляторах закріплено мідні нерухомі контакти 7, що мають циліндричну контактну поверхню. На трьох задніх – встановлено рухомі контакти 5, виконані з двох смуг-ножів, які обертаються навколо осі 1. За допомогою фарфорових тяг 6, зв'язаних з валом роз'єднувача 11, рухомі контакти повертаються навколо осі на 60° . Управління роз'єднувачем здійснюється поворотом вала 11. Вал через важіль 12 керується приводом (конструкцію привода наведено на рис. 9.2).

Необхідний натиск в контактах досягається за допомогою пружин 2, насаджених на стержні 4 з зовнішніх боків рухомих ножів. Тиск від пружин передається на ножі через сталеві пружини 3, що мають виступ та збільшують зусилля (за принципом важеля). Під час протікання струму КЗ у паралельних мідних ножах виникають зусилля, що притягають їх один до одного і збільшують натиск в місцях контактування. Однак у місцях контактування при проходженні струмів КЗ виникають також значні зусилля, що роз'єднують контакти. Компенсують ці зусилля сталеві пластини 3, які намагнічуються при струмах КЗ та притягуються одна до одної і збільшують тиск контакту. Такий пристрій називають *магнітним замком*. Для приєднання рами заземлювача до контура заземлення передбачено спеціальний болт 8.

Роз'єднувачі типу РВ та РВО керуються ручними приводами типу ПР, черв'ячними приводами типу ПЧ і електрорушійними приводами, розглянутими в п. 9.3.

Роз'єднувачі коткові. Серія роз'єднувачів типу РВК використовується при струмах 3000 А та більше, наприклад у цехових струмопроводах. Нерухомий контакт роз'єднувачів цього

типу виконано у вигляді прямокутного короба, куди вкочуються і притискаються до внутрішньої поверхні рухомі контакти. Така конструкція забезпечує достатню площу контактування при номінальних струмах до 14 кА.

Роз'єднувачі горизонтальноповоротного типу. Роз'єднувачі цього типу випускаються на напругу 10...750 кВ. Вони надійніші в умовах зовнішнього використання (легше сколюється крига), мають малий габарит та простіший механізм керування.

На рис. 8.3, б наведено конструкцію одного полюса (однієї фази) роз'єднувача серії РНД (роз'єднувач для зовнішньої установки двоколонковий). Зусилля від привода передається на керуючий роз'єднувачем вал 7 і викликає обертання ізоляторів (колонків) 6 на 90° . У верхній частині ізоляторів закріплено контактні ножі, один з яких 1 обладнаний ламельною вилкою 2, у яку входить ніж 3. Ламелі закриті кригозахисним кожухом.

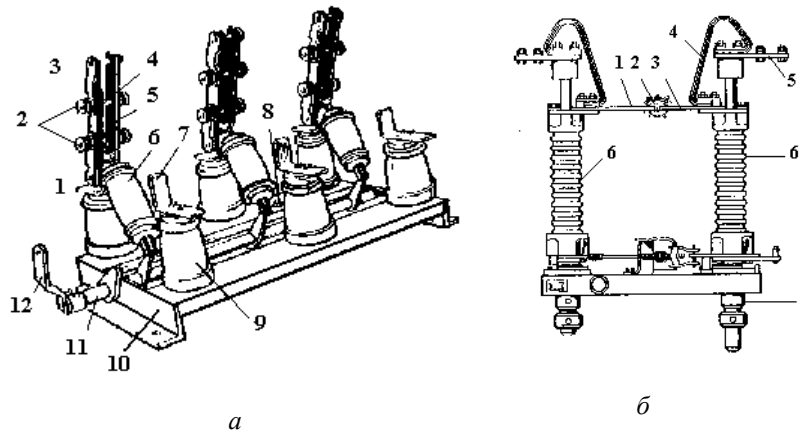
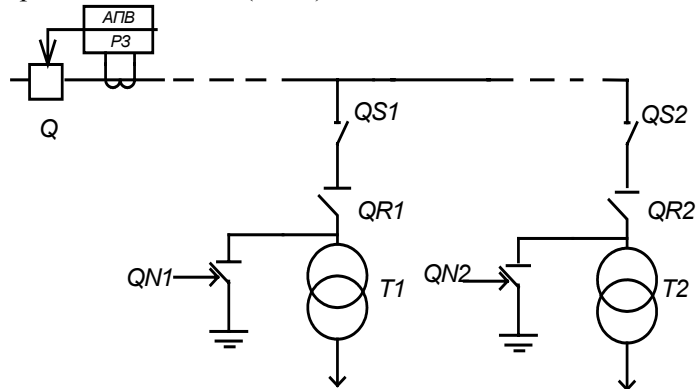


Рис. 8.3

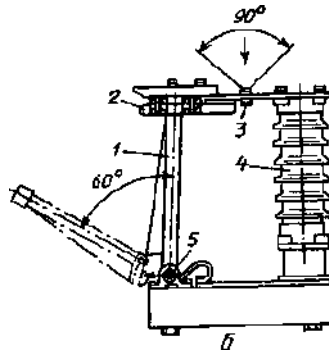
При відключенні обидві колонки 6 повертаються і спричиняють «зламування» ножів та їх розведення на відстань, яка дорівнює відстані між осями колонків. Рухомі ножі з'єднуються з контактними шинами 5 за допомогою набору гнучких смужок 4 з мідної фольги.

Короткозамикачі та відокремлювачі. Призначення короткозамикачів та відокремлювачів проілюструємо схемою

рис.8.4, а. В магістральних лініях 35...220 кВ з метою економії тільки початок магістралі оснащують дорогими силовими вимикачами (вимикач Q), де також розташовується комплект релейного захисту (РЗ) магістралі та обладнання автоматичного повторного включення (АПВ).



а



б

Рис. 8.4

Під час експлуатації силових трансформаторів трапляються такі їх внутрішні пошкодження, які РЗ магістралі не відчуває. У цьому разі, спрацьовує більш чутливий диференціальний (або газовий) захист самого трансформатора, наприклад трансформатора $T1$. Його захист подає сигнал на увімкнення короткозамикача $QN1$. Його вмикання створює штучне КЗ, яке викликає значне підвищення струму в магістралі і спрацювання РЗ. Силовий

вимикач Q вимикає всю магістраль. Далі спрацьовує роз'єднувач трансформатора $T1$ та від'єднує пошкоджений трансформатор $T1$. Через деякий час сигналом обладнання АПВ вимикач Q вмикається і відновлює електропостачання споживачів магістралі, приєднаних до силових трансформаторів, що залишилися в роботі.

Отже, *короткозамикач* – це високовольтний апарат, призначений для створення штучного КЗ. Короткозамикачі для мереж 35 кВ (серії КЗ-35) виготовляють двофазними, а в мережах 110 кВ і вище – однофазними. На рис. 8.4, б зображено конструкцію однієї фази короткозамикача відкритого типу на 35 кВ, який складається з опорного ізолятора 4, у верхній частині якого закріплено нерухомий контакт 2 і болт 3 для приєднання підвідного дроту. Заземлений ніж 1 закріплено на валу 5, який вмикає короткозамикач за допомогою пружинного привода. Відключення здійснюється вручну.

Відокремлювач – це триполюсний роз'єднувач, що за командою автоматичного обладнання від'єднує ділянку мережі в знеструмленому стані. Конструкція відокремлювачів аналогічна конструкції роз'єднувачів. Так, двоколонковий відокремлювач типу ОД-35 аналогічний роз'єднувачу РНД (див. рис. 8.3, б) укомплектованому пружинним приводом, який діє на відключення.

Подальше удосконалення короткозамикачів і відокремлювачів пов'язане з використанням закритих камер, наповнених елегазом.

8.3. Вимикачі навантаження

Вимикач навантаження – високовольтний комутаційний апарат, призначений для відключення робочих струмів (у межах або трохи більше номінального струму). Вимикачі навантаження (ВН) не призначені для відключення струмів КЗ, але вони здатні вмикати струми, відповідно до їх електродинамічної стійкості при прохідних струмах КЗ.

Використання ВН спільно з високовольтними запобіжниками дозволяє значно знизити вартість електроустановок, відмовитися від дорогих і більш трудомістких в експлуатації силових вимикачів, оснащених пристроями релейного захисту. Нині найбільш розповсюджені автогазові ВН. Випускають вакуумні вимикачі навантаження на напругу 10 кВ та елегазові на напругу 35 кВ і вище.

Автогазові вимикачі навантаження. Вимикачі навантаження цього різновиду широко застосовуються в мережах електропостачання підприємств. На рис. 8.5, а зображено проекцію сучасного автогазового вимикача навантаження серії ВН-10, який незначно відрізняється від серії ВН-16 (ВН-17), що випускалася раніше. Третя літера в маркуванні вимикача навантаження шифрує використаний привід: Р – ручний, П –пружинний. Вимикачі ВН-10 випускають на напругу 6; 10 кВ та номінальний струм до 630 А.

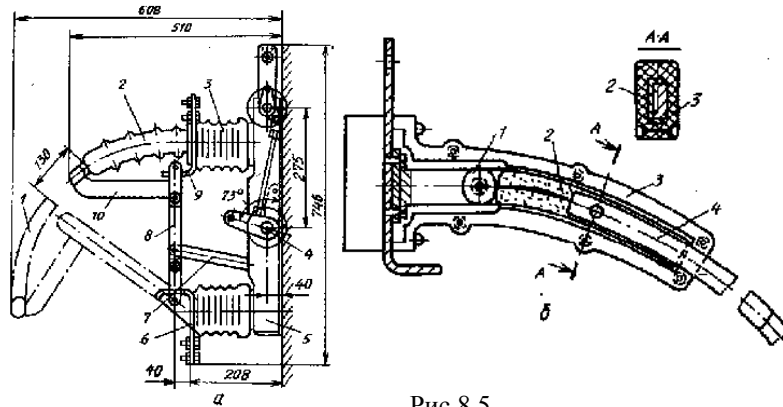


Рис.8.5

Вимикач ВН-10 змонтовано на сталій рамі 5 та шести опорних ізоляторах 3. На трьох верхніх закріплено нерухомі основні контакти 9 та дугогасні 1 (розташовані всередині камери 2). Рухомі контакти монтуються на нижніх контактних стійках 6. Основний рухомий контакт 8 виконаний у вигляді двох мідних смуг, стягнених пружинами, надітими на розпірки. На основних контактах за допомогою сталених смуг 10 кріпляться дугогасні рухомі контакти 1.

Рухомі контакти обертаються за допомогою ізоляційних тяг 7, що з'єднують вал вимикача 4 з контактами 8. У разі ввімкнення вимикача за допомогою ручного або автоматичного приводу (див. п. 9.3) рухомі дугогасні контакти входять у щілину дугогасної камери і там замикаються з нерухомими дугогасними контактами 1 (рис. 8.5, б) раніше, ніж замкнуться робочі контакти. Одночасно

стискаються пружини відключення, які розташовані з двох боків рами, а вал фіксується приводом.

Дугогасна камера являє собою пластмасовий радіальний кожух, зібраний з двох половинок. Всередині знаходяться вкладні пластини 2 з органічного скла, що утворюють вузьку прямокутну в перетині щілину. В основі камери розташовані нерухомі дугогасні контакти 1, виконані у вигляді пружинистих мідних ламелей з приклепаними до них напівсферами, у контакт з якими і входить рухомий дугогасний контакт 4.

У момент відключення привід звільняє вал 4 і пружини відключення зі швидкістю біля 4 м/с переміщують рухомі контакти. Робочі контакти 8, 9 розмикаються, коли електричне коло ще замкнуте дугогасними контактами, тому дуга на робочих контактах не утворюється. Потім розмикаються дугогасні контакти і запалена дуга руйнує вкладні з органічного скла. Виділяється велика кількість газу, тиск у камері збільшується, що сприяє згасанню дуги. Під час виходу дугогасного ножа з камери з неї з великою швидкістю витікає газ (подовжнє дуття) і дуга гасне остаточно.

Без заміни вкладних вимикач навантаження ВН-10 допускає 75 відключень струму до 200 А (при $U_{ном}=10$ кВ). У вимкненому стані вимикач забезпечує видимий розрив кола.

Вимикачі ВН-10, доповнені кварцовими запобіжниками ВН_П-10, (раніше ВН_П-16), широко використовуються для захисту від КЗ ліній і силових трансформаторів з робочими струмами, які не перевищують 160 А.

Вимикачі ВН_П-10 з автоматизованим приводом можуть бути укомплектовані пристроєм автоматичного відключення у разі перегорання плавкої вставки запобіжника будь-якої фази, що запобігає роботі електроприймачів в неповнофазному режимі.

Перспективними є елегазові та вакуумні вимикачі навантаження.

8.4. Силові вимикачі. Класифікація, технічні параметри

Силовий вимикач – високовольтний комутаційний апарат, призначений для включення та відключення електричного кола у всіх режимах його роботи, навіть КЗ.

Відключення струму КЗ та включення комутаційного апарата

- номінальною напругою $U_{\text{ном}}$;
- номінальним струмом $I_{\text{ном}}$;
- струмом динамічної стійкості $I_{\text{д}}$;
- струмом термічної стійкості $I_{\text{т}}$ та часом $t_{\text{т}}$;
- номінальним струмом вимкнення $I_{\text{вим. ном}}$;
- повним часом вимкнення вимикача $t_{\text{вим. в}}$;
- часом увімкнення вимикача $t_{\text{увім. в}}$.

Перші чотири параметри розглянуто в п. 1.3 [6]. На інших зупинимось більш детально.

Номінальний струм вимкнення вимикача $I_{\text{вим. ном}}$ – це найбільше діюче значення періодичної складової струму КЗ, який вимикач здатен вимикати без пошкодження. Номінальний струм вимкнення вимикача – одна з важливих характеристик вимикача, яку визначають конструкція та розміри його дугогасного пристрою.

Струм КЗ, крім періодичної складової, може мати і аперіодичну. Допустима величина аперіодичної складової у вимкненому струмі КЗ визначається нормованим процентним вмістом аперіодичної складової $\beta_{\text{нор}}$, що визначається за графіком, наведеним на рис. 8.7, як функція часу τ від моменту виникнення КЗ до моменту розмикання дугогасних контактів:

$$\tau = t_{\text{з. min}} + t_{\text{в. в}} = 0,01 + t_{\text{в. в}}, \quad (8.1)$$

де $t_{\text{з. min}}$ – мінімальний час дії захисту, який дорівнює 0,01 с; $t_{\text{в. в}}$ – власний час вимкнення вимикача (див. далі). У випадках, коли по (8.1) час $\tau > 0,07$ с, процентний вміст β вже менше 20%, тобто аперіодичну складову можна не враховувати.

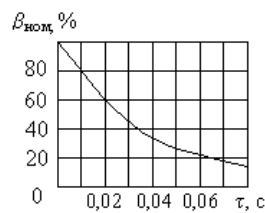


Рис. 8.7

Повний час вимкнення вимикача $t_{\text{вим. в}}$ – це проміжок часу від моменту подачі приладом захисту команди на відключення до моменту погасання дуги на всіх полюсах вимикача.

Повний час вимкнення складається із власного часу вимикача $t_{\text{в. в}}$ (який дорівнює часу від моменту подачі команди вимкнення до моменту припинення дотикання контактів вимикача) та часу гасіння дуги $t_{\text{д}}$, тобто

$$t_{\text{вим. в}} = t_{\text{в. в}} + t_{\text{д}}. \quad (8.2)$$

Залежно від величини власного часу $t_{\text{в. в}}$ вимикачі поділяють на:

- не швидкодіючі з $t_{в.в} = 0,12...0,25$ с;
- прискореної дії з $t_{в.в} = 0,08...0,12$ с;
- швидкодіючі з $t_{в.в} = 0,06...0,08$ с;
- надшвидкодіючі з $t_{в.в} \leq 0,06$ с. Значення часу $t_{вим.в}$ по (8.2)

й $t_{в.в}$ вимикачів приводяться в каталогах та довідниках.

Час увімкнення вимикача $t_{увім.в}$ – це проміжок від моменту подачі команди увімкнення приладом автоматики до виникнення струму на всіх полюсах вимикача. Зазвичай $t_{увім.в} = 2...3 t_{вим.в}$ і залежить від привода.

8.5. Маломасляні вимикачі

Масляні багатооб'ємні вимикачі відкритих РУ-35 (С-35, У-35, МКП-35) мають для кожного полюса окремий сталевий бак, до кришки якого кріпляться основні вузли.

Вимикачі з малою масою масла (до 5 кг на полюс) майже скрізь використовуються в закритих РУ 6...10 кВ. У маломасляних вимикачах контактна система кожної фази (полюса) змонтована в окремому металевому бачку (горщику) циліндричної форми. Основне призначення масла в цих вимикачах – гасіння електричної дуги та охолодження місця контактування.

Вимикач (рис. 8.8) має три полюси 1, закріплені за допомогою фарфорових ізоляторів 2 на спільній сталевій рамі 3. В рамі розміщено привідний важільний механізм, що складається з вала вимикача 5, ізоляційних тяг 4, пружин відключення, пружинних буферів включення та масляних буферів відключення 6. Привідний механізм приводиться в рух пружинним або електромагнітним приводом (див. п. 9.3).

У системі електропостачання все ще експлуатуються маломасляні вимикачі серії ВМГ-133 (вимикач масляний горшковий) та ВМГ-10 (на 10 кВ), зняті з виробництва. Їх замінюють більш досконалі вимикачі ВМП-10 (П-підвісний), який порівняно з ВМГ має такі переваги:

- верхній струмопідвід зроблений роликівим, який більш надійний в експлуатації;
- нерухомий розеточний контакт має металокерамічні накладки, що зменшило його зношення під впливом електричної дуги;

- менші габарити та масу, що дозволило зменшити розміри камер, де встановлюються вимикачі;
- замість крихких фарфорових тяг (у ВМГ-133) використано надійні ізоляційні тяги зі склотекстоліту, скріпленого епоксидною смолою.

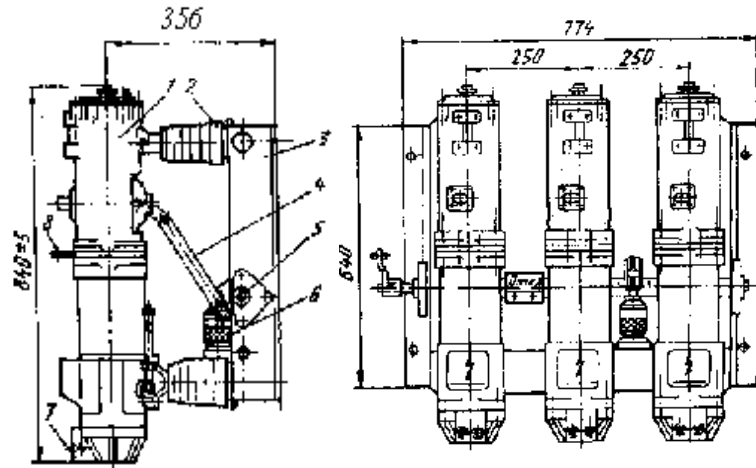


Рис. 8.8

Вимикачі ВМП-10 випускаються в трьох варіантах компонування: ВМП-10К (для КРУ) завдяки використанню міжполюсних ізоляційних перегородок мають меншу ширину по фронту (660 мм); ВМП-10 із вбудованим пружинним приводом; ВМПЕ-10 з вбудованим електромагнітним приводом. Вимикачі ВМП-10 виготовляються на номінальні струми 630, 1000, 1600 та 3150 А при номінальних струмах відключення 20 або 31,5 кА. Повний час вимкнення (8.2) вимикача при номінальному струмі вимкнення складає 0,12 – 0,13 с. Маса масла в ньому (на всі три фази) складає 4,5 кг.

Вимикач ВМП-10 на струм $I_{\text{ном}}=3150$ А додатково має основний робочий контакт, який закріплено на задньому боці корпусу полюса вимикача. Контакти, які розташовані всередині полюса, виконують при цьому функцію дугогасних, що розходяться після бездугового розімкнення основних контактів. Внутрішня будова полюсів всієї серії вимикачів ВМП-10 однакова.

На рис. 8.9, а зображено переріз полюса вимикача ВМП-10 з $I_{\text{ном}}=1000$ А, виготовленого з міцного вологостійкого ізоляційного циліндра 3, виконаного зі склоепоксидного пластика. Кінці циліндра армовані металевими фланцями 2 та 4. У середині

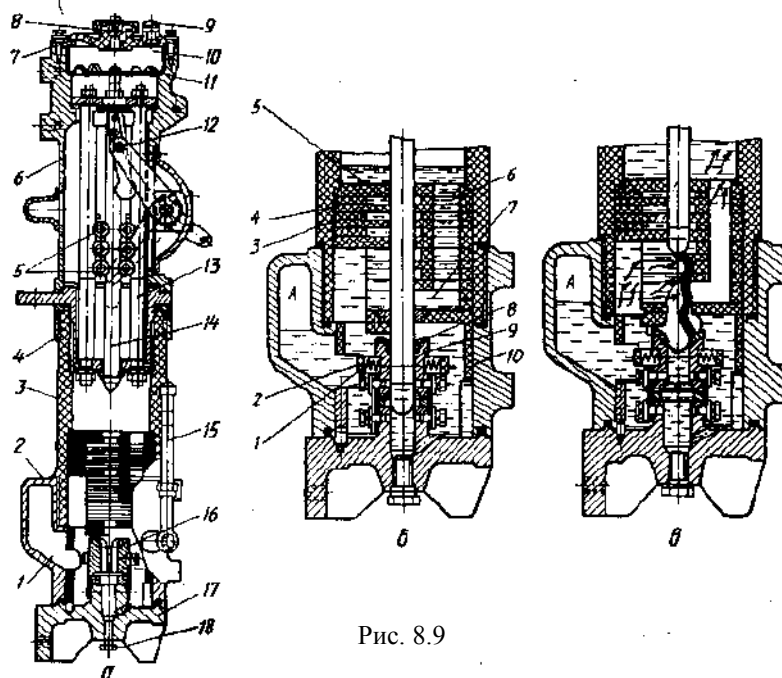


Рис. 8.9

алюмінієвого корпуса 6, закріпленого на верхньому фланці, розміщений випрямний механізм 12, рухомий контактний стержень 14, роликовий пристрій струмопідводу 5, нерухомі напрямні 13 та масловіддільник 10 з отворами 11, через які масло потрапляє у внутрішню порожнину вимикача.

Нижній фланець 2 знизу закритий мідною кришкою 17, всередині якої знаходиться нерухомий розетковий контакт 16, а ззовні – масловипускна пробка 18. До кришки за допомогою болтів кріпиться струмопровідна жила.

У нижньому фланці передбачена порожнина 1, де при заливанні масла утворюється повітряна подушка, яка виконує роль амортизатора у разі різкого підвищення тиску в нижній частині

циліндра під час загорання електричної дуги. Для контролю за рівнем масла є скляний маслопоказчик 15.

Конструкція дугогасної камери та нерухомого розеткового контакту зображена на рис. 8.9, б. Дугогасна камера розміщена в ізоляційному скло епоксидному циліндрі й являє собою чергування наборів гетинаксових 3 та фібрових 4 пластин. Пластини нижньої частини камери круглі і мають центральний отвір для проходу контактного стержня. Діаметр отворів у гетинаксових пластин більший ніж у фібрових (не враховуючи першої частини), і вони мають продовгувату форму. При збиранні камери вони створюють невеликі отвори (кишені) 5. Крім центрального отвору, верхня половина пластин має ще по два або три отвори (залежно від виконання), які створюють у зібраному стані вертикальні канали 6, які переходять у нижній частині в горизонтальні 7. Останні одержуються при збиранні камери завдяки вирізам у пластинах нижньої половини. Горизонтальні канали розміщуються на різних рівнях в напрямі руху контактного стержня.

Для запобігання створення дуги між контактними стержнями та стінками нижнього фланця між ними розміщено ізоляційний циліндр 10, який одночасно фіксує дугогасну камеру.

Розетковий контакт складається з п'яти (у вимикачах з $I_{\text{ном}} = 630, 1000 \text{ А}$) або шести ($I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$) рухомих сегментів 9, армованих металокерамічними накладками 8 для підвищення дугостійкості. Пружини 1 впираються в сегменти та упорне кільце 2 і забезпечують необхідний тиск контактів. Струмопідвід до рухомих сегментів здійснюється за допомогою гнучкого набору з тонких мідних пластин.

У момент відключення вимикача контактний стержень виходить з розеткового контакту і між ними загорається електрична дуга. Масло біля дуги розкладається та утворює велику кількість газу (з 1 г масла утворюється біля 1500 см^3 газу). Оскільки в початковий період руху контактного стержня поперечні канали 7 дугогасної камери ще перекриті контактним стержнем, тиск у нижній частині камери різко підвищується, повітря в порожнині А (рис. 8.9, в) стискається. Потім стержень, який рухається вгору, відкриває по черзі горизонтальні канали, куди прямують під тиском масло та газу. Так здійснюється дво- або триразове поперечне дуття, яке видовжує дугу і спричиняє її інтенсивну деіонізацію.

Гази, які утворилися, з капельками масла піднімаються в масловіддільник 10 (див. рис. 8.9, а), де масло, яке охолело, збирається і стікає через отвір 11 масловіддільника усередину вимикача. Гази виходять в атмосферу через канал 8. До наступної операції включення вимикач готовий через 0,5 с.

У разі відключення невеликих струмів тиск у камері може бути недостатнім для створення ефективного поперечного дуття та швидкого гасіння дуги. В такому разі дуга розтягується і входить у центральний отвір камери. Фіброві пластини під час контакту з дугою генерують гази, що збираються в бічних кишнях камери. У момент безструмової паузи вони прямують у простір, де горіла дуга, і проводять інтенсивну деіонізацію та швидко підвищують електричну міцність міжконтактного проміжку.

Комплексне використання кількох методів гасіння дуги дозволило різко зменшити розміри вимикача при великій здатності вимикання. Номінальний струм вимикання вимикача ВМП-10 дорівнює 20...31,5 кА. Час гасіння дуги $t_d = 0,015...0,025$ с, власний час вимикання $t_{в. в} = 0,1...0,12$ с.

У вимкненому стані нижній кінець контактного стержня має знаходитися над поверхнею масла на відстані не менше ніж 15 мм, що забезпечує надійну ізоляцію в разі погіршення ізоляційних властивостей масла після кількох відключень. Під час експлуатації слід регулярно контролювати наявність в полюсах вимикача необхідного рівня масла, який позначено на маслопоказниках.

Промисловість освоїла випускає маломасляні вимикачі колонкового типу ВК-10 з пружинним приводом та з електромагнітним приводом.

Принцип гасіння дуги у вимикачах ВК не відрізняється від гасіння дуги в маломасляних вимикачах ВМП, але вимикачі ВК-10 мають менші габарити та масу за тих же електротехнічних параметрів, а також більшу швидкодію ($t_{в. в} = 0,07$ с, $t_{в. в} = 0,05$ с). На рис. 8.10 зображено загальний вигляд вимикача ВК-10.

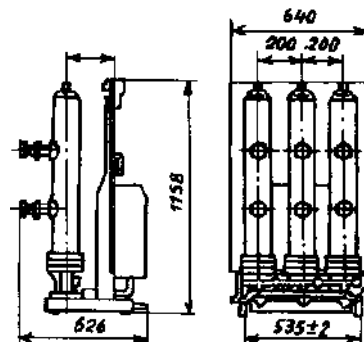


Рис. 8.10

Для відкритих РУ випускають малооб'ємні масляні вимикачі МГ-35 на напругу 35 кВ та колонкові вимикачі серії ВМК на напругу 110 та 220 кВ.

8.6. Вакуумні вимикачі

Принцип гасіння електричної дуги у вакуумі та схематичну конструкцію вакуумної дугогасної камери розглянуто у першій частині посібника [6]. При вакуумі з тиском 10^{-4} Па електрична міцність проміжка сягає 100 кВ/мм. На змінному струмі після проходження струму через нуль відбувається швидке зниження концентрації зарядів із-за дифузії і через 10 мкс між контактами відновлюється електрична міцність вакууму. Швидке зростання електричної міцності проміжку після проходження струму через нуль є великою перевагою вакуумних вимикачів.

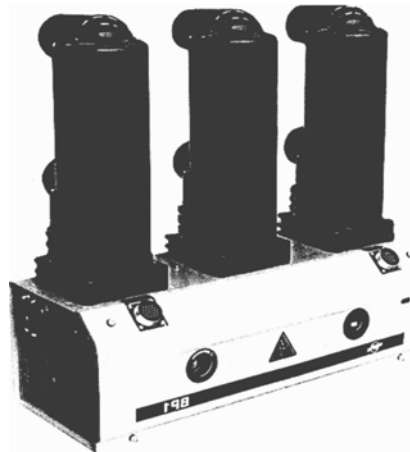
Принципові переваги вакуумних вимикачів:

- швидкодія завдяки малому ходу (декілька міліметрів) та незначній вазі рухомого контакту;
- малі габарити дугогасної камери, які дозволяють створювати дуже компактні РУ невисокої вартості;
- повна вибухо- та пожежобезпечність;
- швидке відключення кола, практично під час першого переходу струму через нуль;
- ізоляція контактів від несприятливого впливу навколишнього середовища;
- відсутність необхідності обслуговування протягом всього часу експлуатації. Ці переваги роблять вакуумні вимикачі одним із перспективних видів силових вимикачів.

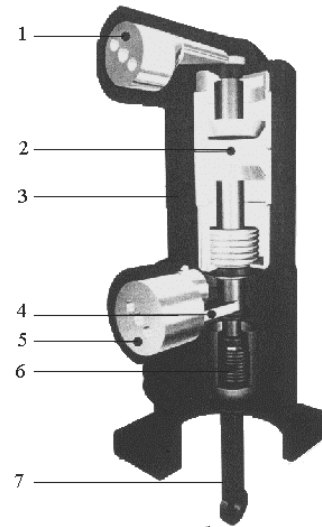
Як зразок розглянемо вакуумний вимикач серії ВР Рівненського заводу високовольтної апаратури. На рис. 8.11, а зображено загальний вигляд вимикача, а на рис. 8.11, б розріз полюса. Полюс складається з верхнього нерухомого контакту 1, вакуумної дугогасної камери 2, корпусу 3 з литого епоксидного компаунду, гнучкого струмопідвідного зв'язку 4, нижнього контакту 5, піджимної пружини 6 та ізоляційної тяги 7. Остання зв'язує рухомий контакт дугогасної камери з електромагнітним приводом, розміщеним у нижньому кожусі вимикача (рис. 8.11, а). Привід вакуумного вимикача детально буде розглянуто в главі 9.

Вакуумні силові вимикачі серії ВР мають такі технічні характеристики:

- номінальна напруга – 6; 10 кВ;
- номінальний струм – 2; 2,5; 3,15 кА;
- номінальний струм вимкнення – 40 кА;
- струм термічної стійкості (3 с) – 40 кА;
- струм електродинамічної стійкості – 102 кА;
- повний час вимкнення вимикача – 0,065 с.



а



б

Рис. 8.11

8.7. Елегазові вимикачі

Унікальні властивості елегазу ефективно гасити електричну дугу використовують в элегазових силових вимикачах. Елегаз – шестифториста сірка SF_6 – штучно створений інертний газ, який відносно повітря має вищу в 2,5 рази електричну міцність, майже в 4 рази вищу питому об'ємну теплоємність, що дає можливість збільшити навантаження на струмопровідні частини та зменшити масу міді в вимикачі. Камери подовжнього дуття з элегазом мають номінальний струм відключення в 5 разів вищий, ніж з повітрям.

Газ нетоксичний, не вступає в реакцію з киснем та воднем, слабо розкладається дугою. Для електричних апаратів застосовують лише газ з високим ступенем очищення від домішок. Дугогасна властивість елегазу найбільш ефективна при великій швидкості його струменю відносно палаючої дуги, який частіше створюється автопневматичним дуттям. При цьому необхідний для дуття перепад тиску створюється за рахунок енергії привода.

Розглянемо конструкцію елегазового вимикача французької фірми Merlin Gerin. На рис. 8.12, а зображено переріз полюса вимикача типу FG1 на напругу до 15 кВ, номінальний струм до 1250 А та номінальний струм вимкнення 20 кА. Зверху

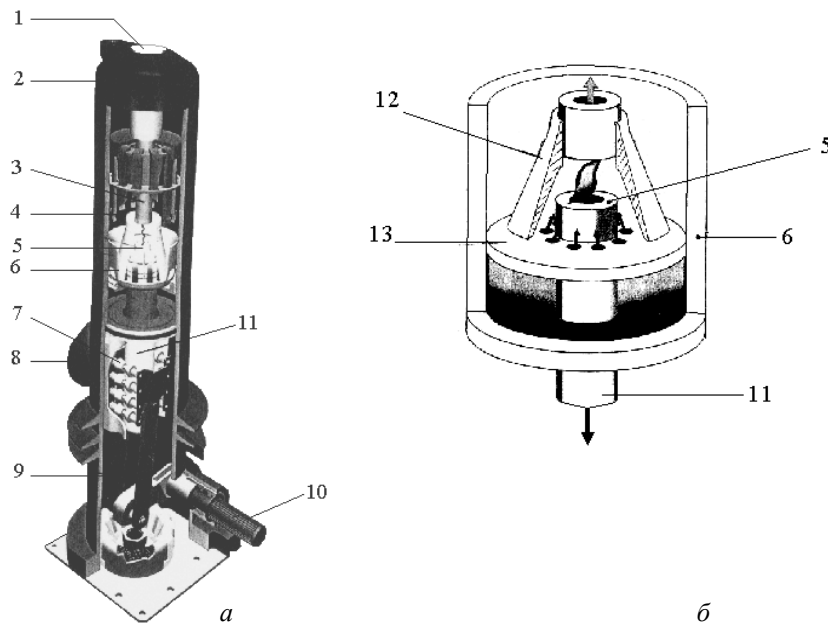


Рис.8.12

герметичного корпуса 2, який зроблено з пластмаси, вмонтовано струмопровід 1, який закінчується нерухомим дугогасним контактом 3. Основні нерухомі контакти 4 являють собою набір ламелей. Рухомий основний 6 та дугогасний 5 контакти змонтовані на рухомому струмопровідному штоці 11. Електричний зв'язок рухомого штока з нижнім струмопроводом 8 здійснюється через роликові контакти 7. Шток 11 переміщується за допомогою вала

10, з яким він зв'язаний ізоляційними тягами 9. Вал 10 обертається спеціальним приводом.

Процес гасіння дуги пояснюється на рис. 8.12, б. Під час руху штока 11 донизу, спочатку розімкнуться основні контакти 4 та 6. Дуга між ними не загорається, оскільки дугогасні контакти 3 та 5 ще замкнуті (у тілі штока 11 є спеціальна піджимна пружина). Подальше переміщення штока донизу спричиняє розмикання дугогасних контактів 3 та 5 і між ними загорається дуга. Нижня половина полюса заповнена елегазом. На рухомому дугогасному контакті 5 закріплена перегородка 13 з отворами. Коли рухомий контакт з перегородкою переміщується донизу, елегаз під перегородкою стискається і через отвори надходить вгору та обдуває дугу. Для підвищення ефективності дуття використовується сопло 12, яке звужується доверху, чим забезпечує збільшення швидкості руху елегазу.

8.8. Повітряні вимикачі

У повітряних вимикачах гасіння електричної дуги відбувається в струмені повітря, яке надходить з ємності під тиском. Стиснене повітря має хороші дугогасні властивості, які поліпшуються зі збільшенням тиску. Так, при тиску (0,4...1,2) МПа (4...12 атм), що підтримується в дугогасній камері, електрична міцність повітря підвищується в 2...4 рази порівняно з міцністю при атмосферному тиску.

В повітряних вимикачах застосовують камери з подовжнім та поперечним дуттям. Поток повітря з дугового проміжку виносяться продукти горіння, які являють собою хорошо провідне середовище. На їх місце надходить чисте неіонізоване повітря.

На рис. 8.13 наведено схематичну конструкцію повітряного вимикача для зовнішньої установки типу ВВМ-35 на напругу 35 кВ. Один полюс вимикача складається з двох опорних фарфорових ізоляторів 2 та 3, що утворюють колону, яка закріплена на візку 1. Всередині візка розміщена система керування вимикача, що включає пневматичний привід, дуттьовий та допоміжні

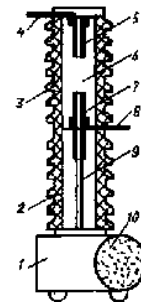


Рис. 8.13

клапани, електромагніти вмикання та вимикання, допоміжні контакти та інше.

Верхній ізолятор 3 утворює дугогасну камеру 6, у якій знаходяться верхній 5 та нижній 7 рухомі контакти. Верхній рухомий контакт, виготовлений у вигляді труби з пружиною, що дозволяє йому підніматися вгору під дією тиску повітря в камері. Нижній контакт, також виконаний у вигляді полої труби, за допомогою ізоляційної штанги 9 може переміщуватися вниз. Отже, кожна фаза вимикача має два порожнисті трубчасті торцеві контакти, які створюють при відключенні один розрив фази. Струмопідвід здійснюється через контактні наконечники 4 та 8.

Для відключення вимикача на електромагнітний клапан подається напруга, він відкривається і стиснуте повітря із ємності 10 надходить у внутрішню порожнину вимикача. Під дією підвищеного тиску верхній контакт, який переборює опір власної пружини, відходить на необхідну відстань від нижнього контакту. Дуга, що виникає між ними, захоплюється потоком повітря всередину порожнистих контактів, що уберегає їх робочі торцеві поверхні від дії електричної дуги. Сильний потік стиснутого повітря інтенсивно охолоджує, розтягує та гасить дугу.

Через 0.04...0.05 с після згасання дуги пневматичний поршневий привод за допомогою ізоляційної штанги 9 переміщує контакт 7 донизу, створюючи необхідний ізоляційний повітряний проміжок між контактами вимикача. Подача стиснутого повітря у вимикач припиняється, і верхній контакт повертається у своє початкове положення.

Слід відзначити, що, на відміну від маломасляних вимикачів, інтенсивність дуття стиснутим повітрям не залежить від потужності дуги. Повітряні вимикачі мають високу швидкодію: час гасіння дуги не перевищує 0,02 с, повний час вимкнення $t_{\text{вим. в}}=0,06$ с. Повторне включення повітряного вимикача можливе після стравлювання тиску у внутрішній порожнині, на що необхідно 0,3...0,45 с.

Завдяки своїм перевагам (вибухо- та пожежобезпечності, високій швидкодії, значним можливостям вимикання, малому зношенню контактної системи та іншим) повітряні вимикачі широко застосовуються в розподільних пристроях відкритого типу на напруги 35, 110, 220 кВ та вище.

До недоліків повітряних вимикачів слід віднести: необхідність компресорної установки, відносно велика вартість, значна вага конструкцій низки вузлів та деталей.

8.9. Електромагнітні вимикачі

В електромагнітних силових вимикачах використано принцип «магнітного дуття» з гасінням електричної дуги в повітрі у вузьких щілинах дугогасної решітки, виконаної з ізоляційного жаростійкого матеріалу.

Промисловість випускає електромагнітні вимикачі серії ВЕМ на напругу 6 та 10 кВ. На рис. 8.14 зображено схематичну конструкцію одного полюса вимикача ВЕМ. Рухомі основний контакт 7 врубного типу та дугогасний 4, який закріплений на спільному важелі 6, приводяться в рух електромагнітним приводом. Нерухомі основний контакт 8 та дугогасний контакт 9 розміщені ліворуч.

Дугогасна камера 1 над контактами являє собою або набір керамічних пластин з вузькими щілинами, або лабіринтно-щілинну камеру, утворену двома плитами 14 із дугостійкої кераміки з перегородками. У зібраному вигляді, в міру руху вгору, перегородки однієї плити все більше входять у простір між перегородками другої плити, створюючи вузьку зигзагоподібну щілину. Поверхня перегородок для поліпшення відведення тепла покрита склом.

Для створення «магнітного дуття» використовують електромагніт, осердя якого 12 та бокові накладки 2 зовні камери 1 утворюють П-подібну форму, що охоплює дугогасну камеру з трьох боків та формує магнітне поле, перпендикулярне площині (рис. 8.14а). Обмотка електромагніта виконана з кількох витків шинної міді і вмикається послідовно в силове коло при перекиданні дуги на дугогасні роги 13 та 3. Струмопідвід до контактів, дугогасних рогів та електромагніта виконують за допомогою шинок 5, 10 та 11.

Процес вимкнення проходить так. Першими (без виникнення електричної дуги) розмикаються основні контакти, потім дугогасні. Дуга, що виникла між ними, перекидається під дією електродинамічних сил та конвекційного потоку повітря на

дугогасні роги 13 та 3. При цьому по котушці електромагніта починає протікати струм, у дугогасній камері створюється потужне поперечне поле, під дією якого електрична дуга з великою швидкістю (біля 30 м/с) втягується всередину камери. Послідовні положення дуги А, Б, В, Г та Д показано на мал. 8.14, а. При цьому дуга розтягується й інтенсивно охолоджується об стінки камери та гасне через 0,01...0,02 с.

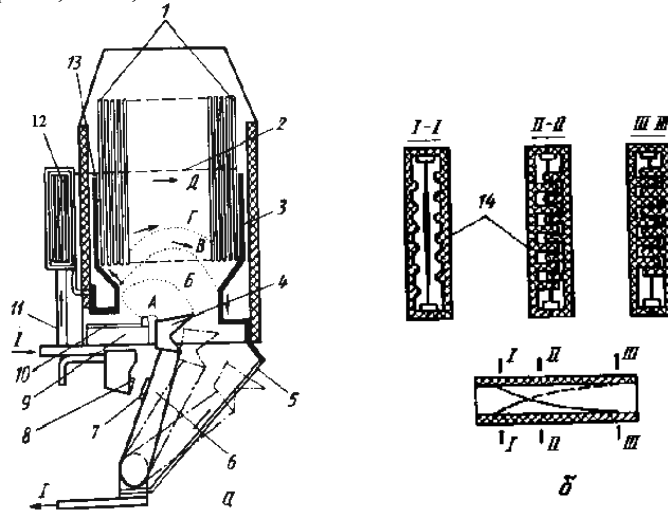


Рис. 8.14

Три полюси вимикача встановлюють на викотному візку, там також монтується привід. Загальна маса візка зі встановленими полюсами – біля 600 кг. Вимикач ВЕМ-10Е з електромагнітним приводом випускається на $I_{\text{ном}} = 1000$ та 1250 А, вимикач ВЕМ-6 має $I_{\text{ном}} = 2000$ та 3150 А. Номінальний струм відключення дорівнює відповідно 20 та 40 кА. Вимикач є швидкодіючим з часом відключення 0,07 с.

Перевагами електромагнітних вимикачів є: повна пожежо- та вибухобезпечність, мале зношення дугогасних контактів (оскільки значний час дуга горить між дугогасними рогами), можливість використання їх в колах з частими комутаціями.

Однак широке їх використання обмежується значною складністю конструкції і виробництва та обмеження верхньої межі номінальних напруг (не більше 20 кВ).

8.10. Синхронізовані вимикачі

Ідея реалізації синхронізованих вимикачів базується на використанні безструмової паузи електричної дуги змінного струму. Якщо зробити розмикання контактів безпосередньо перед проходженням струму через нуль і дуже швидко розвести їх на відстань, що забезпечує достатню електричну міцність, то дуга більше не загориться.

Створення синхронізованих вимикачів стримувалося двома технічними труднощами. По-перше, необхідний дуже точно синхронізований пристрій, який подає керуючий імпульс на вимкнення вимикача за $0,001 \dots 0,002$ с до переходу струму через нуль. По-друге, вимагається достатньо потужний швидкісний привід, який може перемістити рухомий контакт масою в кілька кілограмів на відстань кількох десятків сантиметрів за приблизно такий же інтервал.

Запропонована велика кількість можливих способів та конструктивних рішень синхронізованих вимикачів. Наприклад, використання порохових зарядів, сполучення синхронізованого пристрою з вакуумним вимикачем та деякі інші рішення.

На рис. 8.15, а зображено функціональну схему синхронізованого вимикача, розробленого в Японії, який проходить випробування в експлуатації. Вимикач обладнано індукційно – динамічним приводом, який складається з металевого диска 6, жорстко з'єднаного з рухомим контактом 8, та нерухомої котушки 7. Під час розряду конденсатора 10 на обмотку котушки в металевому диску індукується струм. Взаємодія струму, індукованого в диску, зі струмом у котушці дозволяє одержати короткочасно силу величиною до $10^4 \dots 10^5$ Н, що відштовхує диск.

Інформацію про величину струму в лінії пристрій синхронізації одержує від трансформатора струму 1. Якщо поточне значення струму перевищує задану величину, генератор, який входить у пристрій синхронізації, починає виробляти синхроімпульси 11 (рис. 8.15, б), які випереджають на фіксовані інтервали моменти переходу струму через нуль.

Після подачі на дозвільний вхід пристрою синхронізації команди РЗ ближчий наступний синхроімпульс проходить на фотоімпульсне реле 3. Вироблений ним світловий імпульс

подається по світловоду 4 на перетворюючий пристрій 5, який виробляє високовольтний імпульс, що прикладається до керуючого електрода іскрового розрядника 9. Розряд, який виникає, утворює Після електричне коло для розряду конденсатора 10 на котушку 7. Контакти вимикача розмикаються і дуга гаситься під час найближчого переходу струму через нуль. У трифазних синхронізованих вимикачах кожен полюс має свій привод.

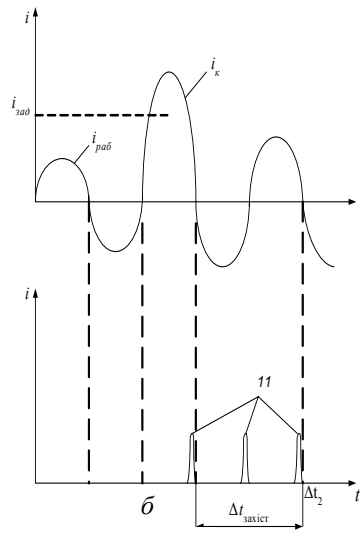
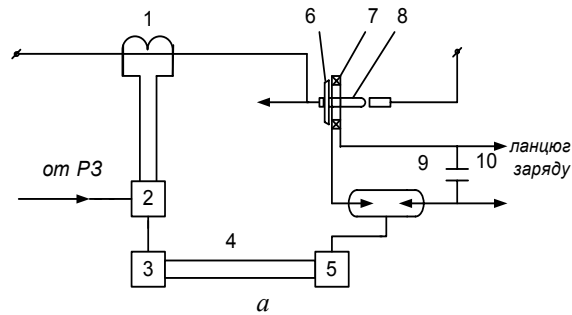


Рис. 8.15

Загалом проблема створення надійних в експлуатації та економічних синхронізованих вимикачів ще не розв'язана.

Глава 9. ПРИВОДИ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

9.1. Призначення та класифікація приводів

Приводом називають спеціальний пристрій, який здійснює вмикання і вимикання комутаційного апарата. Приводи, як правило, входять до комплексу комутаційного апарата, але можуть постачатися окремо і кріпитися на апарат (наприклад, на автоматичні повітряні вимикачі).

У більшості сучасних вимикачів привод виконує такі дії:

- включення комутаційного апарата з одночасним стисканням (розтягненням) пружини вимикання, яка є у вимикачі, наприклад, див. рис. 9.4;
- утримання апарата у ввімкненому стані;
- розчеплення пристрою утримання при вимкненні апарата.

Привод має розвивати найбільше зусилля під час виконання вмикання, оскільки при цьому долає опір пружини вимкнення, тертя та сили інерції в рухомих частинах. Крім цього, при роботі в режимі автоматичного повторного вмикання (АПВ) вимикач може увімкнутись на неліквідоване КЗ. При цьому привод має подолати значне електродинамічне зусилля відштовхування, що виникає в контактах.

Класифікація. У приводах може використовуватися різна енергія: мускульна сила людини, електрична, пневматична, потенційна та інші. Приводи, в яких використовують силу людини, називають *ручними*. Решту приводів відносять до класу *двигунних*.

Ручні приводи мають просту конструкцію, не потребують додаткового джерела енергії, дешеві та надійні у використанні. Суттєвий недолік ручних приводів – неможливість автоматизації процесу вмикання й обмежені отримувані зусилля. Зусилля на рукоятку ручного привода не може перевищувати 245 Н (25 кг) на одну рукоятку.

Серед *двигунних приводів* у різні часи використовувались такі: електромагнітні та електродвигунні, які приводились у дію електричною енергією; пружинні, які приводились у дію енергією, накопиченою в пружині під час її початкової деформації; вантажні, які приводились у дію енергією, збереженою у вантажі під час його початкового підйому; пневматичні, які приводились у дію енергією

попередньо стисненого повітря; піротехнічні, які приводились у дію енергією, що виникає під час вибуху патрона з вибуховою речовиною.

Енергія, потрібна приводу від зовнішнього джерела для виконання операцій, може у процесі його роботи безпосередньо перетворюватися в механічний рух рухомих частин вимикача. У таких приводах, які мають назву *приводи прямої дії*, використання зовнішньої енергії відбувається безпосередньо під час вмикання (вимикання). Тому приводи прямої дії потребують *значної потужності зовнішнього джерела*.

У приводах *побічної дії* необхідна енергія заздалегідь накопичується поступово в пружині, вантажі та ін., а в момент вмикання віддається приводу. Тому в приводах побічної дії потужність зовнішнього джерела може бути *незначною*.

За ступенем автоматизації виконуваних операцій приводи поділяють на *неавтоматичні*, що виконують оперативне вмикання та вимикання тільки з допомогою мускульної сили людини (ручні приводи); *напівавтоматичні*, які виконують оперативне вмикання з допомогою мускульної сили людини, а вимикання — як автоматично (за командою дистанційного керування) так і вручну безпосередньою механічною дією; *автоматичні*, що виконують вмикання і вимикання автоматично (дистанційно) по сигналу реле (ключа управління). В автоматичних приводах є також і місцеве ручне управління для вмикання та вимикання.

9.2. Приводи комутаційних апаратів до 1000 В

Приводи низьковольтних апаратів бувають ручні та електрифіковані. Управління однофазними роз'єднувачами проводиться вручну за допомогою оперативної штанги. У ручному приводі апаратів сила людини прикладається до рукоятки. У потужних апаратах пружина вимкнення, тертя в шарнірах та вага рухомих частин створюють значний опір, для подолання якого сили оператора вже недостатньо. Крім цього у схемах автоматики потрібне автоматичне та дистанційне управління апаратом. Це можна виконати при використанні одного з різновидів електрифікованого привода: електромагнітний, електромашинний або електромеханічний.

В електромагнітному приводі використовується сила притягання, що виникає в якорі електромагніта. Такий тип привода широко застосовується при виконанні управління на постійному оперативному струмі. На змінному струмі він менш ефективний і тому має більші розміри. Електромагнітні приводи дуже широко застосовуються для управління контакторами, пусками та окремими типами автоматів.

В електромашиинному приводі постійного та змінного струму обертовий рух якоря електродвигуна з допомогою шестерні і зубчатої рейки перетворюється в поступальний та передається на рукоятку автомата (наприклад, привід автомата старої серії АЗ100), або через черв'ячний редуктор передається одразу на вісь, на якій закріплені рухомі контакти.

Електромеханічний привід, що використовується для дистанційного управління шляхом прямої дії на рукоятку, розглянемо на прикладі привода до автомата серії АЗ700. Він складається з двох електромагнітів $YA1$ та $YA2$ (рис. 9.1, а) і спеціальної муфти, яка має кільце 2, вал 3 та ролики 6, що рухаються в прорізах вала.

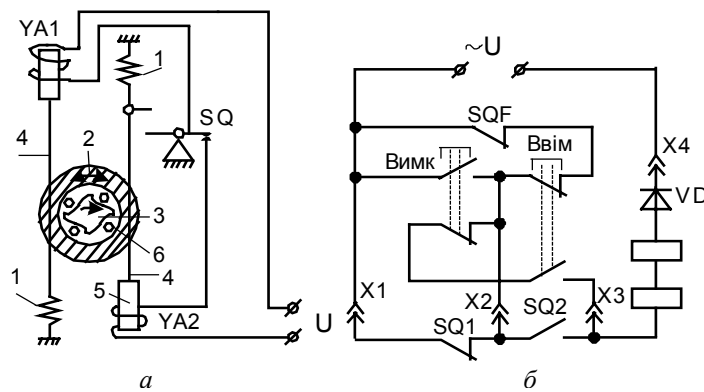


Рис. 9.1

При відсутності напруги U відключений автомат завжди підготовлений до включення. При наявності напруги й натисканні кнопки "Ввм" (рис. 9.1, б) напруга через замкнутий контакт кінцевого вимикача $SQ1$, нормально замкнутий контакт кнопки

"Вимк" та нормально розімкнутий контакт кнопки "Ввім" подається на котушки електромагнітів $YA1$ та $YA2$. Осердя електромагнітів 5 втягнуться, перемістять тяги 4 в різні боки та повернуть кільце 2 за годинниковою стрілкою. При такому напрямі обертання кільця ролики змістяться у вузьку частину пазів вала, що спричинить зчеплення кільця 2 з валом 3. Вал повернеться на кілька градусів. Одночасно натягнуться пружини 1. У крайньому положенні тяга 4 спеціальним упором розмикає контакти SQ та вмикає електромагніти. Під дією розтягнутих пружин 1 кільце 2 починає повертатись у протилежний бік та переміщати ролики в широку частину паза, де вони вільно рухаються і зчеплення з валом 3 втрачається. Повороту вала проти годинникової стрілки заважає гальмівний пристрій з нерухомого кільця та стопорних роликів, а тому вал залишається на місці. Контакти SQ замикаються і весь цикл повторюється. Таким чином коливний рух кільця 2 перетворюється в обертний рух вала 3, який у свою чергу, з допомогою ексцентрика перетворюється в поступальний рух каретки, закріпленої на ручці автомата, вгору до його ввімкнення. Вмикання автомата приводить до розмикання кінцевих контактів $SQ1$, SQF й вмикає живлення електромагнітів, а також до замикання кінцевого контакту $SQ2$ (рис. 9.1, б).

У разі натискання кнопки "Вимк" через її нормально розімкнутий контакт та контакт $SQ2$ подається напруга на котушки електромагнітів $YA1$ та $YA2$, котрі працюють як і при включенні, але каретка ексцентриком переміщується в зворотному напрямі й рухає рукоятку вимикача в положення "Вимк".

9.3. Приводи роз'єднувачів та вимикачів навантаження

Високовольтні комутаційні апарати і їх основні функції були докладно розглянуті у попередньому розділі. Залежно від функціонального призначення апарата він комплектується і відповідним приводом.

Ручні приводи роз'єднувачів. Для управління триполюсними роз'єднувачами внутрішньої установки на 6...10 кВ з номінальним струмом до 1000 А широко застосовуються ручні важільні приводи типу ПР-2 та ПР-3.

На рис. 9.2 зображено конструкцію ручного привода ПР-2. Він має ручку 3, приварену між стальними пластинами 4. Увесь вузол обертається на вісі 5, закріпленій у щоках 2 переднього корпусу привода. Кінець рукоятки має щілину 6 для приєднання тяги, яка йде до роз'єднувача. Для вимикання роз'єднувача рукоятку привода необхідно повернути вниз приблизно на 150°. Фіксатор 1 утримує привід в крайніх положеннях. Він складається зі сталюго

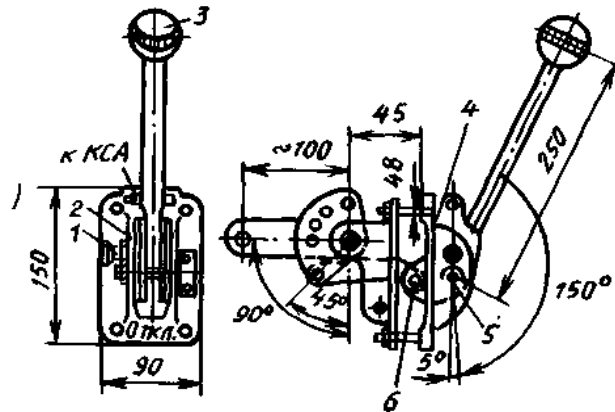


Рис. 9.2

пальця та пружини, яка знаходиться всередині корпусу. У пластині 4 є отвори, куди потрапляє палець фіксатора. Один з них співпадає з пальцем у ввімкненому положенні роз'єднувача, другий - при вимкненому. Для зміни положення роз'єднувача необхідно витягнути палець з отвору, потягнувши за головку фіксатора 1. Перед фіксатором може бути встановлена пластина, яка замикається на замок, для унеможливлення несанкціонованих переключень. Потрібно пам'ятати, що роз'єднувачем вимикати робочі струми більше ніж 15 А категорично заборонено.

Ручні приводи вимикачів навантаження (ВН). Управління вимикачами навантаження може виконуватись напівавтоматичним приводом прямої дії ПРА-17 (привод ручний автоматизований), в якому *вмикання* відбувається вручну, а *вимкнення* – дистанційно (автоматично) або вручну.

Привід (рис. 9.3) складається з чавунного литого корпусу 1, рукоятки з двома плечима 2, електромагніта вимикання 8, тяги 5,

системи механічних важелів та клямки. Для ввімкнення вимикача навантаження необхідно натиснути на важіль 3 ручного вимкнення. При цьому піднімається клямка 9, і звільнюється рукоятка 2. Поворотом рукоятки знизу вверх навколо головної осі 6 зусилля передається через утворений жорсткий кінематичний зв'язок на секторний важіль 11 та через нього – на тягу 5, а далі на вал вимикача. Ввімкнуте положення фіксується клямкою 9, яка своїм зубом чіпляється за стопорний палець.

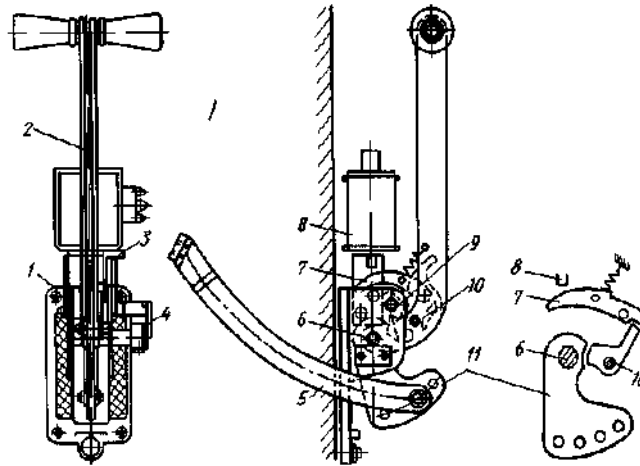


Рис. 9.3

Дистанційне вимкнення виконується подачею напруги на електромагніт вимкнення 8. При цьому бойок електромагніта натискає на клямку вимикання 7, звільнює роз'єднувальну клямку 10, яка виходом із зчеплення з секторним важелем 11 дозволяє пружині вимикання, що входить в конструкцію ВН, вимкнути його. Показчик положення 4 повертається написом "Вимк".

Для ручного вимкнення достатньо натиснути на важіль 3 й цим безпосередньо подіяти на клямку 7.

9.4. Приводи силових вимикачів

До основних частин приводів силових вимикачів відносять наступні: механізм включення, запірний механізм у вигляді

собачки або заціпки та механізм розчеплення, що звільняє собачку (заціпку) при відключенні.

Пружинні приводи силових вимикачів. Пружинні приводи належать до приводів непрямої дії і використовують властивості пружини запасати певну кількість потенціальної енергії під час її заведення (розтягнення, стискання або закручування). Заведення пружини звичайно виконується з допомогою електродвигуна і може бути виконане завчасно до операції ввімкнення. Електродвигуни потужних приводів можуть працювати від мереж постійного та змінного струму, що є суттєвою перевагою цих приводів. Недоліком є мала потужність, що дозволяє використовувати їх для маломасляних вимикачів 6...10 кВ.

Пружинні приводи дозволяють повністю автоматизувати процес вмикання і вимикання вимикача, використовувати вимикач у режимах автоматичного вмикання резерву (АВР) та автоматичного повторного вмикання (АПВ), а також організовувати дистанційне керування.

В зв'язку з автоматизацією систем електропостачання підприємств автоматичні пружинні приводи все більше використовуються в системах електропостачання.

Спрощена конструкція пружинного приводу наведена на рис. 9.4. Привід складається з електродвигуна 1, який через черв'ячний та шестерінчастий редуктор 2 обертає шестерню заведення 7, котра через систему важелів 9 натягує пружину 5. В кінці операції заведення шестерня стає на упор 8.

При подачі команди вмикання на упор 8 відбувається зачеплення вихідного важеля 6 з валом шестерні 7. Під дією енергії, збереженої в пружині 5, шестерня 7 обертається в протилежну сторону і повер-

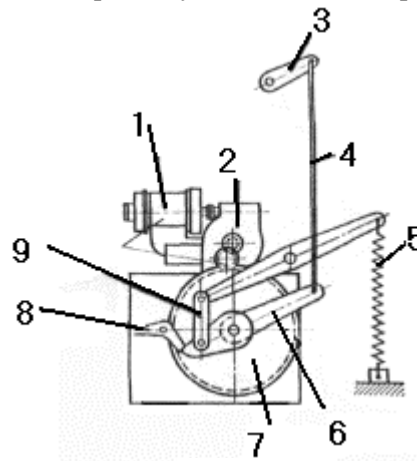


Рис. 9.4

тає важіль 6. Останній через тягу 4 передає зусилля на важіль 3 керування вимикачем, вмикаючи його.

При вмиканні розтягується також *пружина вимкнення* вимикача (на малюнку не показана). Енергія, збережена в пружині вимкнення, буде використана для виконання операції відключення вимикача.

Розглянемо детальніше конструкцію пружинного привода типу ППМ-10 (привод пружинний моторний), який використовується для керування вимикачами ВМП-10.

Привод ППМ-10. Основною частиною привода (мал. 9.5) є плоска спіральна пружина 9, розміщена в ободі штурвала 11. Завод пружини виконується електродвигуном 3, розміщеним у верхній частині привода. Електродвигун потужністю 350 ВА типу МУН

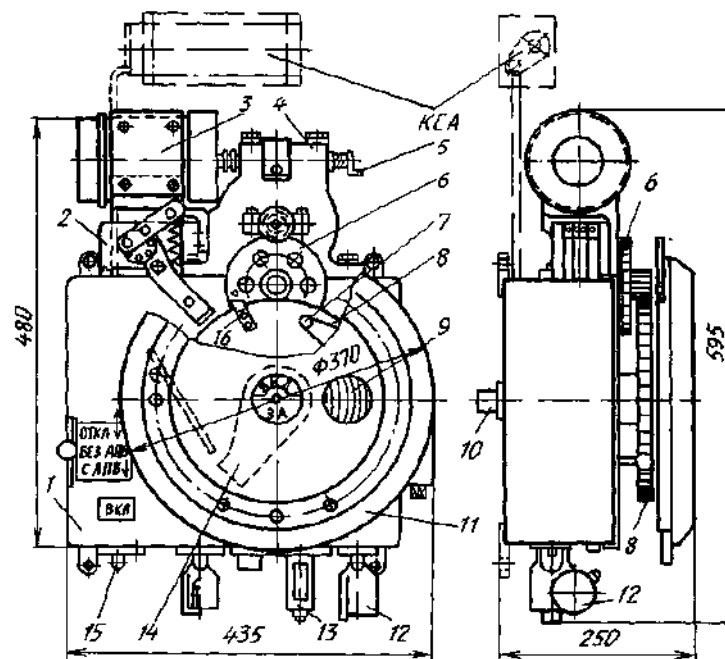


Рис. 9.5

(випускається на номінальну напругу 110 та 127 В постійного та 110, 127 та 220 В змінного струму). Обертання якоря

електродвигуна через черв'ячний 4 і зубчатий 6 редуктори передається на завідну шестерню 8, яка вільно обертається на передньому підшипнику. Зчеплений з нею важіль 14 з зубом при повороті шестерні упирається в ролик собачки 7 і закручує пружину 9. Після закінчення заведення пружини виступ 16, закріплений на шестерні 8, переміщує важелі керування кінцевого вимикача 2 і двигун вимикається від мережі. Запірно-пусковий механізм, розташований всередині корпусу 1 привода, утримує пружину в заведеному положенні.

Вмикання вимикача виконується шляхом натискання кнопки "Вім" на передній стінці корпусу або дистанційно (автоматично) шляхом подачі напруги на електромагніт вмикання 15. При цьому звільнюється заведена пружина та повертається вал привода 10, який через систему тяг вмикає вимикач.

Наприкінці вмикання від привода потрібне максимальне зусилля, оскільки рухомі контакти вимикача в цей момент дотикаються до нерухомих і розводять їх, а в разі вмикання на КЗ необхідно ще додатково подолати електродинамічну силу, що відкидає контакти. Пружина привода в кінці операції вмикання розвиває значно менше зусилля, ніж на початку операції. Для компенсації зменшення тягового зусилля пружини привід має маховик – масивне чавунне кільце, закріплене на штурвалі 11. Маховик вбирає зайву енергію пружини на початку ввімкнення і віддає накопичену кінетичну енергію в кінці операції ввімкнення.

Вимкнення вимикача відбувається або натисненням кнопки "Вимк" на передній стінці привода, або дистанційно, шляхом подачі напруги на електромагніт вимкнення, або з допомогою реле струму прямої дії типу РТМ 13 та РТВ 12, встановлених внизу привода. Зусилля від механічної кнопки, електромагніта або реле через кнопку вимкнення діє на механізм вільного розчеплення (про назву МВР див. § 3.4). Останній звільняє вал привода 10, і вимикач під дією своєї пружини вимикання вимикається.

Привод ППМ-10 допускає механічне АПВ. Для використання цього режиму необхідно рукояткою на передній панелі ввімкнути спеціальний пристрій, розташований всередині привода.

Електромагнітні приводи. Принцип роботи електромагнітного привода базується на дії струму, який обтікає котушку, з рухомим стальним осердям. Під час проходження

струму по котушці осердя втягується в неї і з допомогою важелів або штока - штовхача вмикає вимикач.

Електромагнітні приводи відрізняються простотою конструкції, компактністю, високою надійністю та швидкодією. Але вони випускаються тільки для роботи на постійному струмі, що є суттєвим недоліком, оскільки виникає необхідність в автономному джерелі – акумуляторній батареї великої ємності. Запропоновані системи живлення електромагнітних приводів від мережі змінного струму з використанням напівпровідникових випрямлячів. Електромагнітний привод, що працює на змінному струмі – найкраще вирішення питання, але всі спроби створення нової конструкції такого привода не дали ефективних результатів.

Привід серії ПЭ (привід електромагнітний) використовується в пристроях внутрішньої установки для дистанційного і автоматичного управління вимикачами ВПМ-10. Привід серії ПЭ досконаліший порівняно з випущеним раніше ПС (привід соленоїдний), у ньому ретельніше відпрацьовано конструктивні вузли та магнітопривід, що зумовило зниження споживаного ним струму вдвічі.

На рис. 9.6 наведено конструкцію привода ПЭ-11, що випускається на номінальні напруги 110 та 220 В постійного струму й споживає відповідно струми 116 та 58 А – електромагнітом ввімкнення, та 2 і 1 А – електромагнітом вимкнення.

Для вмикання привода на обмотку електромагніта 1, розміщену в сталевому циліндрі 2, подається напруга. Осердя 18 різко втягується в котушку електромагніта 1, стискає при цьому пружину 16 та випихає шток 17. Шток впирається в ролик 4 важільного механізму і піднімає його вгору разом з двома важелями, шарнірно з'єднаними між собою. При цьому обертається вихідний вал привода 6, який через систему важелів і тяги з'єднаний з валом вимикача, та відбувається включення вимикача і зведення пружин відключення. Одночасно при підніманні штока рухається вліво утримувальна клямка 3. У верхньому положенні штока 17 клямка 3 заскакує під ролик 4 та фіксує привод, а з ним і вимикач, у ввімкненому положенні. В цей момент через тяги 7 міняють своє положення допоміжні 8 та сигнальні 5 контакти. Допоміжні контакти 8 розмикають живлення електромагніта ввімкнення,

оскільки котушка призначена лише для короткочасного режиму роботи, осердя 18 падає вниз на гумові амортизатори. Сигнальні контакти 5 відображають нове положення вимикача. У ввімкненому положенні привід утримується ланкою 9 та коромислом 10, що знаходяться в “мертвому” положенні. Коромисло роликом 11 МВР опирається на клямку 12.

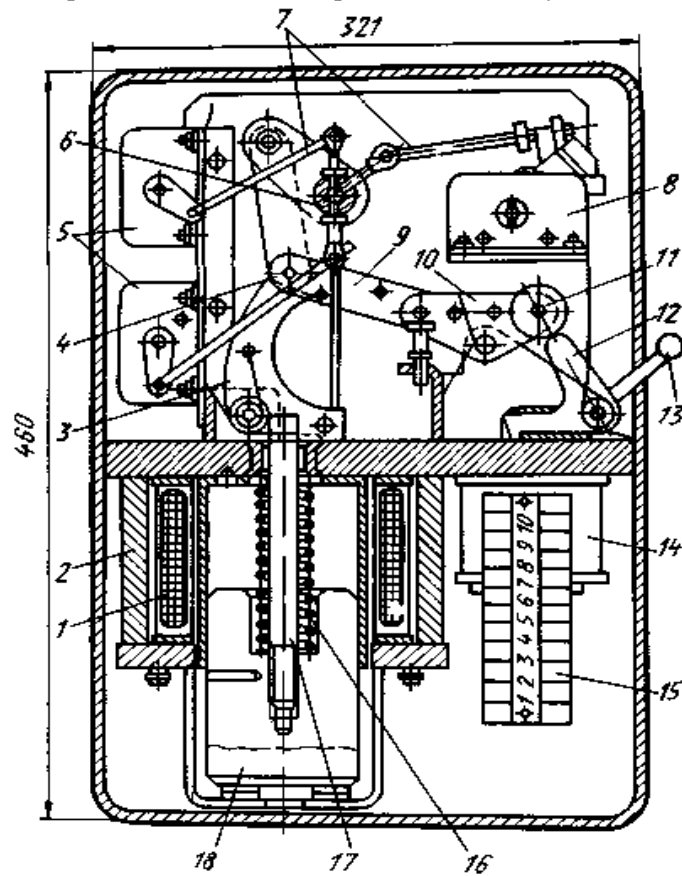


Рис. 9.6

Для регулювання та випробування привода під час монтажу та ремонту в нижній частині електромагніта є вирізи для встановлення важелів ручного вмикання. В процесі експлуатації вмикання привода ПЭ-11 вручну не дозволяється.

Вимкнення вимикача може бути дистанційним (автоматичним) або вручну. При дистанційному вимиканні на електромагніт вимикання 14 подається напруга, його бойок ударяє по утримувальній клямці 12 та повертає її за годинниковою стрілкою. Ролик 11 коромисла 10 зісковзує з клямки 12 та виводить ланку 9 з “мертвого” положення. Коромисло 10 під дією пружини повертається навколо осі за годинниковою стрілкою і тягне за собою ланку 9. Ролик 4 зісковзує з упора 3 й звільняє вал привода і під дією пружин вимкнення вимикача його силові контакти швидко розходяться. Вихідний вал 6 привода повертається в початкове положення. У цей момент змінюють положення сигнальні контакти 5, що відображають нове положення вимикача, та допоміжні контакти 8, котрі розмикають коло живлення електромагніта вимкнення. Для зручності проведення електричного монтажу є клемна рейка 15 (збірка). Вручну вимкнути привід можна рукояткою вимкнення 13 безпосередньою дією на утримувальну клямку 12.

Електромагнітний привід вакуумних вимикачів. Невеликий хід рухомих контактів у вакуумних вимикачах дозволив зробити в них більш прості електромагнітні приводи. На рис. 9.7 зображено розріз універсального електромагнітного привода для управління вакуумним вимикачем серії ВР (див. п 8.6).

Для утримання вимикача у вимкненому або ввімкненому положенні використовується енергія потужного постійного магніта 2. Фіксація відбувається за рахунок використання принципу “магнітної клямки” — замикання магнітного кола вимкнення 8 або ввімкнення 7 якорем 3. У разі вмикання на котушку вмикання 1 подається оперативна напруга, якір 3 переміщується вгору на довжину зазора та фіксується в цьому положенні постійним магнітом. Це переміщення передається штоком 6 далі на рухомі контакти вимикача.

Вимкнення відбувається за рахунок енергії попередньо зарядженого конденсатора, що розряджається на котушку вимкнення 5. Завдяки використанню конденсатора досягається найкраща часова характеристика привода, а також забезпечується можливість вимкнення вимикача у разі зникнення напруги в колі оперативного керування.

У приводі передбачено ручне керування з допомогою спеціальної рукоятки.

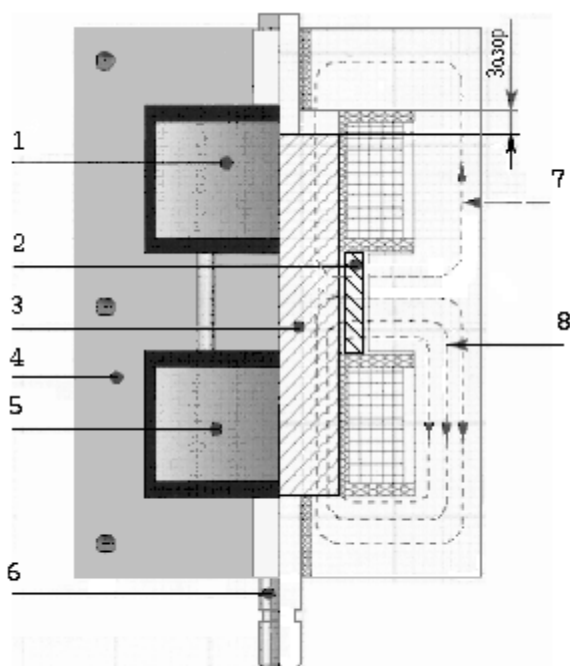


Рис. 9.7

Конструкція привода вигідно відрізняється від розглянутих меншою масою та габаритами, відсутністю буферів та необхідності регулювання, тобто обслуговування за увесь час експлуатації.

Глава 10. ВИБІР КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

10.1. Загальні умови вибору електротехнічних пристроїв

Вибір будь-якого електротехнічного пристрою починають з номінальної напруги та врахування умов експлуатації пристрою (кліматична зона, категорія розміщення, тип атмосфери та ін.). Обов'язкове виконання простої умови:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}, \quad (10.1)$$

де $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга пристрою (апарата); $U_{\text{мережі}}$ – робоча напруга мережі, у якій передбачається установка апарата. Доцільно віддавати перевагу рівності в умові (10.1). Надмірний “запас” по напрузі спричинить неефективне використання дорожчого апарата, що має більше значення $U_{\text{ном}}$.

Другою обов'язковою умовою при виборі є:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб.мах}}, \quad (10.2)$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм пристрою; $I_{\text{роб.мах}}$ – максимально можливий робочий струм, який протікає через пристрій достатньо довгий час (як правило, це струм післяаварійного режиму).

Під час вибору пристрою за струмом немає необхідності прагнути в умові (10.2) до рівності. Навпаки, “запас” на 10-20% виявиться дуже доречним, коли зростуть робочі струми у разі підключення нового навантаження. Різниця в ціні апаратів, які відрізняються номінальними струмами на 10-20% суттєво менша, ніж тоді, коли вони відрізняються напругою.

Більшість комутаційних апаратів слід перевірити на термічну та динамічну стійкість при коротких замиканнях (КЗ).

Перевірка на термічну стійкість полягає у виконанні однієї з умов:

$$\begin{aligned} I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} &\geq I_{\infty}^2 t_{\text{вимк}}; \\ I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} &\geq B_{\text{к}}, \end{aligned} \quad (10.3)$$

де $I_{\text{т}}$ та $t_{\text{т}}$ – струм та час термічної стійкості апарата (паспортні величини, наводяться в довідниках [4, 8, 9, 11]); I_{∞} – сталий струм КЗ; $t_{\text{вимк}}$ – час вимкнення струму КЗ пристроєм захисту; $B_{\text{к}}$ – тепловий імпульс, який характеризує кількість тепла, що виділяється в пристрої за час дії струму КЗ [2, 5].

Перевірка на електродинамічну стійкість полягає у виконанні однієї з умов:

$$\begin{aligned} i_{\text{дин}} &\geq i_y; \\ I_{\text{дин}} &\geq I_y, \end{aligned} \quad (10.4)$$

де $i_{\text{дин}}$ й $I_{\text{дин}}$ – миттєве та діюче значення струму електродинамічної стійкості апарата (наводяться в довідниках [4, 9, 11], раніше називали граничним наскрізним струмом), i_y й I_y – миттєве та діюче значення розрахункового ударного струму КЗ.

10.2. Вибір рубильників, перемикачів, контакторів та магнітних пускачів

Вибір рубильників та перемикачів нескладний і полягає у виконанні вимог умов (10.1) та (10.2). Для ввідних рубильників силових щитів доцільно провести перевірку їх на термічну та електродинамічну стійкість за виразами (10.3) та (10.4).

Обираючи рубильник (перемикач), враховують місце його розташування та тип приводу. Якщо разом з рубильником передбачається встановлення запобіжника, то доцільно замість двох апаратів використовувати блоки “вимикач-запобіжник”.

Зразок. Необхідно вибрати ввідний рубильник QS силового щита для таких умов: $U_{\text{мережі}} = 380 \text{ В}$; $I_{\text{роб.мах}} = 450 \text{ А}$; $I_{\infty} = 7,5 \text{ кА}$; $i_{y(K1)} = 18,5 \text{ кА}$; $t_{\text{вимк}} = 0,15 \text{ с}$ (рис. 10.1).

Використовуючи технічні дані рубильників, наведені в [8], зупинимось на трифазному рубильнику типу В1116 з центральною рукояткою, який має такі характеристики:
 $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$; $I_{\text{ном}} = 800 \text{ А}$;
 $i_{\text{дин}} = 35 \text{ кА}$; $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 500 \text{ кА}^2 \text{с}$.

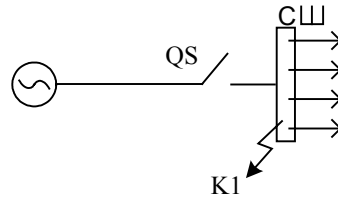


Рис. 10.1

Тоді: $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В} \geq U_{\text{мережі}} = 380 \text{ В}$. Умова (10.1) виконана.
 $I_{\text{ном}} = 800 \text{ А} \geq I_{\text{роб.мах}} = 450 \text{ А}$. Умова (10.2) виконана.
 $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 500 \text{ кА}^2 \text{с} \geq I_{\infty}^2 t_{\text{вимк}} = 7,5^2 \cdot 0,15 = 8,5 \text{ кА}^2 \text{с}$. Умова (10.3) виконана.
 $i_{\text{дин}} = 35 \text{ кА} \geq i_{y(K1)} = 18,5 \text{ кА}$. Умова (10.4) виконана.

Отже рубильник типу В1116 відповідає всім умовам вибору.

Вибір контакторів та пускачів. Контактори та пускачі обирають:

- за умовами, що враховують категорію їх застосування (див. п.7.1);
- за номінальною напругою [умова (10.1)];
- за номінальним струмом [умова (10.2)] чи потужністю електродвигунів, які підключають.

На термічну та динамічну стійкість контактори та пускачі не перевіряють.

Зразок. Необхідно вибрати контактор для комутації електричного навантаження категорії застосування АС-3, (прямий пуск електродвигунів) для таких умов: $U_{\text{мережі}} = 380 \text{ В}$, потужність навантаження $S_{\text{навант}} = 50 \text{ кВт}$, частота комутації навантаження 50 вкл/год., оперативне живлення виконане на напрузі 220 В змінного струму.

Використовуючи характеристики контакторів змінного струму [4, 9] виберемо контактор серії КТ6000Б, який має допустиму частоту включень до 600 вкл/год. Він може оснащатися катушкою управління на 220 В змінного струму та допускає використання за категорією АС-3.

Номінальна напруга контактора КТ 6000Б – 380 В, тобто виконується умова (10.1):

$$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В} \geq U_{\text{мережі}} = 380 \text{ В}.$$

Максимальний робочий струм, який протікає через контактор, визначається потужністю навантаження і дорівнює:

$$I_{\text{роб.мах}} = S_{\text{навант}} / (\sqrt{3} U_{\text{мережі}}) = 50 / (1,73 \cdot 0,38) = 76 \text{ А}.$$

Для пропускання такого струму достатньо вибрати контактор першої величини з $I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$ (умова 10.2 буде виконана). Уточнений тип контактора з обраної серії буде КТ-6013Б.

Зразок. Необхідно вибрати магнітний пускач для керування та захисту асинхронного двигуна (категорія використання АС-3) потужністю 5 кВт, $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$.

Використовуючи технічні дані пускачів, наведені в [8] виберемо пускач серії ПМЛ, призначений для роботи в мережі з напругою до 660 В і умова (10.1) виконується. Оскільки робочий струм дорівнює 7,6 А, то виберемо пускач першої величини з $I_{\text{ном}} = 10 \text{ А}$, при цьому

умова (10.2) виконується. Для захисту електродвигуна від перевантаження необхідно вибирати пускач з тепловим реле, а для ручного керування двигуном – пускач, який має кнопки “Пуск-Стоп”. Таким типом магнітного пускача буде ПМЛ-1220.

10.3. Вибір автоматичних повітряних вимикачів

Автоматичні повітряні вимикачі вибирають:

- за конструктивним виконанням;
- за номінальною напругою [умова (10.1)];
- за номінальним струмом автомата [умова (10.2)];
- за граничною здатністю вимкнення.

$$I_{\text{вимк.гр}} \geq I_{\text{к max}}, \quad (10.5)$$

де $I_{\text{вимк.гр}}$ – граничний струм вимкнення автомата; $I_{\text{к max}}$ – максимально можливий струм КЗ у колі автомата.

Далі проводять вибір номінального струму розчіплювача $I_{\text{рч. ном}}$, а для розчіплювачів, які регулюються, розраховують їх струми уставки $I_{\text{рч. ном}}$, та вибір величини $I_{\text{уст. к}}$ відсічки. Потім обраний автомат перевіряють на чутливість та селективність спрацювання.

Вибір уставок розчіплювачів. Номінальний струм розчіплювача $I_{\text{рч. ном}}$ автомата, величина якого не регулюється, вибирається не менше максимального робочого струму $I_{\text{роб. max}}$, що достатньо довго протікає по автоматі:

$$I_{\text{рч. ном}} \geq I_{\text{роб. max}}. \quad (10.6)$$

Для автоматів з регулюванням струму розчіплювача, щоб розчіплювач автомата не спрацьовував при невеликих підвищеннях робочих струмів, його значення $I_{\text{рч. ном}}$ також повинно перевищувати значення $I_{\text{роб. max}}$ з певним запасом:

$$I_{\text{рч. ном}} \geq (1,1 \dots 1,3) I_{\text{роб. max}}. \quad (10.7)$$

Для двигунів з повторно-короткочасним режимом роботи $I_{\text{рч. ном}} \geq 1,5 I_{\text{ном. дв.}}$.

Розчіплювач миттєвого спрацювання (відсічка), який має уставку $I_{\text{уст. к}}$, не повинен реагувати на короткочасні перевантаження, викликані, наприклад, запуском електродвигуна. Для цього необхідно, щоб:

$$I_{\text{уст. к}} \geq (1,5 \dots 1,8) I_{\text{пер}}, \quad (10.8)$$

де $I_{\text{пер}}$ – струм перевантаження за виразами (10.9) або (10.10).

Величина струму перевантаження $I_{\text{пер}}$ залежить від режиму запуску двигунів мережі і його визначають:

- для режиму одночасного самозапуску m двигунів, які постійно працюють і не вимикаються:

$$I_{\text{пер}} = \sum_1^m I_{\text{пуск}}, \quad (10.9)$$

де $\sum_1^m I_{\text{пуск}}$ – сума пускових струмів m двигунів;

- для режиму послідовного пуску приймають, що останнім запускається найбільш потужний електродвигун, а інші вже працюють в нормальному режимі:

$$I_{\text{пер}} = I_{\text{пуск.мах}} + \sum_1^{m-1} I_{\text{роб}}. \quad (10.10)$$

Перевірка на чутливість. У мережах, де обов'язковим є захист тільки від струмів КЗ, потрібно щоб автоматичні вимикачі з обернено залежною захисною характеристикою (з тепловим, напівпровідниковим або іншого виду розчіплювачем, що формує таку характеристику) забезпечували коефіцієнт чутливості не менше трьох, тобто:

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{к. min}} / I_{\text{рч. ном}} \geq 3, \quad (10.11)$$

де $I_{\text{к. min}}$ – мінімальний струм КЗ в колі автомата.

Потрібна чутливість автоматичних вимикачів, оснащених тільки миттєвими розчіплювачами, залежить від номінального струму автомата $I_{\text{ав. ном}}$ і має задовольняти умову:

$$\begin{aligned} K_{\text{ч}} &= I_{\text{к. min}} / I_{\text{уст. к}} \geq 1,4 \text{ при } I_{\text{ав. ном}} \leq 100 \text{ А,} \\ K_{\text{ч}} &= I_{\text{к. min}} / I_{\text{уст. к}} \geq 1,25 \text{ при } I_{\text{ав. ном}} > 100 \text{ А.} \end{aligned} \quad (10.12)$$

У мережах, що захищені також від струмів перевантаження, чутливість автоматичних вимикачів вважається достатньою, якщо:

$I_{\text{рч. ном}} \leq I_{\text{тр. доп}}$ – при використанні автоматів з нерегульованим розчіплювачем від струмів перевантаження;

$I_{\text{уст. пер}} \leq 1 \dots 1,25 I_{\text{тр. доп}}$ – для розчіплювачів з регульованою уставкою від струмів перевантаження;

$I_{\text{уст. к}} \leq I_{\text{тр. доп}}$ – для автоматів, оснащених тільки миттєвим розчіплювачем від струмів КЗ, де $I_{\text{тр. доп}}$ – тривало допустимий струм провідника лінії, яка захищається.

Зразок. Потрібно захистити автоматичними вимикачами ділянку мережі (рис.10.2). Потужності навантажень та розрахункові значення струмів КЗ наведені на малюнку. Коефіцієнт кратності пускового струму електромоторів $k_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 5$, ККД $\eta = 0,8$, $\cos \varphi = 0,8$, режим пуску - послідовний. Освітлювальне навантаження вважаємо активним.

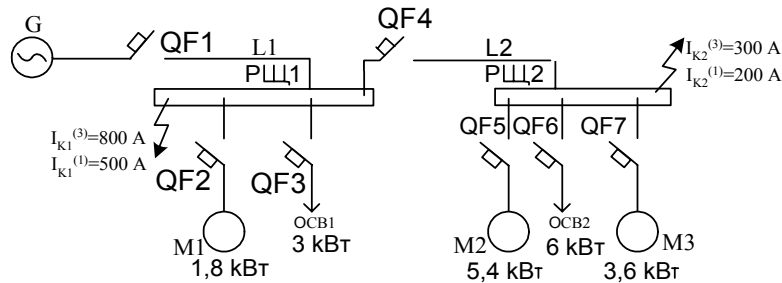


Рис. 10.2

Розв'язок. Наведемо етапи вибору автоматів для захисту мережі рис. 10.2. 1. Визначимо повні струми у фідерах, що відходять від розподільних щитів (РЩ), та лініях L1, L2 в нормальному режимі роботи. Струм, який споживають електромотори при номінальному навантаженні, визначається:

$$I_{M, \text{ном}} = P_{M, \text{ном}} / (\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi),$$

звідки $I_{M1 \text{ ном}} = 1,8 / (\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,8) = 4,2 \text{ А}$; $I_{M2 \text{ ном}} = 12,6 \text{ А}$;

$$I_{M3 \text{ ном}} = 8,4 \text{ А}.$$

Струми у фідерах освітлювальних навантажень дорівнюють:

$$I_{\text{осв} 1} = S_{\text{осв} 1} / (\sqrt{3} U_{\text{ном}}) = 3 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 4,6 \text{ А}; \quad I_{\text{осв} 2} = 9,2 \text{ А}.$$

Використовуючи отримані дані, визначимо максимальні робочі струми в лініях L1 та L2 (нехтуючи відмінностями в значеннях $\cos \varphi$ окремих споживачів):

$$I_{\text{роб. max} L 2} = I_{M2 \text{ ном}} + I_{\text{осв} 2} + I_{M3 \text{ ном}} = 12,6 + 9,2 + 8,4 = 30,3 \text{ А};$$

$$I_{\text{роб. max} L 1} = I_{M1 \text{ ном}} + I_{\text{осв} 1} + I_{\text{роб. max} L 2} = 4,2 + 4,6 + 30,3 = 39,1 \text{ А}.$$

2. Оскільки струми на всіх ділянках мережі не перевищують 100 А, попередньо виберемо автомати серії АЕ20, які випускаються на напругу до 660 В та мають граничну здатність відключення 1...9 кА. При цьому будуть виконані умови (10.1) та (10.5).

Максимальні робочі струми в фідерах навантаження не перевищують 16 А, а в лініях L1 та L2 – 63 А. Тому для захисту перших використовуємо автомати АЕ2020 з номінальним струмом 16 А, для других – АЕ2040 з номінальним струмом 63 А за умовою (10.2).

3. Переходимо до вибору номінальних струмів розчіплювачів за умовами (10.6) і (10.7).

Для освітлювальних фідерів:

$$I_{рч. ном QF 3} = 6,3 \text{ А} > I_{осв 1} = 4,6 \text{ А};$$

$$I_{рч. ном QF 6} = 10 \text{ А} > I_{осв 2} = 9,2 \text{ А}.$$

Для фідерів з двигунами:

$$I_{рч. ном QF 2} = 5 \text{ А} > I_{M1 ном} = 4,2 \text{ А};$$

$$I_{рч. ном QF 5} = 16 \text{ А} > I_{M2 ном} = 12,6 \text{ А};$$

$$I_{рч. ном QF 7} = 10 \text{ А} > I_{M3 ном} = 8,4 \text{ А}.$$

Відомо, що автомати серії АЕ20 можуть мати регулятор уставки номінального струму розчіплювача, який дозволяє змінювати уставку в межах (0,9...1,15) $I_{рч. ном}$. Якщо для всіх автоматів поставити регулятор в положення 1, то умова (10.7) буде виконана.

Виберемо номінальні струми розчіплювачів автоматів QF1 та QF4 за формулою (10.6):

$$I_{рч. ном QF 1} = 40 \text{ А} > I_{роб. тах L.1} = 39,1 \text{ А};$$

$$I_{рч. ном QF 4} = 31,5 \text{ А} > I_{роб. тах L.2} = 30,9 \text{ А}.$$

Враховуючи, що ці автомати встановлені в лініях живлення, а їх значення $I_{рч. ном}$ перевищують значення $I_{роб. тах}$ ліній незначно, встановимо їх регулятори $I_{рч. ном}$ в максимальне положення. Тоді:

$$I_{рч. ном QF 1} = 1,15 \cdot 40 = 46 \text{ А};$$

$$I_{рч. ном QF 4} = 1,15 \cdot 31,5 = 36 \text{ А},$$

умову (10.7) витримано.

4. Для автоматів, які захищають фідери з двигунами, необхідно перевірити відстройку їх електромагнітних розчіплювачів від пускових струмів за умовою (10.8) для уникнення спрацювання автоматів під час пусків. Для цього визначимо струми перевантаження у фідерах, які відходять, та в лініях L1 і L2 під час запуску електромоторів:

$$I_{M1 пуск} = k_{пуск} \cdot I_{M1 ном} = 5 \cdot 4,2 = 21 \text{ А};$$

$$I_{M2 пуск} = 63 \text{ А}; \quad I_{M3 пуск} = 42 \text{ А}.$$

Струм перевантаження в лініях L1 та L2 залежить від прийнятого режиму пуску (див. пояснення до виразів (10.9) та (10.10). Враховуючи, що режим пуску послідовний, струм перевантаження в лінії L2 визначимо за формулою (10.10) при умові, що останнім запускається електромотор M2, який має більший пусковий струм, ніж електромотор M3:

$$I_{\text{пер } L2} = I_{M2 \text{ пуск}} + I_{\text{осв } 2} + I_{M3 \text{ ном}} = 63 + 9,2 + 8,4 = 80,6 \text{ А.}$$

Струм перевантаження в лінії L1 за тих же умов дорівнює

$$I_{\text{пер } L1} = I_{\text{пер } L2} + I_{M1 \text{ пуск}} + I_{\text{осв } 1} = 80,6 + 21 + 4,6 = 106,2 \text{ А.}$$

За паспортними даними та захисною характеристикою (рис. 10.3) електромагнітний розчіплювач автоматів AE20 починає спрацьовувати при струмах $10 \dots 12 I_{\text{рч. ном}}$, тобто:

$$I_{\text{уст. к QF2}} = 5 \cdot 10 = 50 \text{ А} > I_{M1 \text{ пуск}} = 21 \text{ А};$$

$$I_{\text{уст. к QF3}} = 160 \text{ А} > I_{M2 \text{ пуск}} = 63 \text{ А};$$

$$I_{\text{уст. к QF7}} = 100 \text{ А} > I_{M3 \text{ пуск}} = 42 \text{ А.}$$

Отже, умова (10.8) витримана. Цікаво відзначити, що, як впливає із захисних характеристик, дані пускові струми викликали б вимкнення автоматів через 8...10 с. Однак за цей час двигуни встигнуть набрати номінальні оберти і споживані ними струми знизяться до значень $I_{\text{ном}}$, тобто вимкнення не відбудеться.

Струми спрацювання електромагнітних розчіплювачів автоматів QF1 та QF4 при вибраній їх настройці будуть відповідно рівні

$$I_{\text{уст. к QF1}} = 10 \cdot I_{\text{рч. ном}} = 10 \cdot 40 = 400 \text{ А та } I_{\text{уст. к QF4}} = 10 \cdot 31,5 = 315 \text{ А.}$$

Ці струми суттєво перевищують струми перевантажень ліній L1 та L2 ($I_{\text{пер } L1} = 106 \text{ А}$, $I_{\text{пер } L2} = 80,6 \text{ А}$), тобто умова (10.8) виконана зі значним запасом.

5. Перевіримо вибрані автомати на чутливість за виразом (10.11). При цьому вважатимемо, що лінії які відходять від РЩ1 та РЩ2 короткі, тобто струми однофазних КЗ в їх кінці можна вважати рівними струмам однофазних КЗ на відповідних щитах. Тоді:

$$K_{\text{ч QF2}} = I_{\text{к1}}^{(1)} / I_{\text{рч. ном QF2}} = 500 : 5 = 100 > 3;$$

$$K_{\text{ч QF3}} = 500 : 6,3 = 79 > 3; \quad K_{\text{ч QF5}} = 200 : 16 = 12,5 > 3;$$

$$K_{\text{ч QF6}} = 200 : 10 = 20 > 3; \quad K_{\text{ч QF7}} = 200 : 10 = 20 > 3.$$

Перевіримо автомати QF1 та QF4 на чутливість за виразом (10.11):

$$K_{ч\ QF1} = 500:46 \approx 11 > 3; \quad K_{ч\ QF4} = 200:36 \approx 5,5 > 3.$$

Як бачимо, всі автомати забезпечують потрібну чутливість.

6. На завершення перевіримо автомати на селективність спрацювання. Для цього необхідно побудувати карту селективності, використовуючи захисні характеристики автоматів.

На селективність перевіряються тільки послідовно ввімкнені автомати, наприклад автомат QF4 з автоматами QF5, QF6 та QF7. Однак, якщо забезпечується селективність автомата QF4 з автоматом, який має найбільше значення $I_{ном}$ із автоматів, які захищають лінії, котрі відходять від РЦ2, то для автоматів з меншим значенням $I_{рч. ном}$ селективність буде тим більше забезпечуватись.

З автоматів QF5, QF6 та QF7 найбільше значення $I_{рч. ном}$ має автомат QF5 $I_{рч. ном\ QF5} = 16\text{ А}$. Отже його й будемо перевіряти на селективність з автоматом QF4, який має $I_{рч. ном} = 36\text{ А}$.

Карта селективності (рис. 10.3) являє собою побудовані в одних координатах захисні характеристики послідовно ввімкнених автоматів, тобто залежності часу спрацювання автоматів від величини струму через них: $t = f(I)$. Вона дозволяє визначити порядок спрацювання автоматів при КЗ. Карта селективності будується в абсолютних величинах струмів (амперах) з використанням типових захисних характеристик автоматів, наведених, як правило, у відносних одиницях $I/I_{рч. ном}$.

Для переходу від відносних одиниць до абсолютних необхідно всі значення вісі абсцис типового графіка помножити на значення $I_{рч. ном}$ та перенести одержану криву на спільний графік.

Наприклад, для автомата QF5 з номінальним струмом 16 А значення кратності струму 2 на типовій характеристиці буде відповідати $2 \cdot 16 = 32\text{ А}$. При кратності струму 2 автомат відповідно до типової характеристики має вимкнутись через 60 с, тому відкладемо цей час для струму 32 А на спільному графіку та матимемо одне значення характеристики QF5. Потім перенесемо інші та побудуємо всю захисну характеристику. Аналогічно будується захисна характеристика для автомата з $I_{рч. ном} = 36\text{ А}$ та з $I_{рч. ном} = 46\text{ А}$ (рис. 10.3).

Після побудови графіків проаналізуємо роботу автоматів при КЗ. У разі трифазного КЗ прямо за автоматом QF5 через нього і

автомати QF4 та QF1 буде протікати струм $I_{\kappa 2}^{(3)} = 300 \text{ A}$. Відклавши цей струм на вісі абсцис та провівши вертикальну лінію, побачимо, що при цьому струмові автомат QF5 вимкнеться через 0,01...0,02 с, QF4 приблизно через 4 с, якщо не вимкнеться QF5, а автомат QF1 приблизно через 6 с, якщо не спрацюють QF5 та QF4. Отже, при КЗ в лінії до двигуна M2 автомати будуть працювати селективно.

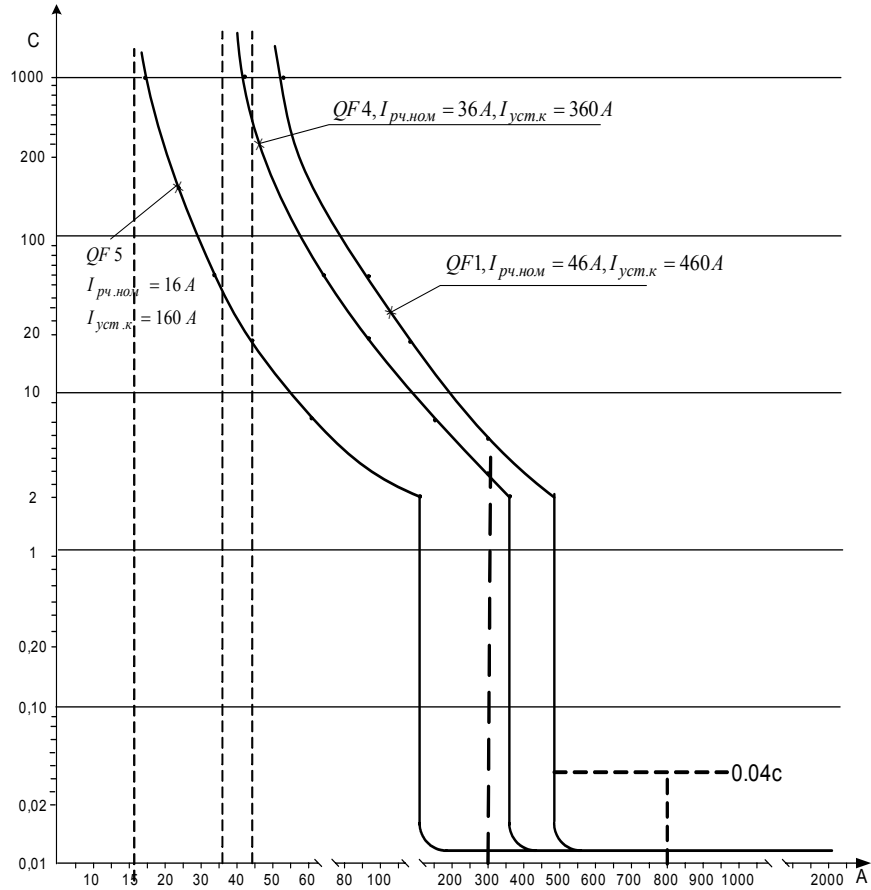


Рис.10.3

У разі КЗ в лінії, наприклад, прямо за автоматом QF4 через нього та автомат QF1 протікатиме струм $I_{\kappa 1}^{(3)} = 800 \text{ A}$. Відклавши цей струм та провівши вертикальну лінію, побачимо,

що електромагнітні розчіплювачі обох автоматів будуть спрацьовувати за час $0,01 \dots 0,02$ с. Спрацювання першим автомата $QF4$ не гарантується. Тому для забезпечення селективності між автоматами $QF4$ та $QF1$ необхідно, щоб в останньому розчіплювач від струмів $K3$ мав витримку часу, наприклад $0,04$ с.

Оскільки в автоматах серії $AE20$ не передбачена можливість зміни часу затримки спрацювання, слід розглянути можливість заміни цієї серії на серію автоматів $A37$ з напівпровідниковими розчіплювачами, які мають цю можливість.

10.4. Вибір роз'єднувачів та вимикачів навантаження

Вибір високовольтних комутаційних апаратів полягає у виконанні як загальних вимог, за умовами (10.1) – (10.4), так і низки додаткових вимог, які можна продемонструвати за зразком.

Зразок. Необхідно вибрати роз'єднувачі та вимикачі навантаження для високовольтного РП-10 кВ (рис. 10.4). Максимальні робочі струми в лініях, які відходять від РП і до силового трансформатора, дорівнюють відповідно $I_{роб.мах.Л1} = 300$ А, $I_{роб.мах.Л2} = 200$ А та $I_{роб.мах.Тр} = 150$ А. Значення сталого та ударного струмів $K3$ в точці $K1$ $I_{\infty} = 10$ кА, $i_y = 35$ кА. Час спрацювання захисту вимикача лінії живлення $t_z = 1,5$ с.

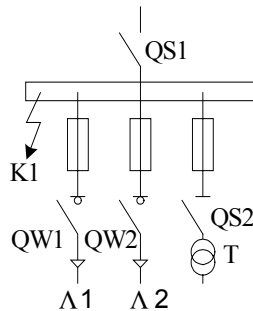


Рис. 10.4

Вибір роз'єднувачів. Через роз'єднувач $QS1$, протікає максимальний робочий струм $I_{роб.мах}$, що дорівнює сумі струмів в лініях,

які відходять: $300+200+150=650\text{ A}$ (для спрощення прийемо, що фази струмів однакові).

Використовуючи дані [4, 9, 11], виберемо трифазний роз'єднувач з заземлювальними ножами типу РВЗ-10/1000 з $I_{\text{ном}}=1000\text{ A}$ та занесемо його основні технічні дані у табл. 10.1. Як видно з табл. 10.1, умови (10.1), (10.2), (10.3) та (10.4) виконуються. Отже вибраний роз'єднувач типу РВЗ-10 відповідає всім обов'язковим параметрам і може бути використаний як QS1.

Таблиця 10.1

Вибір роз'єднувача типу РВЗ-10 (QS1)

№ пор	Параметр, що перевіряється	Необхідна умова	Паспортна величина параметра	Розрахункове значення параметра	Висновок
1	Номінальна напруга	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$	$U_{\text{ном}}=10\text{ кВ}$	$U_{\text{мережі}}=10\text{ кВ}$	Умова виконується
2	Номінальний струм	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб.мах}}$	$I_{\text{ном}}=1000\text{ A}$	$I_{\text{роб.мах}}=650\text{ A}$	Так само
3	Електродинамічна стійкість	$i_{\text{д}} \geq i_{\text{у}}$	$i_{\text{д}}=81\text{ кА}$	$i_{\text{у}}=35\text{ кА}$	Так само
4	Термічна стійкість	$I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} \geq I_{\infty}^2 t_{\text{з}}$	$(31,5)^2 \cdot 4 = 4000\text{ кА}^2\text{с}$	$(10)^2 \cdot 1,5 = 150\text{ кА}^2\text{с}$	Так само

Вибір роз'єднувача QS2 проводиться аналогічно. Трифазний роз'єднувач з заземлювальними ножами типу РВЗ-10/400 з номінальним струмом $I_{\text{ном}}=400\text{ A}$ задовольнятиме вимогам (максимальний робочий струм трансформатора $I_{\text{роб.мах Тр}}=150\text{ A}$). Однак, враховуючи, що він захищений запобіжником, перевірку на термічну стійкість QS2 можна не виконувати, а якщо б величина плавкої вставки запобіжника була менше 60 А, тоді можна не виконувати перевірку і на динамічну стійкість.

Вибір вимикачів навантаження. Вимикачі навантаження QW1 та QW2 вибираються аналогічно вибору роз'єднувачів. У табл. 10.2 наведено зразок вибору вимикача навантаження типу ВНП-10 для установки як QW1.

Таблиця 10.2

Вибір вимикача навантаження типу ВНП-10 (QW1)

№ пор.	Параметр, що перевіряється	Необхідна умова	Паспортна величина параметра	Розрахункове значення параметра	Висновок
1	Номінальна напруга	$U_{ном} \geq U_{мережі}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{мережі} = 10 \text{ кВ}$	Умова виконується
2	Номінальний струм	$I_{ном} \geq I_{роб. max}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$	$I_{роб. max} = 300 \text{ А}$	Так само
3	Електродинамічна стійкість	$i_{скр\ гран} \geq i_y$	$i_{скр\ гран} = 25 \text{ кА}$	$i_y = 35 \text{ кА}$	Умова не виконується*
4	Термічна стійкість	$I_T^2 t_T \geq I_\infty^2 t_z$	$(10)^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$(10)^2 \cdot 1,5 = 150 \text{ кА}^2 \text{ с}$	Так само*

* Беручи до уваги те, що вимикач навантаження захищений запобіжником, перевірку на термічну стійкість можна не виконувати, а якщо величина плавкої вставки запобіжника менше 60 А, тоді можна не виконувати перевірку і на динамічну стійкість.

10.5. Вибір силових вимикачів

Силові вимикачі призначені для оперативної комутації кіл високої напруги як в нормальних так і в аварійних режимах (короткі замикання, перевантаження). Тому вибір силових вимикачів, крім перевірки основних параметрів за (10.1) – (10.4), включає також необхідну перевірку на здатність вимкнення за умовою (10.13)

$$I_{\text{вимк. ном}} \geq I_{\text{к}(\tau)}, \quad (10.13)$$

де $I_{\text{вимк. ном}}$ – номінальний струм вимкнення вимикача, $I_{\text{к}(\tau)}$ – значення струму КЗ в момент вимкнення τ .

Зразок. Необхідно вибрати силовий вимикач у лінії, яка живить високовольтне РП (мал. 10.4). Усі дані взяти з попереднього зразка. Використовуючи технічні характеристики силових вимикачів [4, 9] розглянемо можливість використання мало масляного підвісного вимикача з пружинним приводом типу

ВМПП-10 з $I_{ном} = 1000 \text{ А}$. За умовою зразка, час дії захисту силового вимикача $t_z = 1,5 \text{ с}$, а власний час вимкнення $t_{в.в}$ вимикача ВМПП-10, який пропонується використати, $t_{в.в} = 0,1 \text{ с}$. Тоді час розходження контактів вимикача після початку КЗ буде $\tau = 1,5 + 0,1 = 1,6 \text{ с}$. За такий проміжок часу струм КЗ вже прийме стале значення $I_{к(\tau)} = I_{\infty}$, що відображено в п.3 табл. 10.3.

Таблиця 10.3

Вибір силового вимикача типу ВМП-10 (Q1)

№ пор	Параметр, що перевіряється	Необхідна умова	Паспортна величина параметра	Розрахункове значення параметра	Висновок
1	Номінальна напруга	$U_{ном} \geq U_{мережі}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{мережі} = 10 \text{ кВ}$	Умова виконується
2	Номінальний струм	$I_{ном} \geq I_{роб.мах}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{роб.мах} = 650 \text{ А}$	Так само
3	Номінальний струм вимкнення	$I_{вимк.ном} \geq I_{к(\tau)}$	$I_{вимк.ном} = 20 \text{ кА}$	$I_{к(\tau)} = 10 \text{ кА}$	Так само
4	Електродинамічна стійкість	$i_{скр\ гр\ ан} \geq i_y$	$i_{скр\ гр\ ан} = 52 \text{ кА}$	$i_y = 35 \text{ кА}$	Так само
5	Термічна стійкість	$I_T^2 t_T \geq I_{\infty}^2 t_v$	$(20)^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \text{с}$	$(10)^2 \cdot 1,6 = 160 \text{ кА}^2 \text{с}$	Так само

Отже параметри вимикача типу ВМПП-10 відповідають всім вимогам, і він може бути встановлений на початку лінії живлення високовольтного РП.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Правила устройства электроустановок (ПУЭ).* – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. *Чунихин А. А.* Электрические аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
3. *Родиштейн Л.А.* Электрические аппараты. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 304 с.
4. *Электротехнический справочник.* Том 1 / Под общей ред. П. Г. Грудинского и др. – М.: Энергия, 1974. – 776 с.
5. *Козлов В. Д.* Электрооборудование трансформаторных подстанций аэропортов. – М.: Воздуш. трансп., 1993. – 248 с.
6. *Козлов В. Д.* Електричні апарати. Модуль 1. – К.: НАУ, 2005.– 92 с.
7. *Теория электрических аппаратов* / Под ред. Г.Н. Александрова. – М.: Высш. шк., 1985. – 312 с.
8. *Справочник-каталог.* Часть 1. Электротехнические изделия общепромышленного исполнения до 1000 В. / Под ред. В.Д. Козлова и Е.И. Удоды. – К.: Варта, 1995. – 136 с.
9. *Справочник-каталог.* Часть 2. Электротехнические изделия общепромышленного исполнения выше 1000 В. / Под ред. В.Д. Козлова и С.Я. Меженного. – К.: НАУ, 1998. – 172 с.
10. ГОСТ 12434-83. Аппараты коммутационные низковольтные. Общие технические условия.
11. *Справочник по электроснабжению промышленных предприятий.* Промышленные электрические сети./Под общ. ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского. М.: Энергия, 1980. – 576 с.
12. *Рожкова Л.Д., Козулин В.С.* Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергия, 1975. – 704 с.
13. ГОСТ 11206-93. Контактторы электромагнитные низковольтные. Общие технические условия.

Навчальне видання

КОЗЛОВ Віктор Дмитрович
СОЛОМАХА Михайло Іванович

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Модуль 2
Комутаційні апарати низької та середньої напруги

Посібник

В авторській редакції

Підп. до друку 01.08.06. Формат 60х84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 4,88. Обл.-вид. арк. 5,25.
Тираж 100 пр. Замовлення № 156-1. Вид. № 1/1.

Видавництво НАУ
03680. Київ-680, проспект Космонавта Комарова, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002.