10-0

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

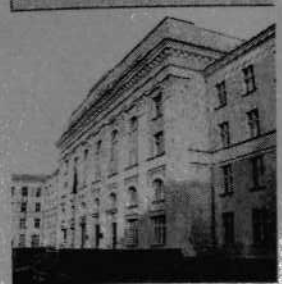
В. Д. Козлов, С. В. Єнчев

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Модуль 3

Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати

Посібник



VIVERE!
VINCERE!
CREARE!

Київ 2007

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

В. Д. Козлов, С. В. Єнчев

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Модуль 3

Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати

Посібник

Київ 2007

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

Рецензенти: д-р. техн. наук, проф. *М. В. Костерєв* – завідувач кафедри електричних станцій НТУУ „КПІ"; канд. техн. наук *О.П. Плугатар* – старший науковий співробітник відділу систем стабілізованого струму Інституту електродинаміки НАН України

Затверджено на засіданні науково-методично-редакційної ради Аерокосмічного інституту НАУ 23 серпня 2006 року.

Козлов В. Д., Єнчев С.В.

К 592 Електричні апарати. Модуль 3. Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати: Посібник. – К.: НАУ, 2007. – 72 с.

Викладено навчальний матеріал з питань конструкції, процесів, схем увімкнення, похибок та правильного вибору вимірювальних трансформаторів струму та напруг, захисних апаратів, вимірювальних та допоміжних реле.

Призначений для студентів спеціальностей 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання», 8.090605 «Світлотехніка і джерела світла» та 8.000008 «Енергетичний менеджмент». Може бути корисним інженерно-технічним працівникам електроенергетичних компаній і підприємств.

УДК 621.31 (042.4)
ББК З 260 я 7

© В.Д. Козлов, С.В. Єнчев, 2007

ЗМІСТ

Передмова..... 4
Глава 11. ВИМІРЮВАЛЬНІ АПАРАТИ..... 5
11.1. Вимірювальні трансформатори напруги..... 5
11.2. Вимірювальні трансформатори струму..... 10
11.3. Вибір вимірювальних трансформаторів..... 13
Глава 12. ЗАХИСНІ АПАРАТИ..... 17
12.1. Плавкі запобіжники..... 17
12.2. Вибір запобіжників..... 22
12.3. Пристрій захисного вимкнення..... 30
12.4. Розрядники та обмежувачі перенапруги..... 33
12.5. Струмообмежувальні реактори..... 37
Глава 13. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ РЕЛЕ..... 40
13.1. Класифікація і принципи дії реле..... 40
13.2. Вимірювальні реле струму та напруги..... 41
13.3. Допоміжні реле..... 42
13.4. Вибір реле..... 44
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... 47
Додаток 1. Технічні дані контакторів змінного струму..... 48
Додаток 2. Технічні дані поширених пускачів..... 49
Додаток 3. Технічні дані повітряних автоматичних вимикачів... 50
Додаток 4. Технічні дані роз'єднувачів 6 – 35 кВ..... 54
Додаток 5. Технічні дані вимикачів навантаження..... 55
Додаток 6. Технічні характеристики силових вимикачів 6 – 35 кВ..... 56
Додаток 7. Технічні характеристики трансформаторів напруги 6 – 35 кВ..... 58
Додаток 8. Технічні характеристики трансформаторів струму 6 – 10 кВ..... 59
Додаток 9. Технічні характеристики запобіжників до 1000 В.... 61
Додаток 10. Технічні характеристики високовольтних запобіжників серії ПКТ..... 62
Додаток 11. Умовні графічні позначення, що використовуються в електричних схемах відповідно до ЄСКД..... 63
Додаток 12. Буквені коди електричних елементів і пристроїв, що використовуються в електричних схемах відповідно до ЄСКД..... 71

ПЕРЕДМОВА

Класичні ґрунтовні російськомовні підручники з електричних апаратів авторів А.А. Чуніхіна, І.С. Таєва, Г.Н. Александрова та інших призначалися перш за все 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. У такому детальному вивченні теорії електричних апаратів для спеціальностей 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання», 8.090605 «Світлотехніка і джерела світла» та 8.000008 «Енергетичний менеджмент» немає необхідності.

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

Автори висловлюють щиру вдячність рецензентам посібника М.В. Костерєву та О.П. Плугатару за зроблені зауваження, урахування яких сприяло покращенню посібника.

Усі зауваження та пропозиції щодо поліпшення посібника автори приймуть із вдячністю і врахують в подальшій роботі. Зв'язатись з авторами можна за *e-mail: KozlovVD@ukr.net* та *esw@ukr.net.*

Глава 11. ВИМІРЮВАЛЬНІ АПАРАТИ

11.1. Вимірювальні трансформатори напруги

Трансформатори напруги (ТН) призначені для зниження високої напруги первинного кола до стандартного значення 100 або $100/\sqrt{3}$ В для вимірювання, підключення пристроїв захисту та автоматики, а також ізолювання вторинних кіл від високої напруги первинних.

Первинна обмотка однофазного ТН підключається на міжфазну (рис. 11.1) або фазну напругу первинного кола через клеми *A, X.* До вторинної обмотки (клеми *a, x*) паралельно можуть підключатися вольтметри *PV,* обмотки напруги ватметрів *PW,* лічильників активної *PI* і реактивної *PK* енергії, реле напруги та ін.

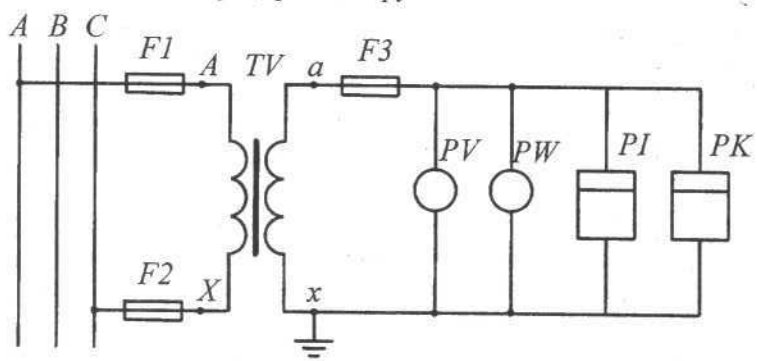


Рис. 11.1

Для безпечного обслуговування вторинних кіл один вихід вторинної обмотки ТН обов'язково заземляється. З метою захисту первинного кола від пошкоджень у ТН встановлюються запобіжники *F1* і *F2.* Запобіжник *F3* захищає ТН від перевантажень і КЗ у вторинних колах.

Кратність зниження напруги в ТН характеризується *номінальним коефіцієнтом трансформації*

$$K_{U\,\text{ном}} = U_{1\,\text{ном}} / U_{2\,\text{ном}}.$$

Трансформатори напруги виготовляються з таким $K_{U\,\text{ном}}$, щоб вторинна номінальна напруга дорівнювала 100 або $100/\sqrt{3}$ В.

Трансформатори напруги на відміну від трансформаторів струму працюють у режимі, близькому до холостого ходу, тому що опори обмоток вольтметрів, реле напруги й інших пристроїв з паралельним увімкненням обмоток досить великі.

Похибки ТН. Як усякий вимірювальний пристрій ТН має похибки. Втрати в магнітопроводі та часткове розсіювання магнітного потоку зумовлюють наявність *похибки за напругою* ΔU, котра зазвичай виражається у відсотках

$$\Delta U = \frac{K_U U_2 - U_1}{U_1}, \qquad (11.1)$$

де U_2 – виміряна напруга у вторинному колі; U_1 – фактична напруга в первинному колі.

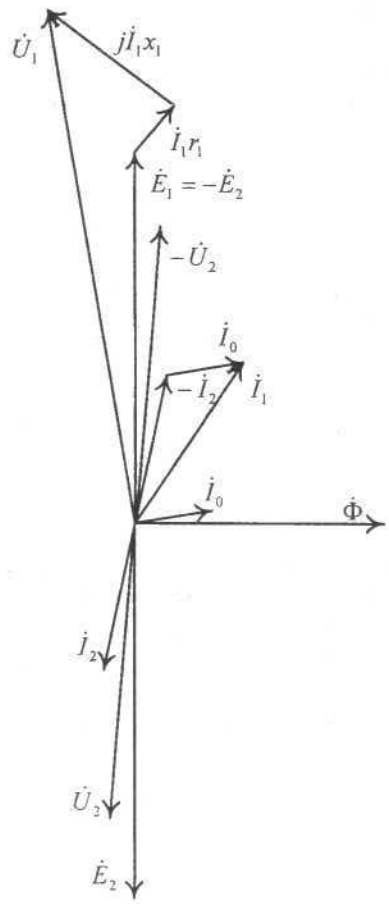


Рис. 11.2

Для зменшення похибки в показниках приладів, що враховують фазові кути між векторами струму і напруги (фазометри, ватметри, лічильники та ін.), важливою є правильна передача ТН фази вектора напруги. Зазначені причини, а також наявність втрат в обмотках призводять до того, що вектор вторинної напруги U_2 (рис.11.2), повернутий на 180°, не збігається за напрямком з вектором первинної напруги U_1. Утворений між ними кут δ називають *кутовою похибкою.*

Залежно від похибок ΔU і δ ТН відповідно до стандарту поділяють на чотири класи 0,2; 0,5; 1 і 3. У табл. 11.1 наведено максимально припустимі похибки ТН для різних класів точності. Трансформатори напруги класу 0,2 використовують як зразкові та в точних лабораторних вимірюваннях, класу 0,5 — для приєднання розрахункових лічильників, класу 1 і 3 для приєднання щитових вимірювальних приладів.

Залежно від призначення пристроїв релейного захисту в них використовуються ТН класу 0,5, 1 або 3. Сумарна потужність обмоток

вимірювальних приладів і реле, підключених до ТН, не повинна перевищувати його номінальну потужність $S_{ном}$, яка змінюється залежно від необхідної точності виміру. Так, трансформатор напруги типу НОЛ.08-10 працює в класі 0,2, якщо сумарна потужність його навантаження $S_{нав}$ не перевищує 50 ВА. При підвищенні потужності навантаження до 75 ВА трансформатор буде працювати в класі 0,5, а при зростанні $S_{нав}$ до 300 ВА ТН переходить у клас 3.

Таблиця 11.1

Клас	Δ	δ, хв
0,2	±	10
0,5	±	20
1	±	40
3	±	Не нор-

Примітка: Межі похибок задані для умов: $U_1' = 0{,}8\ldots1{,}2\ U_{1\ ном}$, $z_{нав} = 0{,}25\ldots1{,}0\ z_{ном}$, $\cos\varphi = 0{,}8$.

Конструкція ТН. Трансформатори напруги, залежно від застосовуваної в них ізоляції, поділяють на сухі, масляні та з литою ізоляцією. Сухі ТН випускають тільки для внутрішньої установки в РУ-6 кВ, однофазні і трифазні ТН з однією та двома вторинними обмотками. Букви, що входять у маркування ТН, позначають: Н — трансформатор напруги; З — з одним заземленим виводом первинної обмотки (у ТН, що включаються на фазну напругу); О — однофазний; Т — трифазний; С — сухий; М — масляний; Л — з литою ізоляцією (на основі матакрилової смоли); І — з додатковою обмоткою для контролю стану ізоляції; К — для комплектних РУ (у старих типах ТН — з компенсаційною обмоткою). За буквами після крапки стоїть номер розробки (у старих ТН не вказувався), далі, після тире, йде цифра, що вказує на номінальну напругу первинної обмотки.

У системах електропостачання 6 — 10 кВ підприємств використовуються ТН серій НОС, НОМ, НОЛ, ЗНОЛ і НТМІ, технічні дані яких можна знайти в роботі [5]. На рис. 11.3 зображено конструкцію однофазного ТН серії НОЛ. Трансформатор являє собою нерозбірну литу конструкцію зі стрічковим магнітопроводом. У верхній частині знаходяться виводи первинної обмотки, виводи вторинної обмотки розміщені на передньому торці й закриті кришкою. Трансформатори цього типу менші за масою, пожежобезпечні і можуть бути закріплені в будь-якому положенні.

Схеми з'єднань ТН. Залежно від цілей вимірювань можуть використовуватися різні схеми вмикання ТН. Найбільш поширеними є

схема з однофазним ТН, схема з двома однофазними ТН, схема з трьома однофазними ТН.

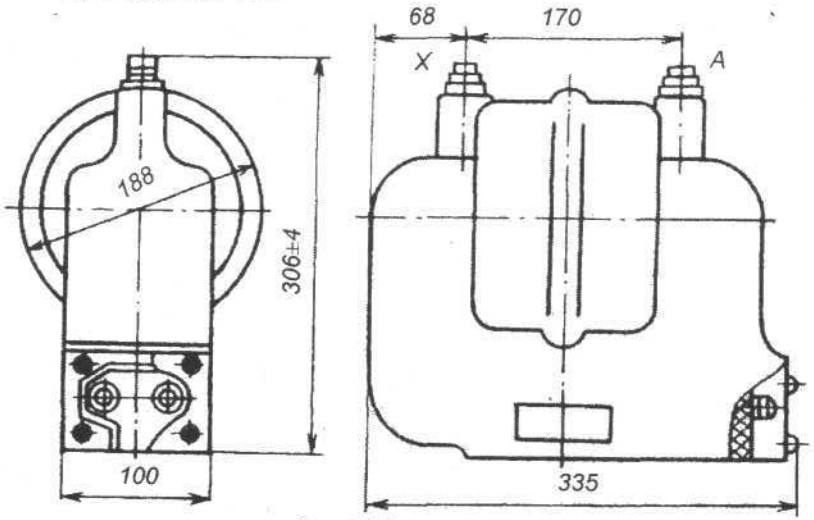


Рис. 11.3

Схема з одним однофазним ТН (див. рис. 11.1) застосовується в трифазних мережах для вимірювання однієї міжфазної напруги (використовуються ТН серій НОС, НОЛ, НОМ) або напруг однієї з фаз (ТН серії ЗНОЛ).

Схема з двома однофазними ТН (рис. 11.4), з'єднаними в розімкнутий трикутник, дозволяє виміряти всі міжфазні напруги. Однак вмикання приладів на міжфазну напругу U_{ac} не рекомендується, тому що при цьому збільшується значення похибок. Схему доцільно використовувати, коли основне навантаження ТН складають трифазні лічильники і ватметри, тому що струмові обмотки цих приладів прийнято приєднувати до трансформаторів струму, увімкнених у фази *A* та *C*. При цьому обмотки напруги приладів повинні приєднуватися до затискачів *ab* і *bc* ТН (див. рис.11.4). У такій схемі використовуються ТН серій НОС, НОЛ, НОМ.

Схема з трьома однофазними ТН, з'єднаними «зіркою» із заземленою нейтраллю (рис. 11.5), застосовується досить широко завдяки своїй універсальності. Вона дозволяє вимірювати всі фазні та міжфазні напруги. У цій схемі один вивід первинних обмоток усіх ТН заземлений, а тому в ній доцільно використовувати трансформатори серії ЗНОЛ. Завдяки тому, що кожна фаза має свій окремий магнітопровід, схема дозволяє одержати високу точність вимірів.

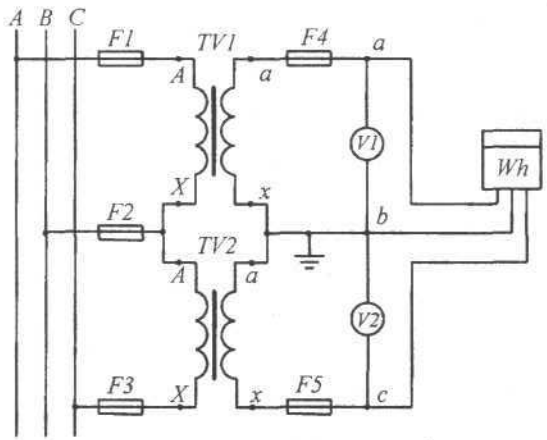


Рис. 11.4

У трансформаторах напруги серії НТМИ-10-66 (дві останні цифри – рік розробки) в одному корпусі (баці) розташовуються три однофазні триобмоткові трансформатори напруги. Первинні і вторинні обмотки трансформаторів з'єднані в «зірку» із заземленою нейтраллю (рис. 11.5), а додаткові обмотки з'єднані в схему «розімкнутий трикутник», що дозволяє виявляти режим замикання на землю.

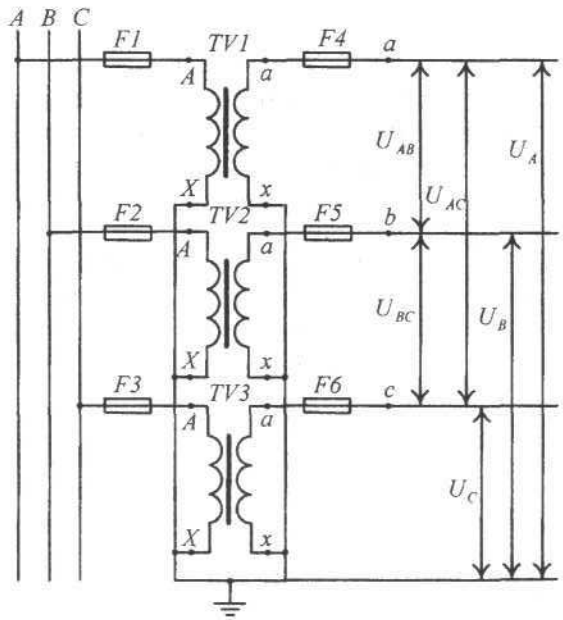


Рис. 11.5

11.2. Вимірювальні трансформатори струму

Трансформатори струму (ТС) призначені для вимірювання струму в первинних колах, підключення пристроїв захисту, автоматики, а також ізолювання вторинних кіл від первинних. Первинна обмотка ТС (клеми Л1 і Л2, рис. 11.6) вмикається послідовно в силове коло, до вторинної обмотки (клеми И1 і И2) також послідовно приєднуються амперметр Р1, струмові обмотки ватметра Р2, лічильника, реле струму та ін.

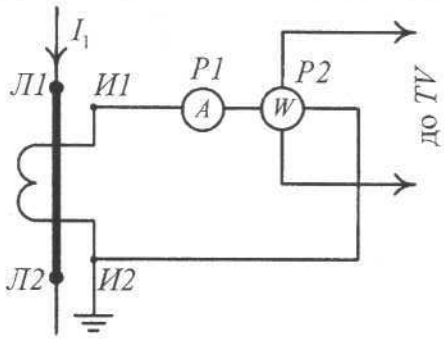


Рис. 11.6

З метою безпеки (так само, як у ТН) один вивід вторинної обмотки обов'язково заземлюється. Кратність зниження величини струму у вторинному колі стосовно первинного струму характеризують *номінальним коефіцієнтом трансформації ТС*

$$K_{I\,\text{ном}} = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\,\text{ном}}},$$

де $I_{1\text{ном}}$ та $I_{2\text{ном}}$ — відповідно номінальні первинний і вторинний струми. Значення номінального вторинного струму зазвичай приймають 5 А (іноді 1 А). Діапазон первинних номінальних струмів $I_{1\,\text{ном}}$ ТС досить широкий, так, наприклад, для електроустановок 6 — 10 кВ випускаються ТС із $I_{1\,\text{ном}}$ від 5 до 5000 А.

Похибки ТС. Наявність втрат у магнітопроводі, а також часткове розсіювання магнітного потоку спричиняють появу *струмової похибки* ТС, під якою розуміють виражену у відсотках величину

$$\Delta I = \frac{K_1 I_2 - I_1}{I_1} 100. \qquad (11.2)$$

Кутовою похибкою називають кут δ між векторами первинного I_1 і вторинного I_2 струмів. Кутова похибка вносить похибки в покази приладів, критичних до правильної передачі фазового кута струму (фазометри, ватметри, лічильники та ін.).

Залежно від величин похибок ΔI та δ ТС поділяються на п'ять класів: 0,2; 0,5; 1; 3 і 10. Трансформатори класу 0,2 використовують як

зразки і під час точних лабораторних досліджень; класу 0,5 – для вмикання лічильників і точних амперметрів; класу 1 і 3 – для приєднання щитових амперметрів, фазометрів та ін.; класу 10 – для підключення пристроїв релейного захисту.

На похибки ТС істотно впливає його навантаження. Струмові обмотки вимірювальних приладів, як відомо, мають малі опори, тому номінальний режим роботи ТС близький до режиму короткого замикання.

Опір вторинного навантаження ТС $z_{\text{нав}}$ може бути визначений за формулою:

$$z_{\text{нав}} \approx \sum r_{\text{прил}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}\ , \qquad (11.3)$$

де $r_{\text{прил}}$ – сумарний активний опір усіх струмових обмоток приладів і реле, увімкнених до ТС; $r_{\text{пров}}$ – опір з'єднувальних проводів; $r_{\text{конт}}$ – опір контактів. Робота ТС у заданому класі гарантується, якщо його фактичне вторинне навантаження $z_{\text{нав}}$ (або $S_{\text{нав}}$) не перевищує номінальне $z_{\text{нав. ном}}$ (або $S_{\text{нав. ном}}$). Значення $z_{\text{нав. ном}}$ та $S_{\text{нав.ном}}$ наводяться в довідниках. Тобто, вибираючи ТС, необхідно дотриматися умови

$$z_{\text{нав. ном}} \geq z_{\text{нав}} \quad \text{або} \quad S_{\text{нав. ном}} \geq S_{\text{нав}}. \qquad (11.4)$$

Холостий хід ТС. Для навантаженого ТС справедливе співвідношення

$$I_0 W_1 = I_1 W_1 + I_2 W_2\ ,$$

де $I_0 W_1$ – ампер-витки намагнічування; $I_1 W_1$ та $I_2 W_2$ – ампер-витки первинної і вторинної обмотки.

У разі розімкнення вторинної обмотки $I_2 W_2 = 0$, а величина струму I_1, що протікає по первинній обмотці, не змінюється (*вона не залежить від режиму роботи ТС і цілком зумовлена навантаженням первинного кола),* тому всі ампер-витки первинної обмотки $I_1 W_1$ стають намагнічувальними $I_0 W_1 = I_1 W_1$. Це спричиняє значне, у кілька десятків разів, збільшення магнітного потоку Φ_u у магнітопроводі ТС. У цих умовах величина магнітної індукції в магнітопроводі буде обмежуватися фактором насичення магнітопровода ТС. Тому крива намагнічування набуде трапецеїдального характеру (крива B на рис. 11.7), що у свою чергу викликає появу на кінцях

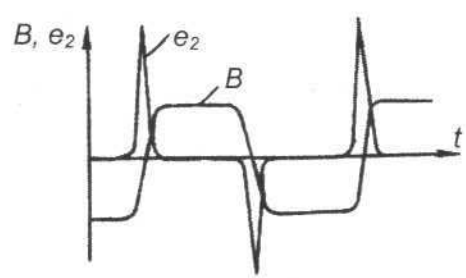


Рис. 11.7

розімкнутої вторинної обмотки ТС сплесків ЕРС величиною до декількох кіловольт (крива e_2), які є небезпечними для обслуговуючого персоналу та ізоляції ТС, проводів або жил контрольного кабелю і вимірювальних приладів. Крім того, значне збільшення магнітного потоку зумовить зростання втрат енергії в магнітопроводі, значне його нагрівання і, як наслідок, погіршення властивостей прилеглої ізоляції. Тому не дозволяється розмикати вторинну обмотку ТС при протіканні струму в його первинній обмотці. Замінюючи вимірювальний прилад або реле, необхідно ***спочатку закоротити вторинну обмотку ТС.***

Конструкції ТС. Усі сучасні ТС до 35 кВ мають литу епоксидну ізоляцію. За конструктивним виконанням розрізняють прохідні, опорні і шинні ТС; одновиткові (стрижневі), багатовиткові (петлеві і котушкові). Букви, що входять у маркування ТС, позначають: Т – трансформатор струму, П – прохідний, Ш – шинний, Л – з литою ізоляцією, О – одновитковий, К – котушковий, В – вбудований, У – посилений, Р – з роз'ємним магнітопроводом. Далі в маркуванні вказується номінальна напруга ТС. Спеціалізовані ТС для диференціальних захистів мають у маркуванні букву Д, для захистів від замикань на землю букву З. Випускають ТС з однією та двома вторинними обмотками. Кожна вторинна обмотка має свій магнітопровід і певний клас точності. Наприклад, ТС типу ТПЛ-10 (рис. 11.8) має два магнітопроводи *6:* один класу 0,5, другий – класу 10Р.

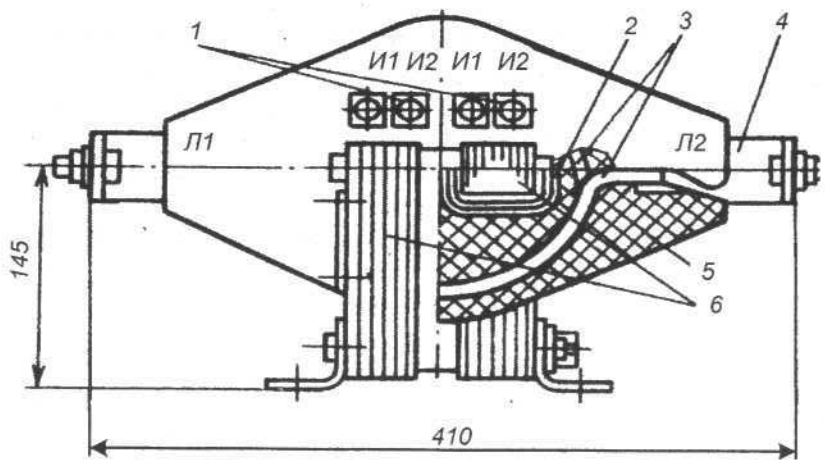


Рис. 11.8

До вихідних клем *1* обмотки магнітопроводу класу 0,5 вмикають вимірювальні прилади, а до обмотки магнітопроводу класу 10Р – при-

строї РЗ. Первинна обмотка *3,* виконана з плоскої мідної шинки, двічі проходить крізь магнітопроводи. До виводів первинної обмотки *4* за допомогою болтового з'єднання вмикається первинне високовольтне коло. Вторинна обмотка *2* виконується з мідного дроту і має більшу кількість витків. Уся конструкція залита епоксидною смолою 5. У системах електропостачання підприємств використовуються ТС типів ТПЛ, ТПОЛ, ТЛК, ТОЛК на напругу 6...10 кВ [5] і типу ТК з $U_{ном}$ до 500 В.

Схеми з'єднань ТС. У мережах однофазного і трифазного змінного струму та незначних нерівномірностях навантажень в окремих фазах доцільно використовувати найпростішу схему з одним ТС (рис.11.6).

З'єднання трьох ТС у «зірку» (рис.11.9,а) використовується в трифазних мережах 6...35 кВ зі значною нерівномірністю навантажень фаз, а також у мережах 0,4 кВ, а з'єднання двох ТС у «неповну зірку» (рис. 11.9,б) – у трифазних трьохпровідних мережах з рівномірним

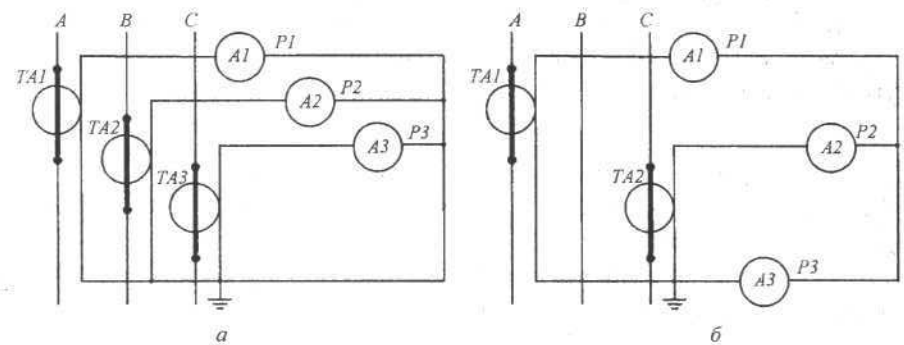


Рис.11.9

навантаженням фаз, а також для приєднання трифазних лічильників і пристроїв релейного захисту. Струм у фазі *B* цієї схеми можна виміряти, увімкнувши амперметр РЗ у нульовий провід. Схеми підключення ТС до пристроїв релейного захисту детально розглянуті в [5,7].

11.3. Вибір вимірювальних трансформаторів

Вибір трансформаторів напруги. Залежно від цілей і необхідної точності вимірювання потрібно вибрати раціональну схему вимірювання (рис. 11.1-11.5). Використовуючи технічні дані ТН, визнача-

ють тип ТН, що підходить для обраної системи вимірювання та забезпечує виконання умов

$$U_{1\,\text{ном}} = U_{\text{мережі}}, \qquad (11.5)$$

$$S_{\text{ном}} \geq S_{\text{нав}}. \qquad (11.6)$$

Приклад. Необхідно вибрати ТН для вмикання трьох щитових вольтметрів, що вимірюють лінійні напруги у мережі 10 кВ.

Оскільки щитові прилади не вимагають високої точності виміру (1 або 3 клас), використовуємо більш економічну схему з двома ТН (рис.11.4). У схемі застосовуємо ТН типу НОМ-10 з $U_{1\,ном}$ = 10 кВ (виконується умова (11.5).

Номінальна потужність навантаження трансформатора НОМ-10 при роботі в першому класі точності дорівнює 150 ВА [7]. Споживана потужність одним щитовим вольтметром типу Э377 не перевищує 2,6 ВА [5]. З огляду на те, що до двох трансформаторів напруги підключаються три вольтметри, навантаження на кожен ТН зросте в 1,5 раза [8]. Тоді умова (11.6) $S_{ном}$ = 150 ВА > $S_{нав}$ = 3,9 ВА виконується.

Вибір трансформаторів струму. Залежно від цілей вимірювання, необхідного класу точності і конструктивних особливостей, спочатку вибирають потрібну серію ТС. При цьому повинні виконуватися умови (11.5) і (11.7).

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб.max}}. \qquad (11.7)$$

В умові (11.7) номінальний струм первинної обмотки ТС *має бути якнайближчим* до $I_{\text{роб. max}}$, тому що недовантаження ТС приводить до збільшення похибок.

Використовуючи довідкові дані [5,6,7,8], необхідно перевірити обраний ТС на електродинамічну й термічну стійкість за виразами

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у}}; \qquad (11.8)$$

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\infty}^2 t_{\text{вимк.}}. \qquad (11.9)$$

Потім ТС перевіряють на вторинне навантаження за формулою (11.4). Опір вторинного навантаження ТС, підключеного до вимірювального кола, визначають за формулою (11.3).

Для ТС, що працює *з релейним захистом,* замість номінального вторинного навантаження у виразі (11.4) використовують величину припустимого вторинного навантаження $z_{\text{нав. прип}}$. Визначення допустимого вторинного навантаження $z_{\text{нав. прип}}$ роблять за спеціальною кривою «десятивідсоткової кратності» – K_{10} (рис. 11.10), яка обмежує опір навантаження ТС залежно від очікуваної кратності струму спрацювання захисту (відносно $I_{1\text{ном}}$) значенням, за якого повна похибка ТС не

перевищить 10 %. Криві K_{10} для конкретних марок ТС можна знайти в довідниках [5, 8].

Приклад. Необхідно вибрати ТС для вимірювання струму в первинній мережі ($U_{\text{мережі}}$ = 10 кВ) і вмикання реле струму типу РТВ-V, що входить в комплект релейного захисту. Максимальний робочий струм у мережі $I_{\text{роб. max}}$ = 220 А, розрахунковий ударний струм КЗ $i_{\text{у}}$ = 4,5 кА, струм КЗ у момент відімкнення $I_{\text{к}}$ = 2 кА, час вимкнення $t_{\text{вимк}}$ = 2 с.

1. З огляду на те, що до ТС планується увімкнути вимірювальний прилад і релейний захист, зупинимося на ТС типу ТПЛ - 10 із двома магнітопроводами – сердечниками 0,5 і Р. До сердечника 0,5 (класу 0,5) вмикаємо вимірювальний прилад, а до сердечника Р — релейний захист.

2. Відповідно до технічних характеристик ТС типу ТПЛ [8] вони випускаються з $U_{1\text{ном}}$ =10 кВ, тобто умова (11.5) задовольняється.

3. Оскільки струм у первинному колі дорівнює 220 А, то, виконуючи умову (11.7), виберемо ТС із первинним номінальним струмом $I_{1\,\text{ном}}$ = 300 А.

4. Для перевірки ТС на електродинамічну стійкість (умова 1:8) використовуємо паспортне значення кратності електродинамічної стійкості, що для ТС типу ТПЛ-10 дорівнює $K_{\text{дин}}$=175 [5]. Скориставшись співвідношенням $i_{\text{дин}} = \sqrt{2}\, K_{\text{дин}} \cdot I_{1\,\text{ном}}$, визначимо паспортне миттєве значення електродинамічної стійкості ТС $i_{\text{дин}}$= 1,42•175•300 = 74,5 кА, що перевищує ударний струм $i_{\text{у}}$ = 4,5 кА. Умова (11.8) задовольняється.

5. Перевірка ТС на термічну стійкість виконується за умовою (11.9). Використовуючи технічні параметри ТПЛ-10/300: коефіцієнт термічної стійкості $K_{\text{т}}$ = 90 за час термічної стійкості $t_{\text{т}}$ = 1 с [5], визначимо значення лівої частини нерівності (11.9)

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = (K_{\text{т}} I_{1\text{ном}})^2 t_{\text{т}} = (90 \cdot 300)^2 \cdot 1 = 729 \cdot 10^8\ A^2 c.$$

Значення правої частини нерівності (11.9) визначимо, використовуючи наші вихідні дані $I_{\text{к}}^2\, t_{\text{вимк}} = 2000^2 \cdot 2 = 8 \cdot 10^6\ A^2 c$, що менше від лівої частини. Отже, умова термічної стійкості виконується.

6. Перевірку ТС по вторинному навантаженню почнемо з обмотки «0,5». Ця обмотка для роботи в класі точності 1 (для щитового амперметра, що приєднується до цієї обмотки велика точність не потрібна) повинна мати навантаження з опором не більше від 0,8 Ом або потужністю не більше ніж 20 ВА [8].

Щитовий амперметр типу Э309 споживає 5ВА [5]. Визначимо його внутрішній опір $r_{\text{прил}} = S_{\text{прил}}/I^2_{2\text{ном}} = 5/5^2 = 0{,}2$ Ом. Відстань між ТС та амперметром беремо 2,5 м. Тоді опір двох сполучних алюмінієвих проводів ($\rho_{A\text{т}}$=0,0283 мкОм·м) перетином 2,5 мм^2 та загальною довжиною 5 м дорівнює 0,06 Ом.

Вважаючи опір контактів при приєднанні одного приладу таким, що рівний 0,1 Ом, визначимо, за виразом (11.3) загальний опір навантаження обмотки «0,5», $z_{\text{нав}} = \sum r_{\text{прил}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}} = 0{,}2 + 0{,}06 + 0{,}1 = 0{,}36$ *Ом.*

Отже, умова (11.3) для обмотки «0,5» виконується (0,8 Ом > 0,36 Ом).

Обмотка «Р» використовується для підключення релейного захисту, тому визначення її припустимого навантаження проведемо по кривих K_{10}. На рис. 11.10 зображено криві K_{10} для трансформатора типу ТПЛ [8].

Для їхнього використання необхідно визначити граничну кратність струму спрацювання захисту $I_{с.з}$ по відношенню до $I_{1ном}$

$$K_{10}=(1,1...1,4)\ I_{с.з}\ /\ I_{1ном}.$$

Припустимо, що в розглянутому прикладі $I_{с.з}$ = 500 А, тоді $K_{10}=1,3\cdot500/300 = 2,2$. Відкладаючи це значення на осі K_{10} (рис. 11.10) і використовуючи криву 4, одержуємо $z_{нав.доп}= 2,5$ Ом.

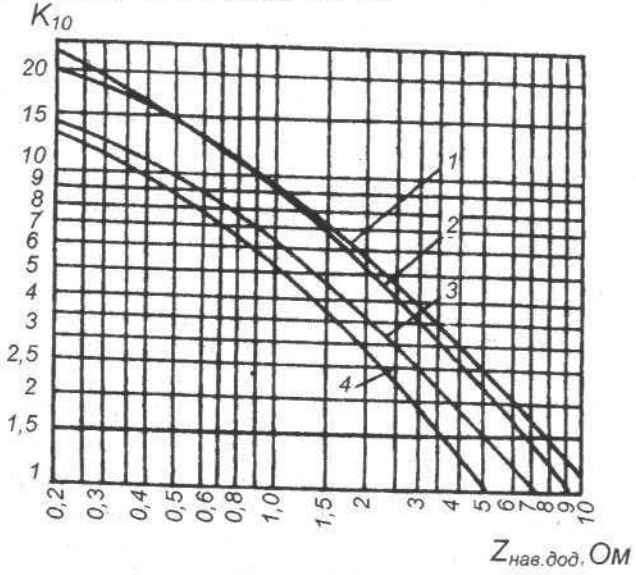


Рис. 11.10

Далі розраховуємо фактичне навантаження обмотки «Р» ТС, до якої ввімкнено реле струму типу РТВ- V. При з'єднанні ТС і реле за схемою неповної зірки опір вторинного навантаження при трифазному КЗ визначають з виразу [8] $z_{2\,нав} = \sqrt{3}\, z_р + r_{пров} + r_{конт}$.

Для визначення величини $z_р$ використовуємо споживану реле потужність при втягненому якорі, що дорівнює 114 ВА [8] (при струмі уставки 10 А). Звідки $z_р = 114/10^2 = 1,14$ Ом.

Вважаючи опори проводів і контактів такими, як і в попередньому випадку, одержуємо $z_{2\,нав} = 1,14 + 0,06 + 0,1 = 1,3$ Ом.

Як бачимо, фактичне вторинне навантаження $z_{2\,нав}= 1,3$ Ом не перевищує допустимої величини $z_{нав.доп}= 2,5$ Ом.

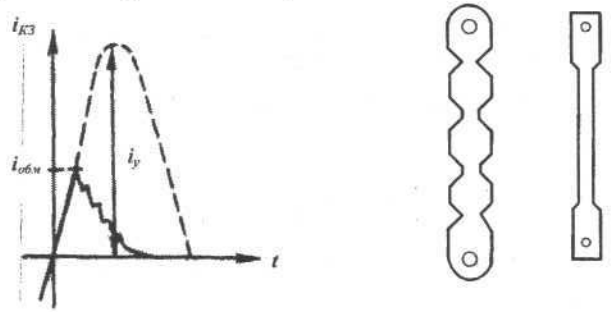
Отже, пропонований для використання ТС типу ТПЛ-10 задовольняє всі умови вибору.

Глава 12. ЗАХИСНІ АПАРАТИ

12.1. Плавкі запобіжники

Запобіжник — захисний апарат, призначений для однократного автоматичного вимкнення електричного кола при протіканні через нього струмів КЗ або перевантаження. Запобіжник складається з *контактної стійки* і змінного елемента – *патрона*, усередині якого розміщена *плавка вставка*. Робота запобіжника базується на тепловій дії електричного струму, що розплавляє плавку вставку. Після спрацювання плавка вставка (або патрон) повинна бути замінена вручну.

Завдяки своїм перевагам — простоті конструкції, низькій вартості, високій швидкодії та здатності обмежувати струм КЗ, – запобіжники широко використовують для захисту мереж 6...35 і 0,4 кВ, а також різноманітного електроустаткування. Однак значний розкид захисних характеристик, забезпечення селективної роботи запобіжників тільки в лініях з однобічним живленням, а також можливість неповнофазного режиму при спрацюванні запобіжника в одній з фаз у ряді випадків обмежують їх використання.



а *б*

Рис. 12.1

Струмообмежувальний ефект у запобіжниках досягається за рахунок дуже швидкого (менше від 0,01 с) перегоряння плавкої вставки при протіканні струмів КЗ. Вставка перегоряє швидше (при струмі обмеження $i_{обм}$ рис. 12.1), ніж струм КЗ може досягти свого ударного значення $i_у$. Такої швидкодії можна домогтися в разі використання спеціальної форми плавких уставок з декількома звуженнями (рис.12.1,б) та наповненні запобіжника кварцовим піском (рис. 12.5).

Завдяки струмообмежувальному ефекту електродинамічні сили в колах, захищених запобіжниками, зменшуються настільки, що в окремих випадках не потрібна перевірка апаратів на електродинамічну стійкість.

Технічні параметри. Запобіжник і його плавка вставка характеризуються такими параметрами:

- номінальною напругою $U_{ном}$;
- номінальним струмом $I_{ном}$ запобіжника;
- номінальним струмом плавкої вставки $I_{вс.ном}$;
- граничним струмом вимкнення $I_{вимк.ном}$;
- захисною характеристикою.

Визначення понять $U_{ном}$ і $I_{ном}$ та шкали номінальних значень цих параметрів наведені в п. 1.3. Значення $U_{ном}$ і $I_{ном}$ запобіжника зумовлюють його конструкцію. Перша величина визначає довжину знімної частини запобіжника – *патрона*, друга – габарити контактної системи, яка повинна протягом тривалого часу пропускати заданий струм навантаження.

Номінальним струмом плавкої вставки називається максимальне значення струму, який вставка витримує в патроні необмежений час. Запобіжник з номінальним струмом $I_{ном}$ може мати патрон з плавкою вставкою $I_{вс.ном} \le I_{ном}$.

При струмах КЗ запобіжник повинен надійно вимкнути пошкоджену ділянку. Захисна здатність запобіжника характеризується *граничним струмом вимкнення* $I_{вимк.гр}$ – найбільшим струмом, який запобіжник може вимкнути без яких-небудь пошкоджень або деформацій, що перешкоджають його подальшій роботі після зміни плавкої вставки.

Захисна характеристика запобіжника являє собою графік залежності повного часу перегоряння плавкої вставки (час плавлення і горіння дуги) від величини струму, що проходить через нього. Слід мати на увазі, що в довідниках і на рис.12.3 наводяться середні характеристики. Під час виконання розрахунків варто враховувати розкид характеристик через відхилення розмірів, складу матеріалу, стану поверхні вставки, стану контактів, температури навколишнього середовища і низки інших чинників.

Розкид захисних характеристик запобіжників до 1000 В досягає 50 %. Тому при перевірці на селективність необхідно користуватися не усередненою захисною характеристикою *1* (рис. 12.2,а), а можливою зоною часу спрацювання, обмеженою на малюнку пунктирними лініями. Допустимий розкид захисних характеристик запобіжників понад 1000 В визначається з того, що для будь-якого часу відімкнення відхилення значень струму не повинні перевищувати ±20% (рис. 12.2,б).

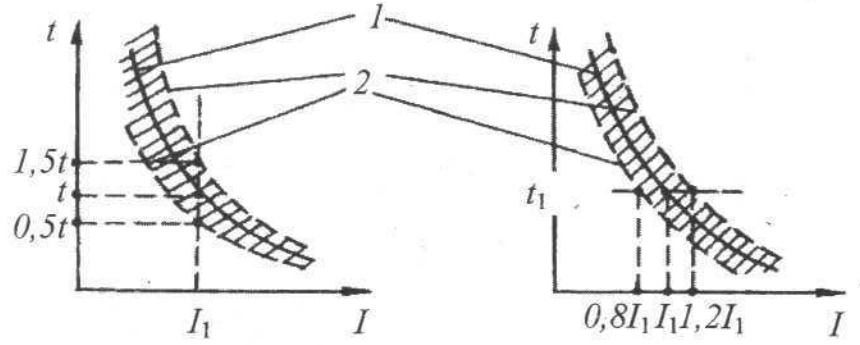


Рис. 12.2

Конструкції запобіжників до 1000 В. Низьковольтні запобіжники виготовляють на номінальні струми до 1000 А та напруги 36, 220, 380 і 660 В змінного і 24, 110, 220 і 440 В постійного струму.

Запобіжник серії ПР2 (розбірний) нині широко використовується, хоча випуск цієї серії припинений. Розбірний патрон (семи габаритів) запобіжника складається з фібрового циліндра *1* (рис. 12.3, на кінцях якого закріплені латунні втулки з різьбою *2*. На втулки накручуються ковпачки *4* з контактними ножами *5*.

Усередині патрона закріплюється плавка цинкова вставка *3*, що має звуження. Гази, виділювані фіброю під час горіння дуги, підвищують тиск у патроні, що сприяє більш швидкому її гасінню. Плавкі вставки запобіжників серії ПР2 випускають на струми $I_{вс.ном} = 6...1000$ А. Основний недолік цієї серії – невелика здатність відімкнення (до 20 кА). На рис. 12.3 зображено захисну характеристику запобіжника ПР-2 у відносних одиницях.

Запобіжник серії ПН2 наповнений, випускається чотирьох габаритів з плавкими вставками на струми $I_{вс.ном} = 31,5...630$ А. Конструкцію запобіжника зображено на рис. 12.4. Усередині порцелянового корпуса *1* розташована плавка вставка *2*, що складається з декількох

вузьких смуг (їх кількість залежить від номінального струму вставки). Внутрішня порожнина патрона засипана чистим кварцовим піском (наповнювачем) *3*, що прискорює деіонізаційні процеси в разі спрацювання запобіжника за рахунок більш інтенсивного охолодження і поглинання парів металу. Завдяки наявності наповнювача струм відімкнення в цих запобіжниках підвищено до 50 кА.

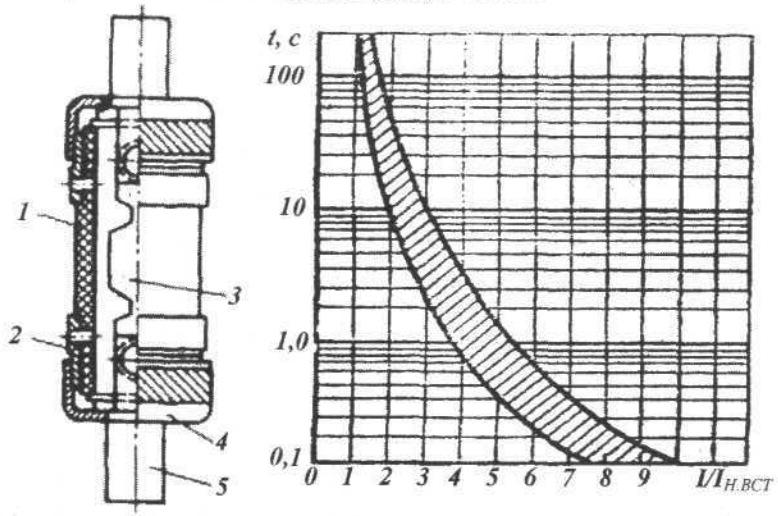


Рис. 12.3

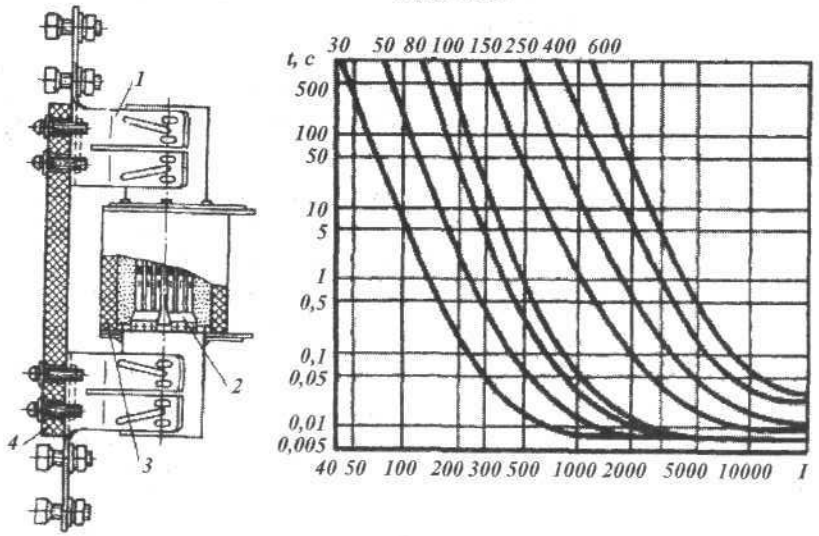


Рис. 12.4

В останніх варіантах конструкцій запобіжників серії ПН2 передбачена можливість установки індикатора спрацьовування, який при перегорянні плавкої вставки звільняє зведений під час збирання бойок, що перемикає допоміжні контакти кола сигналізації або автоматики.

У запобіжниках серії ПП-31 усі струмопровідні частини, включаючи плавку вставку, зроблені з алюмінію, що істотно здешевило їх. Запобіжники нерозбірні, тобто їхній патрон – одноразової дії, що в сукупності з використанням наповнювача дозволило збільшити значення номінального струму відімкнення до 100 кА. Плавкі вставки в цих запобіжників випускаються на струми $I_{вс.ном} = 10...1000$ А.

Конструкції запобіжників вище 1000 В. Для захисту повітряних і кабельних ліній, силових трансформаторів 6...25 кВ широко використовують струмообмежувальні запобіжники з кварцовим наповненням серії ПКТ. На рис.12.5 зображено конструкцію патрона запобіжника ПКТ. Він складається зі скляної або порцелянової трубки,

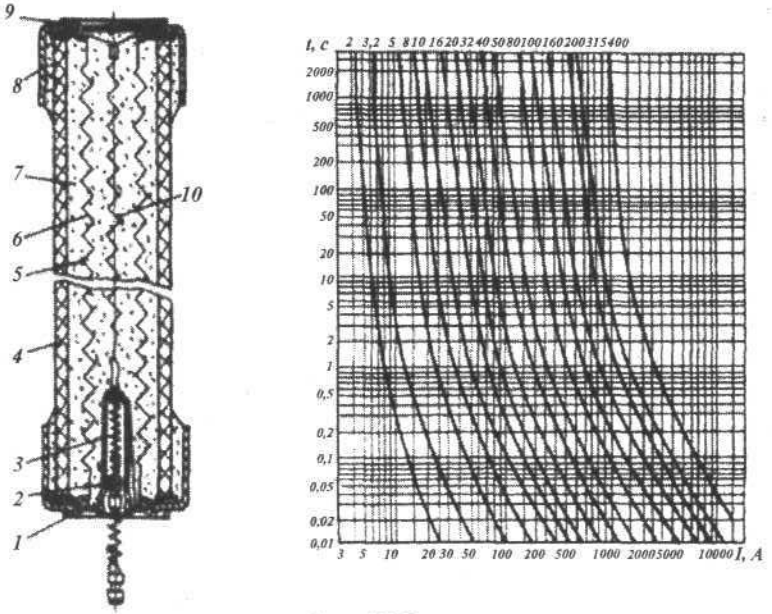


Рис. 12.5

армованої по краях латунними ковпачками *8*, прикріпленими до трубки високоякісним цементом. Застосування декількох паралельно увімкнених мідних (срібних) дротиків *6*, *10* забезпечує необхідне для нормального гасіння дуги мінімальне значення площі поперечного

перерізу провідників. У запобіжниках із $I_{\text{вс.ном}} \le 8$ А дротики намотуються на ребристий керамічний стержень.

Для зниження температури плавлення і своєчасного визначення місця первісного плавлення на кожен дротик напаюють олов'яні кульки *5*. Під час нагрівання дротика в цьому місці виникає *металургійний ефект* – явище розчинення більш тугоплавкої міді в розчині менш тугоплавкого олова, що значно знижує температуру плавлення мідного дротика саме в цьому місці. Патрон засипається кварцовим піском *7* і його торцеві отвори запаюються кришками *1* і *9*.

У запобіжнику є індикатор спрацювання *2*, що вискакує з запобіжника під дією пружини *3*. Нормально пружина утримується в стиснутому стані дротиком *10*, який розплавляється в разі спрацювання запобіжника. Для захисту вимірювальних трансформаторів напруги використовують запобіжники серії ПНК, що мають константанову вставку, намотану на керамічний стержень. Індикатор спрацювання в них відсутній.

Перспективи вдосконалення плавких запобіжників. Подальше вдосконалення запобіжників спрямоване на розширення їх функціональних можливостей і створення запобіжників із плавкою вставкою багаторазової дії. У посібнику [8] описані конструкції керованих запобіжників, виконаних на базі запобіжників серії ПН2 і ПК. Такі запобіжники дозволяють робити відімкнення ділянок за командами пристроїв РЗ або автоматики.

Розроблено дослідні зразки рідкометалічних запобіжників [5], у яких роль плавкої вставки виконує рідкий метал (галій і ін.) у вузькому каналі. При протіканні струму КЗ метал від швидкого нагрівання «вибухає» і витісняється з каналу. Після відімкнення кола рідкий метал охолоджується та знову заповнює канал і вмикає коло. Такий запобіжник може використовуватися повторно.

12.2. Вибір запобіжників

Вибираючи серію запобіжників, необхідно виходити з передбачуваних умов їх роботи. При цьому запобіжник має відповідати умовам достатньої номінальної напруги, номінального струму і здатності відімкнення. Вибір плавких вставок низьковольтних і високовольтних трохи різний, тому розглянемо їх окремо.

Низьковольтні запобіжники. Плавку вставку низьковольтного запобіжника вибирають за такими трьома умовами:

$$I_{\text{вс.ном}} \ge k_{\text{н}} I_{\text{роб.max}}; \qquad (12.1)$$

$$I_{\text{вс.ном}} \ge I_{\text{пер}} / k_{\text{пер}}; \qquad (12.2)$$

$$I_{\text{вс.ном}} < I_{K.\min} / (10...15), \qquad (12.3)$$

де $I_{\text{вс.ном}}$ – номінальний струм плавкої вставки; $I_{\text{роб.п}}$ – максимальний робочий струм; $k_{\text{н}}$ – коефіцієнт надійності, який залежно від характеру навантаження рівний 1,1...1,25.

Струм перевантаження $I_{\text{пер}}$ виникає під час пуску електродвигунів, його визначають залежно від режиму їхнього пуску:
для режиму одночасного запуску електродвигунів споживачів, що не вимикаються

$$I_{\text{пер}} = \sum_{1}^{m} I_{\text{пуск}}, \qquad (12.4)$$

де $\sum_{1}^{m} I_{\text{пуск}}$ – сума пускових струмів m двигунів, що запускаються одночасно;
для режиму почергового пуску вважають, що найбільш потужний електродвигун запускається останнім, а інші працюють вже в нормальному режимі:

$$I_{\text{пер}} = I_{\text{пуск.max}} + k_{\text{поп}} \sum_{1}^{m-1} I_{\text{роб}}, \qquad (12.5)$$

де $\sum_{1}^{m-1} I_{\text{роб}}$ – сума максимальних робочих струмів $m-1$ споживачів; $I_{\text{пуск.max}}$ – струм електродвигуна з максимальним пусковим струмом; $k_{\text{поп}}$ – коефіцієнт попиту.

Коефіцієнт перевантаження $k_{\text{пер}}$ залежить від умов пуску електродвигуна. Для легких умов пуску (рідкі пуски з тривалістю розгону до 10 с характерні для вентиляторів, насосів та ін.) $k_{\text{пер}} = 2,2...2,5$. Для важких умов пуску (часті пуски з часом розгону більше 10 с характерні для електродвигунів ліфтів, кранів та ін.) $k_{\text{пер}} = 1,6...2$.

По більшому з отриманих за умовами (12.1) і (12.2) значенню вибирають *найближчу* стандартну плавку вставку $I_{\text{вс.ном}}$.

Якщо в колі, що захищається запобіжником, установлені магнітні пускачі або контактори, обрана плавка вставка має бути перевірена за умовою (12.3). Необхідність цього спричинена тим, що при КЗ в електродвигуні або проводі, що вмикає його до пускача (контакторів), напруга на обмотці електромагніта пускача знижується нижче від $0{,}5...0{,}6\,U_{\text{ном}}$ (електромагніт живиться від цієї ж мережі). Пускач вмикається і розмикає струм КЗ своїми контактами, що при цьому, як правило, руйнуються. Для запобігання цього явища виникле КЗ повинне відмикатися запобіжниками раніше, ніж розімкнуться контакти пускача. Ця вимога виконується, якщо час відімкнення струму КЗ запобіжником не перевищує 0,15...0,2 с. Для цього струм КЗ повинен, як випливає з захисних характеристик запобіжників 0,4 кВ, у 10...15 разів перевищувати значення $I_{\text{вс.ном}}$.

Вибрані плавкі вставки запобіжників слід також перевірити на селективність та чутливість.

Селективність гарантується, якщо час спрацювання попереду ввімкненого запобіжника $t_{\text{п(n)}}$ втроє перевищує час спрацьовування наступного $t_{\text{п(n+1)}}$ при трифазному КЗ прямо за останнім (при цьому через обидва запобіжники протікає той самий максимальний струм КЗ). Уводячи коефіцієнт селективності $K_{\text{с}}$, можна записати

$$K_{\text{с}} = t_{\text{п(n)}} / t_{\text{п(n+1)}} \geq 3 . \qquad (12.6)$$

Для визначення часу спрацьовування використовують захисні характеристики запобіжників. При відсутності захисних характеристик можна керуватися таким правилом, що дає задовільні результати, але найчастіше приводить до штучного завищення значень $I_{\text{вс.ном}}$: *для забезпечення селективної роботи низьковольтні запобіжники повинні вибиратися через два значення* $I_{\text{вс.ном}}$.

Чутливість запобіжника оцінюється за виразом (12.7).

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{к.min}} / I_{\text{вс.ном}} \geq 3 , \qquad (12.7)$$

де $K_{\text{ч}}$ – коефіцієнт чутливості; як $I_{\text{к.min}}$ для мереж 0,4 кВ слід прийняти струм однофазного КЗ наприкінці зони захисту запобіжника.

Приклад. *Для захисту ділянки трифазної мережі з* $U_{\text{ном}} = 380\,В$, *що має освітлювальне навантаження, а також двигуни (рис. 12.6), потрібно вибрати плавкі запобіжники. Потужності навантажень і розрахункові значення струмів КЗ наведено на малюнку. Коефіцієнт пускового струму електромотора* $k_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 5$, *ККД* $\eta = 0{,}8$, $\cos\varphi = 0{,}8$. *Те освітлювальне навантаження вважаємо активним, яке не має пускових струмів.*

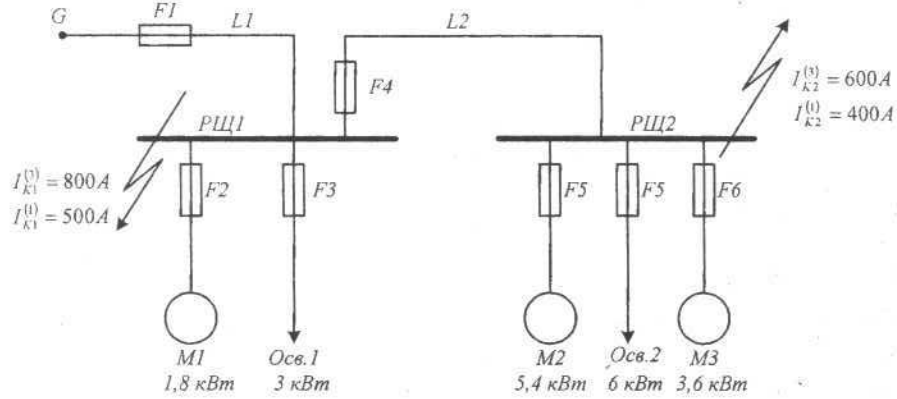


Рис. 12.6

1. Визначимо робочі струми у вихідних від розподільних щитів (РЩ) фідерах і в лініях L1 і L2 при нормальному режимі роботи.

Споживаний електромоторами струм при номінальному навантаженні розраховуємо за виразом

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

звідки $I_{\text{м1.ном}} = 1{,}8 / (\sqrt{3} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8) = 4{,}2\,А;$

$I_{\text{м2.ном}} = 12{,}6\,А;\ I_{\text{м3.ном}} = 8{,}4\,А.$

Струм у фідерах освітлювальних навантажень дорівнює:

$I_{\text{осв1}} = S_{\text{осв1}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}) = 3 / (\sqrt{3} \cdot 0{,}38) = 4{,}6\,А;\ I_{\text{осв2}} = 9{,}2\,А.$

Використовуючи отримані дані, визначимо максимальні робочі струми в лініях L1 і L2 (нехтуючи відмінностями в значеннях $\cos\varphi$*).*

$$I_{\text{роб.maxL2}} = I_{\text{м2.ном}} + I_{\text{осв2}} + I_{\text{м3.ном}} = 12{,}6 + 9{,}2 + 8{,}4 = 30{,}2\,А;$$

$$I_{\text{роб.maxL1}} = I_{\text{м1.ном}} + I_{\text{осв1}} + I_{\text{роб.maxL2}} = 4{,}2 + 4{,}6 + 30{,}2 = 39\,А.$$

2. Визначимо струми перевантаження у фідерах, що відходять, і в лініях L1 і L2 під час запуску електромоторів:

$$I_{\text{м1.пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{м1.ном}} = 5 \cdot 4{,}2 = 21\,А;$$

$$I_{\text{м2.пуск}} = 63\,А;\ I_{\text{м3.пуск}} = 42\,А.$$

Струм перевантаження в лініях L1 і L2 буде залежати від обраного режиму пуску (див. пояснення до виразів 12.4 і 12.5). Вважаючи, що режим пуску почерговий, струм перевантаження в лінії L2 визначимо за формулою

(12.5) за умов, що останнім запускається електромотор М2, який має більший пусковий струм, ніж електромотор М3:

$$I_{\text{перL2}} = I_{\text{м2.пуск}} + I_{\text{осв2}} + I_{\text{м3.ном}} = 63 + 9{,}2 + 8{,}4 = 80{,}6\ A.$$

Струм перевантаження в лінії L1 за таких же умов дорівнює

$$I_{\text{перL1}} = I_{\text{перL2}} + I_{\text{м1.ном}} + I_{\text{осв1}} = 80{,}4 + 4{,}2 + 4{,}6 = 89{,}2\ A.$$

Попередні розрахунки закінчено.

3. Переходимо до вибору серії запобіжників. Попередньо розглянемо серію ПР-2. Запобіжники цієї серії призначені для роботи при напругах до 500 В та струмах до 1000 А, тому задовольняються умови достатньої номінальної напруги та номінального струму. Максимальний струм КЗ у розглянутій мережі відповідно до умов задачі дорівнює 800 А, а здатність вимкнення запобіжників ПР-2 (при $U_{\text{мережі}} = 380$ *В) складає 0.8...11 кА (залежно від номінального струму запобіжника), отже задовольняється й умова здатності вимкнення, а тому, серія ПР-2 може бути використана в заданій мережі.*

4. Вибираємо плавкі вставки, пам'ятаючи, що для запобіжників ПР-2 вони випускаються на струми 2, 6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60, 90,125, ... 1000 А. Почнемо з запобіжників F3 і F6, що захищають фідери освітлення. У цих фідерах відсутні струми перевантаження, тому достатньою умовою для вибору плавкої вставки є умова (12.1).

$$I_{\text{вс.номF3}} > 1{,}1 \cdot 4{,}6 = 5{,}06\ A,\ \text{вибираємо}\ I_{\text{вс.номF3}} = 6\ A;$$

$$I_{\text{вс.номF6}} > 1{,}1 \cdot 9{,}2 = 10{,}1\ A,\ \text{вибираємо}\ I_{\text{вс.номF6}} = 10\ A.$$

При розрахунку, з огляду на малу ймовірність значного додаткового навантаження в освітлювальній мережі, у виразі (12.1) обране найменше значення $k_{\text{н}}$*, що рівне 1,1. Як номінальну вставку запобіжника F6 узято 10 А, що менше від розрахункового значення на 0,1 А (1 % від* $I_{\text{вс.номF6}}$*). Це допускається, якщо розрахункове значення перевищує* $I_{\text{вс.номF6}}$ *не більше ніж на 5%.*

Для запобіжників F2, F5 і F1, що захищають фідери з двигунами, плавкі вставки вибираємо з умов (12.1), (12.2) і перевіряємо по (12.3), тому що електродвигуни підключаються до мережі за допомогою магнітних пускачів. Значення коефіцієнта перевантаження у (12.2) приймаємо $k_{\text{пер}} = 2{,}3$*, вважаючи умову запуску двигунів легкою. Тоді для запобіжника F2*

$$I_{\text{вс.номF2}} \geq k_{\text{н}} I_{\text{роб.max}} = 1{,}1 \cdot 4{,}2 = 4{,}6\ A;$$

$$I_{\text{вс.номF2}} \geq I_{\text{м1.пуск}} / k_{\text{пер}} = 21/2{,}3 = 9{,}1\ A.$$

Більше з цих значень округляємо до стандартного найближчого значення $I_{\text{вс.номF2}} = 10\ A$*. Обрану вставку перевіряємо за умовою (12.3):*

$$I_{\text{вс.номF2}} = 10\ A < I_{\text{к.min}} / (10...15) = 500/10 = 50\ A.$$

Умова задовольняється.

Аналогічно для запобіжника F5

$$I_{\text{вс.номF5}} \geq 1{,}1 \cdot 12{,}6 = 13{,}7\ A\ \ i\ \ I_{\text{вс.номF5}} \geq 63 : 2.3 = 27{,}4\ A,$$

звідки $I_{\text{вс.номF5}} = 35\ A$.

Перевірка за умовою (12.3)

$$I_{\text{к.min}} / (10...15) = 400 : 10 = 40A > I_{\text{вс.номF5}} = 35\ A.$$

Умова виконується.

Для запобіжника F7

$$I_{\text{вс.номF7}} \geq 1{,}1 \cdot 8{,}4 \approx 9{,}3\ A\ \ i\ \ I_{\text{вс.номF7}} \geq 42 : 2{,}3 = 18{,}3\ A,$$

звідки $I_{\text{вс.номF7}} = 20\ A$. $I_{\text{k.min}} / (10...15) = 400 : 10 = 40A > 20\ A$.

Плавкі вставки запобіжників F1 і F4, що захищають лінії L1 і L2, де протікають струми перевантажень, вибираємо з умов (12.1) і (12.2). Вважатимемо, що коефіцієнт надійності у формулі (12.1), з огляду на можливість підключення до розподільних щитів нових електроприймачів, $k_{\text{н}} = 1{,}25$.

Тоді для запобіжника F4

$$I_{\text{вс.номF4}} \geq k_{\text{н}} I_{\text{роб.maxL2}} = 1{,}25 \cdot 30{,}3 = 37{,}8\ A;$$

$$I_{\text{вс.номF4}} \geq I_{\text{перL2}} / k_{\text{пер}} = 80{,}6 : 2{,}3 = 35\ A.\ \text{Беремо}\ I_{\text{вс.номF4}} = 45\ A.$$

Для запобіжника F1

$$I_{\text{вс.номF1}} \geq k_{\text{н}} I_{\text{роб.maxL1}} = 1{,}25 \cdot 39{,}1 = 49\ A;$$

$$I_{\text{вс.номF1}} \geq I_{\text{перL1}} / k_{\text{пер}} = 89{,}2 : 2{,}3 = 38{,}7\ A.\ I_{\text{вс.номF1}} = 60\ A.$$

5. Перевіряємо обрані значення плавких вставок на селективність спрацювання. Вставку запобіжника F4 ($I_{\text{вс.ном}} = 45\ A$*) перевіримо з найбільшою зі вставок запобіжників, що захищають вихідні фідери РЩ2, запобіжником F5 (*$I_{\text{вс.номF5}} = 35\ A$*). Використовуючи захисні характеристики запобіжників серії ПР-2 (рис. 12.4) визначаємо час спрацювання запобіжників F4 і F5 при трифазному КЗ прямо за запобіжником F5 (*$I_{\text{к2}}^{(3)} = 600\ A$*).*

Запобіжник F5 спрацює за 0,04 с, а запобіжник F4 — за 0,06 с. Отже, згідно (12.6) $K_{\text{с}} = 0{,}06/0{,}04 = 1{,}5 < 3$*, що не задовольняє умову (12.6). Величину* $I_{\text{вс.номF4}}$ *варто збільшити до 60 А. При цьому* $K_{\text{с}} = 0{,}12/0{,}04 = 3$.

Відзначимо, що ми одержали задовільний результат, незважаючи на те, що обрані вставки відрізняються тільки через одне значення $I_{\text{вс.ном}}$. *Далі перевіряємо на селективність запобіжник F1 і найбільший з тих, що відходять від РЩ1, – F4.*

6. Наприкінці необхідно виконати перевірку на чутливість. Наприклад, через запобіжник F4 буде протікати мінімальний струм КЗ при однофазному КЗ наприкінці лінії L2. Цей струм дорівнює $I_{к2}^{(1)}$ *=400 А. Тоді коефіцієнт чутливості для F4 згідно з (12.7) дорівнює*

$$K_{\text{чF4}} = I_{\text{к.min}} / I_{\text{вс.ном}} = 400 : 45 = 8{,}8 \geq 3 .$$

Отже, умова (12.7) дотримується.

Вибір високовольтних запобіжників. Вибираючи серію високовольтних запобіжників, необхідно дотриматися умов достатньої номінальної напруги, номінального струму і здатності відмикнення. Плавкі вставки високовольтних запобіжників, на відміну від низьковольтних запобіжників, вибираються тільки за однією умовою (12.1) і перевіряються на селективність (12.6) і чутливість (12.7). У разі відсутності захисних характеристик запобіжників можна керуватися таким правилом: *високовольтні запобіжники, обрані через одне значення* $I_{\text{вс.ном}}$, *забезпечують селективність свого спрацювання. Однак при цьому можливе одержання завищених значень* $I_{\text{вс.ном}}$.

Приклад*. Необхідно вибрати запобіжники для захисту радіальної мережі аеропорту від струмів КЗ (див. рис. 12.7). Час відмикнення централізованого джерела G дорівнює* $t_{\text{відк}} = 1\,с$, *номінальна напруга мережі* $U_{\text{ном}} = 10\,кВ$. *Інші дані наведено на малюнку (робочий струм від 2 до 130 А, максимальний струм КЗ 3 кА).*

1. Розглянемо можливість використання запобіжників серії ПКТ у яких при $U_{\text{ном}} = 10\,кВ$ *здатність відмикнення дорівнює* $I_{\text{вимк.ном}} = 20...31{,}5\,кА$. *Як бачимо, умови достатньої номінальної напруги та здатності відмикнення виконуються.*

Запобіжники цієї серії випускаються на номінальні струми від 2 до 200 А (при $U_{\text{ном}} = 10\,кВ$*) і мають плавкі вставки 2; 3,2; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5; 40; 50; 80; 100; 160 і 200 А.. Як видно з рис.12.7, робочі струми в лініях знаходяться в цьому діапазоні, тобто виконується умова достатнього номінального струму.*

2. Вибір величин плавких уставок доцільно починатии з запобіжників F3 і F5, які захищають останні ділянки мережі. Послідовність розрахунку розглянемо на прикладі двох запобіжників F3 і F2, увімкнених послідовно.

За виразом (12.1) визначимо розрахункові значення струмів плавких вставок для цих запобіжників:

$$I_{\text{вс.номF3}} \geq k_{\text{н}} I_{\text{роб.max}} = 1{,}2 \cdot 12 = 14{,}4\,А, \text{ звідки } I_{\text{вс.номF3}} = 16\,А;$$

$$I_{\text{вс.номF2}} \geq k_{\text{н}} I_{\text{роб.max}} = 1{,}2 \cdot 40 = 48\,А, \text{ звідки } I_{\text{вс.номF2}} = 50\,А.$$

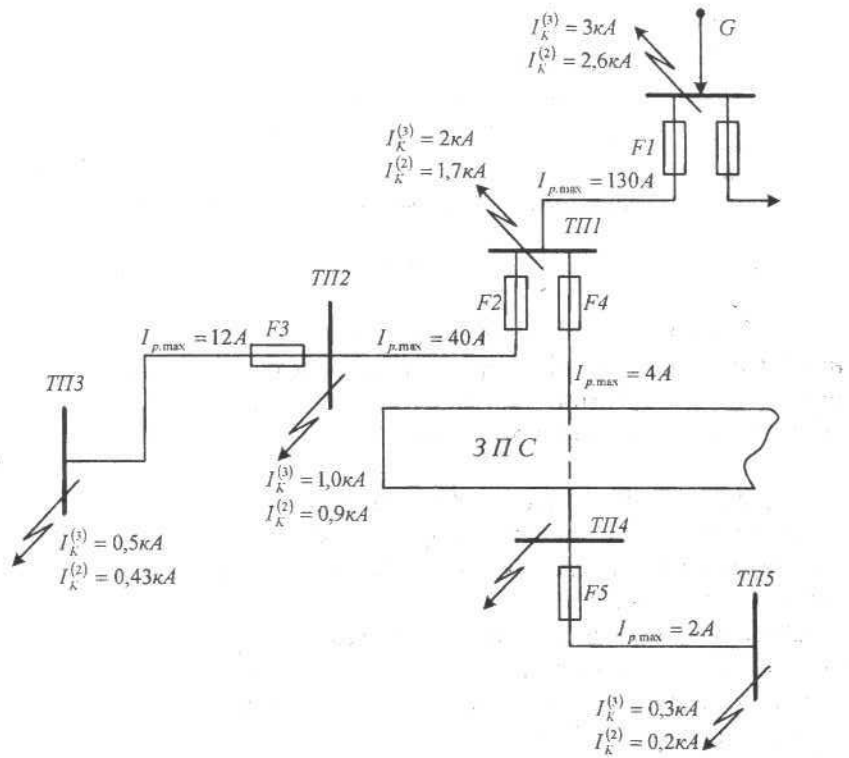


Рис. 12.7

3. Перевіримо обрані запобіжники на селективність. При трифазному КЗ безпосередньо за запобіжником F3 через запобіжники F2 і F3 буде протікати струм $I_{\text{к}}^{(3)} = 1\,кА$ *(як розрахунковий струм КЗ береться значення струму КЗ на шинах підстанції, де встановлений запобіжник F3). При цьому струмі запобіжник F3 спрацює за час менше ніж 0,01 с, а F2 — за 0,04 с (див. рис.12.6). Тоді згідно з (12.6) коефіцієнт селективності для двох запобіжників F2 і F3 дорівнює*

$$K_{\text{сF2,3}} = t_{\text{F2}} / t_{\text{F3}} = 0{,}04 / 0{,}01 = 4 .$$ *Умова (12.6) виконується.*

Плавку вставку запобіжника F1 достатньо перевірити на селективність з більшою зі вставок запобіжників F2 і F4.

Розглянемо випадок, коли розрахунковий коефіцієнт селективності менший ніж три. Наприклад, плавка вставка запобіжника F4 за умовою (12.1) може бути обрана такою, що дорівнює $I_{\text{вс.ном}F4} = 5\,A$, *однак за умовою селективності з запобіжниками F5 (*$I_{\text{вс.ном}F5} = 3{,}2\,A$*) ця плавка вставка не підходить. Тому варто збільшити плавку вставку запобіжника F4 до* $I_{\text{вс.ном}F4} = 8\,A$ *і знову перевірити її за умовою (12.6).*

4. Перевіряємо обрані плавкі вставки на чутливість за виразом (12.7):

$$K_{\text{ч}F3} = 430/16 = 27\,;\; K_{\text{ч}F2} = 900/50 = 18\,.$$

Обидва коефіцієнти більше ніж три, отже, чутливість запобіжників до струмів КЗ гарантується. Аналогічно вибираються інші запобіжники.

12.3. Пристрій захисного вимкнення

Пристрій захисного вимкнення (ПЗВ) – спеціальний електротехнічний пристрій для підвищення електробезпеки під час експлуатації різних низьковольтних електротехнічних пристроїв. Використання ПЗВ забезпечує високий рівень захисту при відносно невеликих затратах.

До безперечних переваг ПЗВ належать [9,10]:

– висока чутливість пристрою при непрямому дотику (при дотику до частин електрообладнання, що знаходиться під напругою через пошкодження ізоляції);

– забезпечення єдиного можливого захисту при прямому дотику зі струмопровідними частинами;

– забезпечення вимкнення в разі виникнення небезпечних струмів витоку (протипожежний захист);

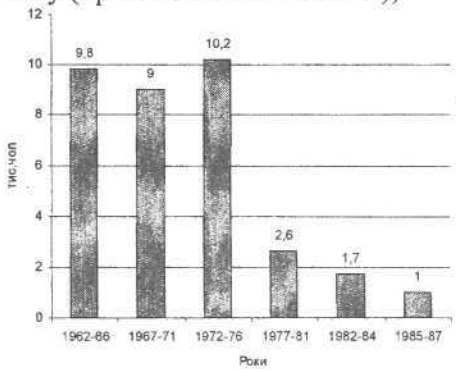
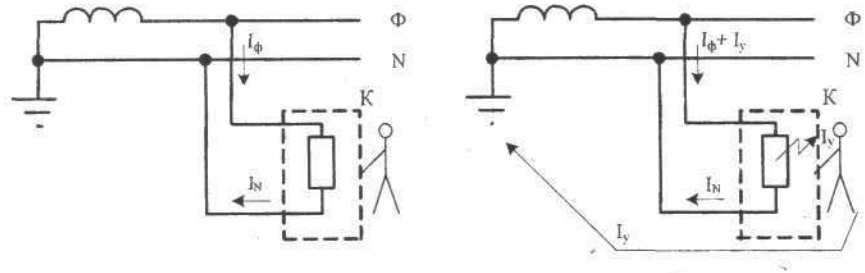


Рис. 12.8

– можливість запобігання викраденню електроенергії (тільки при деяких способах). Підтвердженням високої ефективності використання ПЗВ може бути діаграма наведена на рис.12.8 [9] значного зниження випадків смертельного ушкодження електричним струмом у Швейцарії після прийняття в 1975 р. закону про обов'язкове використання ПЗВ.

Принцип дії ПЗВ. Для пояснення принципу дії ПЗВ розглянемо однофазний електроприймач (рис. 12.9). Якщо ізоляція електроприймача непошкоджена (рис. 12.9,а), то по фазному дроту "втікає" струм I_ϕ (напрям струму прийнято умовно, оскільки струм змінний), а по нейтральному дроту "повертається" струм I_N. Ці струми рівні по величині та протилежні за напрямком, тобто їх сума $I_\phi + I_N = 0$.



а *б*

Рис. 12.9

Інша картина розподілу струму спостерігається при пошкодженні ізоляції (рис.12.9,б). У цьому разі частина, або вся фазна напруга (залежно від місця пошкодження) потрапляє на електропровідний корпус електроприймача *К*, наприклад, металевий корпус електродрилі. При доторканні корпуса пошкодженого інструмента через фазний дріт, корпус інструмента, через людину на землю і далі, через елементи заземлення нейтрального дроту, починає текти струм „відтоки" I_y. *Цей струм не "повертається" через нейтральний провідник, що з'єднує електродриль з мережею.*

Отже, у разі *пошкодження* ізоляції по фазному дроту електроприймача "втікає" струм $I_\phi + I_y$, а по нейтральному дроту повертається тільки I_N. Ураховуючи, що $I_\phi = -I_N$, сума струмів у двох провідниках вже не дорівнюватиме нулю ($\sum I = I_y$). На цьому явищі базується робота ПЗВ.

Конструкція ПЗВ. Пристрій захисного відімкнення (рис. 12.10) містить основні контакти *1*, розраховані на комутацію струмів електроприймача (два для підімкнення однофазних електроприймачів та чотири – трифазних). Проводи первинного кола (два або чотири) проходять через кільцевий трансформатор-суматор *5*.

У разі пошкодження ізоляції електроприймача або дотику струмопровідних елементів після трансформатора, векторна сума струмів у цих проводах не дорівнює нулю (див. пояснення вище).

Якщо результуючий струм буде перевищувати деяке значення I_Δ, яке *названо номінальним диференціальним струмом вимкнення ПЗВ*, то у вторинній обмотці *4* трансформатора-суматора з'являється струм, достатній для спрацювання вимикаючого реле *3*. Останнє діє на механізм вимкнення *2*, викликає спрацювання ПЗВ та вимкнення електроприймача від джерела.

Для періодичної перевірки працездатності ПЗВ на його лицьовій панелі встановлено кнопку «Тест» *7*, натисканням якої імітується струм витоку через опір *6*.

Наведений опис конструкції ПЗВ належить до найбільш простого варіанта його виконання. Випускаються складніші ПЗВ з невеликою затримкою спрацювання (0,01-0,3с. тип G) та селективні з витримкою 0,04-0,5с (тип S).

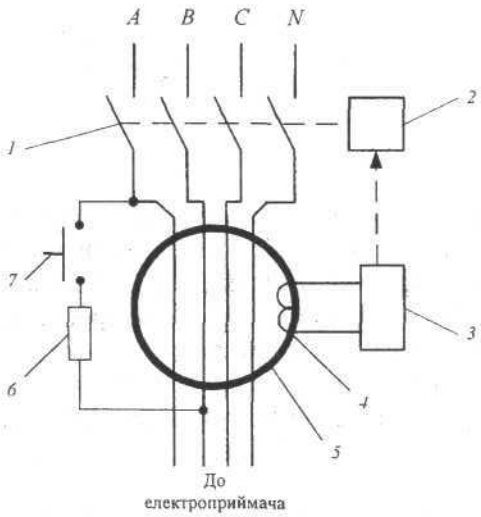


Рис. 12.10

Намагання об'єднати в одному комутаційному апараті функції ПЗВ та захист від надмірних струмів, які виконують звичайними автоматичними вимикачами, спричинило до створення нової групи електротехнічних пристроїв – *диференційних автоматів*.

Технічні характеристики ПЗВ. До основних технічних характеристик ПЗВ належать:

- номінальна напруга $U_{ном}$ – 230/400 В;
- номінальний струм $I_{ном}$ – від 16 до 100 А;
- номінальний диференціальний струм вимкнення I_Δ – 10, 30, 100, 300 та 500 мА;
- номінальний струм вимкнення (для диференціальних автоматів) – до 10 кА;
- ресурс електричний – більше ніж 20000 комутацій, механічний – більше ніж 40000 комутацій.

Детальнішу інформацію про схеми вмикання ПЗВ з аналізом типових похибок можна знайти в [10].

12.4. Розрядники та обмежувачі перенапруги

В електричних мережах можуть виникати короткочасні значні перенапруги, що перевищують номінальну напругу в 6 – 8 разів. Причин такої перенапруги дві.

Перша зумовлена зовнішніми чинниками – *атмосферна перенапруга*, яка з'являється в мережах при прямих ударах блискавки в електричне обладнання або наведенні в ньому напруги при розрядах блискавки в поряд розміщених об'єктах.

Друга зумовлена внутрішніми причинами – *комутаційні перенапругами*, що виникають при комутаціях довгих ліній, котушок індуктивності, конденсаторів.

Виконувати електричні апарати та їх ізоляцію, які можуть протистояти таким значенням перенапруги, недоцільно. Це призвело б до значного збільшення розмірів апаратів та їх вартості. Для обмеження перенапруги, яка поступає на електричне обладнання, використовують різні спеціальні електричні пристрої.

Розрядники. На рис 12.11 зображено вольт–секундну характеристику *2* ізоляції обладнання. Характеристика показує час *t*, протягом якого ізоляція обладнання витримує задану перенапругу *U*. Якщо на ізоляцію «набігає» імпульс перенапруги *1*, то в точці *а* ізоляція пробивається, а обладнання пошкоджується.

У разі установлення перед обладнанням, що захищається, розрядника, який має свою вольт-секундну характеристику *3*, (яка *обов'язково має розміщуватися нижче від характеристики 2)*, пробивається розрядник (точка *б*). При цьому через розрядник і його заземлення протікає імпульс струму *I*. Падіння напруги на розряднику і його заземленні дорівнює $IR_з$ і називається *залишковою напругою* (крива *4*). Чим менша ця напруга, тим ефективнішою є робота розрядника.

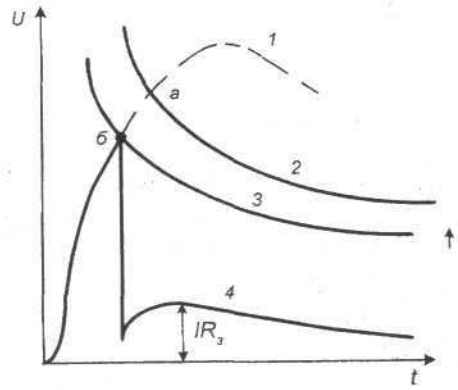


Рис. 12. 11

Пробій розрядника спричиняє його іонізацію, і він під дією номінальної фазної напруги може продовжувати пропускати струм промислової частоти, який називається *супроводжувальним*. Цей струм може викликати спрацювання пристрою захисту. Тому конструкція розрядника має забезпечувати відімкнення супроводжувального струму за дуже короткий час (близько півперіоду промислової частоти).

Трубчаті розрядники. Трубчаті розрядники мають круту падаючу вольт-секундну характеристику. Тому ними не можна захищати ізоляцію трансформаторів та електричних машин, які мають пологу вольт-секундну характеристику. Трубчаті розрядники звичайно використовуються для захисту лінійної ізоляції повітряних ліній електропередач.

Основу конструкції трубчатого розрядника (рис.12.12) складає трубка *3* з газогенеруючого матеріалу (фібри, вініпласту). Зовнішній електрод *6* через зовнішній іскровий проміжок S_1, який усуває шкідливу дію робочої напруги на ізоляцію розрядника, підключається до струмовідної частини захищеного об'єкта *5*. Внутрішній електрод *4* через фланець *1* з'єднується з заземлювачем. Між електродами *4* і *6* є другий іскровий проміжок S_2.

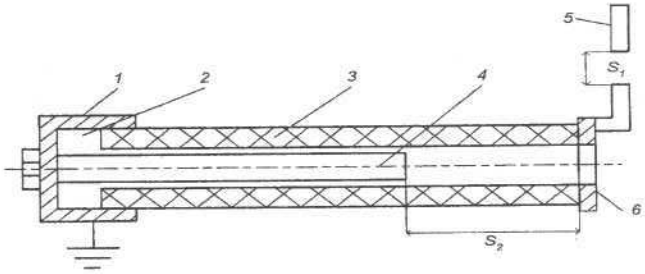


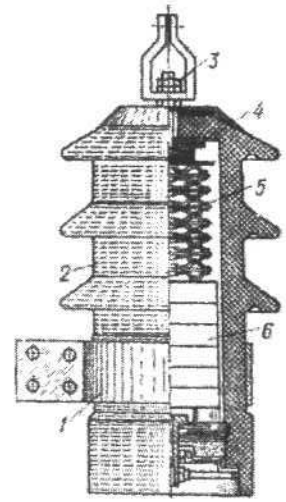
Рис.12.12

У разі появи хвилі перенапруги обидва проміжки пробиваються і імпульсний струм відводиться в землю. Електрична дуга в іскровому проміжку S_2, яка підтримується супроводжувальним струмом промислової частоти, термічно діє на внутрішні стінки трубки *3*. При цьому виділяється велика кількість газів, у трубці підвищується тиск та з'являється поздовжнє дуття через отвір в електроді *6*. Охолоджувальна дія надування дозволяє погасити дугу вже під час першого проходження струму через нуль (за час, менший від 0,01 с). Робота розрядника супроводжується сильним звуковим ефектом.

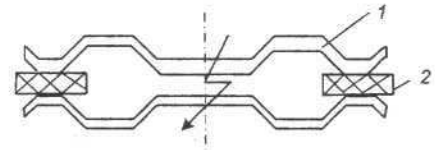
Залежно від матеріалу трубки розрядники позначаються так: РТФ – розрядник трубчатий фібробакелітовий або РТВ – вініпластовий. При малих супроводжувальних струмах дуга може не погаснути

через дуття слабкої сили і розрядник буде зруйнований термічно. Дуже великий струм також може зруйнувати розрядник високим тиском. Тому в маркуванні розрядника в знаменнику вказується діапазон супроводжувальних струмів КЗ в кілоамперах, які він може успішно вимкнути. У числівнику вказується номінальна напруга розрядника в кіловольтах. Наприклад, РТФ 6/(1,8-7) – розрядник трубчатий фібробакелітовий для мережі 6 кВ та супроводжувальних струмах від 1,8 до 7 кА.

Вентильні розрядники. Вентильні розрядники мають пологу вольт-секундну характеристику, що дозволяє використовувати їх для захисту трансформаторів і електричних машин. На рис. 12.13,а зображено загальну конструкцію розрядника РВП-6. У нижній частині герметично закритого фарфорового кожуха *2* знаходяться вілітові диски *6*, зроблені з зерен карборунда (SiC), запечених у рідкому склі, а в верхній – послідовно з'єднані з ними дискові іскрові проміжки *5*.



а



б

Рис.12.13

Іскрові проміжки і диски стиснені спіральною пружиною *4* і центральним болтом. Розрядник приєднують до фазного провода електроустановки, яку захищають, затискачем *3*. Затискач *1* розрядника приєднується до заземлювача.

Іскровий проміжок (рис. 12.13,б) складається з двох мідних дископодібних пластин *1*, розділених кільцевою ізоляційною прокладкою *2* з міканіту. Іскровий проміжок пробивається в центральній частині, де створюється рівномірне електричне поле. Напруга пробою одного проміжку – близько 5 кВ.

У разі появи на розрядниках хвилі перенапруги пробиваються іскрові проміжки і імпульс струму через вілітові диски замикається на

землю. Опір дисків нелінійно і різко падає при збільшенні струму в імпульсі. Тому напруга, яка залишилася на розряднику при проходженні імпульсу струму, незначна.

Після проходження імпульсу струму хвилі перенапруги через розрядник почне протікати значно менший супроводжувальний струм промислової частоти. Опір розрядника різко збільшується і електрична дуга, яка горить в іскрових проміжках, гаситься при першому проходженні струму через нуль. Промисловість виготовляє вентильні розрядники таких серій: РВП (підстанційний), РВС (станційний), РВМ (з магнітним гасінням) та інші.

Обмежувачі перенапруги. *Обмежувачі перенапруги* (розрядники без іскрового проміжку) призначені для захисту електрообладнання від комутаційних й атмосферних перенапруг.

Севастопольське підприємство «Таврида электрик Украина» на основі власних наукових розробок освоїло випуск обмежувачів перенапруг серії ОПН/TEL (обмежувачі перенапруг нелінійні) на напруги 6 – 220 кВ. Обмежувачі цій серії позитивно вирізняються серед аналогічних апаратів інших виробників такими особливостями:

- глибоким рівнем обмеження перенапруги будь-якої природи;
- відсутністю супроводжувального струму після затухання хвилі перенапруги;
- простотою конструкції та високою експлуатаційною надійністю;
- стабільністю характеристик у процесі експлуатації;
- здатністю до розсіювання значної енергії;
- постійним підключенням до мережі, що захищається;
- стійкістю до атмосферних забруднень;
- невеликими габаритами, вагою та вартістю.

У конструкції обмежувача використані нелінійні металоокисні опори (варистори), що виготовлені за керамічною технологією з окису цинку (ZnO) з невеликими домішками окислів інших металів.

У нормальному режимі роботи мережі опір варисторів дуже великий, тому струм, що протікає через обмежувач, малий (десяті долі міліампера ємнісного характеру).

При появі хвилі (імпульсу) перенапруги (на рис. 12.14 показано пунктирною лінією) опір варистора різко зменшується, через обмежувач починає протікати струм $I_{опн}$ (нижній графік). При цьому напруга на ОПН і на поруч приєднаному обладнанні не перевищуватиме залишкову $U_{зал.\ опн}$. Отже, перенапруга обмежується величиною безпечною для ізоляції обладнання, що захищається.

Колі рівень перенапруги зменшується, опір обмежувача різко збільшується, струм через нього обривається і на обладнанні відновлюється номінальна робоча напруга мережі $U_{нр.\ мер}$.

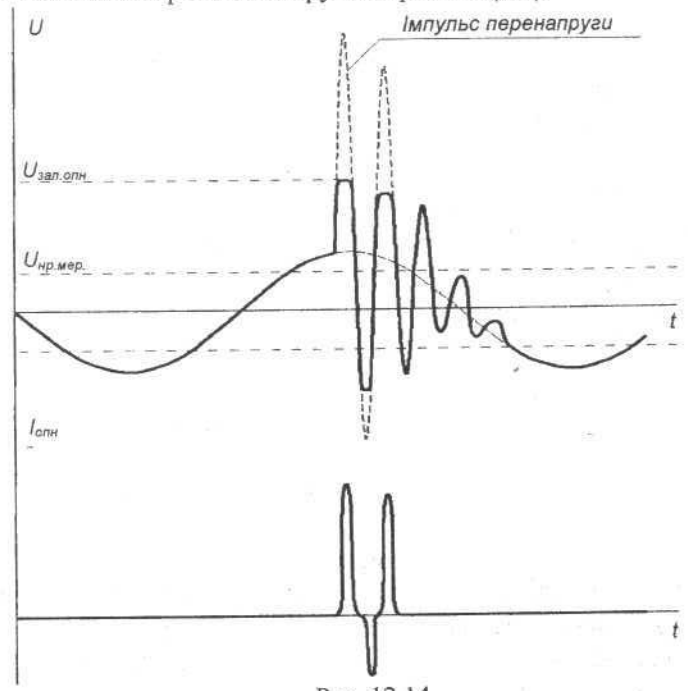


Рис. 12.14

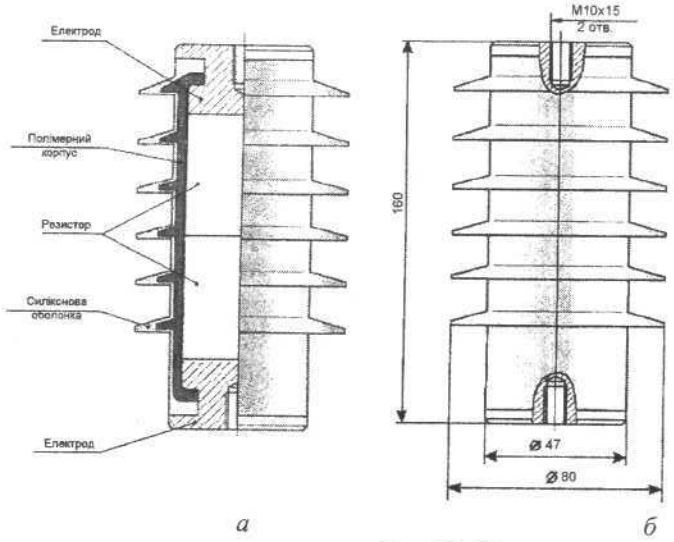
Конструктивно ОПН являють собою колонку резисторів між електродами (рис 12.15,а). Уся конструкція впресована в атмосферостійкий полімерний корпус, додатково покритий оболонкою з силіконової гуми.

На рис. 12.15,а зображено розріз, а на рис. 12.15,б габаритні й установочні розміри обмежувача типу ОПН/TEL 7,6 та 12,6 для зовнішнього установлення в мережах 6 або 10 кВ.

12.5. Струмообмежувальні реактори

Струми короткого замикання в сучасних потужних електричних мережах можуть досягати сотень кілоамперів. Спричинені ними електродинамічні сили можуть бути настільки великими, що не завжди вдається виконати електрообладнання з необхідною електродинамічною стійкістю. У таких випадках використовують *струмообмежува-*

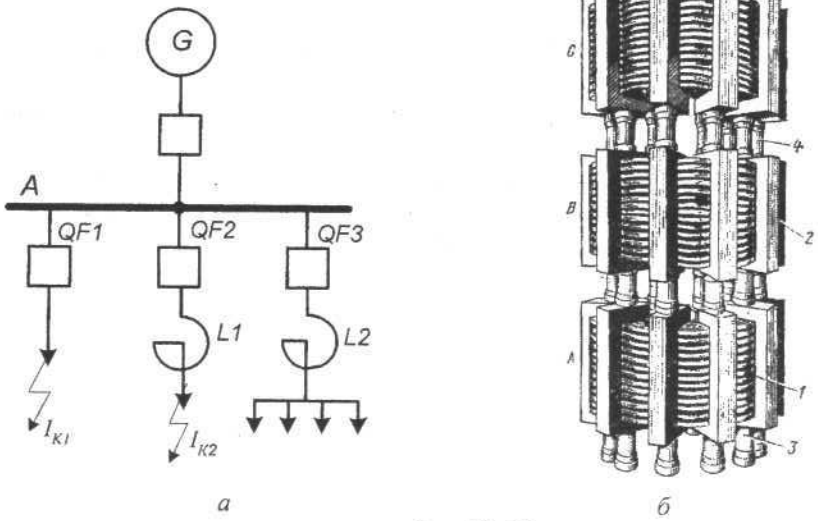
льні реактори – спеціальні електротехнічні апарати, які обмежують струм КЗ і які підтримують напругу на шинах підстанції при аварійному режимі.



а *б*

Рис. 12.15

Розглянемо дві лінії, які відходять від збірних шин *А* (рис.12.16,а). У лінії з силовим вимикачем *QF1* струмообмежувальний реактор не встановлено.



а *б*

Рис. 12. 16

У разі виникнення в цій лінії короткого замикання, від генератора *G* до місця пошкодження потече струм КЗ I_{K1}. Величина цього струму визначається тільки індуктивним опором генератора $X_г$ і лінії до шин *А*. Тому, по-перше, струм I_{K1} може бути неприпустимо великим і, по-друге, в момент КЗ на шинах *А* буде спостерігатися глибоке зниження напруги.

Інша ситуація буде, якщо КЗ виникне в лінії з вимикачем *QF2* і встановленим послідовно з ним струмообмежувальним реактором *L1*. Враховуючи, що індуктивний опір реактора значно перевищує опір генератора $X_р >> X_г$, струм КЗ у цьому разі буде набагато меншим від $I_{K2} << I_{K1}$. При цьому також не буде відбуватися такого значного зниження напруги на шинах підстанції *А*.

Струмообмежувальний реактор може бути ввімкнений послідовно з силовим вимикачем в кожній відхідній лінії, наприклад реактор *L1* і вимикач *QF2*, або бути спільним для кількох відхідних ліній – реактор *L2* після вимикача *QF3* .

Конструкція реакторів. Реактор являє собою котушку індуктивності з постійним реактивним опором. Для забезпечення постійного реактивного опору реактори до 35 кВ виготовляють без стального осердя. У вітчизняній практиці широко застосовують *бетонні реактори.* На рис. 12.16,б наведено загальний вигляд такого реактора. Реактор складається з котушок А, В, С (для відповідних фаз). Він зроблений з витків ізольованого багатожильного мідного або алюмінієвого дроту *1*. Витки закріплюються в радіально розміщених бетонних стійках *2*. Від землі та між собою котушки ізольовані опорними ізоляторами *3* і *4*. Для покращення відведення виділеного в реакторі тепла між окремими витками і рядами котушки є повітряний зазор 3…5 см.

Бетонні реактори випускають для номінальної напруги 10 і 35 кВ і номінальних струмів від 400 до 4000 А. Допустимі струми КЗ через реактори перевищують номінальні в 10-20 разів.

Глава 13. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ РЕЛЕ

13.1. Класифікація і принципи дії реле

Реле – електричний апарат, який стрибкоподібно змінює свій стан при певному значенні параметра, який на нього діє.

Класифікація. Залежно від функціонального призначення реле можна поділити на три групи:

- вимірювальні;
- допоміжні;
- вказівні.

Вимірювальні реле безпосередньо сприймають зміну контрольованого параметра. У разі перевищення (зниження) контрольованим параметром певного значення, яке виставлене на реле (і називається уставкою реле), реле спрацьовує та змінює положення своїх контактів. До вимірювальних реле належать: реле струму та напруги, реле частоти та потужності, реле опору та ряд інших реле.

Вимірювальні реле, що спрацьовують при значенні контрольованого параметра, більшому ніж уставка, називаються *максимальними реле*, а ті, що спрацьовують при значеннях, менших ніж уставка, – *мінімальними*.

Допоміжні реле виконують у пристроях захисту одну або кілька з таких функцій:

- розмноження контактів;
- посилення потужності контактів;
- створення витримок часу.

Перші дві функції зазвичай виконують проміжні реле, а останню спеціальні *реле часу*.

Вказівні реле призначені для сигналізації і збереження інформації про минулі команди в пристроях захисту та автоматики.

Електромеханічні реле можуть виконуватися на електромагнітному, індукційному, електродинамічному й магнітоелектричному принципах. Найбільш поширені електромагнітні реле (електронні реле, які інтенсивно впроваджуються в останні роки, у цьому посібнику не розглядаються).

Принцип дії електромагнітного реле. Електромагнітне реле (рис. 13.1) має магнітопровід (осердя) *6* з встановленою на ньому обмоткою *7*. Зворотна пружина *1* створює механічну силу $F_м$, під дією якої якір *3* знаходиться у верхньому положенні (упор *2* фіксує це положення). При протіканні по обмотці електромагніта струму достатньої величини, електромагнітна сила $F_е$, що виникає в робочому зазорі, притягає якір до осердя. При цьому замикаються (розмикаються) контакти *4* і *5*. Докладно роботу електромагнітів постійного та змінного струмів було освітлено в [1].

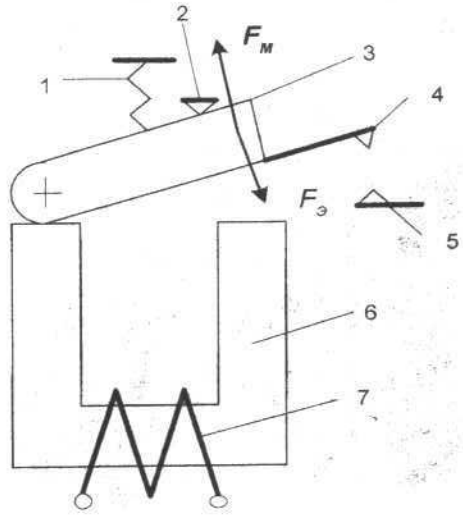


Рис. 13. 1

Значення діючого параметра (струму, напруги, частоти тощо), за якого відбувається спрацювання реле, називають *параметром спрацювання* $x_{сп}$. Значення параметра, за якого відбувається повернення реле в початковий стан (відпускання реле), називають *параметром повернення* $x_{пв}$.

Для низки реле дуже важливим технічним параметром є відношення $x_{пв}/x_{сп}$, що називається *коефіцієнтом повернення* $K_в$. У максимальних реле $K_в<1$, у мінімальних – $K_в>1$. Чим ближчим є $K_в$ до одиниці, тим більш досконалим є реле.

13.2. Вимірювальні реле струму та напруги

Реле струму серії РТ-40 і реле напруги серії РН-50 призначені для роботи в пристроях релейного захисту й автоматики. Вони безперервно контролюють струм (напругу) у вторинному колі. При перевищенні струму в колі значення уставки реле спрацьовує.

Реле струму. Конструктивно реле струму виконано у вигляді П-подібного магнітопроводу *1* (рис. 13.2.), зібраного з шихтованого заліза. На магнітопроводі розміщені дві обмотки *2*, які можна з'єднувати між собою послідовно або паралельно та змінювати при цьому діапазон уставки струмів. На алюмінієвій стійці *3* на осі *5* підвішена рухома частина реле. Вона складається з Г-подібного стального якоря *14*, на якому закріплено рухомий контакт *6* і механічний демпфер вібрації *4*. Демпфер являє собою порожнистий барабан з перегородками, який заповнений кварцовим піском.

Положення якоря фіксується упором *16*. Протидіюче зусилля створюється спіральною пружиною *12*, яка одним кінцем *13* зв'язана з віссю якоря, другим – з покажчиком уставки струму *9*. Пружина кріпиться на пружинотримачі *10* за допомогою шестигранної втулки *11*. Значення уставок нанесено на шкалі *8*, яка закріплена на ізоляційній колодці *7*.

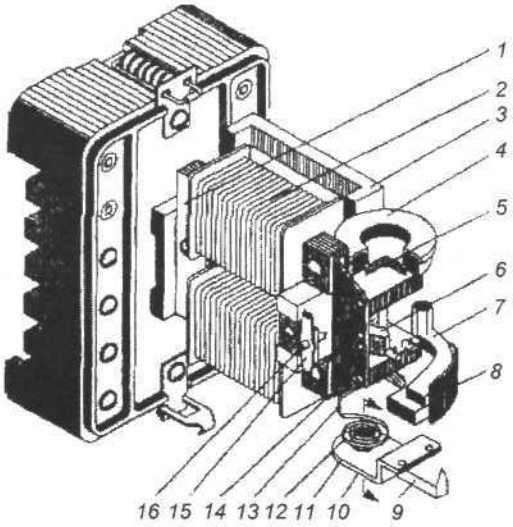


Рис.13.2

Реле струму РТ-40 випускають для струмів від 0,05 до 200 А і мають обмотку з малим опором, їх коефіцієнт повернення дорівнює 0,8, а потужність, яку вони споживають, дорівнює від 0,2 до 8 ВА. Контакти реле здатні комутувати струм не більший за 1 А [11].

Реле напруги. Електромагнітні реле напруги серії РН-50 конструктивно практично не відрізняються від реле РТ-40. Вони випускаються для кіл постійної (уставки від 0,7 до 100 В) і змінної (уставки від 12 до 400 В) напруги і мають обмотку з великим опором.

13.3. Допоміжні реле

Реле часу призначені для створення необхідних витримок часу в пристроях релейного захисту і автоматики. Для цих цілей широко використовуються реле часу з годинниковим механізмом серії ЭВ-100 (для оперативних кіл постійного струму напругою 24...220 В) і ЭВ-200 (для кіл змінного струму напругою 100...380 В).

Конструкції реле цих серій практично однакові, за винятком конструкції електромагніту. У реле ЭВ-100 (рис. 13.3) електромагніт виготовлений у вигляді соленоїда, який має котушку *6*, магнітопровід *11* і циліндричний якір *7*, що втягується. При відсутності напруги на котушці якір під дією пружини піднімається вгору і зводить важіль годинникового механізму *8*. При цьому пружина годинникового механізму *9* розтягується і місткові рухомі контакти *1*, які закріплені на траверсі *2*, що повертається, встановлюються у вихідне положення. При подачі оперативної напруги на обмотку якір втягується, вивільняє важіль *8*. Під дією пружини годинникового механізму траверса *2* починає рівномірно повертатися. Через певний час рухомий контакт на верхньому кінці траверси перемикає два нерухомі *основні* контакти, закріплені на колодці *4*.

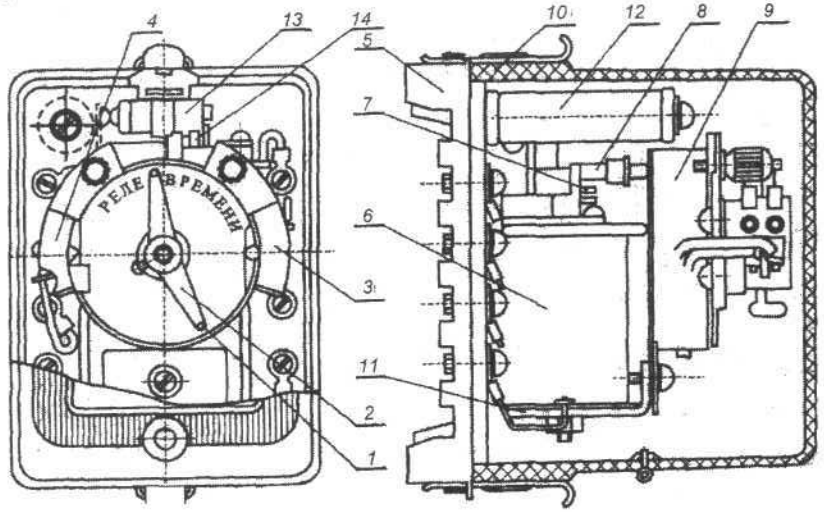


Рис. 13.3

На другому (нижньому) кінці траверси може закріплюватися другий рухомий контакт, який при обертанні короткочасно замикає *проскакуючі* контакти, встановлені на колодці *3*. Зміна уставок часу реле відбувається шляхом зміни положення колодок *3* і *4* відносно початкового положення траверси *2*, тобто відстані, яку повинна пройти траверса *2* для замикання контактів на колодках *4* та *3*. При цьому змінюється час руху траверси (з моменту подачі напруги на котушку до моменту замикання контактів). Крім контактів з витримкою часу в реле передбачені контакти *миттєвої* дії *14*.

У комплект реле входить додатковий опір *12* і конденсатор *13*. Усі елементи закріплюються на пластмасовому цоколі *5* і закриваються прозорою кришкою *10*.

Проміжні реле в схемах автоматики і релейного захисту збільшують потужність контактів (струм, що пропускається по контактах) і кількість контактів. Випускається велика кількість різноманітних серій проміжних реле. У пристроях захисту і автоматики широко використ-

товуються реле серії РП23 для кіл постійного струму і РП25 для кіл змінного струму.

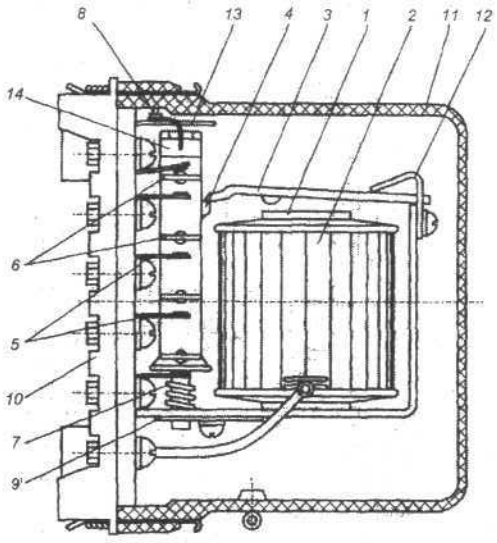


Рис. 13. 4

Загальний вигляд реле РП23 зображено на рис. 13.4. Реле має осердя *1*, обмотку *2* і якір *3*. Упор *12* фіксує верхнє положення якоря. Контактна рейка *14*, з розміщеними на ній чотирма рухомими мостиковими контактами *6* переміщується по напрямній скобі *8*. На пластмасовому цоколі *10* закріплені чотири пари контактів *5*, які замикаються, і одна пара контактів *5*, які розмикаються (при перестановці нерухомих контактних деталей можна отримати інші комбінації контактів). При спрацюванні реле якір тисне на виступ *4* контактної рейки та переміщує її вниз і стискує при цьому зворотну пружину *7*. Реле закривається прозорим кожухом *11*.

Реле РП25 відрізняється від РП23 лише конструкцією магнітопровода й якоря (зроблених з шихтованого заліза).

Комутаційна спроможність контактів реле РП в колах постійного струму – 100 ВА (при напрузі 24...250 В і струмі до 2 А), а в колах змінного струму – 500 ВА (при тих самих напругах та струмі до 5 А).

13.4. Вибір реле

Електромеханічні реле доцільно вибирати в такій послідовності:

– складається електрична схема пристрою, призначеного для виконання заданої функції, у якому передбачається використання одного або декількох реле (основні параметри схеми: напруга живлення, потужність навантаження та ін. повинні бути відомі);

– залежно від функції, яка виконується в електричній схемі, вибирається відповідна серія реле (реле струму, напруги, часу, проміжні тощо);

– номінальна напруга реле повинна бути не менша від напруги джерела живлення

$$U_{\text{р.ном}} \geq U_{\text{дж}}; \qquad (13.1)$$

– номінальна напруга котушки електромагніта реле повинна дорівнювати напрузі живлення і типу струму джерела

$$U_{\text{кот.ном}} = U_{\text{дж}}; \qquad (13.2)$$

– комутаційна здатність контактів реле повинна дозволяти надійно комутувати потужність (струм) навантаження, яка проходить через контакти

$$S_{\text{кон.ном}} \geq S_{\text{нав}},\ I_{\text{кон.ном}} \geq I_{\text{нав}}. \qquad (13.3)$$

Послідовність вибору реле можна проілюструвати таким прикладом.

Приклад. Необхідно вибрати реле для схеми підключення навантаження потужністю $S_{\text{нав}}$=450 ВА в однофазну мережу змінного струму напругою $U_{\text{ном}}$ =220 В. У схемі необхідно передбачити контроль напруги джерела з автоматичним відмкненням навантаження при зменшенні напруги більш ніж на 10 %.

1. На рис.13.5 наведено електричну схему, яка виконує задані функції. Схема працює так. При ввімкненні вимикача В напруга джерела подається на обмотку реле мінімальної напруги KV. Якщо напруга джерела більша ніж 90 % від $U_{\text{ном}}$, тобто більше ніж 200 В, реле KV спрацьовує і замикає свої контакти KV. Напруга джерела подається на обмотку проміжного реле KL, що спрацьовує і замикає свої контакти KL (необхідність проміжного реле пояснюється нижче) та підключає навантаження $S_{\text{нав}}$ до джерела. При зменшенні напруги живлення нижче від 200 В, реле KV відпускає, його контакти роз'єднуються, обмотка реле KL знеструмлюється і його контакти відключають навантаження.

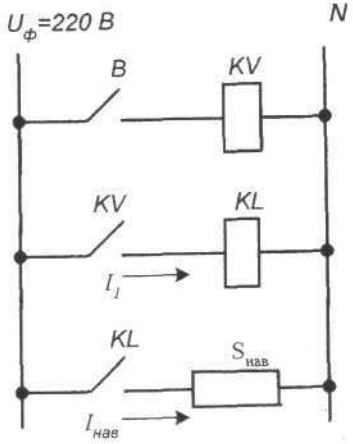


Рис.13.5

2. Вибір реле почнемо з проміжного реле KL. Попередньо вибираємо реле серії РП25, призначене для роботи в колах змінного струму.

Згідно з умовою (13.3) комутаційна здатність реле повинна бути не меншою ніж $S_{\text{нав}}$=450 ВА. Відповідно до даних [11] контакти реле РП25 здатні комутувати потужність до 500 ВА при напрузі до 250 В і струмах до 5 А.

Визначимо струм в колі навантаження $I_{нав} = 450/220 = 2{,}05$ *А.*

Як бачимо, умова (13.3) виконується: $S_{кон.\ ном} = 500\ ВА \geq S_{нав} = 450\ ВА$ *і* $I_{кон.\ ном} = 5\ А \geq I_{нав} = 2{,}05\ А$.

Реле РП25 має номінальну напругу 220 В і таку ж номінальну напругу котушки, тобто умови (13.1) і (13.2) виконуються. Отже, реле РП25 повністю відповідає умовам використання.

Для подальшого вибору необхідно знати потужність, яка споживається котушкою реле KL, згідно з [11] $S_{кот.РП25} = 10\ ВА$.

3. Перейдемо до вибору реле напруги KV. Уставку мінімальної напруги 200 В має реле типу РН54/320, яке призначене для кіл змінного струму [11]. Номінальна напруга цього реле 320 В – виконується умова (13.1).

Перевіримо комутаційну здатність контактів реле РН54/320 (умова (13.3), яка, відповідно до [11], дорівнює 300 ВА при струмі до 2 А і напрузі 220 В. Навантаженням для контактів реле є обмотка реле KL, яка споживає 10 ВА, тобто струм у колі обмотки дорівнює $I_1 = 10/220 \approx 0{,}05$ *А. Тобто, умова (13.3) виконується:*

$S_{кон.\ ном} = 300\ ВА \geq S_{нав} = 10\ ВА$ *і* $I_{кон.\ ном} = 2\ А \geq I_1 = 0{,}05\ А$

і можна зробити висновок, що всі параметри реле РН54/320 відповідають умовам використання.

Необхідність проміжного реле KL зумовлена недостатньою комутаційною спроможністю контактів реле напруги KV ($S_{кон.ном} = 300\ ВА$*), що не дозволяє „напряму" комутувати навантаження* $S_{нав} = 450\ ВА$.

Список літератури

1. *Козлов В. Д.* Електричні апарати. Модуль 1. Загальні питання електричних апаратів: Посібник – К.: НАУ, 2005. – 92 с.

2. *Козлов В. Д., Соломаха М. І.* Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006. – 84 с.

3. *Чунихин А. А.* Электрические аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.

4. *Родштейн Л.А.* Электрические аппараты. – Л.: Энергоиздат, 1989. – 304 с.

5. *Электротехнический* справочник. Том 1 / Под общей ред. П. Г. Грудинского. – М.: Энергия, 1994. – 776 с.

6. *Козлов В. Д.* Электрооборудование трансформаторных подстанций аэропортов. – М.: Воздуш. трансп., 1993. – 248 с.

7. *Теория* электрических аппаратов / Под ред. Г. Н. Александрова. – М.: Высш. шк., 1995. – 312 с.

8. *Справочник*-каталог. Часть 1. Электротехнические изделия общепромышленного исполнения до 1000 В / Под ред. В.Д. Козлова и Е. И. Удода. – К.: Варта, 1995. – 136 с.

9. *Штефан Ф.* Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током. – Прага: Изд. фирмы «MOELLER», 2004. – 84 с.

10. *Козлов В. Д.* Устройства защитного отключения // Электропанорама. – 2000 – № 2. – С.11-13; № 3. – С.14; № 4. – С.12-13; № 5. – С.19; № 6. – С.14.

11. *Реле* защиты / Под ред. В.С. Алексеева. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.

Додаток 1

Технічні дані контакторів змінного струму

Серія	Номінальна напруга, В	Номінальний струм, А	Струм в обмотці електромагніта в момент увімкнення, А, при напрузі, В	
			220	380
КТ-60, КТП-60	До 660	100, 160	2,1	1,4
		250	7,2	4,4
		400	9,8	-
		630	16,5	9,8
КТ-70, КТП-70	До 660	100	3,7	1,8
		160	3,9	1,8
МК	До 660	40, 63, 100,160	Потужність електромагніта 40 Вт	

Примітки:

1. У контакторах КТ – котушка електромагніта змінного струму з $U_{ном}$ = 36, 110, 127, 220, 380 і 660 В, у контакторах КТП і МК – котушка постійного струму з $U_{ном}$ = 24, 48, 110 та 220 В.

2. Струм в обмотці електромагніта в увімкненому стані контактора в 10 разів менший від струму вмикання.

3. Контактори мають два, три допоміжні контакти на замикання та розмикання з допустимими струмами вмикання 50 А при ~ 380 В; 30 А при ~ 660 В; 25 А при =110; 220 В і струмами вимкнення 5, 3 та 2,5 А відповідно.

4. Допустима частота комутацій контакторів серії 60 - до 1200 вмикань за годину, серії 70 – до 600 вмикань за годину.

Додаток 2

Технічні дані поширених пускачів

($U_{ном}$ = 660 В)

Серія	Величина	Номінальний струм, А	Потужність електромагніта, ВА		Зносостійкість (АС-3), 10^6 циклів	
			при увімкненні	при утриманні	комутаційна	механічна
ПМА	3	40	200	20	До 2,5	До 16
	4	63	280	40	До 2,5	До 16
	5	100	350	45	До 2,5	До 10
	6	160	530	60	До 2,0	До 10
ПМЛ	1	16, 10	68	8	До 3,0	До 16
	2	25	87	7,6	До 2,0	До 16
	3	40	100	10	До 2,0	До 16
	4	63, 80	200	20	До 2,0	До 16
	5	125	380	30	До 4,0	До 16
	6	160	500	46	До 3,0	До 10
	7	200	800	57	До 2,0	До 10
ПМЕ	2	25	140	5,8	До 12,5	До 12,5
ПНВ	-	10	-	-	До 0,4	До 1,2
ПТ	-	16	-	-	5,0	-
	-	40	-	-	5,0	-

Примітки:

1. Електромагніти пускачів виконуються на $U_{кот.\ ном}$ = 24, 36, 40, 48, 110,127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 500, 660 В змінного струму й 24, 48, 110 і 220 В постійного струму.

2. У пускачах використовують теплові реле з $I_{ном}$ від 0,5 А до $I_{ном.\ пуск}$.

3. Пускачі ПМА, ПМЛ і ПМЕ можуть мати до чотирьох допоміжних контактів (на розмикання й замикання) зі струмами комутації до 6,3 А в пускачах 3…5-ї величини та 10 А в пускачах 6 й 7-ї величини. На пускач можна встановити додатковий контактний блок з двома або чотирма контактами з номінальним струмом 16 А.

Додаток 3

Технічні дані повітряних автоматичних вимикачів

Серія або тип автомата	Номінальна напруга, В	Номінальний струм автомата, А	Гранична здатність видімкнення при $U_{ном}$=380 В, кА	Число полюсів	Номінальний струм розчіплювача, А	Тип розчіплювача* та уставки струму (кратність)		Час спрацювання		Додаткові розчіплювачі*
						від перевантаження	від КЗ	при 1,35 $I_{розч.ном}$	при КЗ, с	
АП50	~ 500; = 200	1,6 - 63	0,3 – 6	2; 3	1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63	Т– регул. 0,6 – 1	ЕМ 3; 5; 10	< 30 хв	1,0 - 10	H_{min}, НЗ, ОП
АЕ2000	~ 660; = 220	16	0,7; 1,0 2,0	2; 3	0,3 – 1,6 2,0 – 6,0 8 - 16	Т– регул. 0,9–1,15	ЕМ 12	< 20 хв	< 0,04	H_{min}, НЗ
		25	0,8 1,5 3,0	1; 2; 3	0,6 – 1,6 2,0 – 12,5 16 – 25					
		63	2,0 4,0	1; 2; 3	10; 12,5 31,5 – 63					
		100	3,0 6,0 9,0	2; 3	16 – 25 31,5 – 40 50 – 100					
ВА2000	~380	63	6	1,2,3, 4	1,2,3,4,5,6,10,16,20 25,32,40,50,63	Т 1	ЕМ 4	< 60 хв	< 0,1	-
ВА2001							ЕМ 7			
ВА2003	~415	100		3	50, 63, 80, 100		ЕМ 15			

Продовження дод. 3

Серія або тип автомата	Номінальна напруга, В	Номінальний струм автомата, А	Гранична здатність видімкнення при $U_{ном}$=380 В, кА	Число полюсів	Номінальний струм розчіплювача, А	Тип розчіплювача* та уставки струму (кратність)		Час спрацювання		Додаткові розчіплювачі*
						від перевантаження	від КЗ	при 1,35 $I_{розч.ном}$	при КЗ, с	
ВА2004	~660	32	18	2,3	3, 5, 10, 16, 20, 32	Т 1	ЕМ 10	< 60 хв	< 0,02	-
		50			10, 20, 32, 40, 50					
		63			10, 20, 32, 40, 50, 63					
		100	35	2,3,4	60, 75, 100					
		250	35	2,3,4	125, 150, 175,200, 225, 250					
		400	50	2,3,4	250, 300, 350, 400					
		630	50	3,4	500, 600, 630					
		800	50	3.4	600, 700, 800					
А3700Б струмообмежув. з ЕМ і Т*	~ 660; = 400	160	5,5 – 75	2; 3	16 – 160	Т 1- 1,15	ЕМ 4; 10	-		НЗ; 0П
		250	65		160; 200		ЕМ 10			
			75		200; 250					
		400	100		320; 400					

Продовження дод. 3

Серія або тип автомата	Номінальна напруга, В	Номінальний струм автомата, А	Гранична здатність видімкнення при $U_{ном}$=380 В, кА	Число полюсів	Номінальний струм розчіплювача, А	Тип розчіплювача* та уставки струму (кратність)		Час спрацювання		Додаткові розчіплювачі*
						від перевантаження	від КЗ	при 1,35 $I_{розч.ном}$	при КЗ, с	
А3700Б струмообмеж. з ЕМ	~ 660; = 400	160	36	2; 3	80	-	ЕМ 4; 6; 10		< 0,02	НЗ; 0П
			75		160					
		250	80		250		ЭМ 6; 8; 10			
		400; 630	100		400; 630					
А3700Б струмообмеж. з П і ЕМ		160	18 – 75		20 – 180	П 1- 1,25	П 2; 3; 5; 7; 10 та ЕМ 10	4; 8 с **		
		250	40		160 – 250					
		400	55		250 – 400					
		630	60		400 – 630					
А3700Ф не струмообмеж. з ЕМ		160	25		80	-	ЕМ 5	-	< 0,04	
					160		ЕМ 4; 6;10			
		250	30; 35		200; 250		ЕМ 10			
		630	50		400; 630		ЕМ 6; 8; 10			
А3700 С Селективний з П		250	50		160; 200; 250	П 1,25	П 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10	4; 8; 16 с	0,1; 0,25; 0,4	
		400	60		250; 320; 400					
		630	60		400; 500; 630					

Закінчення дод. 3

Серія або тип автомата	Номінальна напруга, В	Номінальний струм автомата, А	Гранична здатність видімкнення при $U_{ном}$=380 В, кА	Число полюсів	Номінальний струм розчіплювача, А	Тип розчіплювача* та уставки струму (кратність)		Час спрацювання		Додаткові розчіплювачі*
						від перевантаження	від КЗ	при 1,35 $I_{розч.ном}$	при КЗ, с	
ВА88-32	~ 400	125	25	3; 4; 3+N	12,5;16;20;25; 32;40; 50; 63; 80; 100; 125	Т 1	ЕМ 10	< 60 хв	< 0,02	Н; НЗ
ВА88-33		160	35		16; 20; 25; 32; 40; 63; 80; 100; 125					
ВА88-35		250			125; 160; 200; 250					
ВА88-37		400			250; 315; 400					
ВА88-40		800			400; 500; 630; 800					
ВА88-43		1600	50		800;1000; 1250; 1600	МП 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0	МП 2(F); 5(R); 10(B) 12(M)	дивись захисні характеристики		

Примітки:

* Типи розчіплювачів: Т – тепловий (Т1 – нерегульований); ЕМ – електромагнітний; П – напівпровідниковий; H_{min} – мінімальної напруги; НЗ – незалежний; 0П – в нульовому проводі; Н0 – нульової напруги; МП - мікропроцесорний (цифри після букв вказують кратність спрацювання розчіплювача).

** Значення часу при 6-кратному $I_{розч.ном}$.

Додаток 4

Технічні дані роз'єднувачів 6 – 35 кВ

Тип	Номінальна напруга, кВ	Струм			Маса, кг
		номінальний, А	електродинамічної стійкості, кА	термічної стійкості, кА	
РВФЗ	10	630	52	20	54
РВЗ	10	630; 1000	52; 81	31,5	36; 54
РВК	10	2000	85	31,5	26
РВЗ-Ш	10	2000	85	31,5	97
РВРЗ	10	4000	160	63	54
РВРЗ	20	8000	300	100	238
РДЗ	35	1000; 2000	63; 80	25; 31,5	57; 69
РГ	35	1000; 2000	40; 80	16; 31,5	53,9; 70,3

Примітка. Букви в позначенні роз'єднувачів: Р – роз'єднувач, В – для внутрішньої установки, Ф – фігурний (з прохідними ізоляторами), З – з ножами заземлення, К – з контактами кочення, Ш – шинний, Д – двоколонковий , Г– горизонтального установлення.

Додаток 5

Технічні дані вимикачів навантаження

Тип	Номінальна напруга, кВ	Струм				Привід
		номінальний, А	відімкнення, кА	електродинамічної стійкості, кА	термічної стійкості, кА (с)	
ВНР-10; ВНП-10	10 10	400	0,4	26	10 (1)	ручний, пружинний
ВНВП-10	10	320	2	40	20 (0,3)	електромагнітний
ВНП-16*	6	30, 75, 150	-	25	6 (10)	ручний
ВНП-17*	10	30, 50, 100	-			

Примітка:
* Застарілі типи вимикачів навантаження.

Додаток 6

Технічні характеристики силових вимикачів 6 – 35 кВ

Серія та тип вимикача [1]	Номінальний струм, А	Номінальний струм вимкнення, кА	Струм електродинамічної стійкості, кА		Струм термічної стійкості, кА, (за час, с)	Час, с			Маса, кг [2]	Застосований привід
			діючий	ампліт.		вмик.	вим. повн.	вим. власн.		
ВМП-10; ВМПМ-10	630; 1000; 1600	20	20	52	20 (4)	0,3	0,12	0,1	145 (4, 5)	ПЭ-11, ПП-67, ППВ-10
ВМПЭ-10	630; 1000 1600; 3150	20; 31,5	20; 31,5	52; 80	31,5 (4)	0,3	- 0,12	0,1 0.1	240 (5, 5) 400 (8)	ПЕВ-11
ВММ-10	400	10	10	25,5	10 (3)	0,2	-	0,12	90 (3, 5)	Пружинний
ВК -10	630; 1000 1600	20; 31,5	20	52; 80	20 (4); 31,5 (4)	0,075	-	0,05	162 (12) 192 (12)	Пружинний, електромагнітний
ВР - 6	1600; 2000	40	-	128	40 (3)				162	Електромагнітний
	2500; 3150								326	
ВВ - 35	1250	20	20	52	20 (4)			0,07	-	-

Закінчення дод. 6

Серія та тип вимикача [1]	Номінальний струм, А	Номінальний струм вимкнення, кА	Струм електродинамічної стійкості, кА		Струм термічної стійкості, кА, (за час, с)	Час, с			Маса, кг [2]	Застосований привід
			діючий	ампліт.		вмик.	вим.повн.	вим. власн.		
ВР -10	630; 1000	20; 31,5	-	52; 80	20; 31,5 (3)	0,09	-	0,05	90	Електромагнітний
	1600; 2000								112	
	2500; 3150								290	
ВВ/TEL-6	800	8	-		8 (3)	0,01	-	0,06	30	
ВВ/TEL - 10	630	12,5	-	32	12,5 (3)	0,015	-	0,06	32	
	800	16		41	16 (3)					
	1000	20		52	20 (3)					
ВМП- 35	1000	8,25	12	25	9 (5)	0,23	0,08	-	275 (13,5)	Пружинний
ВМК -35	630	8	10	26	10 (4)	0,14	0,08	0,05	504 (80)	ПЭ-11
	1000	16	26	45	16,5 (4)	0,11	0,08	0,05	710 (100)	Пневматичний

Примітки: 1. Скорочення в позначенні вимикачів означають: В – вимикач, М – маломасляний, П – підвісний, К – колонковий, ВР – вакуумний Рівненського заводу, ВВ/TEL – вакуумний Сімферопольського заводу «Таврида-Електрик», ВВ – повітряний, П – з пружинним приводом, Э – з електромагнітним приводом. Цифра позначає номінальну напругу в кВ.

2. У дужках наведено масу масла.

Додаток 7

Технічні характеристики трансформаторів напруги 6 – 35 кВ

Тип ТН	Номінальна напруга обмоток $U_{ном}$			Номінальна потужність для класу точності, ВА				Гранична потужність, поза класом, ВА	Схема та група з'єднань	Маса, кг
	первинної, кВ	вторинної, В	вторинної додаткової, В	0,2	0,5	1	3			
НОЛ.08-6	6	100	-	30	50	75	200	400	1/1-0	26,5
НОЛ.08-10	10	100	-	50	75	150	300	630	1/1-0	28,5
НОЛП*	6	100	-	30	50	75	200	400	1/1-0	-
НОЛП*	10	100	-	50	75	150	300	630	1/1-0	-
ЗНОЛ.06-6	6/√3	100/√3	100/3;100	30	50	75	200	400	1/1/1-0-0	26,5
ЗНОЛ.06-10	10/√3	100/√3	100/3;100	50	75	150	300	630	1/1/1-0-0	28,5
ЗНОЛП-6	6/√3	100/√3	100/3;100	30	50	75	200	400	1/1/1-0-0	32
ЗНОЛП-10	10/√3	100/√3	100/3;100	50	75	150	300	630	1/1/1-0-0	32
3хЗНОЛ.06	6	100	100	30	50	75	200	400	1/1/1-0-0	95
3хЗНОЛП	10	100	100	50	75	150	300	630	1/1/1-0-0	105
ЗНОЛ-35	35/√3	100/√3	100/3	75	150	300	600	1000	1/1/1-0-0	90
ЗНОЛЭ-35	35/√3	100/√3	100/3	-	150	300	600	1000	1/1/1-0-0	60
НТМИ-6-66**	6	100	100/3	-	50	80	200	400	Y/Y/Δ -0	59
НТМИ-10-66*	10	100	100/3	-	120	200	500	1000	Y/Y/Δ -0	81

Примітки: * Незаземлювані ТН з умонтованими захисними запобіжниками.
** Застарілі ТН.

Додаток 8

Технічні характеристики трансформаторів струму 6 – 10 кВ

Тип та варіант виконання ТС	Струм			Гранична кратність обмотки 10Р	Номінальне вторинне навантаження, ВА		Маса, кг
	первинний номінальний, А	електродинамічної стійкості, кА	термічної стійкості, кА за час		0,2; 0,5	10Р	
ТОЛК-6 1,0 / 10Р	50 80 100; 150; 200; 300; 400; 600	17,6 26 26	3,6 (1с) 5,6 (1с) 10 (1с)	8	30	-	10,5
ТОЛК-10 1,0 / 5Р	50 80 100; 150; 200; 300; 400; 600	17,6 26 26	3,6 (1с) 5,6 (1с) 10 (1с)	8	30	-	12
ТПЛК-10 0,2;0,5 / 10Р	10 15 30 50 100; 150; 200; 300; 400 600 800; 1000; 1500	2,47 3,7 7,4 14,8 74,5 74,5 74,5 95-177	0,47 (3с) 0,71 (3с) 1.42 (3с) 2,36 (3с) 4,72-9,45 (3с) 14,1;18,9 (3с) 28,3 (3с) 37,8-70,8 (3с)	12 12 12 12 12 12 17 20	10	15	48
ТПОЛ-10 0,2;0,5;1 / 10Р	20;30 40; 50; 75; 80;100 150; 200; 300; 400 600; 800 1000; 1500 2000	96 102 114 81,5 69 51	38 (3с) 40 (3с) 45 (3с) 32 (3с) 27 (3с) 20 (3с)	10 10 10 16 16 19	10	15	20; 22

Закінчення дод. 8

Тип та варіант виконання ТС	Струм			Границя кратності 10Р	Номінальне навантаження, ВА		Маса, кг
	первинний номінальний, А	електродинамічної стійкості, кА	термічної стійкості, кА за час		0,2; 0,5	10Р	
ТОЛ-10 0,2;0,5;1 / 10Р	5	1	0,4 (1с)	10	30	15	20
	10	2	0,76 (1с)				
	15	3	1,2 (1с)				
	20	4	1,56 (1с)				
	30	6,25	3,2 (1с)				
	40	7,56	4,3 (1с)				
	50	12,8	8 (1с)				
	75; 80	15	20 (1с)				
	100	25,5	31,5 (1с)				
	150	31,8	31,5 (1с)				
	200	51	31,5 (1с)				
	300; 400; 500;	102	40 (1с)				
	600; 750; 800;						
	1000; 1200; 1500						
ТЛ-10 0,5 / 10Р	50	51	2,5 (3с)	15	10	15	-
	100	51	5 (3с)	15	10	15	
	150	51	7,5 (3с)	15	10	15	
	200	128	10 (3с)	15	10	15	
	300	128	15 (3с)	15	10	15	
	400	128	20 (3с)	15	10	15	
	600; 800; 1000;	128	31,5 (3с)	17	10	15	
	1500; 2000; 3000	-	40 (3с)	15	20	30	

Додаток 9

Основні технічні характеристики запобіжників до 1000 В

Серія	Номінальний струм, А		Номінальний струм вимкнення, кА, при напрузі змінного струму, В	
	запобіжника	плавкої вставки	380	500
ПР2	15	6, 10, 15	8	7
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	4.5	3.5
	100	60, 80, 100	11	10
	200	100, 125, 160, 200	11	10
	350	200, 260, 300, 350	11	10
	600	350, 430, 500, 600	11	10
	1000	600, 700, 850, 1000	11	10
ПН2	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100	[1])
	250	80;100;125;160;200;250	100	
	400	200; 250; 315; 350; 400	40	
	600	315; 400; 500; 630	25	

Примітка:

1. Запобіжники ПН2 можуть бути використані в мережі змінного струму напругою до 500 В зі зменшеною комутаційною здатністю.
2. Запобіжники ПН2 можуть бути обладнані допоміжними контактами з $I_{ном}$ = 2 А.
3. Похибки часу спрацювання запобіжників до 1000 В відносно усереднених захисних характеристик досягають ±50 %.

Додаток 10

Основні технічні характеристики високовольтних запобіжників серії ПКТ

Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм		
	запобіжника, А	плавкої вставки, А	вимкнення, кА
6	20	2; 3,2; 5; 8; 10; 16; 20	40
	50	31,5; 40; 50	31,5
	100	50; 80; 100	31,5
	200	100; 160; 200	31,5
	400	315; 400	20
10	20	2; 3,2; 5; 8; 10; 16; 20	31,5
	50	31,5; 40; 50	31,5
	100	50; 80; 100	20
	200	100; 160; 200	20
35	10	2; 3,2; 5; 8; 10	3,5
	20	16; 20	3,5
	40	31,5; 40	3,5

Додаток 11

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

постійний струм

позитивна полярність

негативна полярність

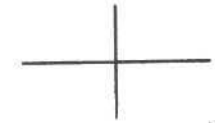
змінний струм

змінний струм кількістю фаз *m*, частотою *f*, напругою *U*

трифазна обмотка з'єднана в трикутник

трифазна обмотка з'єднана в зірку

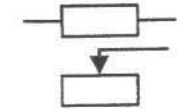
лінія електричного зв'язку, провід, кабель, шина


лінія перетинання проводів

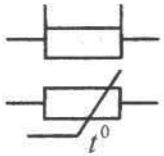
з'єднання проводів

механічний зв'язок

обертальний рух за годинниковою стрілкою

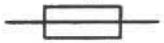

резистор постійний

резистор змінний



шунт вимірювальний

терморезистор



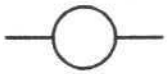
запобіжник плавкий

конденсатор із постійною ємністю

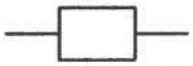
котушка індуктивності

котушка індуктивності, дросель із магнітопроводом

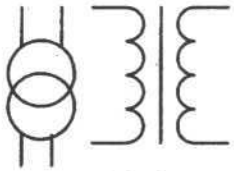
реактор (у схемах електропостачання)



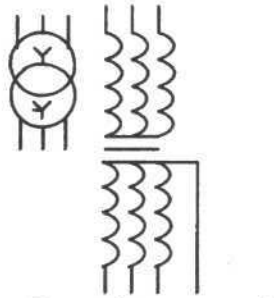
прилад електровимірювальний показувальний



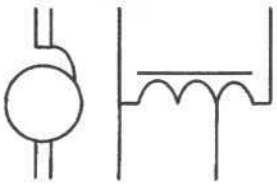
прилад електровимірювальний реєструючий



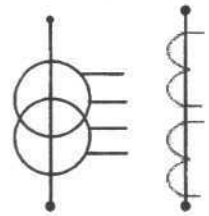
трансформатор однофазний двохобмотковий із феромагнітним магнітопроводом



трансформатор трифазний двохобмотковий із феромагнітним магнітопроводом, з'єднання обмоток зірка-зірка з виведеною нейтральною точкою



однофазний автотрансформатор із феромагнітним магнітотопроводом



вимірювальний трансформатор струму з одним магнітопроводом та двома вторинними обмотками

Контакти комутаційних пристроїв:

замикаючий

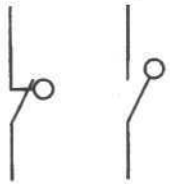
розмикаючий

перемикаючий

перемикаючий з центральним середнім положенням

Контакти без самоповернення:

замикаючий



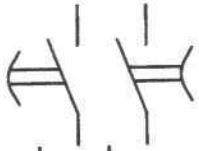
розмикаючий

Контакти з самоповерненням:

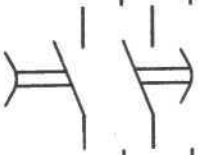
замикаючий

розмикаючий

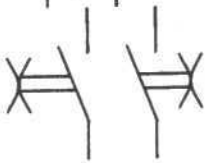
Замикаючі контакти з затримкою



при спрацюванні

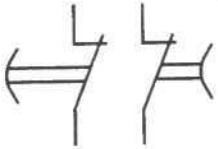


при поверненні

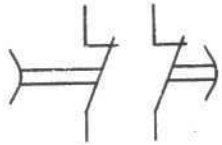


при спрацюванні та поверненні

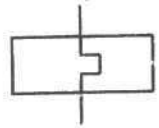
Розмикаючі контакти з затримкою



при спрацюванні



при поверненні



котушка електромеханічного пристрою

приймаючий пристрій електротеплового реле

Силові контакти контуру

замикаючий

розмикаючий

що замикає й гасить дугу

що розмикає й гасить дугу

що замикає з автоматичним спрацюванням

контакт вимикача

контакт роз'єднувача

контакт вимикача-роз'єднувача

Контакт кінцевого вимикача:

замикаючий

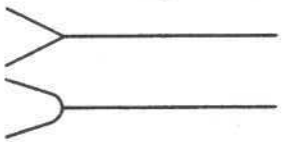
розмикаючий

замикаючий

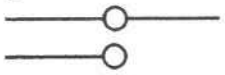
розмикаючий

Контакти роз'ємного з'єднання:

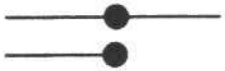
штир



гніздо



контакти розбірного з'єднання



контакти нерозбірного з'єднання

Вимикач кнопковий натискний:

із контактом, що замикає

із контактом, що розмикає

Вимикач кнопковий поворотний:

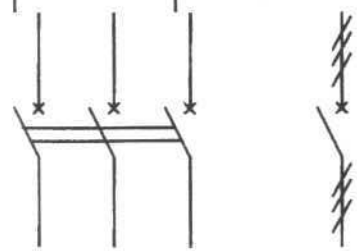
із контактом, що замикає

із контактом, що розмикає

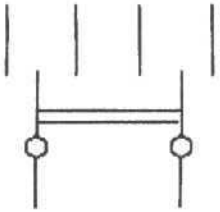
Вимикач із витягуванням кнопки:

із контактом, що замикає

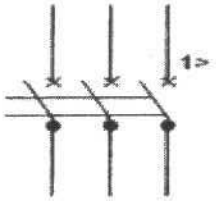
із контактом, що розмикає



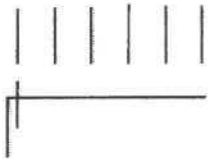
вимикач триполюсний



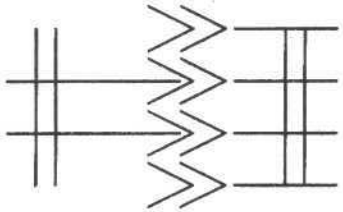
перемикач двополюсний трипозиційний із нейтральним положенням



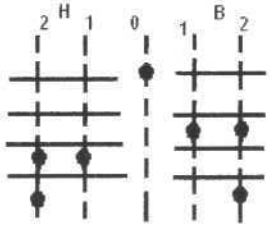
вимикач триполюсний з автоматичним спрацюванням максимального струму



перемикач триполюсний багатопозиційний (шестипозиційний)



з'єднання контактне роз'ємне чотирипровідне



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

Буквені коди електричних елементів і пристроїв, що використовуються в електричних схемах відповідно до Єдиної системи конструкторської документації

A – пристрої, підсилювачі.
BE – сельсин-приймач.
BC – сельсин-датчик.
BK – тепловий датчик.
BL – фотоелемент.
BP – датчик тиску.
BR – тахогенератор вимірювання.
BV – датчик швидкості.
C – ємності.
DA – аналогова мікросхема.
DD – цифрова мікросхема, логічний елемент.
FU – запобіжник плавкий від різних впливів.
G – генератори, джерела живлення.
HA – прилад звукової сигналізації.
HL – прилад світлової сигналізації.
K – реле, контактори, пускачі.
KA – реле струму.
KK – реле електротеплове.
KM – контактор, магнітний пускач, автотрансформатори.
KT – реле часу.
KV – реле напруги.
L – котушки індуктивності, дроселі.
M – двигуни.
P – прибори, вимірювальні пристрої.
PA – амперметр.
PV – вольтметр.
PW – ватметр.
Q – вимикачі в силових колах.
QF – вимикач автоматичний з приводом.
QS – роз'єднувач.
R – резистори.
RK – терморезистор.

RP – потенціометр.
RS – шунт вимірювальний.
S – комутаційні пристрої в калах.
SA – вимикач, перемикач.
SB – вимикач кнопковий.
SF – вимикач автоматичний.

Вимикачі, що спрацьовують від різних впливів:
SL – рівня.
SP – тиску.
SQ – положення.
SR – частоти обертання.
SK – температури.
T – трансформатори.
TA – трансформатор струму.
TS – електромагнітний стабілізатор.
TV – трансформатор напруги, реактор.
VD – діод, стабілітрон.
VT – транзистор.
VS – тиристор.
X – контактні з'єднання.
XP – штир.
XS – гніздо.
YA – електромагніт у силових колах.
YB – гальма з електромагнітним приводом.
YC – муфта з електромагнітним приводом.

Навчальне видання

КОЗЛОВ Віктор Дмитрович
ЄНЧЕВ Сергій Васильович

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Модуль 3

Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати

Посібник

Редактор *В.П. Заскалета*
Технічний редактор *А.І. Лавринович*

Підп. до друку 06.02.07. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 4,18. Обл.-вид. арк. 4,5.
Тираж 100 пр. Замовлення № 40-1. Вид. № 2/І.

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

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002