

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**В.С. Попрядхін**

**Апарати керування і захисту**

**Курс лекцій**

**Мелітополь, 2019**

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

**В.С. Попридухін**

# **Апарати керування і захисту**

*Курс лекцій*

Мелітополь  
2019

УДК 621.316.36.36(075)

П57

Автор: В.С. Попрядухін

Рекомендовано до друку рішенням методичної комісії енергетичного факультету Таврійського державного агротехнологічного університету від « 27 » лютого 2019 р., № 6

Рецензенти:

В.Т. Діордієв – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Електроенергетика і автоматизація», Таврійський державний агротехнологічний університет

І.П. Назаренко – д.т.н., професор кафедри «Електротехнології і теплові процеси», Таврійський державний агротехнологічний університет.

### **Попрядухін В.С.**

Апарати керування і захисту: курс лекцій / В.С. Попрядухін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – 190 с.

У курсі лекцій викладено зміст дисципліни «Апарати керування і захисту: електромагнітні явища в електричних апаратах, теплообмін в електричних апаратах, теоретичні і практичні відомості про контактні і безконтактні електричні апарати керування, електричні апарати захисту і електричні реле.

@ «Таврійський державний агротехнологічний університет», 2019

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
<b>ЛЕКЦІЯ 1</b>	
<b>Тема 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ</b>	
1.1 Поняття електричного апарату. Класифікація і вимоги до електричних апаратів .....	7
1.2 Основні фізичні явища в електричних апаратах .....	10
1.3 Конструктивні елементи електричних апаратів.....	16
1.3.1 Електромагніт для тягових зусиль.....	16
<b>ЛЕКЦІЯ 2</b>	
1.3.2 Контакти в електричних колах. Поняття, класифікація, конструкція, види контактів. Режими роботи контактів. Матеріали контактів і вимоги до них.....	28
1.3.3 Процес переходу струму з одного контакту в другий. Електрична дуга. Способи гасіння електричної дуги. Режими експлуатації електричних апаратів.....	40
<b>ЛЕКЦІЯ 3</b>	
1.3.4 Види передачі тепла в електричних апаратах. Режими експлуатації електричних апаратів.....	51
1.3.5 Струмоведучі частини. Провід і шина.....	55
1.3.6 Ізоляція електричних апаратів, її види.....	55
1.3.7 Захисні оболонки електричних апаратів.....	57
<b>ЛЕКЦІЯ 4</b>	
<b>Тема 2 ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ ДО 1000 В</b>	
2.1 Комутаційні апарати розподільчих пристроїв.....	62
2.1.1 Рубильники та пакетні перемикачі.....	62

2.1.2	Контактори та магнітні пускачі.....	66
2.1.3	Гібридні та комбіновані комутаційні апарати.....	77
<b>ЛЕКЦІЯ 5</b>		
2.2	Автоматичні захисні апарати Конструкція та принцип дії. Основні параметри автоматичних вимикачів. Дугогасна система. Приводи автоматичних вимикачів. Розчіплювачі автоматичних вимикачів. Вибір автоматичних вимикачів.....	79
2.3	Запобіжники.....	90
<b>ЛЕКЦІЯ 6</b>		
<b>Тема 3 ЕЛЕКТРИЧНІ РЕЛЕ. ДАТЧИКИ КОНТРОЛЮ І РЕГУЛЮВАННЯ. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ</b>		
3.1	Електричні реле.....	97
3.1.1	Електро cơханічні реле. Призначення, будова, принцип дії електро cơханічних реле. Класифікація, основні параметри, комутаційні характеристики, і категорії застосування.....	97
3.1.2	Електромагнітні і поляризовані електромагнітні реле. Будова, принцип дії.....	103
3.1.3	Спеціальні апаратів захисту. Загальні відомості, будова, принцип дії .....	108
<b>ЛЕКЦІЯ 7</b>		
3.2.	Датчики.....	125
3.2.1	Поняття датчику. Форми сигналів датчиків. Класифікація датчиків.....	125
3.2.2	Контактні датчики. Потенціометричні датчики Омичні тензодатчики. Індуктивні і трансформаторні датчики. Ємнісні дачики. Датчики кутового прискорення. Датчики частоти обертання.....	130
3.3	Термоелектричні перетворювачі.....	154

## ЛЕКЦІЯ 8

### Тема 4 ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ ВИЩЕ 1000 В

4.1 Вимикачі змінного струму високої напруги. Призначення і основні параметри. Вимоги до вимикачів. Класифікація вимикачів ...	161
4.2 Бакові масляні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи. Переваги та недоліки.....	165
4. 3 Маломасляні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи вимикачів. Переваги та недоліки.....	167
4.4 Повітряні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи вимикачів. Переваги та недоліки вимикачів.....	170
4.5 Елегазові вимикачі. Конструкція вимикачів. Переваги та недоліки вимикачів.....	174
4.6 Вакуумні вимикачі. Конструкція вимикачів. Гасіння дуги у вакуумі. Переваги та недоліки вакуумних вимикачів.....	179
4.7 Вимикачі навантаження. Конструкція вимикачів. Типи вимикачів навантаження. Переваги та недоліки .....	184
Список літератури	189

## ВСТУП

«Апарати керування і захисту» – є базовою дисципліною для студентів здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка». Розвиток сучасної техніки неможливий без широкого використання електричних і електронних апаратів – пристроїв керування потоками енергії і інформації, які здійснюють комутації електричних кіл, контроль вимір параметрів, захист від несанкціонованих режимів роботи, управління технологічними процесами, регулювання параметрів об'єктів, перетворення неелектричних величин в електричних, створення магнітного поля з визначеними параметрами.

В курсі лекцій розглянуто питання загальних положень про електричні апарати, представлені відомості про електричні апарати до 1000 В і вимикачі змінного струму високої напруги, електричні реле і датчики контролю і регулювання.

Даний курс лекцій з дисципліни «Апарати керування і захисту» сприяє самостійній пізнавальній діяльності студентів з вивчення дисципліни на трьох рівнях: знань, умінь і творчого мислення, забезпечуючи як вивчення навчального матеріалу, так і розвиток мислення, що є основною вимогою болонського процесу. На базі запропонованого курсу лекцій з'являється можливість поєднати аудиторні лабораторні заняття та поза аудиторні заняття в єдиний безперервний ланцюг самостійної пізнавальної діяльності студентів на інформаційно-репродуктивному, практично-стереотипному рівнях. Тому курсу лекцій є досить актуальним і доцільним для організації пізнавальної діяльності студентів.

## Лекція 1

### ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

#### План лекції

1. Поняття електричного апарату. Класифікація і вимоги до електричних апаратів.
2. Основні фізичні явища в електричних апаратах.
3. Електромагніт для тягових зусиль.

#### 1.1 Поняття електричного апарату. Класифікація і вимоги до електричних апаратів

**Електричний апарат** – це електротехнічний пристрій, що використовується для комутації електричних кіл, контролю, вимірювання, захисту, керування і регулювання установок, призначених для виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії.

Електричні апарати умовно можна розділити на п'ять основних груп:

– *апарати високої напруги*, що керують режимом роботи електричних мереж і систем високої напруги (6, 10, 20, 35, 110, 220, 330, 500, 750, 1150 кВ). Із їхньою допомогою виконують оперативні переключення в мережах і системах, а також здійснюється захист від струмів к.з., від перенапруг, перевантаження і т.ін.;

– *апарати керування низької напруги*, що керують режимом роботи електроустаткування (наприклад, рухомого складу, тягових електричних мереж, розподільних мереж на номінальну напругу 127, 220, 380, 500, 660, 1140 В), а також здійснюють їх автоматичний захист від аварійних режимів;

– *електричні апарати автоматики*, що здійснюють функції контролю електричних і неелектричних параметрів працюючого електроустаткування, виробляють сигнали до схеми автоматики і керування, що



відповідають контрольованим параметрам, а також включають реле автоматики і захисту, (наприклад, АВР і АПВ тягових підстанцій);

– *автоматичні регулятори і стабілізатори*, призначені для автоматичного регулювання за заданим законом того чи іншого вихідного параметра на заданому рівні;

– *підсилювачі й перетворювачі*, що здійснюють посилення слабких сигналів, подаваних на вхід, до відносно великих на виході (підсилювачі), а також перетворення однієї форми сигналу в іншу (перетворювачі) (наприклад, сигналів постійного струму в змінний струм чи навпаки);

– *напівпровідникові апарати (НПА)* відносять до класу електричних низьковольтних апаратів (до 1000 В). Вони призначені для комутації, управління і захисту електричних кіл і електроустаткування, а також для контролю і регулювання різних електричних і неелектричних процесів.

Класифікація електричних апаратів:

- за призначенням (основною виконуваною функцією);
- за областю застосування;
- за принципом дії;
- за родом струму;
- за виконанням захисту від впливів навколишнього середовища;
- за конструктивними особливостям.

За призначенням апарати діляться на групи:

– *комутаційні* апарати розподільних пристроїв. Призначені для комутації електричних кіл (рубильники, пакетні вимикачі, вимикачі навантаження, вимикачі високої напруги, роз'єднувачі, відокремлювачі, короткозамикачі, автоматичні вимикачі, запобіжники). Для цієї групи характерно відносно рідке їх вмикання і вимикання.

– *обмежуючі* апарати призначені для обмеження токів короткого замикання (реактори) і перенапруги (розрядники). Режимми к.з. і перенапруг є аварійними.

– *пункторегулюючі* апарати призначені для пуску, регулювання частоти обертання, напруги і струму електричних машин або інших споживачів енергії. До цієї групи відносяться контролери, командокон-

тролери, контактори, пускачі, резистори і реостати. Характерна риса - часті вмикання і відключення (3600 у час і більш).

– *контролюючі* апарати електричних або неелектричних параметрів (реле і датчики). Для реле характерно плавна зміна величини, що контролюється, яка викликає стрибкоподібну зміну вихідної величини. У датчиках плавна зміна вхідної величини перетворюється у плавну зміну (вимірювальні датчики) або стрибкоподібну (реле-датчики) вихідної величини.

– *вимірюючі* апарати. За допомогою кола первинної комутації (головного струму) ізолюють вимірювальне коло від нього, а величина, що вимірюється набуває стандартного значення (трансформатори струму, напруги, ємнісні дільники напруги).

– *електричні регулятори*. Призначені для регулювання заданого параметра за визначеним законом.

Розподіл апаратів за областю застосування умовне тому, що одні і ті ж апарати можуть бути віднесені до різних груп.

Класифікація апаратів у межах групи:

а) за напругою - низького (до 1000 В включно) і високого (від 1000 В и вище);

б) за родом струму - постійного, змінного промислової частоти і змінного підвищеної частоти;

в) за родом захисту від навколишнього середовища - відкриті, захищені, бризгозахищені, водозахищені, герметичні, вибухонебезпечні й ін.;

г) за засобом (принципу) дії - електромагнітні, магнітоелектричні, індукційні, теплового й інші;

д) за інших факторами (швидкодія, засоби гасіння дуги й ін.).

Загальні вимоги до електричних апаратів:

1. При номінальному режимі роботи температура струмоведучих елементів апарата не повинна перевищувати значень, що рекомендуються ДСТУ. При к.з. термічні і динамічні навантаження в струмоведучих елементах не повинні порушувати працездатність апарата після його усунення.

2. Апарати, призначені для частого вмикання і вимикання, повинні мати високу зносостійкість.

3. Контакти апаратів, що призначені для відключень струмів к.з. повинні бути розраховані на цей режим.

4. Ізоляція апаратів повинна витримувати перенапруги і мати відповідний строк служби.

5. Апарати повинні мати специфічні якості, які обумовлені його застосуванням.

6. Апарати повинні мати високу надійність.

7. Маса, розміри, вартість і час, необхідний для його установки, повинні бути мінімальними.

## 1.2 Основні фізичні явища в електричних апаратах

### Явище електричного струму

*Опис суті фізичного явища.*

Явище упорядкованого (спрямованого) руху вільних електронів під дією сил електричного поля називається електричним струмом провідності.

*Фізичні величини, введені для опису фізичного явища.*

– сила електричного струму;

– напруга;

– опір.

*Формулювання закону*

Сила електричного струму на однорідній ділянці кола без е.р.с. прямо пропорційна напрузі на цій ділянці і обернено пропорційна опору цієї ділянки.

*Математичний запис закону*

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.1)$$

де  $I$  - сила струму,  $A$ ;

$U$  - напруга на ділянці кола,  $B$ ;

$R$  - опір ділянки кола,  $Om$ .

### *Застосування явища в електричних апаратах*

Явище електричного струму застосовується, наприклад, в автоматичних вимикачах, електромагнітних реле.

### **Явище теплової дії електричного струму**

#### *Опис суті фізичного явища*

При протіканні електричного струму в провіднику вільні електрони зіштовхуються з атомами (молекулами) речовини провідника, які знаходяться в тепловому русі. При цьому вони віддають їм частину своєї кінетичної енергії, збільшуючи кінетичну енергію атомів (молекул), що призводить до підвищення температури провідника.

Тобто, при протіканні електричного струму по провіднику він нагрівається. Таким чином, електричний струм здійснює роботу, яка дорівнює роботі, яка йде на збільшення кінетичної енергії атомів (молекул).

#### *Фізичні величини, введені для опису фізичного явища.*

Для опису явища теплової дії електричного струму введені такі фізичні величини:

- сила струму;
- кількість теплоти;
- опір провідника;
- час.

#### *Формулювання закону.*

Кількість теплоти, що виділяється в провіднику при проходженні в ньому електричного струму, прямо пропорційна опорі провідника, квадрату сили електричного струму і часу протікання струму. Цей закон був названий законом Ленца-Джоуля.

#### *Математичний запис закону*

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t . \quad (1.2)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, що виділяється в провіднику при проходженні в ньому електричного струму, Дж;

$R$  - опір провідника, Ом;

$I$  - сила електричного струму, що протікає в провіднику, А;

$t$  - час протікання струму в провіднику, с.

#### *Застосування явища в електричних апаратах*

На явищі теплової дії електричного струму засновано принципи дії різних електричних апаратів, наприклад, теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів, теплових реле, плавких запобіжників.

#### **Явище електромагнетизму**

##### *Опис суті фізичного явища*

Явище виникнення магнітного поля при русі заряджених електричних часток називається явищем електромагнетизму, тобто при протіканні струму по провіднику, навколо його створюється магнітне поле.

##### *Фізичні величини, введені для опису фізичного явища*

Для опису явища електромагнетизму введені наступні фізичні величини:

- сила струму;
- магнітний потік;
- індуктивність котушки;
- число витків котушки;

##### *Формулювання закону*

Потокозчеплення котушки зі струмом, рівний добутку числа витків котушки на магнітний потік прямо пропорційний добутку індуктивності котушки і силі електричного струму.

##### *Математичний запис закону*

$$\psi = w \cdot \Phi = L \cdot I, \quad (1.3)$$

де  $\Psi$  – потокозчеплення котушки зі струмом, Вб;

$w$  – число витків котушки зі струмом;

$\Phi$  – магнітний потік, Вб;

$L$  – індуктивність котушки, Гн;

$I$  – сила електричного струму в котушці, А.

### *Застосування явища в електричних апаратах*

Явище електромагнетизму має місце у обмотках електричних машин і котушках апаратів керування при створенні магнітного поля і магнітного потоку, а також у електричних апаратах, наприклад, у тягових електричних магнітах.

### **Явище електромагнітної індукції**

#### *1.4.1 Опис суті фізичного явища*

Якщо провідний контур переміщується в магнітному полі або провідний контур пронизується змінним магнітним потоком, то в провідному контурі наводиться (індукується) електрорушійна сила.

#### *1.4.2 Фізичні величини, введені для опису фізичного явища*

Для опису явища електромагнітної індукції введені наступні фізичні та геометричні величини:

- електрорушійна сила;
- довжина активної частини провідного контуру, що знаходиться між полюсами магніта;
- швидкість переміщення провідного контуру;
- кількість витків котушки;
- магнітний потік;
- час.

#### *Формулювання закону*

Закон електромагнітної індукції використовується в електротехніці і електромашинобудуванні у двох формулюваннях – Фарадея і Максвелла.

#### *Формулювання закону за Фарадеєм*

Значення електрорушійної сили, яка наводиться в провідному контурі при переміщенні його в однорідному магнітному полі прямо пропорційно добутку магнітної індукції, довжина активної частини провідного контуру, що знаходиться між полюсами магніта і швидкість переміщення провідного контуру.

### *Формулювання закону за Максвеллом*

Значення електрорушійної сили, яка наводиться в контурі, прямо пропорційна кількості витків контуру і швидкості зміни магнітного потоку.

### *Математичний запис закону за Фарадеєм*

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha , \quad (1.4)$$

де  $e$  – електрорушійна сила (ЕРС),  $B$ ;

$l$  – довжина активної частини провідного контуру, що знаходиться у магнітному полі (між полюсами магніта), м;

$v$  – швидкість переміщення провідного контуру,  $м/с$ ;

$\alpha$  – кут між вектором швидкості і вектором магнітної індукції, *град.*

### *за Максвеллом*

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} , \quad (1.5)$$

де  $w$  – кількість витків провідного контуру;

$\Phi$  – магнітний потік,  $Вб$ ;

$t$  – час,  $с$ .

### *Застосування явища в електричних апаратах*

На явищі електромагнітної індукції заснований принцип дії генераторів постійного і змінного струму. Явище електромагнітної індукції застосовується, наприклад, у датчиках індукційного типу, бо воно спостерігається в обмотках електричних апаратів і машин, що рухаються в магнітному полі.

### **Явище електромагнітної сили**

#### *Опис суті фізичного явища*

Якщо провідник зі струмом помістити в магнітне поле, то на нього буде діяти електромагнітна сила, яка називається силою Ампера.

*Фізичні величини, введені для опису фізичного явища*

- електромагнітна сила;
- магнітна індукція;
- сила струму;
- довжина провідника;
- кут між напрямком струму і вектором магнітної індукції.

*Формулювання закону*

Сила, що діє на провідник зі струмом в магнітному полі, прямо пропорційна добудку магнітої індукції, сили електричного струму і активній довжині провідника.

*Математичний запис закону*

$$F = B \cdot l \cdot I \cdot \sin \alpha , \quad (1.6)$$

де  $B$  – магнітна індукція,  $Tл$ ;

$l$  – активна довжина провідника,  $м$ ;

$I$  – сила струму,  $A$ ;

$\alpha$  – кут між напрямком струму у провіднику і вектором магнітної індукції, *град.*

*Застосування явища в електричних апаратах*

На явищі електромагнітної сили засновано принципи дії електродвигунів, дії різних електричних апаратів, наприклад, реле струму, реле напруги, елктромагнітного розчеплювача автоматичного вимикача тощо.

## **1.3 Конструктивні елементи електричних апаратів**

### **1.3.1 Електромагніт для тягових зусиль**

*Електромагніт для тягових зусиль* – це пристрій, який складається з обмотки та магнітопроводу, призначених для створення тягового зусилля певної сили.



**Котушка** – один із головних елементів електромагніта і має задовольняти таким основним вимогам:

- забезпечувати надійне включення електромагніта за найгірших умов, тобто в нагрітому стані, при зниженій напрузі;
- не перегріватися понад припустиму температуру при всіх можливих режимах, тобто при підвищеній напрузі;
- при мінімальних розмірах бути зручною для виробництва;
- бути механічно міцною;
- мати достатній рівень ізоляції, а в деяких апаратах – бути волого-, кислото- і маслостійкою.

У процесі роботи в котушці виникають напруги: *механічні* – за рахунок електродинамічних сил у витках і між витками, особливо при змінному струмі; *термічні* – за рахунок нерівномірного нагрівання окремих її частин; *електричні* – за рахунок перенапруг, зокрема, при відключенні.

При розрахунку котушки необхідно виконати дві умови: перша – забезпечити необхідну МРС при гарячій котушці та зниженій напрузі; друга – температура нагрівання котушки при цьому має перевищувати припустиму.

У результаті розрахунку мають бути визначені такі величини, що необхідні для намотування:  $d$  – діаметр дроту обраної марки;  $w$  – число витків;  $R$  – опір котушки.

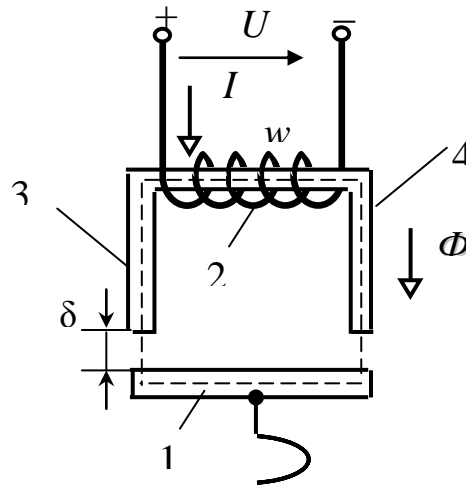
За конструкційним виконанням розрізняють котушки:

- *каркасні* – намотування здійснюється на металевому чи пластмасовому каркасі;
- *безкаркасні бандажовані* – намотування виконують на знімному шаблоні, після намотування котушки бандажують;
- *безкаркасні* з намотуванням на осердя магнітної системи.

Однією з головних складових електричних апаратів керування і захисту є електромагніт, який створює в апаратах стискальне або тягове зусилля.

**Магнітопровід** електромагніту складається з двох частин: осердя (нерухома частина) та якоря (рухома частина). На осерді розташована обмотка, яка при протіканні струму в ній створює магнітний потік.

Розглянемо будову електромагніту для тягових зусиль, на прикладі клапанної електромагнітної системи яка приведена на рисунку 1.1.



1- якорна частина магнітопроводу; 2- котушка; 3,4 – осердя (стрижняні) магнітопроводу;  $\delta$  – повітряний зазор.

Рисунок 1.1 – Будова електромагніту для тягових зусиль

Принцип дії електромагніта для тягових зусиль наступний: при проходженні електричного струму по обмотці 2 спостерігається явище електромагнетизму. Силкові лінії утвореного струмом магнітного поля замикаються по магнітопроводу. Під дією цього поля доменів в осерді, приймають впорядковане положення. В результаті, їх магнітні поля складаються і утворюється основний магнітний потік  $\Phi$ , який проходить по магнітопроводу, замикається через зазор  $\delta$ , внаслідок чого між якорем 1 та стрижнями (осердям) 3,4, виникає сила тяги. Якщо сила струму у котушці збільшиться до певного значення, то сила тяги стане дорівнювати силі опору механічної частини електричного апарата і якір притягнеться до осердя, тобто відбудеться спрацьовування електромагніту, але час його спрацьовування буде значним. При збільшенні сили струму у обмотці сила тяги теж збільшиться і стане більшою за силу опору механічної частини електричного апарата. Час спрацьовування електромагніта зменшиться. Зменшення часу спрацьовування електромагніта відбувається до моменту насичення магнітопроводу. Якщо сила струму у котушці зменшиться до певного значення, то сила тяги

стане меншою за силу опору механічної частини електричного апарата і якір відійде від осердя, тобто відбудеться відпускання електромагніту.

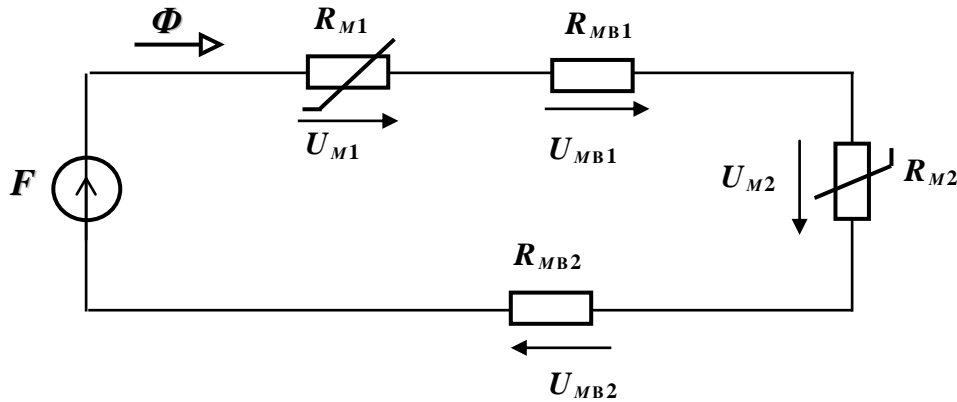


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема магнітного кола електромагніту для тягових зусиль

На рисунку 1.2 прийняті наступні позначення:

$\Phi$  – основний магнітний потік на ділянках магнітного кола, Вб;  $R_{M1}$ ,  $R_{M2}$  – магнітні опори осердя і ярма, 1/Гн;  $R_{MB1}$ ,  $R_{MB2}$  – магнітні опори повітряного зазору, 1/Гн;  $F$  – магніторушійна сила, А;  $U_{M1}$ ,  $U_{M2}$ ,  $U_{MB1}$ ,  $U_{MB2}$  – магнітна напруга на ділянках магнітного кола, А.

Магнітне коло електромагніту характеризується наступними величинами:

– магніторушійна сила  $F$

$$F = I \cdot w, \quad (1.7)$$

де  $F$  – магніторушійна сила, А;

$I$  – сила струму в котушці, А;

$w$  – кількість витків котушки.

– магнітний потік  $\Phi$  в однорідному магнітному полі

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha, \quad (1.8)$$

де  $B$  – магнітна індукція, Тл;

$\Phi$  – магнітний потік в , Вб;

$S$  – площа перерізу через яку проходять лінії магнітної індукції, м<sup>2</sup>.

$\alpha$  – кут між напрямом вектору магнітної індукції і площа перерізу через яку проходять її лінії, град.

– магнітна індукція  $B$

$$B = H \mu_c, \quad (1.9)$$

де  $B$  – магнітна індукція, Тл;

$H$  – напруженість магнітного поля, А/м;

$\mu_c$  – магнітна проникність середовища магніто проводу, Гн/м;

Магнітна проникність середовища магніто проводу

$$\mu_c = \mu_0 \mu, \quad (1.10)$$

де  $\mu_0$  – магнітна постійна (абсолютна магнітна проникність вакууму),  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ , Гн/м;

$\mu$  – відносна магнітна проникність середовища, Гн/м. Для неферромагнітних матеріалів  $\mu \approx 1$ , а для ферромагнітних  $\mu \gg 1$ , таким чином, відносна магнітна проникність  $\mu$  показує, у скільки разів магнітна проникність середовища магніто проводу  $\mu_c$  більше, ніж у вакуумі.

– магнітна напруга (спад напруги, що створюється магнітним потоком  $\Phi$ )  $U_M$

$$U_M = \Phi \cdot R_M, \quad (1.11)$$

де  $R_M$  – магнітний опір ділянки магнітного кола, 1/Гн

$$R_M = \frac{l}{\mu_c \cdot S} \quad (1.12)$$

– магнітна провідність ділянки магнітного кола, Гн

$$G_M = \frac{1}{R_M} = \frac{\mu_c \cdot S}{l}, \quad (1.13)$$

де  $l$  – довжина ділянки магнітного кола, м.

– індуктивність котушки  $L$

$$L = \frac{w \cdot \Phi}{I}, \quad (1.14)$$

де  $L$  – індуктивність котушки,  $Гн$ ;

$w$  – кількість витків котушки зі струмом;

$\Phi$  – магнітний потік,  $Вб$ ;

$I$  – сила електричного струму в котушці,  $А$ .

Розрахунок магнітних кіл подібний розрахунку електричних кіл і заснований на застосуванні першого і другого законів Кірхгофа і загального закону Ома.:

#### *Перший закон Кірхгофа*

Алгебраїчна сума магнітних потоків у будь – якому вузлі магнітного кола дорівнює нулю. При цьому магнітні потоки, що входять у вузол, записуються зі знаком «плюс», а магнітні потоки, що виходять з вузла, записуються зі знаком «мінус».

$$\sum_{i=1}^n \Phi_i = 0. \quad (1.15)$$

#### *Другий закон Кірхгофа*

Алгебраїчна сума магніторушійних сил у контурі дорівнює алгебраїчній сумі добутків магнітних опорів (які входять у контур) на магнітний потік (який протікає в даних опорах).

$$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n R_{Mi} \Phi_i . \quad (1.16)$$

Узагальнений закон Ома для магнітного кола виглядає так

$$\Phi = \frac{U_M + \sum F}{\sum R_M}, \quad (1.17)$$

де  $U_M$  – магнітна напруга на затисках кола,  $A$ .

$\sum F$  – алгебраїчна сума МРС у замкненому контурі кола,  $A$ .

При роботі електромагніта для тягових зусиль у елементах його конструкції спостерігаються наступні фізичні явища:

*у обмотці:*

- явище електричного струму;
- явище електромагнетизму;
- явище теплової дії струму;
- явище електромагнітної індукції (самоіндукції), якщо струм змінний;

*у магнітопроводі:*

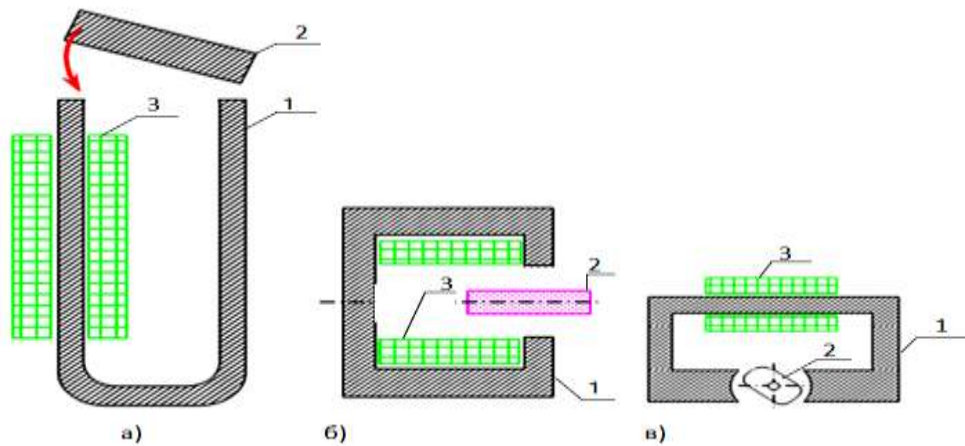
- явище гістерезису, якщо магнітне поле змінне в часі;
- явище теплової дії гістерезису;
- явище електромагнітної індукції, якщо магнітне поле змінне в часі;
- явище вихрових струмів;
- явище теплової дії вихрових струмів;
- явище електромагнітної сили;
- явище механічного руху.

Електромагніти для тягових зусиль класифікуються:

1. *За родом струму:*

- постійного струму;
- нейтральні, які не реагують на полярність вхідного сигналу;
- поляризовані, у яких напрям переміщення якоря визначається полярністю керуючого сигналу.

- змінного струму;
- 2. *За способом дії:*
  - притягуючі;
  - утримуючі.
- 3. *За характером руху якоря:*
  - з поступальним рухом;
  - з обертальним рухом.
- 4. *За конструктивним виконанням:*
  - клапанного типу (рисунок 1.3а);
  - з втягуючим якорем (рисунок 1.3б);
  - з поворотним якорем (рисунок 1.3в).



а) - клапанного типу, б) - з втягуючим якорем, в) - з поворотним якорем, 1- осердя, 2- якорь, 3- обмотка.

Рисунок 1.3 Конструктивне виконання електромагнітів для тягових зусиль

Електромагнітна тягова сила електромагніта визначається за формулою

$$F_{EMT} = \frac{B^2 S}{2\mu_0}, \quad (1.18)$$

де  $F_{EMT}$  – електромагнітна тягова сила електромагніта,  $H$ ;  
 $S$  – загальна площа поперечного перерізу полюсу магнітопровода,  $m^2$ .  
 $B$  – магнітна індукція,  $Tл$ ;

$\mu_0$  – магнітна постійна, Гн/м.

$$[F_{EMT}] = \frac{Tл^2 \cdot м^2 \cdot м}{Гн} = \frac{Вб^2 \cdot м^2 \cdot м}{м^4 \cdot Ом \cdot с} = \frac{В^2 \cdot с^2 \cdot м}{м^2 \cdot Ом \cdot с} = \frac{В \cdot А \cdot с}{м} = \frac{Н \cdot м}{м} = Н.$$

### Характеристики електромагніта для тягових зусиль

1. Тягова характеристика (статична) - залежність тягової електромагнітної сили від робочого зазору при постійних значеннях напруги, що підведена до обмотки, або струму в обмотці (рисунок 1.4):  $F_{EMT} = f(\delta)$  при  $U = const$  або  $F_{EMT} = f(I)$  при  $I = const$ .

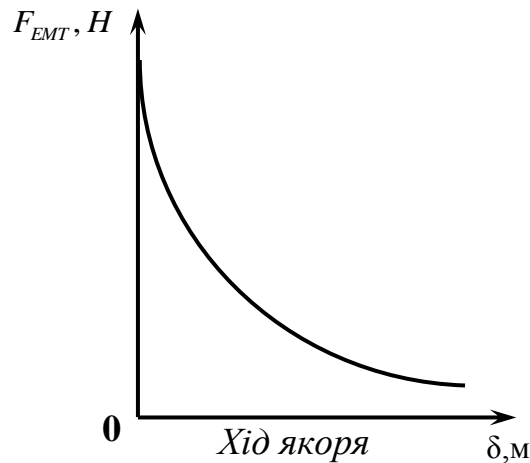


Рисунок 1.4 – Тягова характеристика електромагніту

Якщо зневажити розсіюванням і магнітним опором сталі, рівняння електромагнітної тягової характеристики має вигляд

$$F_{EMT} = \frac{\mu_0 \cdot S \cdot F^2}{\delta^2}, \quad (1.20)$$

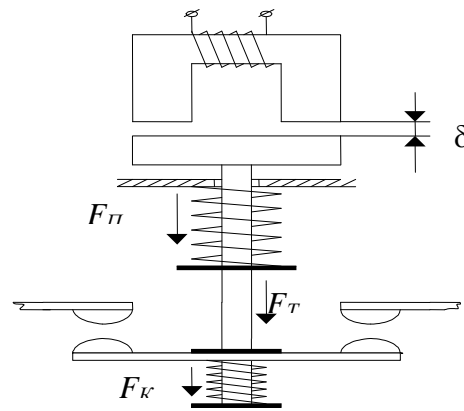
де  $F = I \cdot w$  –магніторушійна сила магнітного кола електромагніту, А.

$$[F_{EMT}] = \frac{Гн \cdot м^2 \cdot А^2}{м \cdot м^2} = \frac{Ом \cdot с \cdot А^2}{м} = \frac{Дж}{м} = \frac{Н \cdot м}{м} = Н.$$



Найменше значення електромагнітна тягова сила  $F_{EMT}$  має в момент вмикання електромагніта, оскільки в цьому випадку повітряний зазор між якорем і осердям найбільший, магнітний опір також найбільший, а магнітний потік найменший. Після того як електромагніт спрацює, повітряний зазор між якорем та осердям зникає, що призводить до зменшення магнітного опору, збільшення магнітного потоку і збільшення електромагнітної тягової сили  $F_{EMT}$ .

2. *Характеристика протидіючого зусилля (навантажувальна)* – залежність протидіючих сил, приведених до точки прикладення  $F_{II}$  від робочого зазору  $\delta$  (рисунок 1.5),  $F_{II} = f(\delta)$ .



$F_{II}$  – сили протидіючої пружини,  $F_K$  – сили контактної пружини,  $F_T$  – сили тертя рухомої частини об деталі корпусу,  $\delta$  – робочий зазор.

Рисунок 1.5 - Розподіл протидіючої сили

Протидіюча сила складається з наступних сил: сили протидіючої пружини  $F_{II}$ ; сили контактної пружини  $F_K$ ; – сили тертя рухомої частини об деталі корпусу,  $F_T$ .

Співставлення тягової характеристики та характеристики протидіючого зусилля електромагніту наведено на рисунку 1.6.

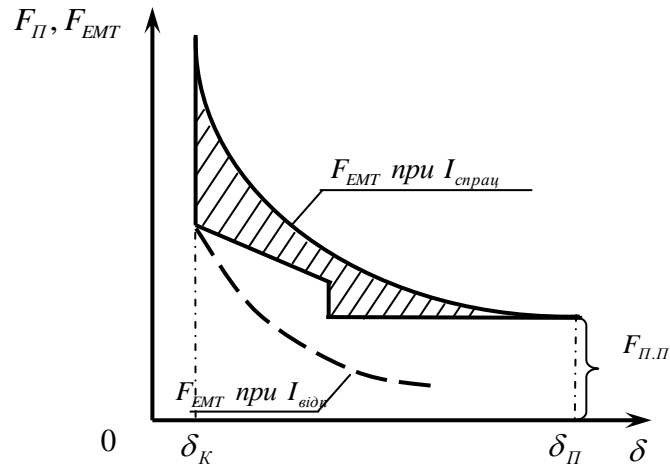


Рисунок 1.6 - Співставлення тягової характеристики і характеристики протидіючого зусилля електромагніту

Для спрацьовування електромагніта для тягових зусиль необхідно, щоб тягова характеристика, побудована при  $I_{\text{спрац}} = \text{const}$  проходила вище протидіючої характеристики. Для відпускання електромагніта для тягових зусиль тягова характеристика повинна проходити нижче протидіючої характеристики.

3. Час спрацьовування електромагніта – це час з моменту подачі сигналу на обмотку електромагніту до переходу якоря в кінцеве положення. При інших рівних умовах, він є функцією початкової протидіючої сили  $F_{\text{П,П}}$  і заштрихованої площі  $S$ .

### Параметри електромагніту для тягових зусиль

**Коефіцієнт запасу ( $K_3$ ).** У більшості випадків МРС рухання можна вважати рівною МРС спрацьовування електромагніта. Відношення МРС ( $F_{\text{cm}}$ ), що відповідає сталому значенню струму ( $I_{\text{cm}}$ ), до МРС ( $F_{\text{cnp}}$ ) спрацьовування (відповідно до струму спрацьовування  $I_{\text{cnp}}$ ), називають коефіцієнтом запасу

$$K_3 = \frac{F_{\text{cm}}}{F_{\text{cnp}}} = \frac{I_{\text{cm}}}{I_{\text{cnp}}} > 1. \quad (1.21)$$

**Параметр спрацьовування.** Являє собою мінімальне значення струму чи напруги, за якого відбувається спрацьовування електромагніта (переміщення якоря від  $\delta_n$  до  $\delta_k$ ).

**Параметр відпускання (повернення).** Відповідно максимальне значення струму чи напруги, за якого якорь повертається до вихідного положення.

**Коефіцієнт повернення ( $K_{нов}$ ).** Відношення МРС, при якому відбувається повернення якоря в первісне положення, до МРС спрацьовування називається коефіцієнтом повернення електромагніта

$$K_{нов} = \frac{F_{нов}}{F_{спр}} = \frac{I_{нов}}{I_{спр}}, \quad (1.22)$$

де  $I_{нов}$  – струм повернення електромагніта, А.

### Питання для самоперевірки

1. Який пристрій називають електричним апаратом?
2. На які групи можна поділити електричні апарати за призначенням?
3. Які основні фізичні явища спостерігаються в електричних апаратах?
4. Умова виникнення у провіднику електромагніта електроструму?
5. До чого призведе зменшення напруги на котушці електромагніту?
6. Від чого залежить кількість теплоти, що виділяється в котушці електромагніту?
7. В чому суть явища електромагнетизму?
8. Від чого залежить потокозчеплення котушки зі струмом?
9. Від чого залежить індуктивність котушки?
10. Як формулюється закон електромагнітної індукції за Фарадеєм?
11. Назвіть фізичні величини і одиниці вимірювання, що входять у математичну залежність закону.
12. Як формулюється закон електромагнітної індукції за Максвелом?
13. Назвіть фізичні величини і одиниці вимірювання, що входять у математичну залежність закону.
14. Від чого залежить величина електромагнітної сили Ампера?

15. Назвіть фізичні величини і одиниці вимірювання, що входить у математичну залежність закону Ампера.
16. З яких частин складається електромагніт?
17. Яке призначення котуши із струмом в електромагніті?
18. Яке призначення феромагнітного магнітопроводу в електромагніті?
19. Яке електромагнітне явище лежить в основі принципу роботи електромагніту?
20. Які фізичні явища спостерігаються в обмотці працюючого на змінному струмі електромагніта?
21. Які фізичні явища спостерігаються в магнітопроводі працюючого на змінному струмі електромагніта?
22. Від чого залежить електромагнітна тягова сила електромагніта?
23. За якою формулою можна визначити електромагнітна тягова сила електромагніта?
24. Одиниця виміру електромагнітної тягової сили електромагніта?
25. Яку залежність називають тяговою характеристикою електромагніта?
26. Яку характеристику називають характеристикою протидіючого зусилля електромагніту?
27. З яких сил складається протидіюча сила електромагніта?
28. Якими параметрами характеризується електромагніт для тягових зусиль?
29. Як розраховується коефіцієнт запасу електромагніту для тягових зусиль?

### **Список літератури**

[1: с. 5-11; 57-63], [2: с. 3-31; 183-199; 210-211], [3: с. 3-8; 133-139].

## ЛЕКЦІЯ 2

### План лекції

1.3.2 Контакти в електричних колах. Поняття, класифікація, конструкція, види контактів. Режими роботи контактів. Матеріали контактів і вимоги до них.

1.3.3 Процес переходу струму з одного контакту в другий. Електрична дуга. Способи гасіння електричної дуги.

### **1.3.2 Контакти в електричних колах. Поняття, класифікація, конструкція, види контактів. Режими роботи контактів. Матеріали контактів і вимоги до них**

З'єднання провідників, що забезпечують безперервність електричного кола, називається **електричним контактом**

Деталь, що стискається з іншою деталлю при утворенні електричного контакту називається **контакт-деталлю**, а утворення та існування електричного контакту – **електричним контактуванням**.

Електричне контактування є дуже складним явищем. Контактні поверхні завжди мають деяку шорсткість і, як правило, завжди вкриті плівками, що утворюються під впливом кисню повітря, озону, азоту та інших хімічних реагентів. Плівки мають товщину до  $10^{-6}$  см і питомий опір  $10^5$  Ом\*см. Металеве контактування здійснюється не всією поверхнею, а лише в деяких точках. Наявна на поверхні металу плівка може бути в одних випадках продавлена зусиллям, що стискує контакти, в інших випадках – пробита під впливом різниці електричних потенціалів. У місці пробою утворюється металевий перешийок, що проводить електричний струм.

Явище пробою плівки при деякій напрузі називається фрітінгом. Воно полягає в тому, що при певному (граничному) значенні напруги, що залежить від виду і товщини плівки, опір її різко падає. Відбувається електричний пробій плівки, що завершується утворенням у ній тонкого металевого провідника, який може залишитися після зняття напруги.

У місцях чисто металевого контакту розвиваються значні сили міжмолекулярних і міжатомних зв'язків, тому чисто металеве контакту-

вання – явище рідке, оскільки такий контакт при значній площі зіткнення поверхонь неможливо було б розірвати тими силами, що реально існують в електричних апаратах. Імовірно, чисто металеве контактування може спостерігатися лише в місцях дуже вузьких металевих перешийків, що можуть утворитися при пробої плівок і розвиватися, наприклад, під впливом електростатичних сил.

### **Конструкція контактів Основні види контактів**

Контакти поділяються на твердометалеві і рідинні контакти.

#### *Твердометалеві контакти*

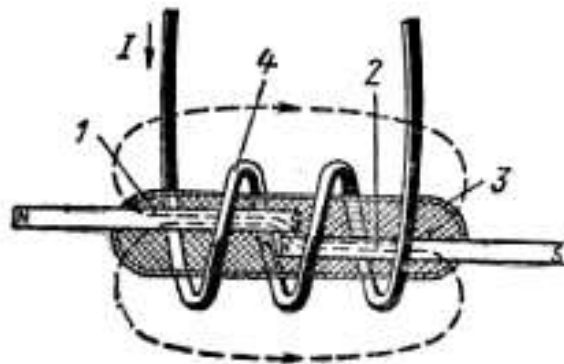
а) *Жорсткі.* Контакти служать для нерухомого з'єднання струмоведучих деталей. Сюди відносяться шинні з'єднання, з'єднання кабелів, місця приєднання апаратів до електричного кола. В процесі експлуатації обидва контакти зв'язуються за допомогою болтів, або за допомогою гарячого або холодного зварювання.

б) *Нерозмикаючі контактні з'єднання рухомих елементів.* Такі з'єднання використовуються для того, щоб передати струм з рухомого контакту на нерухомий. Найбільш простим з'єднанням такого типу є гнучкий зв'язок. При великих ходах рухомих контактів застосовуються ковзаючі або роликові з'єднання.

в) *Розривні контакти.* Конструкція розривних контактів визначається значеннями  $I_n$ ,  $U_n$ ,  $I_{к.з.}$ , режимом роботи.

г) *Герметизовані контакти (геркони).*

Ескіз такого контакту зображено на рисунку 1.7.



1,2 – контакти, 3 – скляний балон, 4 – котушка  
Рисунок 1.7 – Герметизований контакт (геркон).

Сучасний розвиток автоматики та обчислювальної техніки вимагає контакти, які мали б високу надійність та велику швидкодію. Ці вимоги задовільняють геркони.

Контакти 1,2, виконані з залізонікелевого сплаву, розміщені всередині скляного балону 3, заповненого азотом з домішками водню та гелію. При малих струмах тиск газу  $10^5$  Па. Якщо струм відключення рівний 2-3 А, то тиск підвищується до  $(4-5) \cdot 10^5$  Па. При проходженні струму через котушку 4 під дією магнітного поля контакти замикаються. Після відключення котушки контакти розмикаються під дією пружних пластин.

Для отримання надійного контакту поверхні торкання покривають тонким шаром золота, родію або срібла. Завдяки тому, що контакти ізольовані від оточуючого середовища та працюють в атмосфері інертного газу, їх надійність мінімуму у 2 рази вища, ніж у звичайних контактів у повітрі, та досягають  $2 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$  комутацій.

Відсутність електромагнітної системи втричі скорочує час спрацювання та відпускання. Такі контакти завдяки своїм перевагам широко застосовуються як у низьковольтних, так і у високовольтних апаратах, до 10 кВ включно. При високих напругах контакти працюють у вакуумі.

*Недоліками герконів є* вібрація контактів при замиканні, недостатня ударостійкість. Тривалість вібрації залежить від багатьох факторів та коливається в межах 0,3 – 1 мс.

Найбільш характерні *недоліки твердометалевих контактів:*

1. З ростом тривалого номінального струму зростають необхідні значення контактного натискання, габарити і маса контактів. При струмах 10 кА і вище різко збільшуються габарити і маса апарату в цілому.

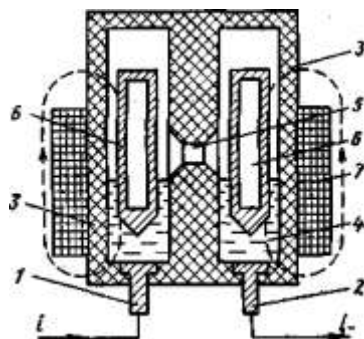
2. Ерозія контактів обмежує зносостійкість апарату.

3. Окислення поверхні і можливість приварювання контактів знижують надійність апарату. При великих токах КЗ контактні натискання досягають великих значень, що збільшує необхідну потужність приводу, габарити і масу апарату.

д) *Рідинні контакти*

Розглянемо принцип дії контактора з рідинним контактом (рисунок 1.8). Зовнішнє коло підключається до електродів 1 і 2. Корпус 3 виконаний з електроізоляційного матеріалу. Порожнини корпусу заповнені

рідким металом 4 і з'єднуються між собою отвором 5. У середині порожнин корпусу плавають пустотілі феромагнітні циліндри 6. При подачі напруги на котушку 7 циліндри 6 опускаються вниз. Рідкий метал піднімається і через отвір 5 з'єднує електроди 1 і 2, контактор включається.



1, 2 – електроди; 3 – корпус; 4 – рідкий метал; 5 – з'єднуючий отвір; 6 – пустотілі феромагнітні циліндри; 7 – котушки.

Рисунок 1.8 – Контактор з рідинним контактом.

У порівнянні з твердометалевими контактами *рідинні контакти* мають наступні *переваги*:

1. Невеликий перехідний опір і висока допустима щільність струму на поверхні розділу рідини, що дозволяє різко скоротити габаритні розміри контактного вузла і контактне натискання, особливо при великих струмах.

2. Відсутність вібрації, приварювання, злипання і окислення контактів при їх комутації.

3. Висока механічна і електрична зносостійкість, що дозволяє створювати апарати з більшим терміном служби.

4. Можливість, роботи при високих зовнішніх тисках, високих температурах, в глибокому вакуумі.

До електричних апаратів зазвичай ставиться вимога зберігати працездатність в інтервалі температур. Очевидно, що рідкий метал повинен зберігати свій стан в зазначеному інтервалі. З відомих матеріалів тільки ртуть знаходиться в рідкому вигляді при температурі нижче  $0^{\circ}\text{C}$  і може бути в чистому вигляді придатна для жидкометалевих контактів.



Висока токсичність парів ртуті істотно ускладнює технологію її застосування.

*Недоліки рідинних контактів:*

1. Зазвичай застосовуються контактних матеріалів галій та його сплави з іншими металами вимагають підігріву контактів до моменту включення, так як температура навколишнього середовища може бути нижче температури затвердіння цих матеріалів.

2. Більшість апаратів з рідинними контактами вимагають певного положення в просторі і схильні до впливу сторонніх механічних впливів (ударів, вібрацій), що ускладнює їх застосування.

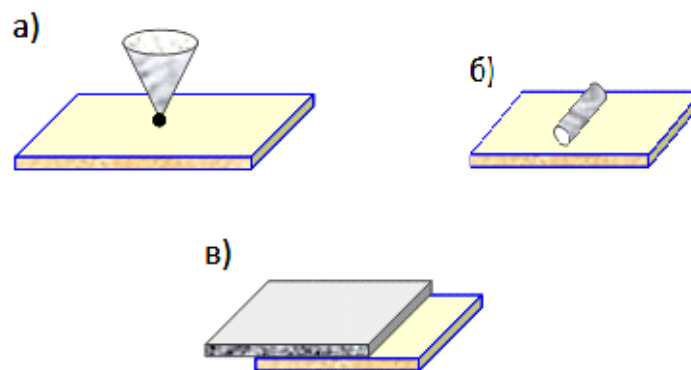
### **Види контактів**

За формою контактування розрізняють три види контактів: крапковий, лінійний, поверхневий.

*Крапковий електричний контакт* - контакт, при якому зіткнення робочих поверхонь контакт-деталей відбувається в точці, рисунок 1.9 а.

*Лінійний електричний контакт* - зіткнення робочих поверхонь контакт-деталей відбувається по лінії. Фізична картина контактування представляє ряд точок-площадок (мінімум дві), розташованих на одній лінії, рисунок 1.9 б.

*Поверхневий електричний контакт* - зіткнення контакт-деталей відбувається по поверхні. Фізична картина контактування представляє ряд точок-площадок (мінімум три), рисунок 1.9 в.



а - крапковий електричний контакт; б - лінійний електричний контакт; в – поверхневий електричний контакт

Рисунок 1.9 – Види контактів за формою контактування.

За призначенням контакти поділяються на:

– з'єднувальні, які служать тільки для проведення струму: взаємонерухомі нероз'ємні (болтові) і взаєморухомі (ковзані). Вони повинні тривало витримувати номінальні і короткочасні струми;

– комутуючі, на які додатково покладаються задачі комутації електричних кіл: контакти рублячі, торцеві, щіткові, пальцеві, розеточні.

За призначенням комутуючі контакти в силових апаратах можна розділити на головні та допоміжні (дугогасні). Головні звичайно шунтуються дугогасними. У процесі розмикання, кола головних контактів розмикаються раніше, ніж дугогасні. Тому утворення дуги відбувається тільки на дугогасних контактах. Часто функції контактів суміщуються так, що одні й ті самі контакти виконують роль і струмоведучих, і дугогасних.

### **Перехідний опір контактів**

Електричний струм переходить з одного контакту в інший тільки в окремих точках, в яких ці поверхні стискаються, так як абсолютно гладкій поверхні не можна отримати ні при якому методі її обробки.

У зоні переходу струму з однієї деталі в іншу має місце відносно великий електричний опір, який називається *перехідним опором контакту*  $R_k$ .

Поява його пов'язана з забрудненням або окислюванням поверхонь і торканням не по всій площині контакт-деталей, тобто опір контакту визначиться

$$R_k = R_{cm} + R_{nl}, \quad (1.11)$$

де  $R_{cm}$  – опір стягування, що виникає за рахунок стягування ліній струму до істинної площі торкання контакт-деталей;

$R_{nl}$  – опір сторонніх прошарків або плівок.

Розглянемо процес переходу струму з одного контакту в інший при торканні двох контактів. Припустимо, що контакти мають тільки одну площадку дотику і що ця площадка має форму кола з радіусом  $\alpha$ . Величину радіусу  $\alpha$  при деформації можна знайти за формулою

$$\alpha = \sqrt{\frac{F}{G \cdot \pi}} \quad (1.12)$$

де  $\alpha$  – радіус кола контакту, м;

$\pi$  – математична стала, що дорівнює відношенню довжини кола до її діаметру;

$F$  – сила натискання контактів, Н;

$G$  – тимчасовий опір на змінання матеріалу контактів, Ом.

В результаті стягування ліній струму до площадки торкання шлях струму змінюється. Перетин провідника, через яке фактично проходить струм, стає менше, що викликає збільшення опору (рисунок 1.10).

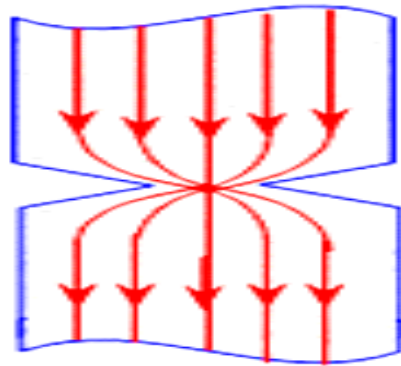


Рисунок –1.10 Розтікання струму при контакті

Ми розглянули тільки перехідний опір, який викликаний явищем стягуванням ліній струму. Насправді контактують поверхні покриті адсорбованими молекулами газу, в якому розташовані контакти до їх замикання. Дуже часто ці молекули вступають в хімічну реакцію з матеріалом контактів, в результаті чого на поверхні металу може виникнути плівка з дуже високим питомим опором.

Якщо напруга, яка замикає коло, невелика або натискання на контакти недостатньо, то іноді контакти взагалі не пропускають електричний струм. Як тільки свіжезачищенна поверхня контактів стикається з повітрям, одразу починається процес утворення плівки і перехідний опір може зрости в десятки разів. У зв'язку з цим контакти на малі струми

(малі натискання) виготовляються з благородних металів, що не піддаються окисленню (золото, платина та ін.). У контактах, які призначені для великих струмів плівка окислів руйнується або завдяки великим натиснень, або шляхом самозачистки при включенні за рахунок ковзання контактів.

*Залежність перехідного опору від контактного натискання.* Слід зазначити, що при тому самому натисканні перехідний опір того самого контакту при кожному замиканні може бути різним і відрізнятися в досить великих межах: у великих – при малих натисканнях і в менших – при великих натисканнях (більше 100 Н). Пояснюється це тим, що число і розмір площадок контактування при кожному замиканні можуть бути різними. Значення перехідного опору залежно від натискання практично виражається не якоюсь кривою, а сферою, обмеженою двома кривими.

*Залежність перехідного опору від температури.* Перехідним опором контакту є опір металу провідника, тому він має тією ж мірою залежати від температури. Однак зі збільшенням температури змінюється структура горбків і площадок зіткнення за рахунок зміни питомого опору змінанню  $\theta$ . З зростанням температури перехідний опір спочатку росте. Потім при деякій температурі (для міді і срібла при 200 – 300 °С) відбувається різке зниження механічних властивостей матеріалу. Тому при тому ж натисканні збільшується площадка контактування, перехідний опір різко падає. Надалі він знову зростає лінійно із зростанням температури, і при температурі плавлення матеріалу контакти зварюються, перехідний опір різко падає.

*Залежність перехідного опору від стану контактної поверхні.* Шліфування поверхонь не зменшує, а навпаки, збільшує перехідний опір у порівнянні з обробкою напилком. При шліфуванні горбки на поверхні стають більш положистими і їх змінання утруднюється.

*Залежність перехідного опору від властивостей матеріалу контакту.* Перехідний опір дуже чутливий до окислювання поверхні через те, що окисли багатьох металів (зокрема міді) є поганими провідниками. У мідних відкритих контактах унаслідок їхнього окислювання з часом перехідний опір може зрости в тисячі разів.

## Режими роботи контактів

Зазор контактів звичайно вибирають за умови гасіння малих струмів. *Зазор контактів* являє собою найкоротшу відстань між розімкнутими робочими поверхнями рухомих і нерухомих контакт-деталей.

Під час роботи контакти зношуються. Щоб забезпечити їхній надійний контакт на тривалий термін, кінематику апарата вибирають таким чином, що контакти стикаються раніше, ніж рухома система буде доходити до упора. Контакт кріплять до рухомої системи через пружину. Завдяки цьому зіткненню з нерухомих контактом рухомий контакт зупиняється, а рухома система просувається ще вперед до упора, стискаючи додатково при цьому контактну пружину. Таким чином, якщо при замкнутому положенні рухомої системи забрати нерухомих, рухомий контакт зміститься на деяку відстань, яку називають *провалом контактів*. Внаслідок обгорання та зносу контактів у процесі експлуатації провал зменшується, що призводить до зменшення сили натиску та росту перехідного опору контактів. Тому в експлуатації вжим контактів повинен обов'язково контролюватися та знаходитись у межах, які вимагає завод-виробник.

*Контактне натискання* – сила, що стискує контакти в місці їхнього зіткнення. Розрізняють початкове натискання  $F_0$  в момент початку замикавання контакт-деталей, коли провал дорівнює нулю, і кінцеве натискання  $F_K$  при повному провалі:

У міру зносу контактів зменшується провал, а отже і додатковий стиск пружини. Кінцеве натискання наближається до початкового. Отже початкове натискання є одним із основних параметрів, при якому контакт має зберігати працездатність.

При комутації електричного кола роботу контактів можна розділити на наступні режими: режим замикавання, режим замкнутого стану і режим розмикавання.

*Режим замикавання.* В цьому режимі можливі наступні процеси: вібрація контактів, ерозія контактів.

При замиканні рухомий контакт підходить до нерухомого з певною швидкістю. При стиканні проходить упруга деформація матеріалу обох контактів. Це призводить до відкидання рухомого контакту, і він відскакує від нерухомого на десяти або соті долі міліметра. Під дією

контактної пружини проходить повторне замикання контактів. Цей процес може повторюватися декілька раз з затухаючою амплітудою. При кожному відкиданні між контактами виникає електрична дуга, яка викликає знос контактів в вигляді оплавлення і розплавлення матеріалу контактів. Для зменшення вібрації контактна пружина повинна мати певний натяг при розімкнених контактах. В момент стикання контактів сила натягу збільшується не з нуля, а з величини попереднього натискання.

Збільшення жорсткості контактної пружини призводить до зменшення вібрації. На вібрацію контактів впливає момент інерції, з ростом якого вібрація збільшується. При протіканні великих струмі через контакти вібрація контактів також збільшується із-за виникнення електродинамічних сил, відкидаючи контактів. Тому для компенсації дії електродинамічних сил необхідно збільшувати натискання контактних пружин.

При пробою відстані між контактами проходить перенос металу з одного контакту на інший (з анода на катод). Цей процес має назву фізичний знос або ерозія. При великих відстанях між контактами виникає електрична дуга, яка може горіти тривалий час і це може призвести до зварювання контактів.

*Режим замкнутого стану.* В цьому режимі можливі два випадки:

- через контакти проходить тривалий час номінальний струм;
- через контакти проходить струм короткого замикання.

При тривалому номінальному струмі на перехідному опорі контакту виділяється потужність, яка викликає нагрів контакту. Це призводить до розм'ягчення і плавлення матеріалу контактів. Тому контакт характеризується двома точками: точкою розм'ягчення (рекристалізацією) і точки плавлення з параметрами.

При короткому замиканні через контакти проходять струми в 10-20 раз перевищуючі номінальні значення. Із-за малої постійної часу нагрівання температура контактної площадки практично миттєво підвищується і може досягти температури плавлення. Це може привести до зварювання контактів.

*Режим розмикання контактів.* При розмиканні сила натискання зменшується, перехідний опір росте і росте температура точок прилипання. В момент роз'єднання контактів температура досягає температу-

ри плавлення і між контактами виникає місток з рідкого металу. При подальшому русі контактів місток обривається і, в залежності від параметрів відключаемого кола, виникає або дуговий розряд, або тліючий. При виникненні дугового розряду температура катодної і анодної плями дуги досягає точки плавлення матеріалів. Висока температура контактів призводить до їх інтенсивному окисленню. Все це веде за собою знос контактів. Якщо величина струму і напруги не перевищує граничних значень, то тліючий розряд не переходить в дуговий.

Основними засобами боротьби з ерозією в апаратах на струми від 1 до 600 А є:

- 1) зменшення тривалості горіння дуги за рахунок застосування дугогасних пристроїв;
- 2) знешкодження вібрації при включенні;
- 3) застосування дугостійких контактних матеріалів.

### **Матеріали контактів і вимоги до них**

#### *Матеріали для контактних з'єднань*

Від матеріалу контакта залежать термін його служби і надійність у роботі. До цих матеріалів висувають наступні вимоги: вони повинні мати високу електричну провідність і теплопровідність, бути стійкими до корозії і мати струмопровідну оксидну плівку, бути дугостійкими, тобто мати високу температуру плавлення і випару, бути твердими, механічно міцними і легко піддаватися механічній обробці, мати невисоку вартість. Ці вимоги суперечливі, а тому майже неможливо знайти матеріал, що задовольняв би всім їм.

Для контактних з'єднань застосовують, зазвичай, мідь, яка задовольняє майже всім перерахованим вище вимогам, за винятком корозійної стійкості. Оксиди міді мають низьку провідність. Мідь – найпоширеніший контактний матеріал, що використовується як для розбірних, так і для комутуючих контактів. У розбірних з'єднаннях застосовують антикорозійні покриття робочих поверхонь.

У комутуючих контактах мідь застосовують при натисканнях з силою понад 3 Н для всіх режимів роботи, крім тривалого. Для тривалого режиму мідь не рекомендують, але якщо її вже застосували, то треба вжити необхідних заходів для боротьби з окислюванням робочих повер-

хонь. Мідь може використовуватися і для дугогасних контактів. При малих контактних натисканнях ( $F < 3 H$ ) застосування мідних контактів не рекомендується.

*Вимоги до контактів:*

- високі електропровідність і теплопровідність;
- висока корозійна стійкість у повітряній і інших середовищах;
- стійкість проти утворення плівок із високим електроопором;
- мала твердість для зменшення необхідної сили натискання;
- мала ерозія;
- висока дугостійкість (температура плавлення);
- простота обробки, низька вартість.

*Матеріали контактів*

**Мідь.** *Позитивні властивості:* високі питома електрична провідність і теплопровідність, достатня твердість, простота технології, низька вартість. *Негативні властивості:* низька температура плавлення, утворення стійких плівок оксидів. У контактах, що не мають взаємного ковзання, застосовувати не рекомендується.

**Срібло.** *Позитивні властивості:* висока електро і теплопровідність, плівка оксиду має малу механічну стійкість і швидко руйнується, усталеність, малий перехідний опір. *Негативні властивості:* мала дугостійкість і недостатня твердість. Застосовується в реле до 20 А.

**Алюміній.** *Позитивні властивості:* високі електро- і теплопровідність, мала питома маса. *Негативні властивості:* утворення плівок із великою стійкістю, низька дугостійкість (менше ніж у міді і срібла), мала механічна прочність.

**Вольфрам.** *Позитивні властивості:* висока дугостійкість, велика стійкість проти ерозії і зварювання, висока твердість. *Негативні властивості:* високий ПЕО, мала теплопровідність, утворення стійких оксидних і сульфідних плівок.

У реле на малі струми з невеликим натисканням застосовують стійкі проти корозії матеріали: золото, платину, палладій і їхні сплави.



### **1.3.3 Процес переходу струму з одного контакту в другий. Електрична дуга. Способи гасіння електричної дуги. Режими експлуатації електричних апаратів**

*Електрична дуга* – це потік заряджених часток, який проходить через газ, який під дією різних факторів іонізується.

Розмикання електричних кіл комутуючими пристроями звичайно супроводжується виникненням електричної дуги. Дуга виникає при струмах, більших 0,5 А і напругах вищих 15 В. У тягових апаратах дуга з'являється при розмиканні під струмом силових і допоміжних кіл, а також кіл керування. При менших значеннях струму і напруги розмикання супроводжується утворенням іскор.

*Процес виникнення електричної дуги.*

Електрична дуга виникає в початковий момент розриву контактів в результаті наявності вільних електронів в повітрі. Вільні електрони, що знаходяться в проміжку між контактами рухаються з великою швидкістю у напрямку від катода до анода під дією сил електричного поля.

Напруженість поля на початку розриву контактів може досягати декількох тисяч кіловольт на сантиметр. Під дією сил цього поля електрони вириваються з поверхні катода і переміщуються до анода вибиваючи з нього електрони, які утворюють електронну хмару. Створений таким шляхом початковий потік електронів утворює в подальшому інтенсивну іонізацію дугового проміжку.

У звичайних умовах повітря є хорошим ізолятором. Для пробного повітряного проміжку в 1 см напруга повинна становити 30 кВ.

Для того, щоб повітряний проміжок став провідником, потрібно створити в ньому необхідну концентрацію заряджених часток - негативних (вільні електрони) і позитивних - іонів. Процес відділення від нейтральної частки одного або декількох електронів та утворення вільних електронів і іонів, називають *іонізацією*. Одночасно з процесом іонізації повітряного проміжку проходить процес *деіонізації*, тобто відновлення його діелектричних властивостей.

*Характеристика фізичних процесів*, що призводять до іонізації і деіонізації повітряного проміжку.

*Автоелектронна емісія* - явище виходу електронів із катода під впливом сильного електричного поля. Напруженість електричного поля в міжконтактному проміжку збільшується. Така напруженість достатня для вибивання електронів навіть із холодного електрода.

*Термоелектронна емісія* - явище виходу електронів із нагрітої поверхні. Воно має місце при розриві контактів, де остання площадка контактування сильно розігрівається, часто до розплавлювання. На негативному електроді утвориться катодна пляма, що служить основою дуги й осердям випромінювання електронів. Щільність струму при цьому залежить від температури і матеріалу контактів. Струм невеликий і достатній для виникнення дуги, але недостатній для її горіння.

*Ударна іонізація.* Процес вибивання електронів із нейтральних часток повітря при ударі її з рухомим електроном. В результаті з'являється новий електрон і позитивний іон, який іонізує наступну нейтральну частинку.

*Термічна іонізація* - іонізація міжконтактного проміжку під впливом високої температури, яка виникає під час горіння дуги. Термічна іонізація це єдиний вид іонізації, який підтримує горіння дуги між контактами.

*Рекомбінація* це процес з'єднання заряджених часток і виникнення нейтральних часток.

*Дифузія* це процес виносу заряджених часток із дугового проміжку в навколишній простір, що зменшує провідність дуги.

В комутаційних електричних апаратах, призначених для замикання і розмикання кола зі струмом, при відключенні виникає *газовий розряд* – це явище проходження струму через газ. Газовий розряд може спостерігатися при будь-яких значеннях струму.

При малих зовнішніх електричних полях провідність газів зумовлена зовнішніми джерелами іонізації. Розряд, який виникає в таких умовах, називають *несамостійним розрядом* (ділянка ОВ на рисунку 1), струм підтримується за рахунок зовнішніх іонізаторів (космічні промені, світло та інше).

Розряди, які виникають у сильних електричних полях за рахунок іонізації, що виникає при протіканні струму, називаються *самостійними газовими розрядами* (ділянка ВЕ на рисунку 1.11), в яких струм

підтримується тільки за рахунок енергії електричного поля, що підводиться до електродів розрядного проміжку.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) послідовних стадій газового розряду в повітрі приведена на рисунку 1.11

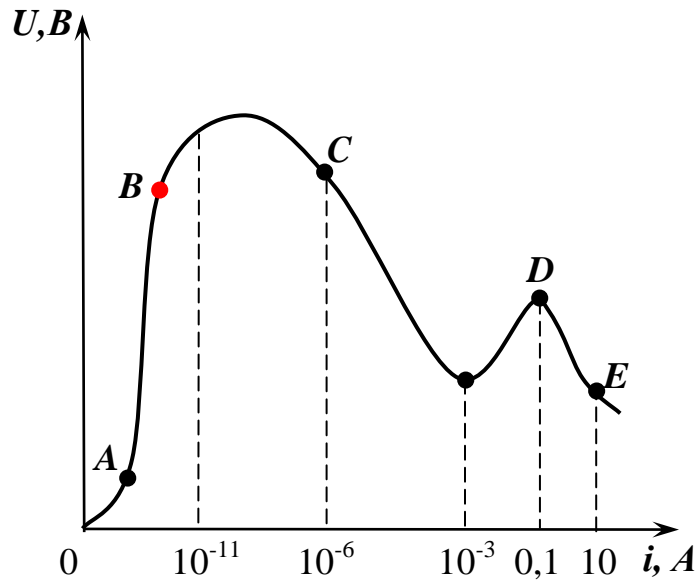


Рисунок 1.11 - ВАХ газового розряду

У зоні  $OA$  струм росте з ростом напруги, у зоні  $AB$  струм практично не змінюється – «зона насичення». Ділянка  $BC$  відповідає стадії пробою або таунсендовській стадії (по імені Таунсенда, що розробив математичну теорію цієї стадії). Найбільше характерні ознаки стадії пробою – ударна іонізація. Коли потужність джерела велика і достатня для підтримки струму, стадія пробою переходить до стадії тліючого розряду ( $CD$ ). Тліючий розряд виникає тоді, коли відключається струм нижче 0,1 А, а напруга на контактах досягає величини 250-300 В. Такий розряд зустрічається або на контактах малопотужних реле, або як перехідна фаза до розряду у вигляді електричної дуги.

Ділянка  $DE$  є перехідною від тліючого до дугового розряду.

Якщо струм в колі вище значень 0,03-0,9 А, то має місце дуговий розряд. Основні властивості дугового розряду:

1. Дуговий розряд має місце тільки при струмі в колі вище значень 0,03-0,9 А. Мінімальний струм дуги для металів становить 0,5 А.

2. Температура в середині дуги дуже велика і може досягати 6000-25000 К.

3. Щільність струму на катоді надзвичайно велика і досягає  $10^2-10^3$  А/мм<sup>2</sup>.

4. Падіння напруги у катода становить всього 10-20 В і практично не залежить від струму.

У дугового розряду можна розрізнити три характерні ділянки: *катодну* (К), *анодну* (А) і *зону основного стовпа* (С) (рисунок 1.12).

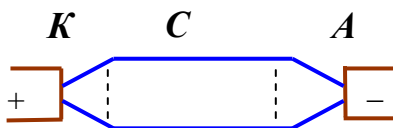


Рисунок 1.12 – Ділянки електричної дуги.

У порівнянні з основним стовпом дуги катодна й анодна зони мають меншу довжину і звужений перетин. Основний стовп дуги має високу температуру. Температура на поверхні катода  $T_K$  й анода  $T_A$  обмежена температурами кипіння металів, з яких виготовлені контакти.

Катодна й анодна зони дуги характеризуються відповідно: падінням напруги  $U_K = 10-30$  В і  $U_A = 6-15-30$  В, , градієнтом напруги (падіння напруги на одиницю довжини дуги) - до 40 і до 10 кВ/см, щільністю струму - до  $10^6$  і до  $10^5$  А/см<sup>2</sup>. Напруженість електричного поля в основному стовпі дуги однакова по довжині.

*Характеристики основного стовпа дуги визначаються* температурою газу, характером її розподілу по радіусу, який залежить від середовища й умов теплопередачі.

Розрізняють 3 зони дуги по перетину (рисунок 1.13): 1 - зона електропровідності, 2 - зона теплопровідності, 3 - зона конвекції.

*зона 1* – випромінювання електромагнітними хвилями і теплопровідністю (“удари” атомів і молекул);

*зона 2* - теплопровідністю і випромінюванням;

*зона 3* - конвекцією (переміщення потоку часток).

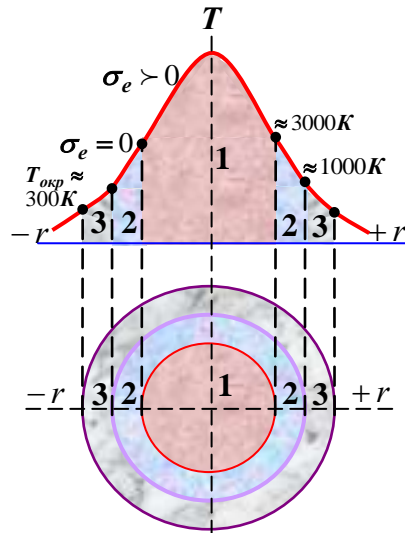


Рисунок 1.13 – Зони дуги по перетину

Теплопередача в зонах дуги здійснюється:

Розподіл падіння напруги по довжині електричної дуги

$$U_D = U_K + U_A + U_C \quad (1.13)$$

де  $U_D$  – падіння напруга на дуговому проміжку, В;

$U_K$  – падіння напруги на катоді, В;

$U_A$  – падіння напруги на аноді, В;

$U_C$  – падіння напруги в дуговому стовпі, В.

Розподіл падіння напруги по довжині електричної дуги наступне.

*Катодне падіння* – зосереджено на дуже невеликій ділянці дуги, що безпосередньо примикає до катода (близько 0,001 мм при нормальному атмосферному тиску). Середня напруженість електричного поля у катода досягає величини порядку 105 В / см.

*Анодне падіння напруги* – зосереджено в області, що безпосередньо примикає до анода. Величина анодного падіння напруги залежить від температури анода, роду металу і ін.

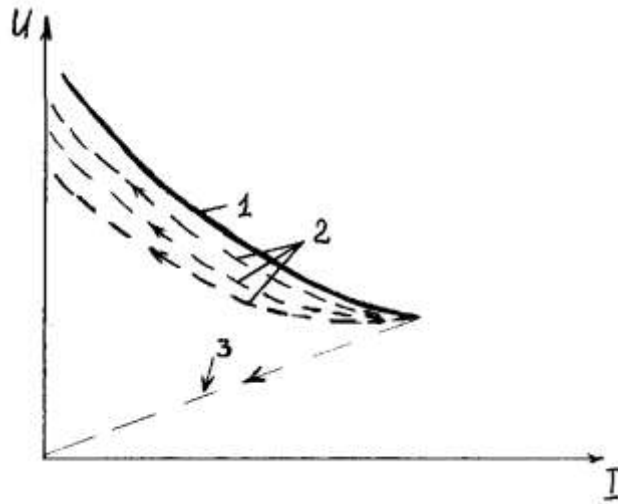
*Падіння напруги в дуговому стовпі* ( $U_C$ ) – являє собою добуток напруженості електричного поля ( $E_D$ ) на довжину стовпа ( $l_D$ )

$$U_{cm} = E_D \cdot l_D \quad (1.14)$$

## Статичні і динамічні характеристики електричної дуги.

### Способи гасіння електричної дуги

Основною характеристикою електричної дуги є вольт-амперна характеристика (рисунок 1.14).



1. Статична характеристика;
2. динамічні характеристики;
3. ідеальна динамічна характеристика – при миттєвому зміні струму

Рисунок 1.14 – ВАХ електричної дуги

При вільному горінні дуги ВАХ має спадаючий характер – зі збільшенням струму в дузі напруга на ній зменшується. Падіння напруги на дузі залежить не тільки від величини струму, але також від швидкості його зміни. При повільній зміні струму процеси іонізації і деіонізації встигають за змінами струму тому вольт-амперна характеристика, знята при таких умовах, носить назву *статична характеристика*.

При швидкій зміні струму процеси іонізації і деіонізації не встигають за змінами струму тому вольт-амперна характеристика, знята при таких умовах, носить назву *динамічною характеристикою*.

*Способи гасіння електричної дуги.* У сучасних апаратах гасіння дуги здійснюється в дугогасильних пристроях, завдання яких погасити дугу в малому обсязі (бажано замкнутому), за короткий час, при малому зносі частин апаратів, при малих звукових та світлових ефектах. Пристрої дугогасіння слід розглядати як засоби керування електричною дугою, для чого необхідно знати її властивості й характеристику.

До всіх дугогасних пристроїв висовуються наступні *вимоги*:

- 1) час гасіння дуги повинен бути мінімальним;
- 2) енергія, яка виділяється дугою повинна бути мінімальною;
- 3) при гасінні дуги не повинно виникати перенапруг;

*Способи впливу на електричні дуги з метою керування ними й гасіння їх засновані на розглянутих властивостях і характеристиках електричних дуг. До них належать:*

– подовження стовбура дуги шляхом переміщення електродів, впливом електромагнітних чи електродинамічних сил, впливом на дугу газового потоку;

– підвищення градієнта падіння напруги в дузі шляхом охолодження стовбура газовим потоком, збільшенням периметра поперечного переріза стовбура дуги;

– застосування середовища з газами підвищеної теплоємності для посилення теплорозсіювання від стовбура дуги;

- інтенсифікація добору тепла від катодної й анодної плям – збільшенням маси, теплопровідності й теплорозсіювання електродів.

Для обмеження теплового впливу дуги на деталі апарата, час її гасіння звичайно має не перевищувати 0,1 с. Існує мінімальна відстань між контактами  $l_{min}$  (мм), починаючи з якої створюються необхідні умови для видування дуги з контактів і розтягання її в дугогасному пристрої:

*Способи гасіння електричної дуги*

1. Гасіння дуги за допомогою дугогасильних решіток.
2. Гасіння дуги високим тиском.
3. Гасіння дуги у вузьких щілинах.
4. Застосування напівпровідникових приладів для гасіння дуги.

Розглянемо кожний з способів окремо.

1. *Гасіння дуги за допомогою дугогасильних решіток (рисунок 1.15)*

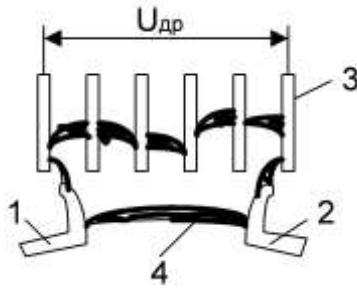


Рисунок 1.15 – Гасіння дуги в дугогасних решітках

Даний метод полягає в наступному: над контактами 1 і 2 розміщені нерухомі і ізольовані друг від друга сталеві пластини 3, які утворюють дугогасну решітку. Дуга 4, яка виникла при розмиканні контактів під магнітного поля, рухається вгору, втягується в дугогасну решітку і розбивається на ряд коротких дуг. На кожній пластині утворюються катод і анод. Падіння напруги на кожній парі пластин становить 20-25 В. В результаті за рахунок суми падінь напруги збільшується загальна напруга дуги і проходить її гасіння. Для полегшення входження дуги в решітку пластини мають клиновидний паз. Для того щоб дуга не утворилася рідких містків між пластинами, відстань між ними береться не менше 2 мм. При цьому напруга дуги зростає приблизно за лінійним законом, а тривалість горіння дуги зменшиться з зростанням швидкості розходження контактів і числа пластин, що припадають на одиницю довжини дуги.

### 2. Гасіння дуги високим тиском (рисунок 1.16)

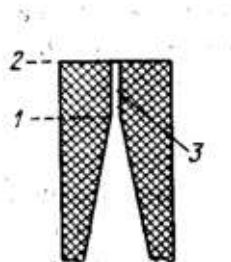
При незмінній температурі ступінь іонізації газу падає з ростом тиску, при цьому зростає теплопровідність газу. За інших рівних умов це призводить до посиленого охолодження дуги. В результаті дугу вдається погасити в невеликих щільно закритих камерах і зробив апарати абсолютно безпечними в пожежному відношенні.

### 3. Гасіння дуги у вузьких щілинах

Гасіння дуги в малому обсязі полегшується. Тому в комутаційних апаратах широко використовують дугогасильні камери з поздовжніми щілинами (вісь такий щілини збігається за напрямком з віссю стовбура дуги). Така щілина утворюється в камерах з ізоляційних матеріалів. Завдяки зіткненню дуги з холодними поверхнями відбуваються її інтенсивне охолодження, дифузія заряджених частинок у навколишнє середовище і



відповідно швидка деіонізація. Крім щілин з плоскопаралельними стінками, застосовують також щілини з ребрами, виступами, розширеннями. Все це призводить до деформації стовбура дуги і сприяє збільшенню площі зіткнення її з холодними стінками камери. Гасіння дуги за допомогою високого тиску, створеного самою же дугою в щільно закритих камерах, широко використовується в плавких запобіжниках і ряді інших апаратів.



1,2 – стінки дугогасильної камери, 3–поздовжня щілина.  
Рисунок 1.16 – дугогасильні камера з поздовжніми щілинами

#### 4. Застосування напівпровідникових приладів для гасіння дуги

Одним з перспективних шляхів підвищення ефективності комутації силових кіл, що дозволяє виключити виникнення дуги відключення або обмежити час її горіння, є використання силових напівпровідникових приладів (рисунок 1.17). Основними чинниками, що перешкоджають широкому застосуванню зазначених апаратів, навіть при низькій напрузі, є висока вартість, значні габарити, відсутність видимого розриву ланцюга, чутливість до перевантажень, швидкості наростання струму і напруги.

Принцип без дугової комутації полягає в шунтуванні головних контактів тиристорами в момент вібрації контактів, або їх розмиканні. Основним елементом схеми управління тиристорами 2 і 3 є трансформатор струму 4. При замиканні контактів 1 і появи струму в головному колі трансформатора струму 4 через діоди 5 і 6 подається відпираючий сигнал на управляючі електроди тиристорів 2 і 3. В момент розмикання контактів струм головного кола переходить в коло того із тиристорів провідне направлення якого співпадає з полярністю струму в комутуючому колі. Пряме падіння напруги на відкритому тиристорі складає 1,5-2,0 В, надійно захищає контактну пару від дугового. Повне відкриття тиристорів проходить при переході струму в тиристорі через нуль. Для

запобігання включення тиристорів при струмах короткого замикання, які викликають відкидання головних контактів, в пристрої застосована спеціальна схема захисту від струмів короткого замикання 7 і 8.

При струмах к.з. які перевершують 10 кратний номінальний струм контактора

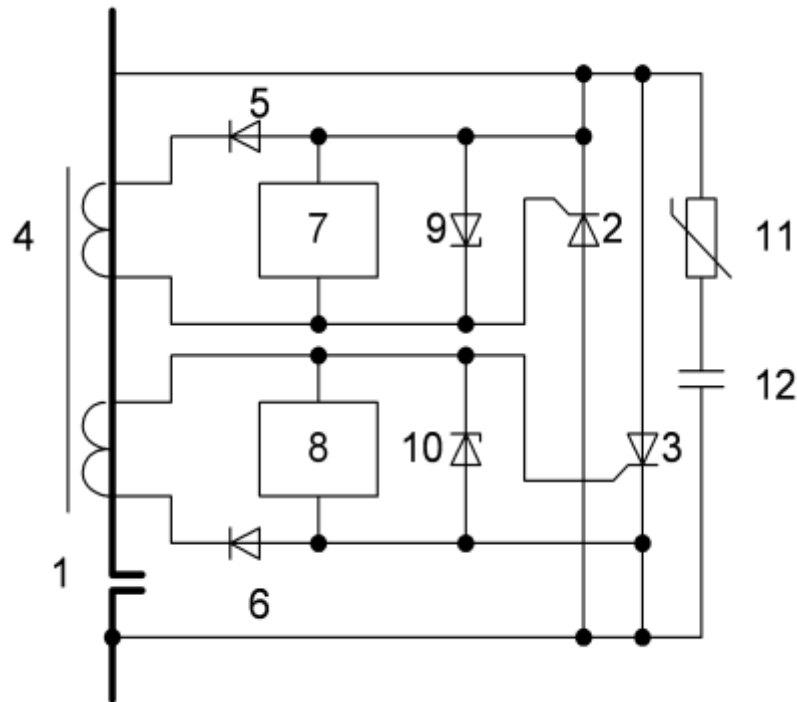


Рисунок 1.17 – Схема напівпровідникового приладу для гасіння дуги

схема захисту від к.з. спрацьовує і шунтує управляючі електроди тиристорів, предотвращая перехід струму в коло тиристорів. Стабілітрони 9 і 10 обмежують напругу на управляючих електродах до допустимої величини. Резистор 11 і конденсатор 12 служать для зниження швидкості зростання і амплітуди восстанавлюючогося напруги на контактах в моменти їх розмикання, а також захищає тиристири від короточасних перенапруг існуючої мережі.

### **Питання для самоперевірки**

1. Що називається електричним контактом?
2. Які контакти називають герконами?
3. Які існують види контактів за формою контактування?
4. Які вимоги висуваються до контактів?
5. З яких матеріалів виготовляють контакти?
6. Що розуміють під зазором контактів в контактних конструкціях тягових електричних апаратів?
7. Що називається провалом контактів контактних конструкцій тягових електричних апаратів?
8. Як впливає провал контактів на надійність контактних конструкцій тягових електричних апаратів.
9. Що викликає поверхневий опір контактів?
10. Залежить поверхневий опір від контактного натискання? Поясніть чому.
11. Залежить перехідний опір від температури контактів?
12. Залежить перехідний опір від стану контактної поверхні?
13. Залежить перехідний опір від властивостей матеріалу контактів?
14. Дайте визначення електричної дуги
15. За якої умови виникає електрична дуга в початковий момент розриву контактів?
16. Що розуміють під газовим розрядом в комутаційних електричних апаратах, призначених для замикання і розмикання електричного кола зі струмом?
17. Які способи гасіння дуги існують в комутаційних електричних апаратах?
18. Які вимоги висувають до дугогасних пристроїв?
19. Які можливі способи впливу на електричні дуги?
20. Чому використання силових напівпровідникових приладів дозволяє виключити виникнення дуги відключення або обмежити час її горіння?

### **Список літератури**

[1: с. 11-18], [2: с. 59-84; 88-120; 123-137; 154-180; 210-224], [3: с. 23-32], [4: с. 14-76; 86-91].

## ЛЕКЦІЯ 3

### План лекції

1.3.4 Види передачі тепла в електричних апаратах. Режими експлуатації електричних апаратів

1.3.5 Струмоведучі частини. Провід і шина

1.3.6 Ізоляція електричних апаратів її види.

1.3.7 Захисні оболонки електричних апаратів. Кліматичне виконання та категорії розташування.

### **1.3.4 Види передачі тепла в електричних апаратах. Режими експлуатації електричних апаратів**

Передача теплоти завжди йде від більш нагрітих тіл до менш нагрітих і відбувається доти, поки температура тіл не зрівняється. Що вища температура нагрітого тіла, то інтенсивніше буде відбуватися передача теплоти. Розрізняють три види передачі теплоти – теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням.

*Теплопровідність* – це властивість матеріалу передавати теплоту від більш нагрітих місць до менш нагрітих. Передача теплоти може відбуватися всередині одного тіла, між двома дотичними тілами і між двома тілами, розділеними третім.

Теплопровідні властивості середовища характеризуються коефіцієнтом теплопровідності, який чисельно дорівнює кількості теплоти, що проходить через площадку  $1 \text{ м}^2$  протягом 1 секунди при перепаді температури  $1 \text{ К/м}$ . Цей коефіцієнт позначають  $\lambda$  і вимірюють у Ватах на метр – кельвін.

*Конвекція*. Газ чи рідина, що стикаються з поверхнею нагрітого тіла (апарата), нагріваються з цієї поверхні. Нагрівання дотичних шарів відбувається за рахунок теплопровідності. Нагріті шари – легші, ніж сусідні, більш холодні шари навколишнього середовища, – піднімаються вгору, несуть відібрану від нагрітого тіла теплоту. Зазначений фізичний процес називається тепловіддачею через конвекцію.

Якщо швидкість руху часток охолоджуючого середовища визначають тільки ступенем їхнього нагрівання на поверхні гарячого тіла, то конвекція називається природною.

Якщо швидкість руху часток охолоджуючого середовища задається примусово (за допомогою вентиляторів, насосів), то конвекція називається штучною.

*Теплове випромінювання.* Випромінювання – це процес переносу теплової енергії від нагрітого тіла до тіл, що розташовані в навколишньому просторі. Процес здійснюється електромагнітними коливаннями з різною довжиною хвилі.

Фізичні властивості теплових і світлових променів подібні. І ті й інші поширюються зі швидкістю світла, здатні переломлюватися і відзеркалюватися при зустрічі з якимись поверхнями.

Поверхню, що відбиває від себе всі падаючі на неї промені, називають *абсолютно білою поверхнею*. Поверхню, що повністю поглинає всі падаючі на неї промені, називають *абсолютно чорною*. Випромінювальна здатність інших тіл порівнюється з випромінювальною здатністю абсолютно чорного тіла як еталоном.

Електричні апарати є складними електротехнічними пристроями, що містять багато елементів, одні з яких є провідниками електричних струмів, інші - провідниками магнітних потоків, а треті служать для електричної ізоляції. Частина елементів може переміщатися в просторі, передаючи зусилля інших вузлів і блокам. Робота великої частини апаратів пов'язана з перетворенням одних видів енергії в інші. При цьому, як відомо, неминучі втрати енергії і перетворення її в теплоту.

Втрати теплоти в електричних апаратах можна розділити:

– *Втрати тепла при роботі апарату в його струмоведучих частинах.* Нагрівання струмоведучих частин та ізоляції апарату в значній мірі визначає його надійність. Тому у всіх можливих режимах роботи температура частин апарату не повинна перевищувати таких значень, при яких забезпечується його тривала надійна робота. В апаратах постійного струму нагрівання відбувається тільки за рахунок втрат в електричному опорі струмоведучих частинах. При змінному струмі активний опір провідника відрізняється від електричного опору при постійному струмі через виникнення *поверхневого ефекту* і *ефекту близькості*.

*Поверхневий ефект* - витіснення потоку і струму від осі провідника до його поверхні. Таким чином, поверхневий ефект призводить до зменшення перерізу провідника, по якому проходить струм (активного перетину), і, як слід, до підвищення його опору в порівнянні з опором постійному струму.

*Ефект близькості.* При близькому розташуванні провідників магнітне поле сусіднього провідника перетинає даний провідник і наводить у ньому ЕРС. Ця ЕРС створює струм у тілі провідника, що складається геометрично з основним струмом. У результаті струм розподіляється по перетину провідника нерівномірно, спричиняючи зміну розрахункового його активного опору.

*Втрати тепла в неструмоведучих феромагнітних частинах.*

При змінному струмі, крім активних втрат в струмоведучих частинах, з'являються активні втрати в феромагнітних деталях апаратів, розташованих в змінному магнітному полі за рахунок гістерезису і вихрових струмів.

Кількість втраченої енергії на *гістерезис* (перемагнічування феромагнітного магнітопроводу) залежить від магнітних властивостей феромагнітного матеріалу: магнітної проникності, петлі гістерезису і частоти змінного струму. Чим вужча петля гістерезису, тим менше струму споживається магнітопроводом, а в квадраті від його значення зменшуються втрати на гістерезис. Втрати електричної енергії від частоти прямо пропорційні: із збільшенням частоти збільшуються втрати електричної енергії.

Змінний струм у котушці створює змінний магнітний потік у магнітопроводі. В наслідок явища електромагнітної індукції в магнітопроводі з'являються е.р.с. самоіндукції і вихрові струми таких напрямків, при яких створюються ними потоки протидіють зміні основного потоку. Через розмагнічуючи дії цих потоків, магнітний потік по перетину розподіляється нерівномірно. Товщина шару, протягом якого індукція постійна, називається глибиною проникнення потоку. Ефект цей аналогічний поверхневому ефекту у провідників.

*Нагрівання котушок електричних апаратів.* Котушка електричних апаратів має в своїй конструкції: провідник, ізоляцію і прошарки повітря чи просочуючого матеріалу (лак, компаунд). Теплота, що виділяється по

всьому обсягу котушки, має проходити до поверхні через матеріали з різною теплопровідністю. У середині котушки температура буде вищою, ніж на поверхні. Чим щільніша котушка, тим краща теплопровідність між шарами і тим меншою буде різниця температур між зовнішньою поверхнею і внутрішніми шарами. Просочення і компаундування підвищують загальну теплопровідність котушки, а тим самим і тепловіддачу на  $5 \div 10$  °С.

Різні ділянки поверхні котушки в різній мірі беруть участь у тепловіддачі. Зовнішня бічна поверхня, як правило, буває відкритою і є основною тепловіддаючою поверхнею. Тепловіддача з неї відбувається головним чином за рахунок природної конвекції. Всередині котушки проходить осердя. Через малі зазори між осердям і котушкою конвекція тут утруднена, але коли осердя щільно прилягає до котушки, то тепловіддача з внутрішньої поверхні котушки йде за рахунок теплопровідності. Тепловіддача залежить від щільності притискання котушки до осердя, від розміру тепловіддаючої поверхні магнітопроводу. Торцеві поверхні котушки звичайно закриті ізоляційними кріпильними деталями з низькою теплопровідністю. У довгих котушках тепловіддачею з торців можна знехтувати, в коротких котушках її слід урахувати.

### **Режими експлуатації електричних апаратів**

При експлуатації електричні апарати можуть мати наступні режими роботи:

*тривалий* - при якому температура апарату досягає сталого значення і апарат при цій температурі залишається йод навантаженням як завгодно тривалий час;

*переривчасто-тривалий* - при якому апарат залишається під навантаженням при сталому значенні температури обмежене технічними умовами час;

*повторно-короткочасний* - при якому, температура частин електричного апарату за час навантаження не досягає усталеного значення, а за час паузи не досягає температури холодного стану;

*короткочасний* - при якому в період навантаження температура частин електричного апарату досягає сталого значення, а в період відсутності навантаження досягає температури холодного стану;

*короткого замикання* - це окремий випадок короткочасного режиму роботи, коли температура частин електричного апарату значно перевершує сталу температуру при нормальному режимі роботи

### **1.3.5 Струмоведачі частини. Провід і шина**

До складу струмоведачих частин апаратів входять провідники різних видів, що є як частиною апарату, так і використовуються для з'єднання його з іншими елементами устаткування.

*Провід* електрорухомого складу працює в особливих умовах і тому відрізняється від проводу стаціонарного устаткування. Найчастіше використовують одножильний провід підвищеної гнучкості з мідними жилами, посиленою гумовою ізоляцією й посиленим протигнільним оплетенням марки ПС, чи в гумових шлангах марки ПСШ, а також провід і кабель ППСРВМ та ППСРМО для електрорухомого складу, рейкового транспорту й тролейбусів.

Провід з'єднують затискними контактами, обов'язково передбачають заходи, що запобігають саморозгвинчуванню. Через недостатню стійкість до трясіння поза апаратами *не можна* нарощувати провід пайкою, крім мало відповідальних відгалужень (наприклад, до освітлювальної арматури). Усі з'єднання роблять на затисках апаратів; на кожний затиск можна встановлювати два – три наконечники проводу.

Усі розбірні електричні з'єднання здійснюють, застосовуючи наконечники. Не допускають використовувати кільця, скрутки.

*Шину* прямокутного перерізу доцільно встановлювати на вузьке ребро й фарбувати в чорний колір. Необхідну площу перерізу шини за цих умов визначають густиною струму в ній. Для нормально охолоджуваної шини з міді, встановленої на вузьке ребро, приймають густину струму  $j = (4-6) \text{ А/м}^2$ .

### **1.3.6 Ізоляція електричних апаратів і її види**

Струмоведачі частини апаратів під час роботи знаходяться під напругою та повинні бути ізольовані. Надійність роботи апарату, його маса, габарити та вартість в значній мірі обумовлені ізоляцією. Особливо це



відноситься до апаратів з номінальною напругою вище 3 кВ. Ізоляція апарату залежить від його номінальної напруги.

*Під номінальною напругою апарату* розуміють лінійну напругу трифазної системи, у якій повинен працювати апарат. У апаратах постійного струму номінальна напруга апарату рівна напрузі між затискачами джерела енергії.

Номінальна напруга визначає властивості ізоляції або клас ізоляції апарату.

Через особливості умов роботи апаратів та вимог експлуатації вони поділяються на апарати з номінальною напругою до 1000 В та вище 1000 В. Для компенсації падіння напруги в мережі та в обмотках джерел живлення напруга на затискачах цих джерел підтримується дещо вищою за номінальну.

Тому, окрім номінальної напруги, встановлюється найбільша робоча напруга, при якій апарат повинен працювати як завгодно довго. У апаратах з  $U_{\text{ном}} < 1000$  В найвища робоча напруга складає  $1,05 U_{\text{ном}}$ . Для апаратів з  $U_{\text{ном}} > 1000$  В найвища робоча напруга складає  $1,15 U_{\text{ном}}$ , якщо  $U_{\text{ном}} < 220$  кВ. Для апаратів  $U_{\text{ном}} = 330$  кВ найвища робоча напруга на 10% вища номінальної, а при  $U_{\text{ном}} = 500$  кВ найвища робоча напруга на 5% вища номінальної.

У апаратах на напругу вище 1000 В розрізняють зовнішню та внутрішню ізоляцію.

*Внутрішня ізоляція* – це частина конструкції апарату, де ізолюючим середовищем служить рідкий, напіврідкий, твердий діелектрик або газ під тиском. Електрична міцність цієї ізоляції визначається пробоем проміжків у цьому середовищі або перекриттям у рідкому чи напіврідкому діелектрику по ізолюючим поверхням. Основною властивістю внутрішньої ізоляції є практична незалежність її електричної міцності від зовнішніх атмосферних умов.

*Зовнішня ізоляція* – частина ізолюючого пристрою, де ізолюючим середовищем служить атмосферне повітря та електрична міцність якої визначається пробоем повітряних проміжків або перекриттям у повітрі по ізолюючим поверхням. Основною ознакою зовнішньої ізоляції є залежність її міцності від атмосферних умов.

### 1.3.7 Захисні оболонки електричних апаратів

Для захисту персоналу від торкання з струмоведучими чи рухомими частинами та захисту апарату від проникнення в нього стороннього тіла в апараті встановлюються спеціальні оболонки.

Згідно ДОСТ 14254-80 захисні оболонки позначаються буквами IP та двома цифрами. Перша означає ступінь захисту від торкання персоналу до небезпечних деталей апарату, друга – захист від проникнення до апарату сторонніх тіл та рідин.

**IP00.** Відкрите виконання. Захист персоналу від торкання до струмоведучих та рухомих частин відсутній. Сторонні тіла можуть проникати в середину апарату.

**IP20.** Захищене виконання. Оболонка таких апаратів захищає від випадкового торкання до струмоведучих чи рухомих частин або від проникнення всередину апарату сторонніх предметів діаметром 12 мм, довжиною 80 мм.

**IP22.** Додатково до властивостей виконання IP20 оболонка захищає від шкідливої дії крапель рідини, які падають на стінку оболонки під кутом  $15^{\circ}$ .

**IP23.** Додатково до властивостей виконання IP20 оболонка захищає від дощу, падаючого під кутом  $60^{\circ}$  до вертикалі.

**IP40.** Оболонка апарата захищає від проникнення всередину апарату дрібних предметів (діаметр більше 1 мм).

**IP42.** Додатково до властивостей виконання IP40 оболонка захищає від дії крапель рідини, як у IP22.

**IP44.** Додатково до властивостей виконання IP40 оболонка захищає від шкідливої дії бризок рідини, падаючої під будь-яким кутом до стінок оболонки.

**IP50.** Оболонка апарата захищає від шкідливої дії пилу (допускається проникання всередину невеликої кількості талькової пудри, яка не порушує нормальної роботи апарату).

**IP60.** Пиловзахисне виконання. Оболонка повністю перешкоджає проникненню пилу (талькової пудри).

**IP65.** Пиловодозахисне виконання. Додатково до властивостей виконання .

**IP60.** Оболонка захищає від дії струменів рідини, падаючих під будь-яким кутом до її поверхні.

**IP66.** Пиловодонепроникне виконання. Додатково до властивостей виконання IP60 оболонка забезпечує повний захист від проникнення води в середину апарату при дії струменів рідини, падаючих під будь-яким кутом до її поверхні (морське виконання).

**IP67.** Герметичне виконання. Додатково до властивостей виконання IP60 оболонка забезпечує повну герметичність апарату.

Вплив механічних та кліматичних факторів на електричні апарати в умовах експлуатації регламентується діючими стандартами ДОСТ 15150-69, ДОСТ 5543-70.

Під кліматичними факторами розуміють вплив температури, вологості, тиску (висота над рівнем моря), дощу, вітру, снігу, пилу тощо. У технічних умовах на електричні апарати завжди даються значення кліматичних факторів, в межах яких забезпечується нормальна робота апарату.

У таблиці 1.1 наведено кліматичні виконання електричних апаратів, які призначені до експлуатації на суші, озерах, ріках.

Таблиця 1.1 – Кліматичні виконання електричних апаратів

Виконання для мікрокліматичних районів	Позначення		
	російське	латинське	цифрове
Помірний У N 0	У	N	0
Помірний та хо- лодний УХЛ NF 1	УХЛ	NF	1
Вологий тропіч- ний ТВ ТН 2	ТВ	ТН	2
Сухий тропічний ТС ТА 3	ТС	ТА	3
Сухий та вологий тропічний Т Т 4	Т	Т	4

Виконання для мікрокліматичних районів	Позначення		
	російське	латинське	цифрове
Усі мікрокліматичні райони на суші, окрім районів з вельми холодним кліматом: загально-кліматичне виконання	О	U	5

У таблиці 1.2 наведено виконання в залежності від місця розташування електричних апаратів.

Таблиця 1.2 – Категорії розташування електричних апаратів для експлуатації

Категорії розташування для експлуатації	Позначення
На відкритому повітрі	1
Під навісом чи в приміщенні, де коливання температури і вологості не суттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі	2
У закритих приміщеннях з природною вентиляцією без штучної підтримки кліматичних умов	3
У приміщеннях з штучним підтриманням кліматичних умов	4
У приміщеннях з високою вологістю (неопалювані, невентильовані приміщення, шахти, підвали)	5

Потрібно зазначити, що на роботу електричних апаратів впливає атмосферний тиск. Від щільності повітря залежить міцність ізоляції та охолодження електричних апаратів.

Більшість електричних апаратів виготовляються для роботи на висоті 100 м над рівнем моря, але електричні апарати можуть працювати й на більшій висоті. При цьому у відповідних стандартах чи технічних умовах вказується зменшення номінального навантаження на кожні 100 чи 1000 м висоти, яка перевищує нормальну (1000 м).

Електричні апарати літаків працюють на висотах значно більше 1000 м, тому для таких апаратів тиск регламентується в межах  $70 \div 1,3 \cdot 10^{-4}$  кПа.

В залежності від вмісту корозійно-активних агентів *оточуюча атмосфера* поділяється на 4 типи:

I – умовно-чиста оточуюча атмосфера (сірчистий газ – не більше 20 мг/м<sup>2</sup> за добу та не більше 0,025 мг/м<sup>3</sup>, хлориди – менше 1 мг/м<sup>2</sup> за добу);

II – оточуюча атмосфера промислова (сірчистий газ - 20÷110 мг/м<sup>2</sup> за добу та 0,025÷0,13 мг/м<sup>3</sup>, хлориди – менше 0,3 мг/м<sup>2</sup> за добу);

III – оточуюча атмосфера морська (сірчистий газ – не більше 20 мг/м<sup>2</sup> за добу та не більше 0,025 мг/м<sup>3</sup>, хлориди – 30÷300 мг/м<sup>2</sup> за добу);

IV – оточуюча атмосфера приморсько-промислова (сірчистий газ - 20÷110 мг/м<sup>2</sup> за добу та 0,025÷0,13 мг/м<sup>3</sup>, хлориди – 0,3÷50 мг/м<sup>2</sup> за добу).

При замовленні електричних апаратів потрібно вказувати:

- виконання,
- категорію розташування,
- тип середовища, в якому працює електричний апарат,
- максимальну висоту встановлення апарату над рівнем моря.

Кліматичне виконання та категорія розміщення вказуються в кінці скороченого позначення електричного апарату.

Наприклад, вимикач електромагнітний ВЭ-10-1250-20-УЗ.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які існують види передачі тепла в електричних апаратах?
2. Яку властивість матеріалу називають теплопровідністю?

3. Що розуміють під конвекцією газу або рідини?
4. Який процес називають тепловим випромінюванням?
5. За рахунок якого параметру струмоведучих частин відбуваються втрати тепла в електричних апаратах постійного струму?
6. За рахунок яких ефектів активний опір провідника змінному струму відрізняється від електричного опору постійному струму?
7. Як змінюється активний опір провідника при збільшенні частоти змінного струму?
8. Що розуміють під гістерезисом феромагнітного матеріала?
9. З якої причини виникає перемагнічування феромагнітного матеріала?
10. Які негативні наслідки викликає гістерезис у феромагнітопроводах?
11. З якої причини виникає е.р.с. самоіндукції в феромагнітопроводі?
12. Від яких конструктивних особливостей котушки залежить її тепловіддача?
13. Які існують режими експлуатації електричних апаратів?
14. Яке призначення зачисних оболонок електричних апаратів?
15. Які кліматичні фактори впливають на роботи електричних апаратів?
16. Назвіть кліматичні виконання електричних апаратів.
17. При збільшенні атмосферного тиску можна збільшувати чи зменшувати навантаження на електричні апарати?
18. Які категорії розташування електричних апаратів для експлуатації відому?
19. На які типи поділяється оточуюча атмосфера в залежності від вмісту корозійно-активних агентів?
20. Яку напругу розуміють під номінальною напругою апарата: фазну або лінійну?
21. За рахунок чого можна зменшити втрати активної потужності на гістерезис у феромагнітному магнітопроводі?
22. Назвіть способи зменшення втрат на вихрові струми у феромагнітному магнітопроводі?

### **Список літератури**

[1: с. 48-56], [2 с. 75-81;692-695], [4: с. 62-76], [5: с. 70-74;160-161; 176].

## ЛЕКЦІЯ 4

### ТЕМА 2. ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ ДО 1000 В

#### План лекції

2.1 Комутаційні апарати розподільчих пристроїв.

2.1.1 Рубильники та пакетні перемикачі.

2.1.2 Контактори та магнітні пускачі.

2.1.3 Гібридні та комбіновані силові апарати.

#### 2.1 Комутаційні апарати розподільчих пристроїв

##### 2.1.1 Рубильники та пакетні перемикачі

Рубильник призначений для ручного включення та відключення струму у колах з напругою джерела живлення 220/380 В при постійному та змінному струмі (рисунок 4.1).



Рисунок 2.1 – Рубильники для ручного включення та відключення струму у колах

Рубильники випускаються у одно-, двох- та трьохполюсному виконаннях. На рисунку 2.2 зображено рубильник з центральною ручкою. Рухомий контакт – ніж 1 обертається у шарнірній стійці 2. При обертанні ручки за годинниковою стрілкою між ножем та контактом нерухомої стійки 3 загоряється дуга.

Гасіння дуги постійного струму при невеликих значеннях струму відбувається за рахунок механічного подовження дуги рухомим ножем. Чим більша швидкість руху контакту, тим більша швидкість дуги і менший час її горіння.

При відключенні великих струмів вирішальним фактором є електродинамічні сили. Ця сила, яка діє на одиницю довжини дуги, приблизно обернено пропорційна довжині ножа. У зв'язку з цим довжина ножа може бути досить малою та вибирається такою, щоб забезпечити гасіння малих струмів (менше 75 А).

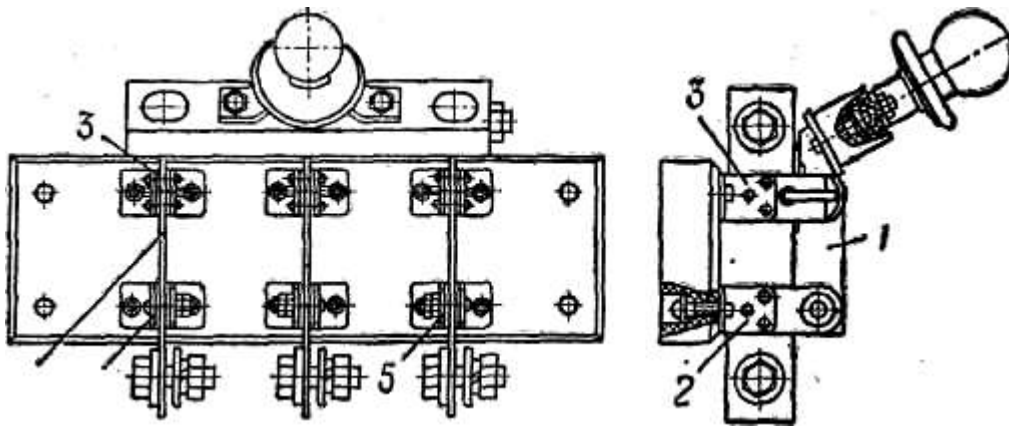


Рисунок 2.2. Трьохфазний рубильник з центральною ручкою

### Структура позначення рубильників Р та РП

$$\frac{P(\Pi)}{1} \frac{XX}{2} \frac{XX}{3} \frac{X}{4} \frac{X}{5} \frac{X}{6} \frac{XX}{7} \frac{XX}{8}$$

1 - серія;

2 - позначення виду приводу ручки: 11 - бічна несъемная, 15 - бічна винесена, 16 - бічна винесена знімна, 19 передня (центральна) несъемная;

3 - умовні позначення номінального току: 30 - 80 А, 31 - 100 А, 34 - 300 А, 35 - 250 А, 36 - 320 А, 37 - 400 А, 38 - 500 А, 39 - 630 А;

4 - кількість полюсів: 1, 2, 3;

5 - наявність дугогасних камер: 1, 3, 5, 7 - із камерами, 2, 4, 6, 8 - без них;



- 6 - наявність допоміжних контактів: 0 - без допоміжних контактів, 1 - із ними;
- 7 - ступінь захисту: 00 - IP00, 32 - IP32, 54 - IP 54;
- 8 - кліматичне виконання і категорія розміщення ; У, ХЛ, Т (1 або 3).

### **Вибір рубильників**

- по типу або серії;
- по номінальній напрузі:  $U_H \geq U_C$ .
- по виконанню вида приводу ручки; кількості полюсів;
- наявності дугогасної камери;
- наявності допоміжних контактів.
- ступеню захисту;
- кліматичного виконання і категорії розміщення.

*Приклад:* P16 3422054У1 - рубильник із бічною винесеною ручкою,  $I_H = 200$  А, 3-х полюсний, без дугогасних камер і додаткових контактів, ступінь захисту IP54, кліматичне виконання У, категорія розміщення 1.

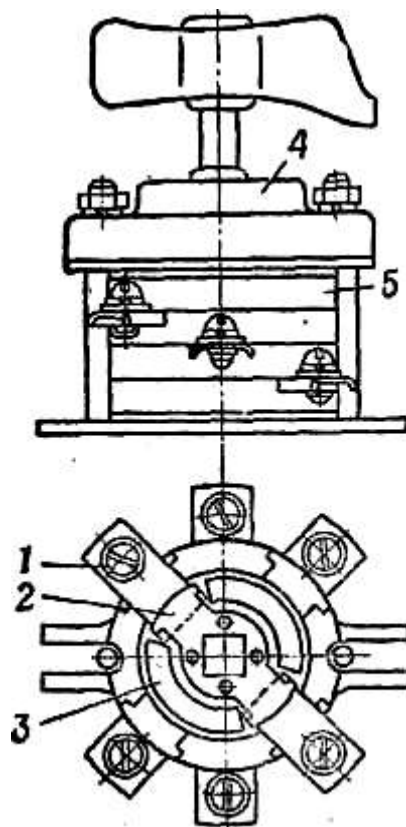
### **Пакетні вимикачі та перемикачі**

Перемикач, на відміну від рубильників, має дві системи нерухомих контактів і три комутаційних положення: у середньому положенні ножів електричні кола розімкнуті (рисунки 2.3, 2.4).



Рисунок 2.3 – Пакетний перемикач ПКП Е9

Пакетні вимикачі та перемикачі є багатовступінчатыми багатоланцюговими апаратами, призначеними для нечастих комутацій у електричних колах з невеликою потужністю (струми до 400 А).



1 – нерухомий контакт; 2 – рухомий контакт; 3 – щічки;  
4 – приводний механізм; 5 – окремі пакети.

Рисунок 2.4 – Пакетний вимикач серії ПВМ.

Пакетні перемикачі складаються з окремо зв'язаних разом пакетів 5 та приводного механізму 4. Пакет утворює один полюс перемикача. Всередині пакета розміщені контактна та дугогасильна системи. Кожний полюс має два розриви. Нерухомі контакти 1 виконані у вигляді масивних пластин з латуні. Рухомий контакт 2 насаджений на квадратний ізолюваний вал перемикача та має обертальний рух. Натискання контактів створюється за рахунок пружних властивостей губок рухомого контакту 2. Отвір у рухомому контакті може мати форму восьмигранної зірки, що дозволяє змінювати його положення відносно нерухомих

контактів. До рухомого контакту прикріплені дві щічки з фібрових пластин. Відстань між ними трохи більша товщини нерухомого контакту, щоб рухомий контакт вільно обертався всередині пакету. Рух рухомого контакту створюється за допомогою приводного механізму. При повертанні приводної рукоятки заводиться спеціальна пружина.

Спеціальна засувка не дає повертатися валу перемикача слідом за пружиною. У певному положенні рукоятки момент, який розвивається пружиною, стає більшим за момент тертя у засувці та вал повертається у наступне комутаційне положення, де він фіксується засувкою. Така система привода створює необхідну швидкість руху контактів.

Пакетні вимикачі та перемикачі мають більше переваг порівняно з рубильниками. Вони мають малі габарити, зручні у монтажі. Дуга гаситься у замкнутому об'ємі, без викидів вогню та газів. Контактна система дозволяє керувати одночасно великою кількістю електричних кіл. Ці вимикачі мають високу вібро- та ударостійкість. Але пакетні перемикачі мають суттєвий недолік, який обмежує їх строк служби: швидкий знос контактної системи та приводного механізму.

Допустиме число операцій включення – відключення для пакетних перемикачів на номінальний струм від 10 до 60 А при напрузі 220 В складає 20000, а при номінальних струмах від 100 до 400 А всього 1000. у сильно індуктивному електричному колі допустиме число операцій скорочується вдвічі.

## **2.1.2 Контактори та магнітні пускачі**

### **Контактори**

Контактор – це одноступінчатий апарат, призначений для частих дистанційних включень та відключень електричних силових електронічних кіл при нормальних режимах роботи. Загальний вигляд контакторів наведений на рисунку 2.5.

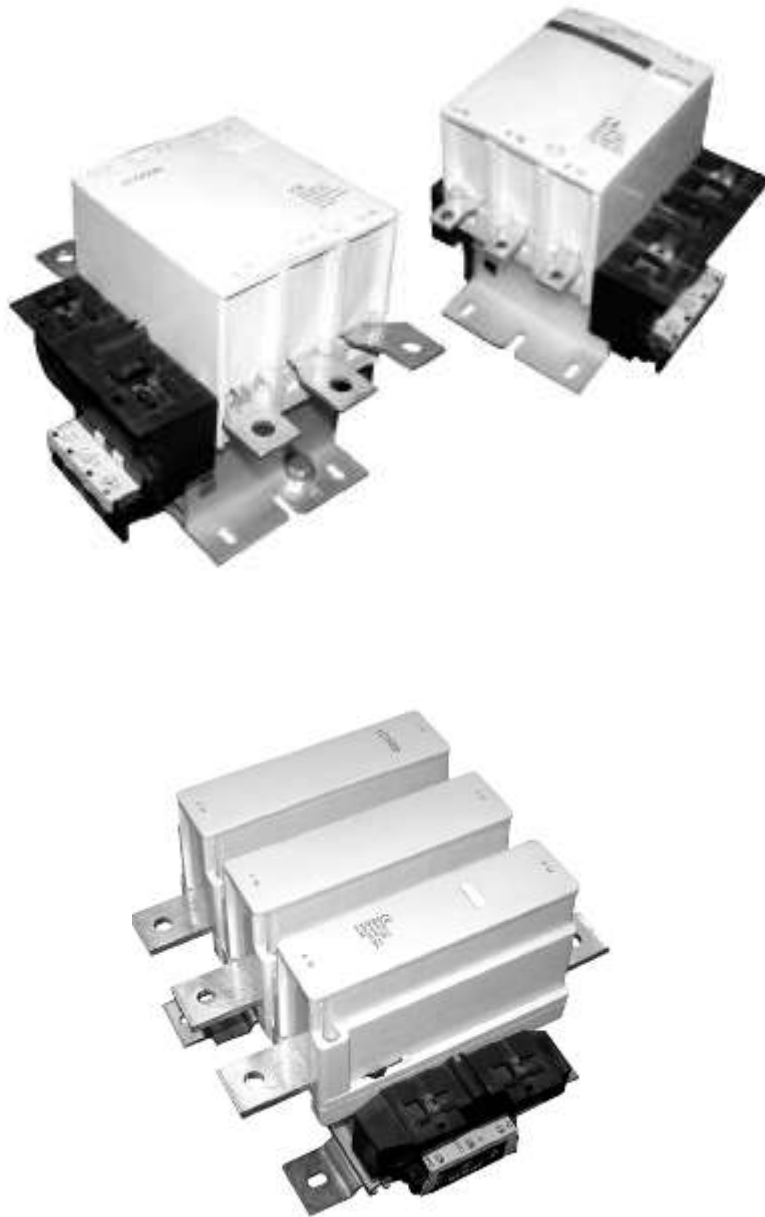


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд контакторів електромагнітних КМ

*В залежності від роду енергії привода контактори бувають:*

1. Електромагнітні, які спрацьовують за рахунок дії сил електромагніта.
2. Гідравлічні, які спрацьовують за допомогою дії сил стиснутої рідини;

3. Пневматичні, які спрацьовують за рахунок дії сил стиснутого повітря.

4. Електричні напівпровідникові, які спрацьовують за рахунок керування силових тиристорів.

Контактори постійного струму призначені для роботи у мережах постійного струму та поділяються на силові контактори (для замикання чи розмикання силових електричних ланцюгів) та контактори прискорення (для закорочування окремих ступіней пускового реостата у функції вибраного параметра – для пуску електродвигунів постійного струму).

Електромагнітні контактори представляють собою пристрої, магнітопроводи яких розділені на дві частини: рухому, жорстко закріплену в основу з термостійкої пластмаси, та рухому з закріпленими контактами для комутації електричного ланцюга. Управління роботою КМ здійснюється за допомогою електромагнітної котушки, яка розміщена на середньому стержні нерухомої частини Ш-подібного магнітопровода (рисунок 4.5). Електромагнітна система представляє собою процесор, який складається з реле контролю часу включення, діодного випрямляча, комутатора котушок та самих котушок (пускової та утримання). Таким чином, пояснюється нормований час включення, мінімальне споживання в режимі утримання (не більше 10 Вт) та виключення «прозвонки» тестером електромагнітної системи. Додатковими пристроями для контакторів КМ служать приставки контактні ДК та пневматичні приставки витримки часу БЗ.

*Принцип дії контактора:* під дією електромагнітного поля соленоїда, яке виникає при протіканні через нього електричного струму, відбувається замикання двох частин магнітопровода з подоланням опору возвратної пружини, а також пружин силових рухомих контактів. При цьому силові контакти також замикаються, відбувається комутація. Для ліквідації ефекту вібрування з частотою 50 Гц у полюсні стержні магнітопровода напресовані масивні, короткозамкнуті алюмінієві кільця.

Контактори змінного струму в залежності від мережі змінного струму бувають промислової частоти (50 Гц) та підвищеної частоти (до 10 кГц).

Розглянемо принцип дії однополюсного напівпровідникового кон-

тактора (рисунок 2.6).

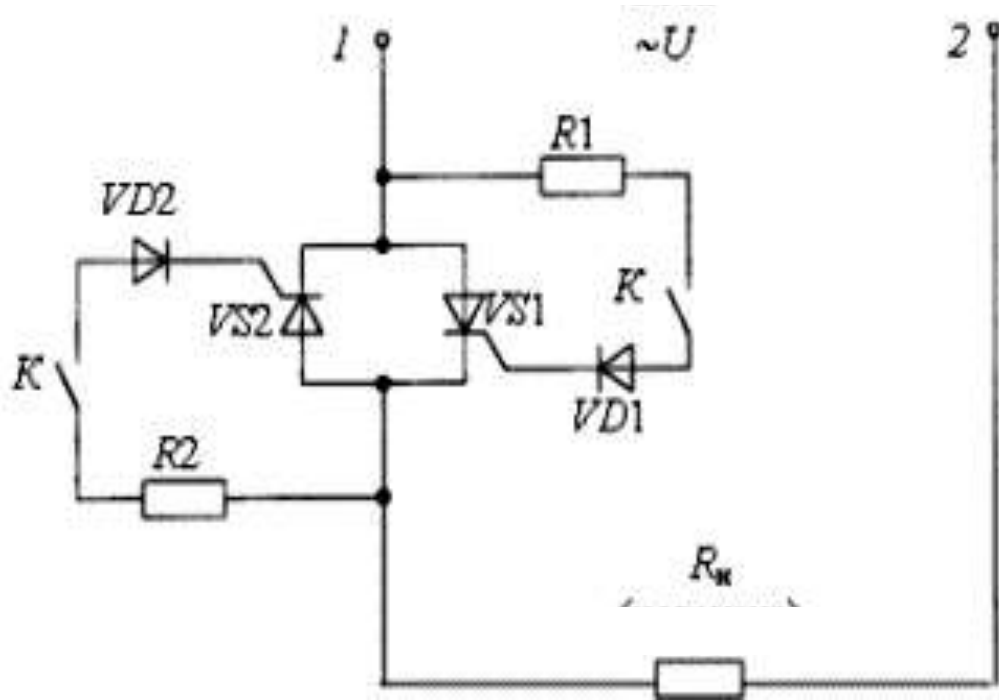


Рисунок 2.6 – Принципова електрична схема керування напівпровідниковим однополюсним контактором

Для вмикання контактора і подачі напруги на навантаження повинні замкнутись контакти  $K$  в колі управління тиристорів  $VS1$  и  $VS2$ . Якщо в цей момент на зажимі 1 позитивна полу хвиля синусоїди змінного струму то на управляючому тиристорі  $VS1$  буде подано через резистор  $R1$  і діод  $VD1$  позитивна напруга. Тиристор  $VS1$  відкриється і через навантаження  $Rn$  піде струм.

При зміні полярності напруги мережі відкриється тиристор  $VS2$ , таким чином, навантаження буде підключено до мережі змінного струму. При відключенні контактами  $K$  розмикається коло управляючих електродів, тиристори закриваються і навантаження відключається від мережі.

## Структура позначень контакторів

$\underline{KM\ 15} - \underline{XX}\ \underline{X}\ \underline{X}\ \underline{XX}\ \underline{X}\ \underline{00}\ \underline{XX}$   
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

- 1 – контактор електромагнітний;
- 2 – номер серії;
- 3 – номінальний струм: 33 – 160А; 35 – 250А; 37 – 400А; 39 – 630А;
- 4 – режим роботи: « - » переривчасто-тривалий; С – тривалий;
- 5 – рід струму головного кола і кола керування: 3 – головне коло змінного струму, котушка постійного струму; 4 - головне коло постійного струму, котушка змінного струму; 5 - головне коло і котушка постійного струму;
- 6 – кількість головних замикаючих контактів: 1,2,3,4,5;
- 7 – кількість головних розмикаючих контактів: 0 – відсутні, 1 – один контакт;
- 8 – наявність допоміжних контактів і механічним блокуванням: 1 – з допоміжним контактом без механічного блокування; 3 - з допоміжним контактом з механічним блокуванням;
- 9 – ступінь захисту IP00;
- 10 – кліматичне виконання і категорія захисту: У3; ХЛ3;Т3.

Наприклад, контактор КМ15-33-320100У3:

Контактор електромагнітний,  $I_n = 160\text{А}$ , режим роботи переривчасто-тривалий, головне коло змінного струму, котушка постійного струму, 2 головних замикаючих контакта, розмикаючі відсутні, з допоміжним контактом без блокування, кліматичне виконання і категорія розміщення У3.

### Вибір контакторів

Вибір контакторів (КМ) виконується за такими показниками і умовам

1. За типом або серією;
2. За номінальною напругою з умови:

$$U_{HKM} \geq U_M, \quad (2.1)$$

де  $U_{HKM}$  – номінальна напруга магнітного контактора, В;

$U_M$  – номінальна напруга мережі живлення, В.

3. За номінальним струмом магнітного контактора з умови

$$I_{HKM} \geq I_p, \quad (2.2)$$

де  $I_{HKM}$  – номінальний струм контактора, А;

$I_p$  – розрахунковий струм електричного споживача, А.

4. За виконанням:

а) кількості головних замикаючих і розмикаючих контактів;

б) модифікацією КМ;

в) комутаційної зносостійкості;

г) наявність допоміжних контактів і механізму, що заціпкує.

5. За режимом роботи: тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний.

6. За родом струму головного кола і кола керування.

7. За номінальною напругою котушок, що втягують: змінного струму – 24, 127, 220, 380 і 660 В; постійного струму – 24, 48, 110, 220 В.

8. За ступенем захисту і категорією розміщення.

7. За кліматичним виконанням і категорією розміщення.

### **Магнітні пускачі**

Магнітний пускач – комутаційний електричний апарат, який використовується в основному для управління роботою (пуску в хід та зупинки) асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором (рисунок 2.7).





Рисунок. 2.7 – Загальний вигляд магнітних пускачів ПМ

Конструкція та принцип дії магнітних пускачів аналогічний, як і у контакторів, за винятком додатково вбудованого теплового реле для захисту двигуна від перевантажень та при обриві однієї з фаз. Принципова схема керування включенням електродвигуна за допомогою магнітного пускача наведена на рисунку 2.8.

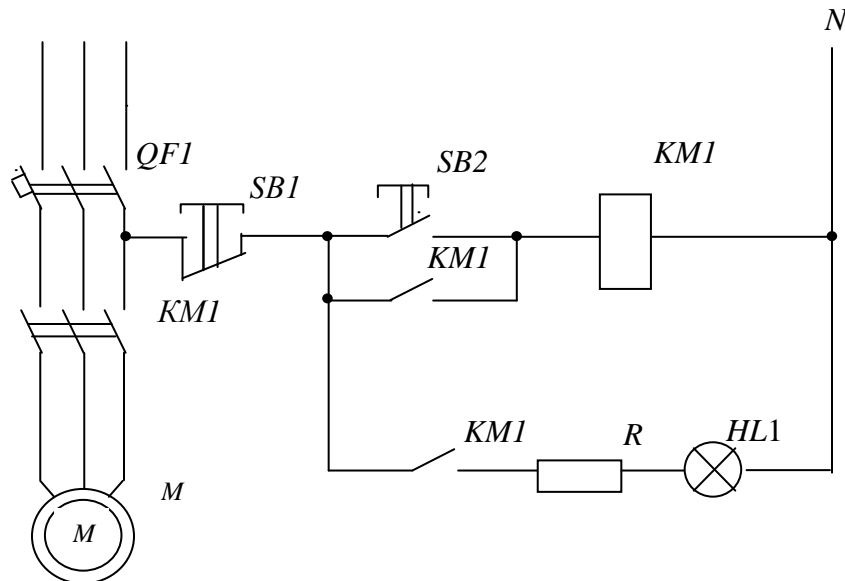


Рисунок. 2.8 – Принципова схема керування включенням електродвигуна за допомогою магнітного пускача

Від струмів коротких замикань теплове реле не захищає, тому для захисту двигуна від струмів коротких замикань передбачається додатково встановлення запобіжника.

Розглянемо безконтактний тиристорний пускач серії ПТ, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 2.9, а принципова схема керування силовими тиристорами наведена на рисунку 2.10.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд безконтактного тиристорного пускача серії ПТ

Для вмикання, відключення, реверсу в схемах управління асинхронними електродвигунами розроблені тиристорні трьохполюсні пускачі серії ПТ. Дані пускачі мають шість тиристорів VS1, ..., VS6, включених по два тиристора на кожен полюс. Вмикання пускача виконується кнопками управління SB1 «Пуск» и SB2 «Стоп».

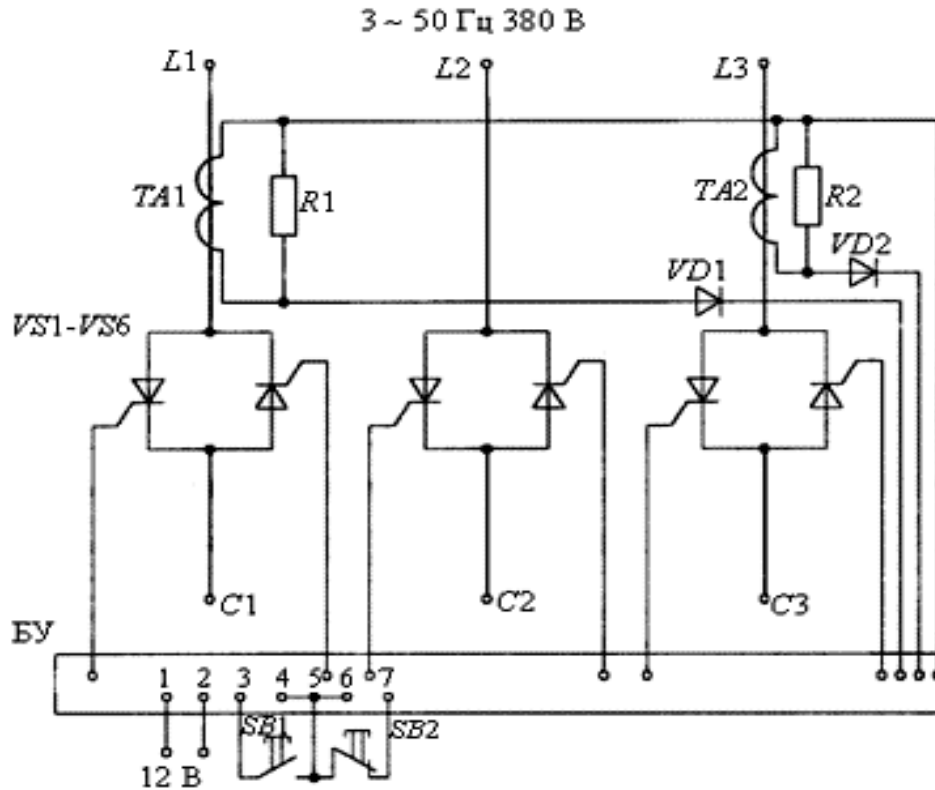


Рисунок 2.10 – Принципова схема керування тиристорами безконтактного тиристорного пускача

Схема тиристорного пускача передбачає захист електродвигуна від перевантаження, для цього в силову частину схеми встановлено трансформатори струму ТА1 і ТА 2, вторинні обмотки яких включені в блок управління тиристорами.

### Структура позначень магнітних пускачів

$$\frac{ПМЛ - X X X X X X X}{1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7}$$

- 1 – серія;
- 2 – номінальний струм: 1 -10А; 2-25А; 3-40А; 4-63А; 5-80А; 6-125А; 7-200А
- 3 – виконання за призначенням і наявністю теплового реле:
  - 1 – нереверсивний без теплового реле;
  - 2 - нереверсивний з тепловим реле (ТР);

5 - реверсивний без ТР з електричною і механічною блокуванням;

6 - реверсивний з ТР з електричною і механічною блокуванням;

7 – перемикач обмотки статора Y/Δ.

4 – виконання за ступенем захисту від впливу навколишнього середовища і наявністю кнопок:

–0 - IP00;

1 – IP54 з кнопкою «реле»;

2 - IP54 з кнопками «пуск і стоп»;

3 - IP54 з кнопками «пуск і стоп» та сигнальною лампою;

5 – кількість допоміжних блок-контактів:

0 – 1з (10,25А)      1з+1р (40-200А)

1– 1р (10,25А)      2з+2р (40-200А)

2 – 3з+3р - 40 – 200А

4 – 5з+1р - 40 200А

5 – 1з на 10, 25А – струм котушки - постійний

6 – 1р на 10, 25А - струм котушки - постійний

6 – кліматичне виконання і категорія розміщення

7 – клас електричної стійкості при спрацюванні (А, Б, В).

Наприклад, магнітний пускач ПМЛ-710404А:

пускач магнітний ліцензійний,  $I_n = 200\text{А}$ , неререверсивний, без теплового реле, IP00, 5з+1р, кліматичне виконання О, категорія розміщення 4, клас стійкості А.

**Вибір магнітних пускачів** виконується за такими показниками і умовами

1. За типом і серією.

2. За номінальною напругою з умови

$$U_{НМП} \geq U_M, \quad (2.3)$$

де  $U_{НМП}$  – номінальна напруга магнітного пускача, В;

3. За номінальним струмом МП з умови

$$I_{HMII} \geq I_P, \quad (2.4)$$

де  $I_{HMII}$  – номінальний струм магнітного пускача, А;

4. За виконанням:

- а) реверсивний, неревверсивний;
- б) з тепловим реле, без теплового реле;
- в) з електромеханічним блокуванням, без блокування.

5. За номінальним струмом неспрацьовування теплового реле серії РТЛ і РТТ з умови

$$I_{HMII} \geq I_{HAII} \quad \text{або} \quad I_{HHTP} \geq I_P, \quad (2.5)$$

де  $I_{HMII}$  – номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_{HAII}$  – номінальний струм асинхронного електродвигуна, А;

$I_{HHTP}$  – номінальний струм не спрацювання теплового реле, А

$I_P$  – розрахунковий струм електричного споживача, А.

з наступним регулюванням струму неспрацьовування теплового реле, щоб забезпечувалася рівність

$$I_{HHTP} = I_{HAII} \quad \text{або} \quad I_{HHTP} = I_P. \quad (2.6)$$

6. За ступенем захисту і наявності кнопки «Пуск» і «Стоп».

7. За кількістю допоміжних контактів.

8. За родом струму і напрузі котушки, що втягує, магнітного пускача

$$U_{\text{кот. МП}} = U_M, \quad (2.7)$$

де  $U_{\text{кот. МП}}$  – номінальна напруга котушки магнітного пускача, В.

9. За кліматичним виконанням і категорією розміщення.

10. За виконанням на комутаційну стійкість.

### 2.1.3 Гібридні та комбіновані комутаційні апарати

*Гібридні комутаційні апарати* (англ. *hybrid switching device*) — це апарати, у головних колах яких, застосовуються як контактні елементи, так і напівпровідникові прилади. У ввімкненому стані, струм головного кола тече переважно через контактні елементи, а за вимиканням, струм перетікає у паралельні контактам, ділянках головного кола, де розташовані напівпровідникові комутаційні пристрої, які й здійснюють відмикання струму.

Таким чином, гібридні апарати у певній мірі поєднують переваги електромеханічних та напівпровідникових апаратів — малі втрати енергії у робочому стані, а також високу швидкодію та практичну відсутність електричного зносу контактів.

#### Питання для самоконтролю

1. Яке призначення рубильника у розподільчому пункті?
2. В електричних колах з якою за величиною напругою використовують рубильники?
3. З яких основних елементів конструкції складається рубильник?
3. За якими умовами вибираються рубильники?
4. Яке призначення пакетного перемикача в електричних колах?
5. Яку конструктивну відмінність має пакетний перемикач перед рубильником?
6. Які переваги порівняно з рубильниками мають пакетні перемикачі?
7. Який основний недолік мають пакетні перемикачі, що обмежує їх строк служби?
8. Яке призначення контактора в електричних колах?
9. Які бувають контактори в залежності від роду енергії привода контактора?
10. За рахунок дії сили чого спрацьовує електромагнітний контактор?
11. За рахунок дії сили чого спрацьовує пневматичний контактор?
12. За рахунок дії сили чого спрацьовує гідравлічний контактор?
13. За рахунок чого спрацьовує напівпровідниковий контактор?

14. З якою метою використовують силові контактори?
15. Для чого використовують контактори прискорення?
16. З яких основних частин складається електромагнітний контактор?
17. Які фізичні явища лежать в основі принципу дії контактора?
18. Поясніть принцип дії електромагнітного контактора?
19. Яке призначення короткозамкнутих алюмінієвих кілець, напресованих у полюсні стержні магнітопроводу контактора?
20. Який принцип дії однополюсного напівпровідникового контактора?
21. За якими умовами вибираються контактори?
22. Яке призначення магнітного пускача в електричних колах?
23. З яких основних частин складається магнітний пускач?
24. Яке призначення силових і блокувальних контактів магнітного пускача?
25. Яке призначення додатково вбудованого у магнітний пускач теплового реле?
26. З якої причини теплове реле не захищає асинхронний електродвигун від струмів короткого замикання?
27. Яке призначення котушки магнітного пускача?
28. Яке призначення магнітопроводу магнітного пускача?
29. Які фізичні явища лежать в основі принципу дії магнітного пускача?
30. Поясніть принцип дії магнітного пускача?
31. За якими умовами вибирається магнітний пускач?
32. Яке призначення короткозамкнутих алюмінієвих кілець, напресованих у полюсні стержні магнітопроводу магнітного пускача?
32. Чим відрізняються гібридні комутаційні апарати від магнітних пускачів?

### **Список літератури**

[2: с. 308-336; 500-518], [3:146-180], [5:154-157].

## ЛЕКЦІЯ 5

### План лекції

2.2 Автоматичні вимикачі. Конструкція та принцип дії. Основні параметри. Дугогасна система. Приводи автоматичних вимикачів. Розчіплювачі автоматичних вимикачів. Вибір автоматичних вимикачів.

### 2.3 Запобіжники

**2.2 Автоматичні вимикачі. Конструкція та принцип дії Основні параметри. Дугогасна система. Приводи автоматичних вимикачів. Розчіплювачі автоматичних вимикачів. Вибір автоматичних вимикачів**

Автоматичний вимикач (рисунки 2.11, 2.12) **призначений** для відключення електричної мережі у ненормальних та аварійних режимах – перевантаженнях, КЗ, надмірному пониженні напруги живлення, зміні напругу потужності, для нечастих включень та відключень номінальних струмів навантаження.



Рисунок 2.11 – Автомати УкрЕМ сериї ВА-2010-S "SUPER"





Рисунок 2.12 – Автомат УкрЕМ серии ВА-2004

Автоматичні вимикачі з номінальним струмом  $I_{\text{ном АВ}} \leq 100 \text{ А}$  (ВА-2001, ВА-2002, ВА-2003 (рисунок 2.13) складаються з корпусу 2 з механічно міцної та термостійкої (240 0 С) пластмаси, яка не підтримує

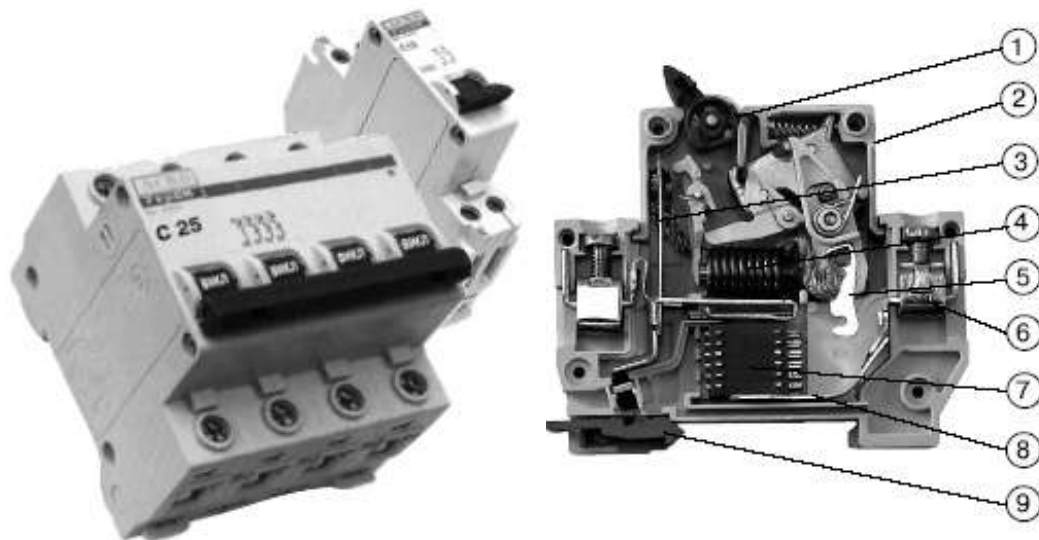


Рисунок 2.13. Загальний вигляд та конструкція автомату ВА-2002

горіння, та з замками 9 для монтажу на DIN-рейку. Основними вузлами автоматичних вимикачів є струмопровідний ланцюг, дугогасильна камера, привід автоматичного вимикача, механізм вільного розчеплення, елементи захисту – розчеплювачі.

Обладнані двома типами захисту: тепловим розчеплювачем – для захисту від тривалих струмових перевантажень, виконаний на базі біметалічної пластини 3, та електромагнітним розчеплювачем 5 – для захисту від струмів короткого замикання, виконаний на базі соленоїда 4.

Струмовий розчеплювач 5 виконаний з сталі, обробленою міддю, та має контакти зі сплаву, що містить срібло. Дугогасильна камера 7, яка складається з дев'яти пластин, та активний дугогасильний контакт 8 підвищують комутаційну зносостійкість та, відповідно, граничну комутаційну здатність.

Надійний контакт з провідниками забезпечують комбіновані зажими 6, виконані з оцинкованої сталі та посрібленої латуні. Вимикачі з лицьової сторони обладнані індикатором стану 1 ВКЛ/ВИКЛ.

При перевантаженнях у захищеному електричному колі, протікаючий струм нагріває біметалічну пластину. При нагріванні пластинка вигинається та діє на ричаг вільного розчеплення. При коротких замиканнях у захищеному електричному колі струм, який протікає через котушку електромагніту автомата, багатократно зростає, відповідно, зростає магнітне поле, яке переміщує осердя, що діє на ричаг вільного розчеплення. У обох випадках рухомий контакт відходить від нерухомого, автомат вимикається, відбувається розрив ланцюга, тим самим електричний ланцюг захищається від перевантажень та струмів короткого замикання.

Сучасні вимикачі з  $I_{ном\cdot АВ} > 100$  А виконуються у вигляді моноблоку (рисунок 2.14) та складаються з основи 1 та кришки з фальшпанеллю, у якій є віконце для ручки управління 5. Основа є несучою конструкцією для приєднувальних зажимів 2, нерухомих силових контактів 3 з системою дугогасіння 4, механізму управління з системою рухомих контактів 6, блоку захисту від надструмів.

Кришка закриває всі рухомі елементи механізму управління та внутрішні струмоведучі частини. Механізм управління вимикача побудований на принципі переломлюючого ричагу та вбудованої потужної пруж-

жини повернення. При ввімкненні ручки механізму управління приводиться у рух ізолююча рейка 7, на якій закріплені підпружинені рухомі силові контакти з гнучким з'єднанням. Рейка повертається у бокових напрямляючих, забезпечуючи не тільки замикання рухомих та нерухомих силових контактів, але і необхідні провали для збільшення та вирівнювання тиску на рухомі контакти.

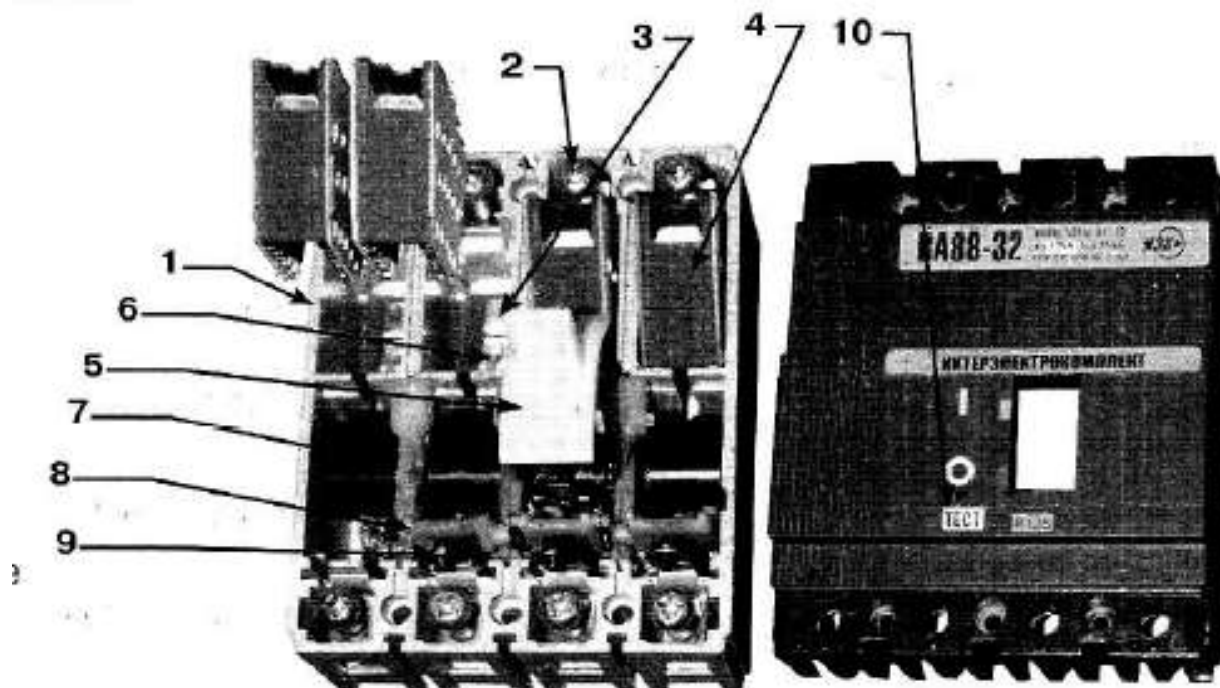


Рисунок 2.14 Загальний вигляд та конструкція автомату ВА88-32 фірми ІЭК (Росія).

Дія пружини повернення блокується елементами переломлюючого рычага, який знаходиться в цей момент на одній прямій лінії та спирається одним коліном на виступ поворотного елемента «сброс» механізму управління. «Сброс» механізму управління здійснюється за допомогою плоскої рейки 8, на яку діють через регульовальні гвинти 9 штовхачі біметалічних пластин теплових розчеплювачів та електромагнітів захисту від КЗ.

## **Основні параметри автоматичних вимикачів**

*Основними параметрами автоматичних вимикачів є:*

- номінальна напруга автомата;
- номінальний струм автомата;
- максимальний струм відключення;
- номінальний струм розчеплювача;
- власний та повний час відключення автомата.

*Власний час відключення автомата* – час з моменту, коли струм вимикача досягає струму спрацювання розчеплювача до початку розходження головних контактів.

*Повний час відключення автомата*

$$t_{\text{відкл.}} = t_0 + t_1 + t_2, \quad (2.8)$$

де  $t_0$  – власний час відключення автоматичного вимикача, с;

$t_1$  – час до моменту повного розмикання головних контактів, який витрачається на роботу розчеплювачів, с;

$t_2$  – час горіння електричної дуги між контактами, що розходяться, с.

Час  $t_1$  залежить від способу розчеплення, конструкції контактів, маси рухомих частин та інших факторів.

Якщо  $t_1 \geq 0,01$  с, то автоматичний повітряний вимикач називається звичайним (нешвидкодіючим).

Якщо  $t_1 = 0,002 \div 0,008$  с, то автоматичний повітряний вимикач – швидкодіючий.

## **Дугогасна система. Приводи автоматичних вимикачів**

Автоматичний вимикач повинен забезпечувати гасіння дуги у всіх можливих режимах мережі.

У автоматичних вимикачах минулого століття широкого використання знайшли два виконання дугогасильних систем – напівзакрите та відкрите.

У першому випадку автоматичний вимикач закритий кожухом з отворами для виходу гарячих газів. Об'єм кожуха робиться досить великим, щоб всередині кожуха не створювалося великих надлишкових

тисків. При цьому виконанні зона викиду гарячих та іонізованих газів складає декілька сантиметрів від вихлопних щілин.

Таке конструктивне виконання використовується у автоматичних вимикачах, які монтуються поруч з іншими апаратами, у розподільчих пунктах, в автоматичних вимикачах з ручним управлінням. Граничний струм не перевищує 50 кА.

При струмах 100 кА і вище використовують камери відкритого виконання з великою зоною викиду. Це виконання зазвичай використовують у швидкодіючих автоматичних вимикачах на великі граничні струми (100 кА і вище) або великі напруги (вище 1000 В).

У апаратах масового використання широко застосовується деіонна дугогасильна решітка із сталевих пластин. Оскільки автоматичні вимикачі повинні працювати як на змінному, так і на постійному струмі, число пластин вибирається з умови відключення електричного кола постійного струму. На кожну пару пластин приходиться напруги не менше 25 В. У дугогасильних системах зі сталевими пластинами гасіння проходить спокійно, з мінімальним викидом іонізованих та нагрітих газів.

При більших струмах використовують лабіринтно-щілинні камери та камери з прямою щілиною. Утягування дуги в щілину здійснюється магнітним дуттям з котушкою струму. У лабіринтно-щілинній камері відбувається охолодження дуги стінками камери, при цьому матеріал стінок повинен мати високу теплопровідність та температуру плавлення, наприклад з кордієриту.

Поздовжньо-щілинна камера може мати декілька паралельних щілин незмінного перерізу. Це зменшує аеродинамічний опір камери та полегшує входження дуги з великим струмом у щілини.

Спочатку дуга розбивається на ряд паралельних гілок. Але потім з усіх паралельних гілок залишається лише одна, у якій остаточно проходить гасіння. В цьому випадку стінки камери та перегородки виготовляють з азбоцементу.

З метою спрощення конструкції, шляхом відмови від потужних та складних систем магнітного дуття, сучасні системи дугогасіння автоматичних вимикачів (силою струму до 225 А) складаються з дугогасильних

решіток зі сталевими нікельованими вкладишами, а при силі більше 250 А і вище використовуються додаткові розпилувачі дуги у вигляді сталевих, нікельованих пластин з перфорацією, які вставлені у кришку автоматичного вимикача.

### **Приводи автоматичних вимикачів**

Привід повинен передати контакту силу, потрібну для включення автомата у найтяжчому випадку – на діюче КЗ.

*Приводи автоматичних вимикачів можна поділити на дві групи: ручні та електромеханічні.*

*Ручний поворотний привід призначений для перетворення обертального руху в поступальний для керування автоматичним вимикачем.*

Ручні приводи рекомендується встановлювати при номінальних струмах до 200 А. При більших струмах потрібно використовувати електромеханічні приводи, які забезпечують потрібну швидкість зростання тиску в контактах.

*Електромагнітний привід – це електромеханічний пристрій оперування вимикачем (включити/відключити), який має вбудоване ручне керування. Привід дозволяє дистанційно керувати вимикачем та особливо зручно в системах телеуправління енергозбереженням. Встановлюється у комплекті з з ручним приводом керування та аварійною відключаючою кнопкою.*

Електромагнітний привід більш широко використовується при струмах до 600- 1000 А (в автоматах старого покоління) та до 1600 А (у сучасних автоматах).

Привід закріплюється на дверцятах розподільчого пункту (РП) для оперування вимикачем через дверцята (наприклад, для вимикачів ВА88 з номінальним струмом 250А–1600А) або безпосередньо на вимикачі (наприклад, для вимикачів ВА88 з номінальним струмом 125 А та 160 А). Положення привода відображає положення ручки керування вимикача: відключено, включено, спрацювання розчеплювачів.

Електромагнітні приводи вимикачів з номінальним струмом до 400 А максимально безпосередньо діють на ручку вимикача при подачі команди включення/відключення від зовнішніх кнопок «вкл» / «відкл».

Електромагнітні приводи вимикачів з номінальним струмом від 250 А і вище мають пружинну систему. Привід заводить пружинну систему в момент відключення вимикача, а потім запасена енергія використовується для наступного включення. Для відключення вимикача використовується незалежний розчеплювач.

### **Розчеплювачі автоматичних вимикачів. Вибір автоматичних вимикачів**

У автоматичних вимикачах старих зразків найбільшого розповсюдження набули максимальні розчеплювачі. Серед них популярними є електромагнітна система та теплова система з використанням біметалічної пластини.

Електромагнітний розчеплювач простий за конструкцією, має високу термічну та динамічну стійкість, не боїться вібрацій. До моменту дії на механізм вільного розчеплення якір розчеплювача зазвичай має значний вільний хід (5- 10 мм). Розчеплення відбувається за рахунок удара, при якому основну роль відіграє кінетична енергія, накоплена в якорі на момент удару. Для створення витримки часу між електромагнітом та механізмом вільного розчеплення ставлять пристрій затримки. Витримка часу такого пристрою не залежить від струму, тому такий пристрій від перевантажень не захищає.

Витримка часу, яка залежить від струму навантаження, створюється різними затримуючими пристроями.

Більш проста витримка часу, яка залежить від струму, отримується за рахунок теплових розчеплювачів. Їх часо-струмова характеристика може бути досить добре узгоджена з захищаним об'єктом, але ці розчеплювачі мають ряд *недоліків*, які обмежують їх використання:

1. Недостатня термічна стійкість потребує миттєвого відключення при великих струмах. У цих випадках зазвичай використовується комбінація з обох розчеплювачів: електромагнітний працює при КЗ, тепловий – при перевантаженнях.

2. Із зростанням струму автомата росте зусилля, необхідне для розчеплення. Тому теплові розчеплювачі використовують при струмах до 200 А.

3. Витримка часу теплового розчеплювача залежить від температури навколишнього середовища. Це не дає можливості повністю використовувати обладнання.

4. Похибка у струмі спрацювання приблизно удвічі більша, ніж у електромагнітних.

5. Створення теплових розчеплювачів на більші струми пов'язано зі значними затрудненнями. Використання шунтів та трансформаторів струму збільшує габарити автомата.

6. Через малу термічну стійкість теплові розчеплювачі допускають малу тривалість КЗ.

Розчеплювачі сучасних автоматичних вимикачів дозволяють відключати вимикач дистанційно, використовуючи електричні сигнали (незалежний розчеплювач) або неприпустиме зниження фазної чи лінійної напруги на вводі вимикача (розчеплювач мінімальної напруги).

Незалежний розчеплювач використовують для дистанційного відключення вимикача. Після подачі напруги у ланцюг керування незалежного розчеплювача його електромагнітний механізм відключає вимикач, у якого розмикаються контакти головного ланцюга. При цьому поворотна рейка вимикача діє на допоміжні контакти, вбудовані в механізм незалежного розчеплювача та блокуючі повторну подачу напруги. Це дозволяє відмовитись від встановлення у ланцюг живлення незалежного розчеплювача для його захисту вільних допоміжних контактів. Включення вимикача після дистанційного його відключення проводиться вручну.

Мінімальний розчеплювач викликає відключення вимикача при зниженні фазної чи лінійної напруги на його вводі до 70% від номінального, а також блокує від включення, якщо напруга в цьому ланцюзі менше 85% від номінального. Основним призначенням мінімального розчеплювача є відключення електрообладнання при неприпустимому для нього зниженні напруги. Мінімальний можна використовувати в якості незалежного розчеплювача, якщо послідовно в ланцюг його керування включити кнопковий вимикач з розмикаючим контактом. При короткочасному розмиканні контакту кнопкового вимикача мінімальний розчеплювач відключить автоматичний вимикач.



## Вибір автоматичних вимикачів

Вибір автоматичних вимикачів (АВ) виконується за наступними показниками та умовами:

1. За типом і серією.
2. За номінальною напругою

$$U_{н АВ} \geq U_{м}, \quad (2.9)$$

де  $U_{н АВ}$  – номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{м}$  – номінальна напруга мережі живлення, В.

3. За номінальним струмом

$$I_{н АВ} \geq I_{розр.кола}. \quad (2.10)$$

де  $I_{н АВ}$  – номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{розр.кола}$  – розрахунковий струм електричного кола, А.

4. За виконанням:

- кількості головних полюсів: одно-, двох-, триполюсний;
- виду основних розчіплювачів: електромагнітний (ЕМР), комбінований (КМР) та інше;
- виду додаткових розчіплювачів: без додаткових розчіплювачів, незалежний розчіплювач, мінімальний розчіплювач, нульовий розчіплювач, напівпровідниковий розчіплювач;
- наявності вільних контактів;
- наявності регулювання струму неспрацьовування теплового розчіплювача;
- виду привода: ручний електромагнітний, ручний дистанційний;

5. За номінальним струмом теплового розчіплювача:

5.1. Для мережі з АД, при наявності регулювання струму неспрацьовування теплового розчіплювача з умови

$$I_{н\text{ тр}} \geq I_{н\text{ АД}}, \quad (2.11)$$

де  $I_{н\text{ тр}}$  – номінальний струм теплового розчеплювача АВ, А;

$I_{н\text{ АД}}$  – номінальний струм асинхронного електродвигуна, А.

5.2 Для мережі з АД з тривалим режимом роботи і легкими умовами пуску ( $t_n = 10$  с) з умови

$$I_{н\text{ тр}} = I_{н\text{ АД}}. \quad (2.12)$$

5.3 Для мережі з АД з тривалим режимом роботи і важкими умовами пуску ( $t_n > 10$  с) з умови

$$I_{н\text{ тр}} = 1,25 \cdot I_{н\text{ АД}}. \quad (2.13)$$

6. За струмом відсічки електромагнітного розчеплювача з умови

$$I_{відс.РМ} \geq I_{пуск.розр}, \quad (2.14)$$

де  $I_{відс.РМ}$  - струм відсічки електромагнітного розчеплювача (ЕМР), А;

$I_{пуск.розр}$  - розрахункове значення пускового струму в мережі, яку захищає АВ, А.

6.1 Для захисту електричної мережі з одним асинхронним електродвигуном

$$I_{пуск.розр} = (1,5 \dots 1,8) I_{н\text{ АД}}. \quad (2.15)$$

6.2 Для захисту електричної мережі з кількома АД

$$I_{пуск.розр} = (1,5 \dots 1,8) \left[ \sum_1^n I_n + [I_n - I_n] \right], \quad (2.16)$$

де  $\sum_1^n I_n$  - сума номінальних струмів одночасно працюючих АД;

$(I_n - I_n)$  - різниця між значеннями пускового і номінального струмів АД, у яких ці струми найбільші, А.

7 За кліматичним виконанням, категорією розміщення і ступенем захисту.

### **2.3 Запобіжники**

Запобіжник – електричний апарат, призначений для захисту електричних ланцюгів чи окремих електричних установок від перевантажень та струмів КЗ.

Основними елементами плавкого запобіжника є плавка вставка, що вмикається у розсічку захищеного ланцюга, та дугогасильний пристрій, який гасить дугу виникаючу після плавлення вставки.

Запобіжник складається з плавкої вставки, патрону, в якому вона розміщена, контактних деталей для вмикання вставки у електричне коло.

#### **Основні параметри плавких запобіжників**

*Номінальна напруга запобіжника* – це напруга, на яку розрахований запобіжник для тривалої роботи.

*Номінальний струм плавкої вставки  $I_{ном.вст}$*  – це струм, який витримує плавка вставка необмеженодовгий час.

*Номінальний струм запобіжника  $I_{ном.з}$*  – це струм, рівний найбільшому номінальному струму плавкої вставки, яка може бути встановлена в даний запобіжник (в один і той же запобіжник в залежності від номінального струму захищеного об'єкту може вставлятися одна з декількох плавких вставок, розрахованих на різні номінальні струми).

*Максимальний струм відключення* – це найбільший струм, який плавкий запобіжник може відключити без будь-яких пошкоджень або деформацій, які призводять до несправної роботи після заміни плавкої вставки.

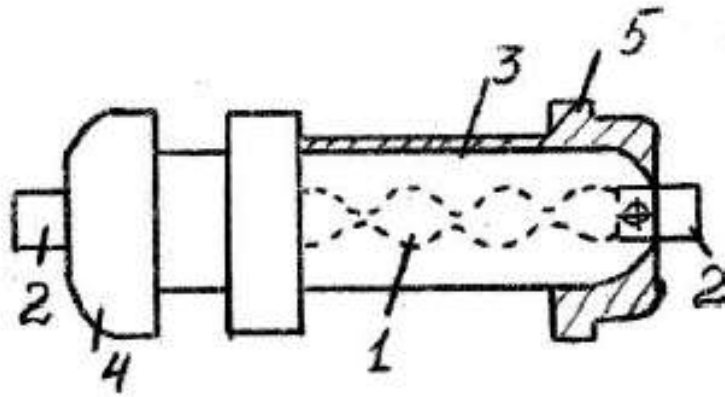
### До запобіжників ставляться такі вимоги:

1. Ампер-секундна характеристика запобіжника повинна проходити нижче характеристики захищеного об'єкту, причому як можливо ближче до неї.
2. При короткому замиканні запобіжники повинні забезпечувати селективність захисту.
3. Характеристики запобіжника повинні бути стабільними, а технологічний розподіл їх параметрів не повинен порушувати надійність захисту.
4. Запобіжники повинні мати високу вимикаючу здатність.
5. Заміна згорілого запобіжника чи плавкої вставки не повинна забирати багато часу.

### Конструкції запобіжників

*З гасінням електричної дуги в закритому об'ємі (ПР-2)*

Запобіжник такого типу – ПР-2 (рисунок 2.15).



- 1 - плавка вставка; 2 - герметичний трубчатий патрон; 3 - фібровий циліндр; 4 – латунний ковпачок; 5 - латунна обойма.

Рисунок 2.15 – Конструкція запобіжника з гасінням дуги в закритому об'ємі.

Плавка вставка 1, виготовлена з цинку, приєднується до ножеподібних контактів 2. Вставка розміщується у герметичному труб-

чотому патроні, який складається з фібрового циліндру 3, латунної обойми 5 та латунного ковпачка 4.

При спрацюванні на відключення згорають звужені перерізи плавкої вставки та виникає дуга. Під дією високої температури дуги стінки патрона виділяють газ, який охолоджує дугу. Тиск у патроні за долі півперіоду підіймається до 4-8 МПа. За рахунок збільшення тиску підіймається вольт-амперна характеристика дуги, що сприяє її швидкому гасінню. Плавка вставка має 1 – 4 звужень в залежності від номінальної напруги. Звужені ділянки вставки сприяють швидкому її плавленню при КЗ та створюють ефект струмообмеження.

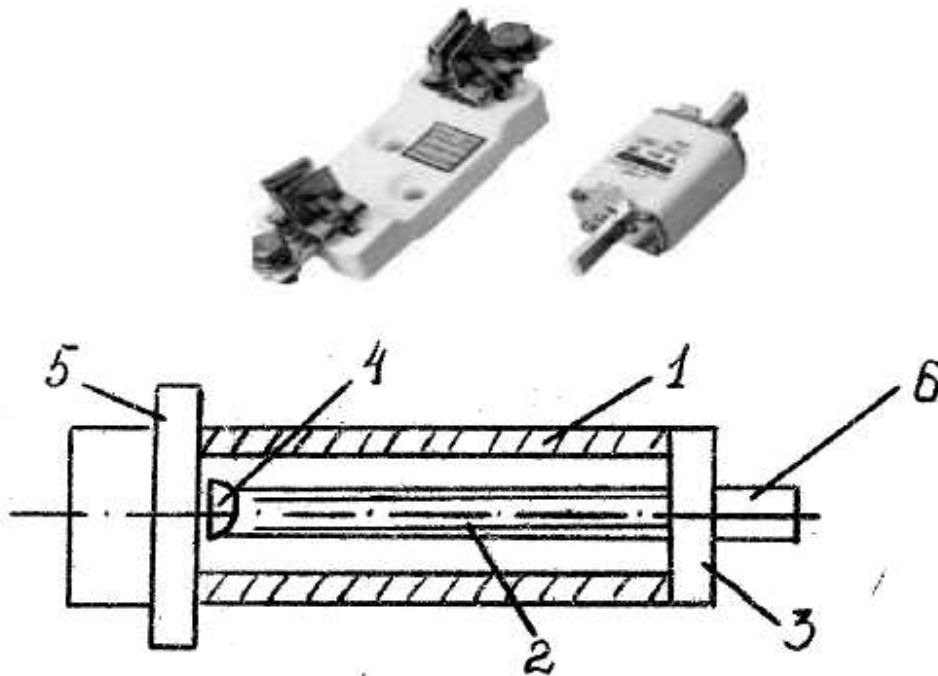
Запобіжники працюють безшумно, практично без викиду вогню та газів. В залежності від величини номінального струму змінюється діаметр патрона. Всього випускають 6 різних по діаметру габаритів патронів. У кожному можуть встановлюватись вставки на різні номінальні струми. Запобіжники ПР-2 працюють з струмообмежувачем. Так, наприклад, у ланцюгу з діючим струмом КЗ 50 кА запобіжник на струм 6 А проведе відключення при струмі всього 400 А. Але чим більший номінальний струм, тим менший ефект струмообмеження.

*З дрібнозернистим наповнювачем (НПН2, ПН2, ППЗ2) (рисунок 5.6).*

Ці запобіжники більш досконалі за ПР-2. На рисунку 2.16 зображено зовнішній вигляд та конструкцію плавких запобіжників, які відповідають даній конструкції.

Корпус запобіжника 1 виробляється з міцного фарфору або стеатиту. В середині корпус має отвір круглого перерізу, у якому розміщені стрічкові плавкі вставки 2 та наповнювач – кварцовий пісок 3. Зовні корпус має форму квадрата. Плавкі вставки приварюються до диску 4, який кріпиться до пластин 5, пов'язаних з ножовим контактом 6.

Плавка вставка виробляється з мідної стрічки товщиною 0,1-0,2 мм. Для отримання ефекту струмообмеження вставка має звужені перерізи 2. Розбивка плавкої вставки на декілька паралельних віток – стрічок дозволяє більш повніше використовувати об'єм наповнювача.



а) загальний вигляд запобіжника; б) конструкція запобіжника.

Рисунок 2.16. Плавкий запобіжник ПП32-31-20

Для зниження температури плавлення вставки на звужені ділянки наносяться олов'яні кульки. При КЗ плавка вставка згоряє та утворюється дуга, яка горить у каналі, утвореному піщинками. Кварцові піщинки мають високу теплопровідність та доволі велику охолоджуючу поверхню.

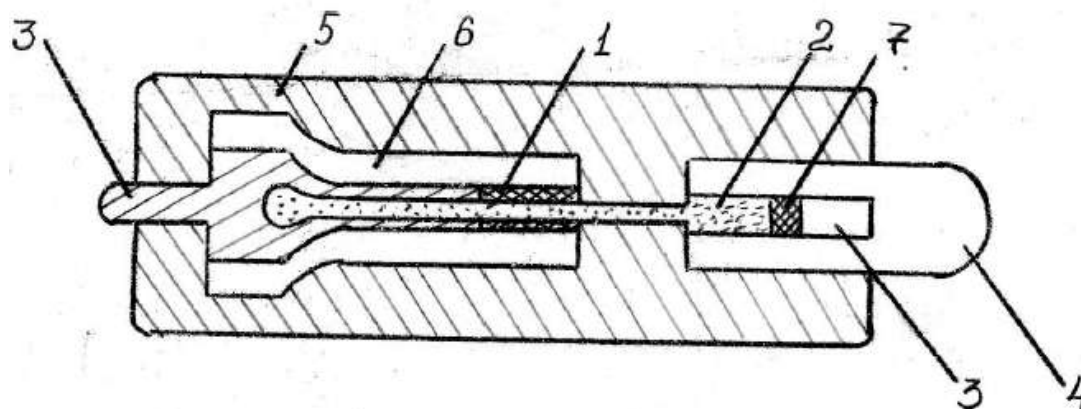
Оскільки дуга горить у вузькій щілині, починаючи з струму вище 100 А, вона має зростаючу вольт-амперну характеристику. Це дає можливість гасити дугу за декілька мілісекунд при невеликій довжині.

Запобіжники ПН2, НПН2, ПП32 випускаються на номінальний струм до 630 А. Максимальний струм відключення КЗ, який може відключати запобіжник, від 10 до 100 кА. Малі габарити, незначна затрата дефіцитних матеріалів, висока струмообмежуюча здатність – переваги даного запобіжника.

*з рідинно-металевим контактом (рисунок 2.17).*

Трубка 1 має капіляр, який заповнюється рідинним металом 2. Капіляр герметично закритий електродами 3, 4, корпусом 5, розчеплюва-

чем 6. Електроди включаються послідовно у мережу, яку захищає запобіжник. При протіканні струму рідинний метал випаровується, виникає парова трубка і коло розмикається. Після повного часу пара конденсується і контакт знову замикається. Максимальний відключаючий струм 250 кА. Запобіжник має високу струмообмежуючу здатність.



1 – трубка; 2 – рідинний метал; 3 – електрод; 4 – капіляр;  
5 – корпус; 6 – розчеплювач.

Рис. 2.17 – Конструкція запобіжника з рідинно-металевим контактом

### Вибір запобіжників

Номінальна напруга запобіжника

$$U_{\text{ном.зап}} \geq U_{\text{ном.мережі}} \quad (2.17)$$

де  $U_{\text{ном.зап}}$  – номінальна напруга запобіжника, В;

$U_{\text{ном.мережі}}$  – номінальна напруга електричної мережі, В.

Для безінерційного запобіжника у разі «спокійного» навантаження (печі опору, освітлювального навантаження)

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{розрах.}} \quad (2.18)$$

де  $I_{\text{розрах.}}$  – розрахунковий струм лінії, А;

$I_{ном.вст}$  – номінальний струм вставки запобіжника, А.

При захисті лінії до двигуна з легким пуском (двигун металооброблювальних верстатів, насосів та ін.)

$$I_{ном.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{2,5}, \quad (2.19)$$

де  $I_{пуск}$  – пусковий струм електродвигуна, А.

Якщо пуск важкий (двигуни кранів, центрифуги)

$$I_{ном.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{(2...1,6)}, \quad (2.20)$$

При захисті лінії, що живить групу електроприймачів

$$I_{ном.вст} \geq \frac{I_{ник}}{2,5}, \quad (2.21)$$

У разі захисту електрозварювального апарату за допомогою запобіжника струм вставки вибирають за умовою

$$I_{ном.вст} \geq 1,2 I_{зв.}, \quad (2.22)$$

де  $I_{зв.}$  – номінальна сила струму зварювального апарату, А.

Співвідношення між номінальним струмом запобіжника і номінальним струмом вставки запобіжника

$$I_{ном.зап} \geq I_{ном.вст}. \quad (2.23)$$



### **Питання для самоконтролю**

1. Яке призначення автоматичного вимикача в електричній мережі?
2. З яких вузлів складається автоматичний вимикач?
3. Якими розчеплювачами можуть бути обладнані автоматичні вимикачі?
4. Які фізичні явища лежать в основі принципу дії електромагнітного розчеплювача?
5. Що називають біметалічною пластиною?
6. Який принцип дії біметалічної пластини у тепловому розчеплювачі?
7. Які основні параметри автоматичного вимикача?
8. Що називається власним часом відключення автомата?
9. Що розуміють під повним часом відключення автоматичного вимикача?
10. Які існують приводи автоматичних вимикачів?
11. Яка умова вибору автоматичного вимикача за напругою?
12. Яка умова вибору автоматичного вимикача за струмом?
13. Яка умова вибору автоматичного вимикача за струмом теплового розчеплювача?
14. Яка умова вибору автоматичного вимикача за струмом відсічки електромагнітного розчеплювача?
15. Як вибрати автоматичний вимикач за струмом відсічки електромагнітного розчеплювача для захисту електричної мережі з кількома АД?
16. Як вибрати автоматичний вимикач за струмом відсічки електромагнітного розчеплювача для захисту електричної мережі з одним двигуном?
17. Яке призначення електричного запобіжника?
18. Якими параметрами характеризується електричний запобіжник?
19. З яких основних частин складається конструкція запобіжника?
20. За яких умов вибирається запобіжник?

### **Список літератури**

[2: с. 326-336; 531-551; 500-526], [3: с. 188-237], [5: с. 232-233; 247-252].

## ЛЕКЦІЯ 6

### Тема 3 ЕЛЕКТРИЧНІ РЕЛЕ. ДАТЧИКИ КОНТРОЛЮ І РЕГУЛЮВАННЯ. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

#### План лекції

#### 3.1 Електричні реле.

3.1.1 Електромеханічні реле. Призначення, будова, принцип дії електромеханічних реле. Класифікація, основні параметри, комутаційні характеристики і категорії застосування.

3.1.2 Електромагнітні і поляризовані електромагнітні реле. Будова принцип дії.

3.1.3 Спеціальних апаратів захисту Загальні відомості, принцип будови.

#### 3.1 Електричні реле

#### 3.1.1 Електромеханічні реле. Призначення, будова, принцип дії електромеханічних реле. Класифікація, основні параметри, комутаційні характеристики, і категорії застосування

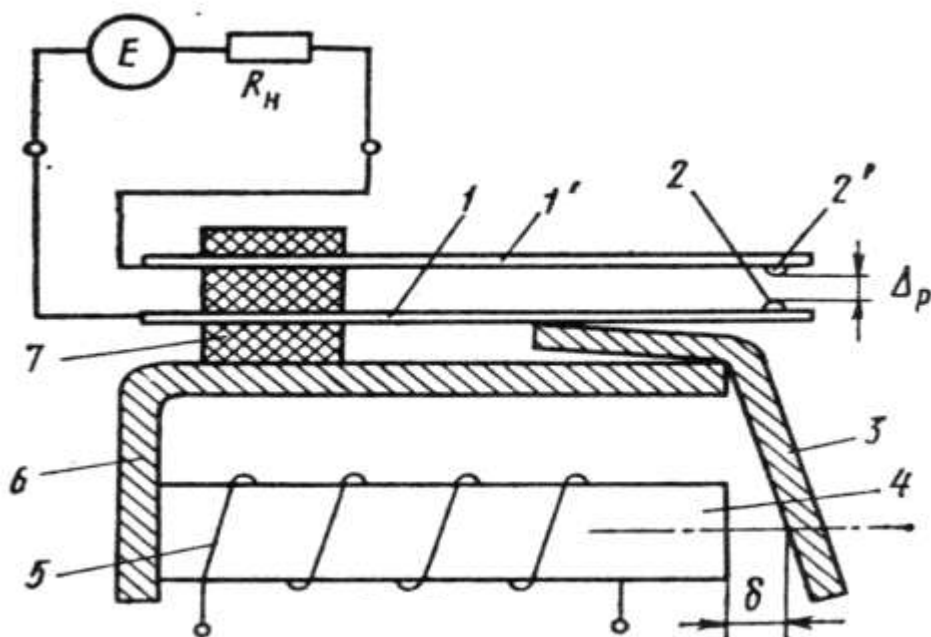
Електромеханічні реле **призначені** для контролю якого–небудь електричного чи неелектричного вхідного параметра (у першому випадку – реле, в іншому – датчик).

В будові електромеханічного реле, як правило, є рухома і нерухома контактні пластини; контакти; якор; осердя; обмотка електромагніту; ярмо; ізоляційна пластина.

Робота електромеханічних реле заснована на явищах електромагнетизму і електромагнітної сили на провід зі струмом, що знаходиться у магнітному полі: тобто на дії магнітного поля нерухомої обмотки з струмом на рухомий феромагнітний елемент, якір.

Розглянемо принцип дії найпростішого електромеханічного реле, наприклад, реле струму (рисунок 3.1).

**Принцип дії електромеханічного реле.** Взагалі принцип дії електромеханічних реле наступний: коли вхідний (контрольований) параметр реле досягає заданої величини, відбуваються спрацьовування електричного реле і поява сигналу на виході. Це здійснюється розмиканням чи замиканням контактів (контактні реле) або різкою зміною напруги на виході (безконтактні реле).



1, 1<sup>1</sup> – рухома і нерухома контактні пластини; 2, 2<sup>1</sup> – контакти; 3 – якор; 4 – осердя; 5 – обмотка; 6 – ярмо; 7 – ізоляційна пластинка;  
 $\Delta_p$  – зазор контакту;  $\delta$  – зазор між ярмом і осердям.

Рисунок 3.1 – Конструкція найпростішого електромеханічного реле струму

Якщо це реле струму, тоді при збільшенні струму  $I_{ex}$  в обмотці 5 до деякого значення якорь 3 притягнеться до сердечника 4. В процесі цього руху верхній кінець якоря вигне контактну пластину 1 вгору до замикання контактів 2 і 2<sup>1</sup>. Таким чином пройде замикання контактів.

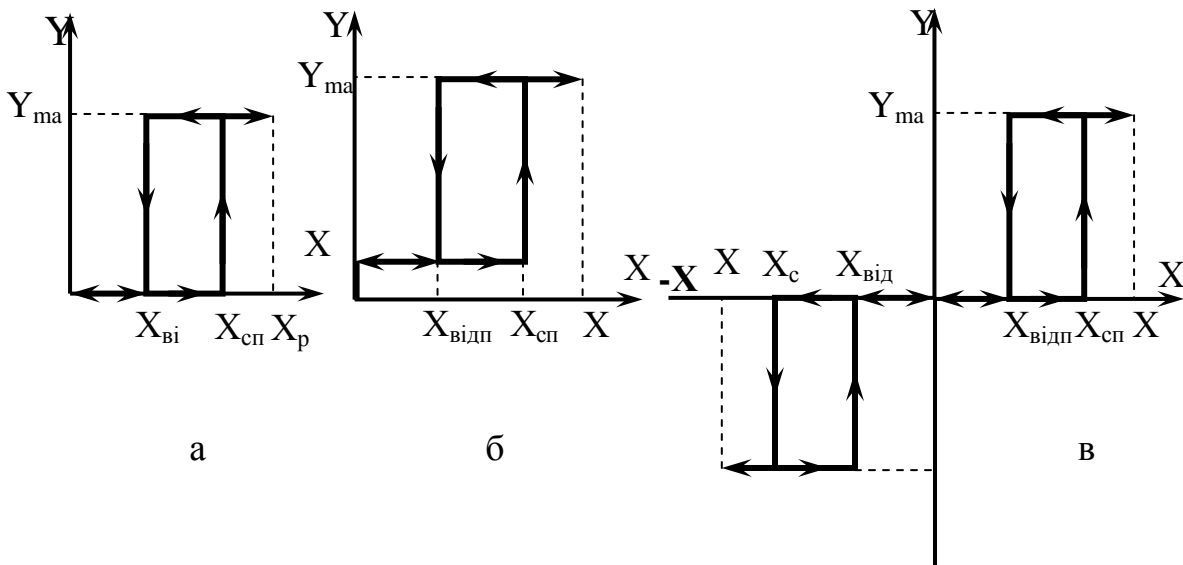
По вихідному колу апарата буде протікати струм, який після закінчення перехідного процесу стане рівним  $I_{вих}$ . Вихідний струм не зміниться

при дальшому збільшенні вхідного. Якщо тепер зменшити вхідний струм, то при деякому його значенні рухома і нерухомі контактні пластини преодоліють силу притягнення якоря до сердечника і якор стане в вихідне положення.

При цьому контакт розімкнеться, а вихідне коло знеструмиться. Під вхідною величиною  $X$  і вихідною  $Y$  такого апарату можна мати на увазі і інші величини, наприклад напругу на обмотці, напругу на опорі  $R_n$ . На рисунку 3.2 приведені типові характеристики управління апаратів релейної дії:

- а) електромеханічного;
- б) статичного;
- в) реверсивного (поляризованого).

Незалежно від виконуваної функції основною характеристикою електромеханічних реле є *характеристика керування* (релейна характеристика), що являє собою залежність величини вихідного сигналу (параметра) від вхідного сигналу.



- а) електромеханічного реле; б) статичного реле; в) реверсивного (поляризованого) реле.

Рисунок 3.2 – Характеристика керування (релейна характеристика) реле

При плавному підвищенні вхідного сигналу  $X$ , вихідна величина  $Y$  не змінюється доти, поки величина вхідного сигналу не досягне величини спрацювання  $X_{спр}$ . При  $X = X_{спр}$  відбувається спрацювання реле, внаслідок чого відбувається стрибкоподібна зміна вихідної величини  $Y$ . При зменшенні вхідного сигналу вихідна величина не буде змінюватися доти, поки він не знизиться до величини відпускання  $X_{відп}$ . При  $X = X_{відп}$  відбувається відпускання реле, внаслідок чого також відбувається стрибкоподібна зміна вихідної величини  $Y$ .

### **Класифікація електромеханічних реле**

Реле можна класифікувати по наступним признакам:

#### *1. В залежності від фізичної природи управляючого сигналу*

Електричні – реагують на електричний сигнал – струм, напругу, потужність, опір кола та ін..

Теплові – реагують на кількість виділеної теплоти, температуру

Механічні - реагують на силу, тиск, швидкість, переміщення.

#### *2. В залежності від виконуючих функцій*

Електричні реле діляться на : логічні і вимірювальні.

Логічні реле призначені для спрацювання або повернення в вихідне становище зміною вхідної величини.

Вимірювальні реле постійно знаходяться під напругою і слідкують за зміною вхідної величини. Якщо це реле максимальної напруги, то воно спрацює коли напруга досягне максимальної позначки уставки цього реле, якщо це реле мінімальної напруги, то воно спрацює коли напруга досягне мінімальної позначки уставки цього реле. Уставка реле – це задане значення якоїсь величини, при якому реле повинно спрацювати.

#### *3. В залежності від вимірювальної величини*

Бувають реле струму, напруги, активної потужності, реактивної потужності, зсуву фаз, повного опору, частоти і т.д.

На вхід вимірювального реле в отличии від логічного реле можна подавати декілька сигналів. Наприклад на реле потужності подається струм і напруга. Тому ці дві величини формують одну величину – потужність.

Електричні реле як логічні так і вимірювальні бувають з нормованим часом і не нормованим часом. Так звані реле часу. Дані реле спрацьовують при певних умовах в залежності від **уставки** витримки часу.

Проміжні реле призначені для передачі команд з одного електричного кола в інше. Взагалі їх використовують для розширення функцій других реле. Це найбільш поширений тип реле.

*4. В залежності від наявності або відсутності механічного переміщення*

Це так звані контактні і безконтактні реле. Різниця між ними заключається в тому, що електромеханічні контактні реле вихідним колом керують контакти (при розімкнених контактах вихідна величина  $Y=0$ ), а у безконтактних реле при відсутності вхідної величини  $X$  вихідна величина не може бути меншою деякої  $Y_{\min}$ , яка визначається струмом холостого ходу. (напівпровідникові і магнітні підсилювачі і т.д.).

*5. В залежності від явищ всередині реле.*

Наприклад – реле електромагнітне або магнітоелектричне, або теплове. З другої сторони – це герконове реле – це реле з магнітоуправляючим герметезованим контактом.

*6. По роду струму*

Постійного і змінного струму. У деяких реле із зміною напруги котушки змінюють короткозамкнений виток з мідного на сталевий. На змінному струмі мідний короткозамкнений виток призначений для зниження вібрації якоря, а на постійному струмі сталевий короткозамкнений виток виконує функцію полюсного наконечника – тобто робить тягову  $x$ -ку більш пологою, збільшуючи силу при максимальному зазорі.

### **Основні параметри електромеханічного реле**

1. Величина спрацювання  $X_{\text{спр}}$  – значення вхідної дії, при якому проходить скачкообразне збільшення вихідної величини при замикаючому контакті.

2. Величина повернення  $X_{\text{пов}}$  – значення параметра являє собою відношення параметра відпускання до параметра спрацювання

$$X_{нов} = \frac{X_{відн}}{X_{спр}}, \quad (3.1)$$

де  $X_{спр}$  – величина параметру спрацювання;

$X_{відн}$  – величина параметру відпускання механізму реле.

3. Коефіцієнт запасу  $K_3$  - це відношення номінального робочого вхідного сигналу до величини спрацювання

$$K_3 = \frac{X_{н.роб}}{X_{спр}}, \quad (3.2)$$

де  $X_{н.роб}$  – величина номінального робочого вхідного сигналу.

4. Коефіцієнт підсилення – відношення потужності вихідного (що комутується) сигналу до потужності сигналу спрацювання

$$K_{підс} = \frac{P_{вих}}{P_{спр}}, \quad (3.3)$$

де  $P_{вих}$  – потужність вихідного сигналу, що комутується, В;

$P_{спр}$  – потужності сигналу спрацювання, Вт.

5. Розмноження кіл – відношення кількості вихідних кіл до кількості вхідних кіл

$$K_{р.к} = \frac{n_{вих}}{n_{вх}}, \quad (3.4)$$

де  $n_{вих}$  – кількості вихідних кіл;

$n_{вх}$  – кількості вхідних кіл.

6. Чутливість – один з найважливіших параметрів реле – мінімальна потужність вхідного кола, яка необхідна для спрацювання реле

$$P_{спр} = U_{спр} \cdot I_{спр} \cos\varphi. \quad (3.5)$$

де  $U_{спр}$  – напруга спрацювання електромеханічного реле, В;

$I_{спр}$  – струм спрацювання електромеханічного реле, А.

Потужність спрацювання складає:

- для високочутливих реле  $P_{спр} < 0,01$  Вт;

- для чутливих  $P_{спр} < 0,1$  Вт;

- для низькочутливих реле  $P_{спр} > 0,1$  Вт.

### **Комутаційні характеристики реле**

Комутаційна зносостійкість визначається кількістю комутацій без врахування навантаження в колі. Розрізняють два види режимів роботи реле:

1. Режим нормальної комутації, коли контакт комутує коло багатократно.

2. Режим рідких комутацій, коли контакт комутує коло декілька раз, або декілька десятків раз.

До основних параметрів комутації кола відносяться:  $U_{ж}$  - напруга живлення;  $I_0$  – струм (постійний чи змінний); частота змінного струму;  $T_e$  - електромагнітна постійна часу для кіл постійного струму ( $\cos\phi$  – для кіл змінного струму).

### **3.1.2. Електромагнітні і поляризовані електромагнітні реле.**

#### **Будова, принцип дії**

*Електромагнітне реле* – це електромеханічних реле, в яких принцип дії заснований на дії магнітного поля нерухомої обмотки із струмом на рухомий феромагнітний елемент, якор.

*Електромагнітне реле* бувають двох типів:

1 - електромагнітні (нейтральні) реле – в них напрямлення руху якоря не залежить від напрямлення струму в обмотці;

2 – поляризовані електромагнітні – в них рух якоря залежить від напрямлення струму в обмотці.

В даний час поляризовані реле отримали широке розповсюдження за рахунок високої чутливості, яка досягається наявністю допоміжного джерела енергії – постійного магніту (в окремих випадках можна застосувати і електромагніт). Потужність спрацювання малогабаритних поля-

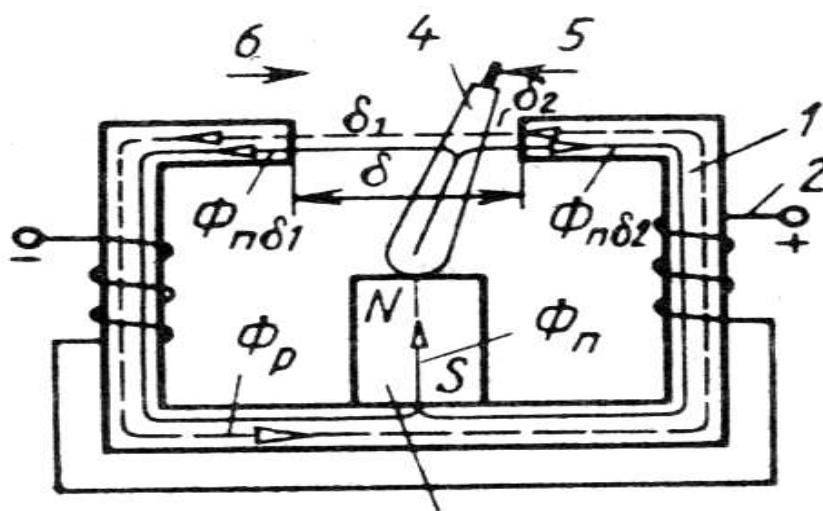


ризованих реле складає 10 – 70 мкВт, а нейтральних електромагнітних реле – 20 – 100 мВт. В поляризованих електромагнітах є два незалежних потоки: поляризуючий і робочий. Поляризуючий потік створюється постійним магнітом, а робочий – обмоткою управління.

Основні параметри і комутаційні характеристики нейтральних і поляризованих електромагнітних реле аналогічні електромеханічним реле.

В поляризованих реле використовують в основному диференціальні, або мостові схеми. Електромагнітні реле **мають в будові** магнітопровід; робочу обмотку, яка складається із двох котушок з'єднаних послідовно; постійний магніт, який створює поляризований потік; рухомий якор, закріплений до електромагніту; контакти.

Розглянемо будову і принцип дії поляризованого реле з диференціальною магнітною схемою (рисунок 3.3).



- 1 – магнітопровід; 2 – робоча обмотка, яка складається із двох котушок з'єднаних послідовно; 3 – постійний магніт, який створює поляризований потік  $\Phi_p$ ; 4 – рухомий якор, закріплений до електромагніта;  
5, 6 – правий і лівий контакт

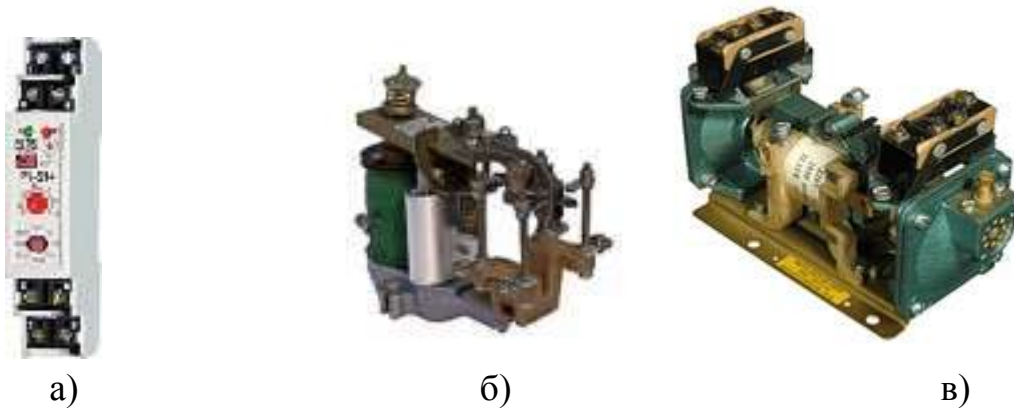
Рисунок 3.3 – Конструктивна схема поляризованого реле з диференціальною магнітною схемою

### Принцип дії поляризованого реле з диференціальною магнітною схемою наступний.

Потік постійного магніта  $\Phi_n$  проходить через якір і потім розділяється на два потоки  $\Phi_{n\delta_1}$  і  $\Phi_{n\delta_2}$ , які проходять через повітряні зазори  $\delta_1$  і  $\delta_2$ . При відсутності струму в робочій обмотці і середньому положенні якоря між полюсами, на нього діють рівні, але протилежні електромагнітні сили. Дане положення якоря є нестійким і при незначному зміщенні якоря в одну із сторін сила притягнення даного полюса збільшиться, і він притягнеться наприклад до правого полюса і замкне контакт 5. Після включення обмоток з'явиться додаткова МРС, яка створить робочий потік  $\Phi_r$ , які будуть проходити через повітряні зазори  $\delta_1$  і  $\delta_2$ . При цьому в одному із полюсів буде проходити складання магнітних потоків, а у другого вирахування. Якщо полярність струму робочої обмотки така, що складання потоків проходить в зазорі  $\delta_1$ , то при певному значенні струму якор перекинеться до лівого полюсу і замкне лівий контакт 6. При зміні полярності струму якор перекинеться на протилежну сторону.

### Реле часу

Реле часу – це логічні реле з нормованим часом спрацьовування. Вони призначені для утворення заданих витримок часу під час передачі сигналів з одного кола в інше і набули широкого розповсюдження в схемах автоматизованого електропривода, пристроях автоматики, телемеханіки, релейного захисту тощо (рисунок 3.4).

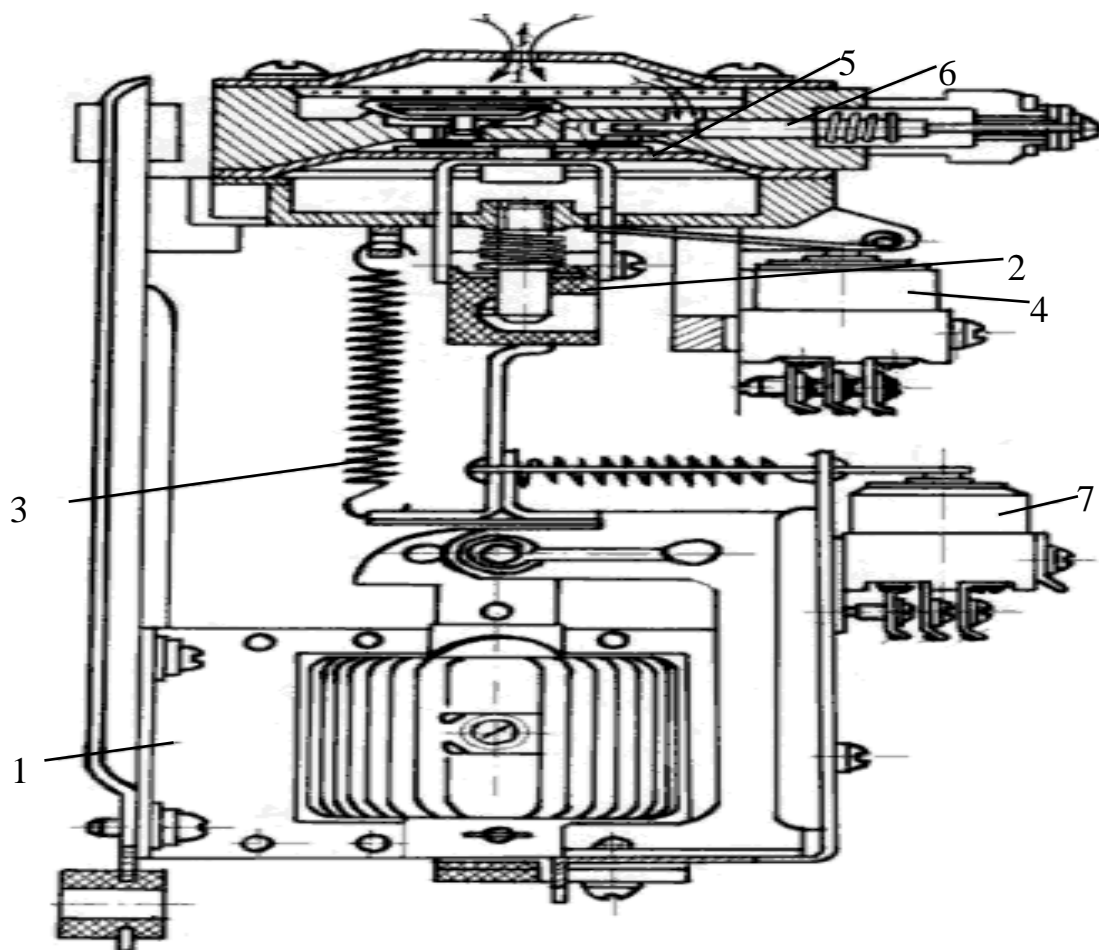


а) РЧ-514 м. Львів; б) РЭВ-811 м. Харків; в) РВП 72 м. Харків

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд різних реле часу

Серед реле часу найбільш широкого розповсюдження набули електромагнітні реле часу, в яких використовуються магнітні системи постійного і змінного струму з магнітним і механічним демпфіруванням. *Магнітним демпфіруванням* називається спосіб впливу на швидкість зміни магнітного потоку в магнітопроводі при включенні або виключенні реле.

Прикладом реле часу з магнітним демпфіруванням є реле часу РЭВ-800, РЭ-500, РЭ-100 (рисунок 3.5).



1 – електромагніт; 2 – колодка; 3 – пружина; 4 – мікроперемикач; 5 – діафрагма пневматичного утримувача; 6 – голка; 7 – контактна система.

Рисунок 3.5 – Будова реле часу з магнітним демпфіруванням

**Принцип дії** такого реле заснований на тому, що регулювання витримки часу при включеному реле може здійснюватись змінюванням натягу зворотної пружини і, тим самим, магнітного потоку відпускання або величиною робочого повітряного зазору (наприклад за допомогою немагнітних прокладок), який мало впливає на швидкість його зменшення. Прикладом реле часу з механічним демпфіруванням є пневматичні реле часу типу РВП. В цих реле електромагніт постійного або змінного струму впливає на контактну систему через затримуючий пристрій у вигляді пневматичного демпфера, часового механізму, тощо.

*Витримка часу в пневматичних реле* часу здійснюється регульовальною голкою, яка змінює переріз каналу, через який повітря всмоктується у верхню порожнину пневмодемпфера. Чим більше вкручена голка, тим витримка часу більша. Ці реле дозволяють регулювати витримку часу в межах від 0,4 до 180 с з похибкою  $\pm 10\%$ . При повністю вкрученій голці, витримка часу складає 180 с. При спрацьовуванні електромагніту 1 колодка 2 під дією пружини 3 опускається і впливає на мікроперемикач 4. Колодка 2 зв'язана з гумовою діафрагмою 5 пневматичного утримувача. Швидкість руху колодки визначається перерізом отвору, через який засмоктується повітря у верхню порожнину пневмодемпфера. Витримка часу регулюється голкою 6, що змінює переріз цього отвору. Контактна система 7 спрацьовує без витримки часу.

Мікроелектронні реле часу РЧ-510 призначені для передачі команд з одного електричного кола в друге з визначеною, наперед встановленою затримкою; застосовуються для керування пристроями промислової і побутової автоматики, вентиляції, обігріву, освітлення, сигналізації і тощо.

Технічні дані реле часу РЧ-510:

Напруга живлення –	220 В, 50 Гц
Витримка часу –	від 0,1 с до 24 год
Струм навантаження –	10 А
Кількість груп контактів –	2 на переключення
Затримка спрацьовування –	менше 50 мс
Сигналізація живлення –	зелений світлодіод

Сигналізація спрацьовування –	червоний світлодіод
Споживана потужність –	0,8 Вт
Робоча температура –	от -25°С до +50°С
Ступень захисту –	IP-40
Стійкість контактів –	5·10 <sup>6</sup> включень
Монтаж пристрою –	на шині 35 мм
Приєднання проводів –	затиски гвинтові 2,5 мм <sup>2</sup>
Габаритні розміри –	1 модуль типа S (17,5 мм)

При роботі схем захисту і автоматики часто необхідно створити витримку часу між спрацюванням двох або декількох апаратів, або проводити операції в певній часовій послідовності. В цьому разі схемі керування цього досягають підключенням реле часу, проміжних електромагнітних реле з метою створення витримки часу при спрацюванні тих чи інших механізмів.

### **3.1.3 Спеціальних апаратів захисту. Загальні відомості, принцип будови**

Під час експлуатації сільськогосподарських електроприводів захист електродвигунів від перевантажень та інших аномальних режимів автоматичними вимикачами, запобіжниками та тепловими реле не задовольняє вимогам високої надійності. Тоді використовують спеціальні апарати захисту

Для ряду електроприводів з важкими умовами роботи (приводи гній збиральних транспортерів, роздавачів кормів, змішувачів тощо) застосовується температурний захист електродвигунів УВТЗ. При цьому контролюється основний фактор, що може спричинити вихід із ладу двигуна - температура його обмоток.

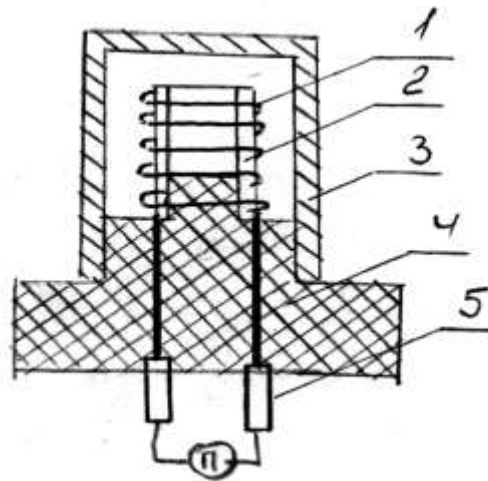
До таких спеціальних апаратів захисту відноситься пристрій вмонтованого температурного захисту типу УВТЗ-1, що призначено для запобігання перегріву статорних обмоток асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором сільськогосподарського призначення. Елек-

тродвигуни працюють у тваринницьких приміщеннях із хімічно активним середовищем, під навісом і на відкритому повітрі.

*Технічні дані пристрою УВТЗ-1:* напруга живлення,  $220 \pm 10\%$  В; опір спрацьовування 2200 Ом; довгостроково припустимий струм контактів 3 А; розривна потужність контактів 300 ВА.

Захист складається з напівпровідникового керуючого пристрою і терморезисторів із позитивним температурним коефіцієнтом опору (перетворювачів теплоти). При використанні терморезисторів СТ141А і СТ141Б температура спрацьовування захисту відповідно складає  $105^{\circ}\text{C}$  і  $135^{\circ}\text{C}$ . Терморезистор СТ14-А являє собою диск діаметром 3 мм і товщиною 1,5 мм (рисунок 3.6).

Вбудований захист складається: 1 – первинний перетворювач, який виготовлений із мідної або платинової проволочки, яка намотана на ізоляційний каркас 2 і закрита захисним кожухом 3. Виводи 5 закріплені на ізоляційній колодці 4.



1 – первинний перетворювач; 2 – ізоляційний каркас ; 3 –захисний кожухом; 4 – ізоляційна колодка; 5 – виводи.

Рисунок 3.6 – Конструкція вбудованого захисту

### Принцип дії

При зміні температури навколишнього середовища змінюється опір. Промисловість також випускає напівпровідникові терморезистори:

термістори – з негативним температурним коефіцієнтом і позистори – з позитивним температурним коефіцієнтом опору. різницю між ними закладається в тому, що у термісторів первинний перетворювач виробляється із мідно-марганцевих і кадмієво-марганцевих напівпровідникових порошків із спеціальними добавками, а у позисторів первинний перетворювач виготовляється із титаната-барія і спецдобавок. У термісторів із збільшенням температури опір падає, а у позисторів – опір росте.

Перетворювачі теплоти встановлюють в асинхронному електродвигуні (по одному на фазу) при його виготовленні або капітальному ремонті, а також у процесі експлуатації в лобових частинах і з боку вільного кінця валу. Між собою їх з'єднують послідовно ізольованими мідними проводами з перетином не менше  $0,5 \text{ мм}^2$ , а вільні кінці виводять у коробці виводів і заміряють опір усього кола терморезисторів, що при температурі  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  повинно бути в межах  $120 \dots 150 \text{ Ом}$ . Принципова схема керування асинхронним двигуном з використання температурного захисту наведена на рисунку 3.7.

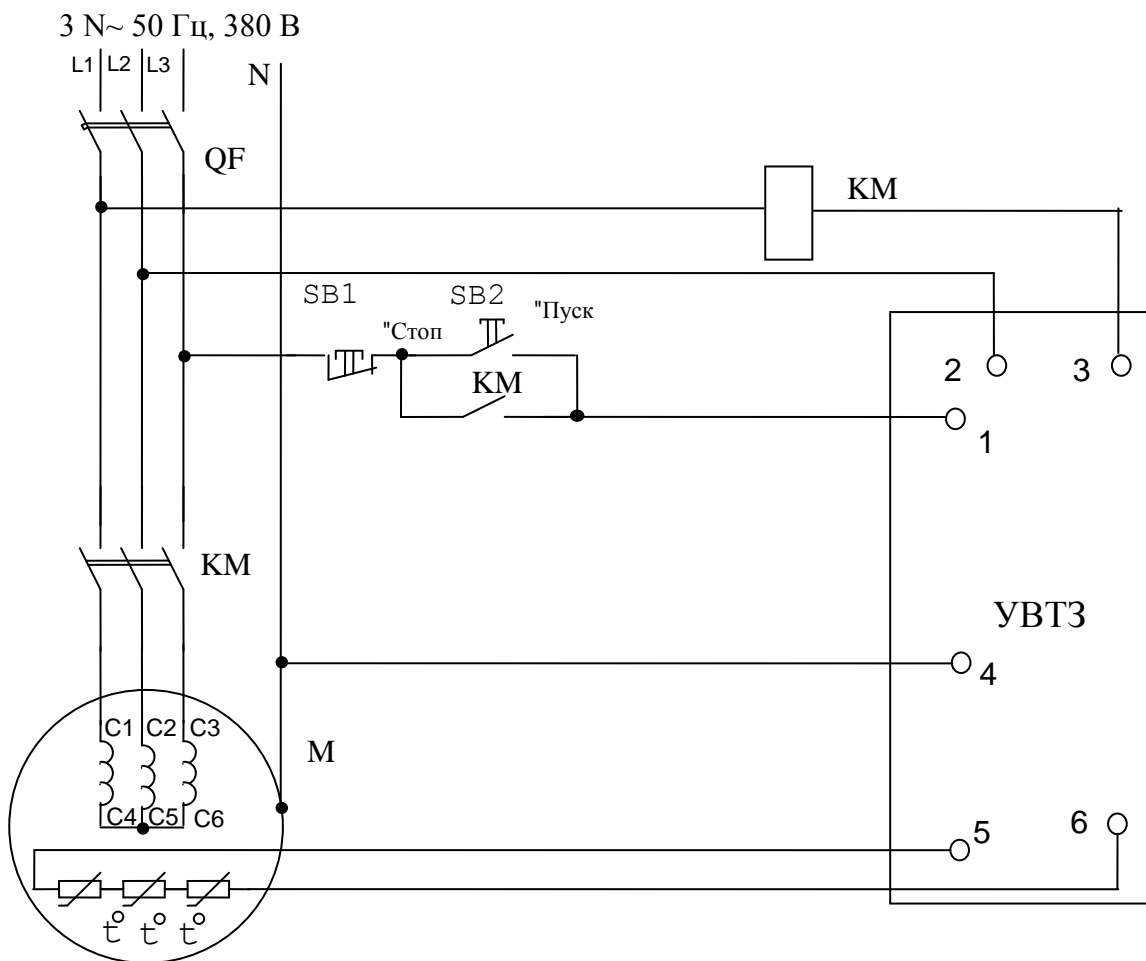


Рисунок 3.7 – Принципова схема керування електродвигуном з використанням температурного захисту

**Пристрій захисту ФУЗ-МУ** призначено для захисту трифазних електродвигунів від неповно фазних режимів, перевантажень, асиметрії напруг мережі, а також захисту статорні обмотки від перегріву при наявності умонтованих датчиків температури (позисторів).

Як виходить із назви пристрою в даному захисту контролюється не струм двигуна, а кут зсуву фаз між лінійними струмами двигуна, величина якого при аварійному режимі буде відрізнятися від величини його в нормальному режимі. Кут зсуву між фазами в трьохфазній мережі в нормальних умовах дорівнює  $120^{\circ}$ , а при обриві в одному фазному



проводі кут зсуву фаз між струмами в робочих проводах стане дорівнювати  $180^\circ$ . Тобто якщо контролювати зміну кута зсуву фаз між струмами в проводах, які підводять струм до електродвигуна, то двигун можна захисти від обриву фази (рисунок 3.8).

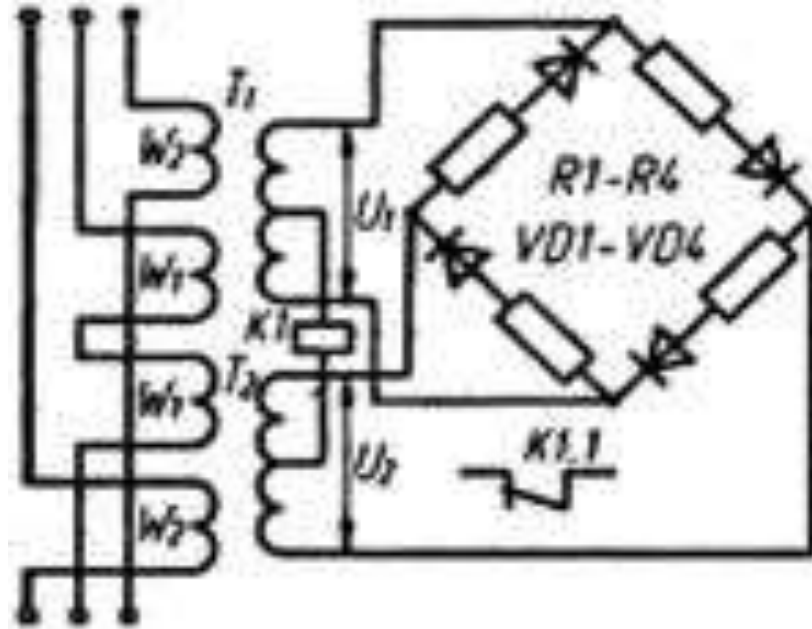


Рисунок 3.8 – Принципова схема вимірювача кута зсуву фаз ФУЗ-М

**Принцип дії** ФУЗ –М заключається в наступному: В схемі є датчик в вигляді моста із діодів VD1 — VD4 і резисторів R1—R4. Для отримання сигналу приймальним датчиком формуються дві напруги  $U_1$ , и  $U_2$  з певним кутом зсуву між фазами, який враховується датчиком. Для отримання цих напруг застосовуються трансформатори T1 и T2, які включаються в коло живлення двигуна. До датчика через вторинні обмотки трансформатора підключено реле K1, яке своїми контактами K1.1 відключить магнітний пускач двигуна при аварійному режимі. При неможливості запуску двигуна, або заклиненні, обриві фазного провода струми навантаження і вимірювальні напруги  $U_1$ , и  $U_2$  збільшаться, струм в котушці реле збільшиться і стане більше струму спрацювання реле, а отже воно спрацює і відключить електродвигун.

## Захисний пристрій РУД-05-УЗ

Для колективного захисту людей від ураження електричним струмом витоку застосовують **пристрій РУД-05-УЗ**, який відключає електроустановку при дотику людини до поверхні з небезпечним електричним потенціалом. Схема електрична принципова пристрою РУД-05-УЗ представлена на рисунку 3.9.

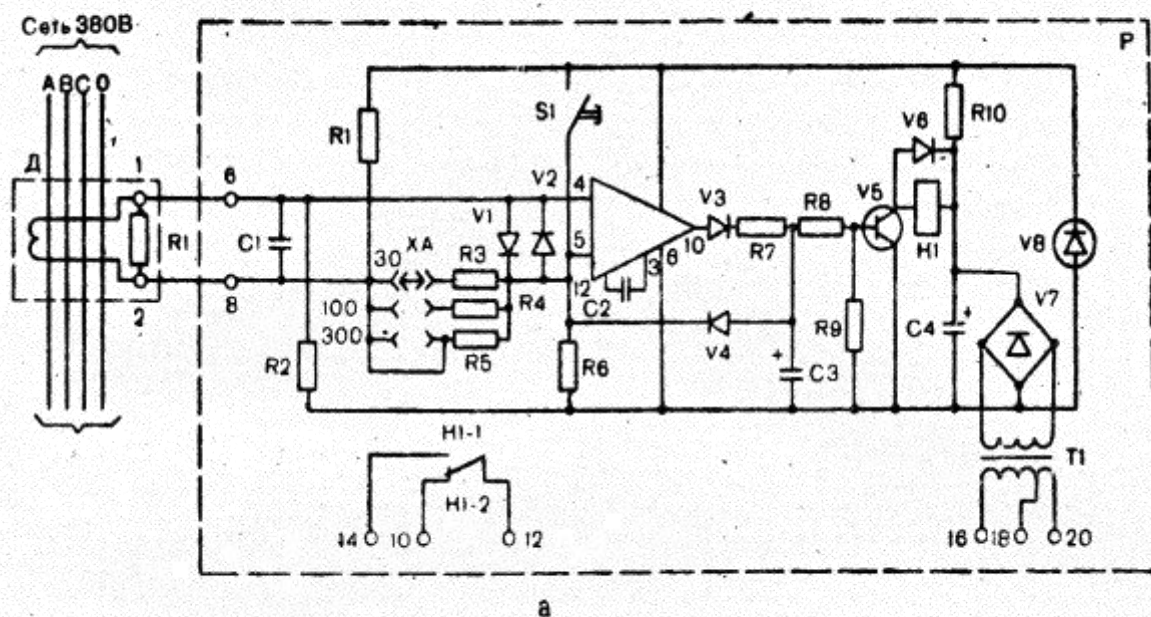


Рисунок 3.9 – Електрична принципова пристрою РУД-05-УЗ

Реле витоку РУД-05-УЗ призначене для відключення одиничних або групових електроустановок через комутаційний апарат у двох, трьох і чотирьох провідних мережах напругою 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю в разі появи струму витоку, тобто потенціалу на корпусі електроустановки. Реле цього типу може мати три уставки спрацьовування  $I_{\Sigma}$  струмом витоку: на 30, 100 і 300 мА.

Реле складається із чутливого напівпровідникового блоку Р і зовнішнього *диференціального трансформатора струму*, який входить до складу датчика D1. Силовий кабель захисної мережі пропускається через вікно датчика струму D1.

В якості комутаційного апарату застосовують автоматичний вимикач із незалежним розчіплювачем, котушка якого комутується вихідним контактом реле.

### **Принцип дії реле РУД-05-УЗ**

Згідно першого закону Кірхгофа, при відсутності струму замикання на землю сума струмів у всіх струмопровідних проводах, пропущених через вікно тороїдального магнітопроводу датчика струму D1, дорівнює нулю.

При несиметричному замкненні на землю зі струмом, що перевищує уставку реле, на виході датчика струму D1 виникає напруга, що перевищує зсув, а також напруга на виході підсилювача DA, і починається заряд ємності C3. Коли напруга на ній перевищить напруга на резисторі R6, відкриється діод VD4 і почнеться дія позитивного зворотного зв'язку. При цьому на виході підсилювача A1 напруга різко зростає, транзистор VT5 відкривається й вихідне реле KV спрацьовує, діючи зовнішній комутаційний апарат на відключення електроустановки. Час спрацьовування реле - не більше 60 мс.

Напруга 380 В підводить до клем 16, 20, напруга 220 В підводить до клем 16, 18. Дія на комутаційний апарат здійснюється через контакти вихідного реле KV, виведені на клеми 10, 12, 14 релейного блоку.

Принципова схема підключення електроспоживача через РУД-05-УЗ наведена на рисунку 3.10.

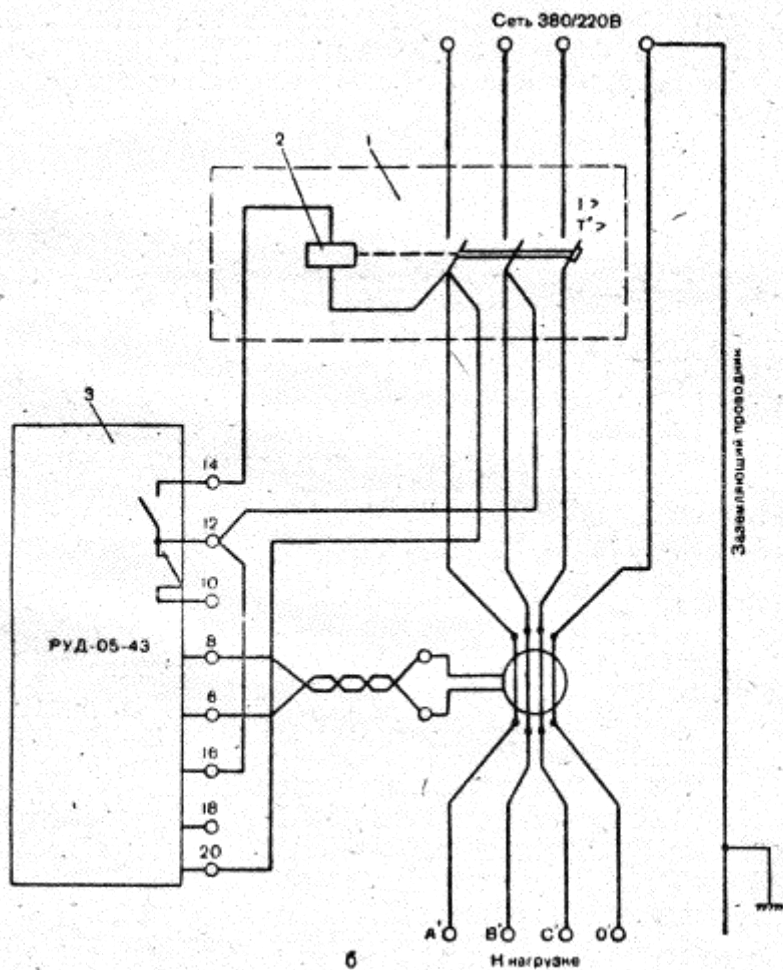


Рисунок 3.10 – Принципова схема підключення електроспоживача із пристроєм РУД-05-УЗ

Релейний блок Р і датчик струму D1 встановлюють усередині шафи розподільного пристрою в безпосередній близькості від комутаційного апарата. Струми, що пропускають через вікно датчика, D1 кабелі й проведення варто розташовувати по можливості в центрі.

### Вимикач ВД1-63

Для захисту людини від ураження електричним струмом при прямому дотику до однієї із струмоведучої частини електрообладнання ви-

користовують **вимикач ВД1-63** з уставкою 10,30,100 мА використовується у якості. Вимикачі з уставкою спрацьовування 300 і 500 мА призначені для забезпечення вогнебезпеки в електроустановках.

У всіх випадках використання ВД1-63 необхідно послідовно з ним включати автоматичний вимикача ВА 47-29 або 47-100, так як конструкція ВД1-63 не передбачає захист від струмів короткого замикання.

**Конструкція:** вимикач є електромеханічним пристроєм, який не має власного споживання електричної енергії. Він зберігає працездатність, тобто виконує захист від ураження електричним струмом і спалахів при коливаннях напруги в мережі, а також нульового проводу. Основними конструктивними елементами є: 1 – корпус із термостійкої ABS - пластмаси; 2 – затискачі із насічкою для підключення зовнішніх провідників; 3 - механізм управління; 4 - електромеханічний розчіплювач; 5 - кнопка «ТЕСТ»; 6 – датчик трансформатор; 7 – посадочне місце на 35 мм монтажну рейку.

**Принцип дії:** в експлуатації при протіканні по силовим колам струму навантаження, в магнітопроводі датчика-трансформатора утворюються рівні по величині, протилежно направлені і взаємокомпенсуючі друг друга магнітні потоки. В інформаційній обмотці напруга відсутня, якір розчіплювача притягнутий магнітом, механізм управління зведений. При появі диференціального струму (струму витоку) на заземлені елементи через ушкоджену ізоляцію струмоведучих частин або через тіло людини, яка торкнулась їх, рівність магнітних потоків в магнітопроводі порушуються. Якщо значення диференціального струму буде достатнім для створення за допомогою котушки розчіплювача магнітного потоку у ярмі, який зрівнює утримуючий потік «блокуючого» магніту (уставка спрацьовування  $I_{\Delta n}$ ), зворотна пружина відірве якір від ярма і через рухомий шток вдарить по поворотному елементу. Відбувається скидання механізму управління, вимикач відключиться навіть якщо оператор утримує важіль управління у зведеному положенні.

Монтаж вимикача виконується на 35 мм монтажну DIN – рейку у дво – і чотирьох полюсному виконанні. Схема керування асинхронним електродвигуном із пристроєм захисного відключення ВД1-63 наведена на рисунку 3.11.

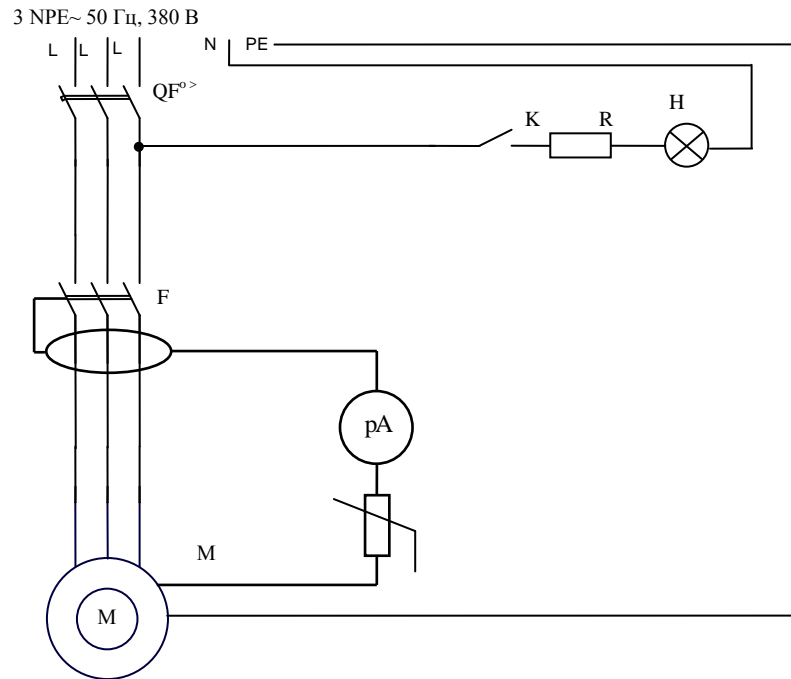


Рисунок 3.11 - Схема керування асинхронним електродвигуном із пристроєм захисного відключення ВД1-63

### Реле захисту двигуна РДЦ-01-201

Реле захисту двигуна РДЦ-01-201 (далі реле) із цифровим налаштуванням і індикацією контрольованих параметрів **призначене** для захисту трифазних асинхронних електродвигунів 3x127/220 В, 3x220/380 В ( у тому числі глибинних насосів) від наслідків:

- перевантажень;
- асиметрії навантаження;
- роботи з недовантаженням;
- перевищення напруги живлення;
- зниження напруги живлення;
- зворотного чергування фаз при включенні реле;
- зниження опору ізоляції перед пуском двигуна і комутації електричних кіл при досягненні контрольованими параметрами певних, попередньо запрограмованих рівнів.

Одночасно, крім захисних функцій, реле має можливість моніторингу наступних параметрів:

- споживаного струму по кожній фазі ( $I_A, I_B, I_C$ );
- напруги в мережі по кожній фазі ( $U_A, U_B, U_C$ );
- частоти мережі;
- моторесурсу;

Реле РДЦ-01-201 можуть експлуатуватися в наступних умовах:

– закриті неопалювані приміщення, де температура й вологість несуттєво відрізняються від температури й вологості навколишнього повітря;

– діапазон робочих температур від мінус 40 до плюс 55 °С при висоті місцевості до 2000 м над рівнем моря (для виконання ТЗ: від мінус 10 до плюс 55 °С);

– відносна вологість навколишнього повітря – до 98 % при температурі 25 °С (виконання УЗ, УХЛ2) і до 98 % при температурі 35 °С без конденсації вологи (виконання ТЗ);

– навколишнє середовище не вибухонебезпечне, не містить струмопровідного пилу, агресивних газів і парів у концентраціях, що руйнують ізоляцію й метали.

### **Технічні характеристики**

Реле РДЦ-01 відноситься до статичних реле максимального струму без оперативного живлення, із цифровою індикацією значень контрольованих параметрів і програмувальною дискретною установкою уставок спрацьовування вхідних величин, що впливають.

Вимірювальні струмові кола реле передбачені для прямого включення в мережу на номінальний струм від 1 до 20 А.

### **Основні параметри реле**

Номінальні трифазні (фазні/лінійні) напруги живлення  $U_{\phi, \text{НОМ}}/U_{\text{Л,НОМ}}$ , номінальною частотою 50 Гц 127/220, 220/380 В .

Межі припустимих відхилень напруги живлення від номінального:

- верхня межа +30% від  $U_{\text{НОМ}}$ ; – нижня межа -35% від  $U_{\text{НОМ}}$ ;

- номінальний вхідний струм ( $I_{НОМ}$ ) внутрішніх трансформаторів струму по кожній фазі (1–20) А;
  - діапазон вимірювання струму внутрішніми трансформаторами струму по кожній фазі (0,1...200) А;
  - середня основна похибка вимірювань напруги й струму 2 %
  - додаткова похибка вимірювань напруги й струму від температури не перевищує 0,1% на 1 °С;
  - діапазон вимірювань частоти мережі (49,5...50,5) Гц;
  - похибка вимірювань частоти  $\pm 0,1$  Гц;
- При зниженні опору ізоляції нижче допустимого відбувається миготіння всіх 6-ти аварійних світлодіодів.

Установки порогів спрацьовування захисту по напрузі:

- уставка номінальної фазної напруги живлення реле УНОМ, змінного струму частотою 50 Гц 127 або 220 В;
- уставка максимальної напруги  $U_{МАКС}$  (110...125)% $\cdot U_{НОМ}$  ;
- уставка мінімальної напруги  $U_{МИН}$  (70...95)% $\cdot U_{НОМ}$  ;
- гістерезис по напрузі спрацювання 5 %
- дискретність уставок по напрузі 1 В

Установки тимчасових параметрів:

- .уставка часу запуску електродвигуна  $t_{ЗАП}=(1...25)$  с;
- .уставка затримки спрацювання ланки холостого (сухого) ходу  $t_{ЗАД.ХХ}=(0...255)$  с, точність  $\pm 1$  с.
- .уставка затримки спрацювання ланки напруги ( $U_{МАКС}$ ,  $U_{МИН}$ ) і ланки струму ( $I_{АСИМ}$ , обрив фаз),  $t_{ЗАД.НТ}=(0...255)$  з, точність  $\pm 1$  с.
- .уставка кількості автоматичних повторних пусків після аварійного відключення по струму (0...5) через  $(15\pm 3)$  с.

Поріг спрацьовування по зниженню опору ізоляції двигуна  $500\pm 100$  кОм.

При перевантаженні по струму час спрацювання залежить від часу запуску двигуна й величини перевантаження по струму.

Комутаційна здатність у колах змінного струму – близько 250 В·А, АС-22 по ДСТУ 3020-95.



Реле не дає хибних спрацьовувань (розмикання замикаючого контакту) при короткочасних провалах і сплесках напруги живлення тривалістю не більш 50 мс.

Реле стійке до впливу перешкод, що мають наступні параметри:

- форма хвилі – загасаючі коливання частоти  $(1,0 \pm 0,1)$  МГц, модуль огинаючої який зменшується на 50% щодо максимального значення після 3-6 періодів;

- амплітуда першого імпульсу при поздовжній схемі підключення  $(2,50 \pm 0,25)$  кВ, при поперечній схемі  $(1,0 \pm 0,1)$  кВ;

- частота повторення імпульсів  $(400 \pm 40)$  Гц;

- внутрішній опір джерела  $(200 \pm 20)$  Ом;

- тривалість випробувань  $(2,0 \pm 0,2)$  с.

Реле зберігає параметри й виконує свої функції при впливі електромагнітних полів, створюваних проводом з імпульсним струмом амплітудою не більш 160 А, розташованим на відстані не менше 10 мм від корпусу реле.

Опір ізоляції реле, не нижче:

- у холодному стані при нормальних кліматичних умовах 50 Мом;

- у нагрітому стані при температурі 55 °С 10 Мом;

- в умовах підвищеної вологості 98% при температурі 35 °С 1 Мом.

Споживана потужність у діапазоні напруг живлення не більш 5 В·А. Вид і кількість контактів реле: 1 замикаючий. контакт, підключений послідовно з котушкою пускача (контактора).

Реле РДЦ-01-201 немає оперативної напруги живлення. Контрольована напруга є одночасно й напругою живлення. Усі елементи реле змонтовані усередині корпусу. Термін служби реле не менш 8 років.

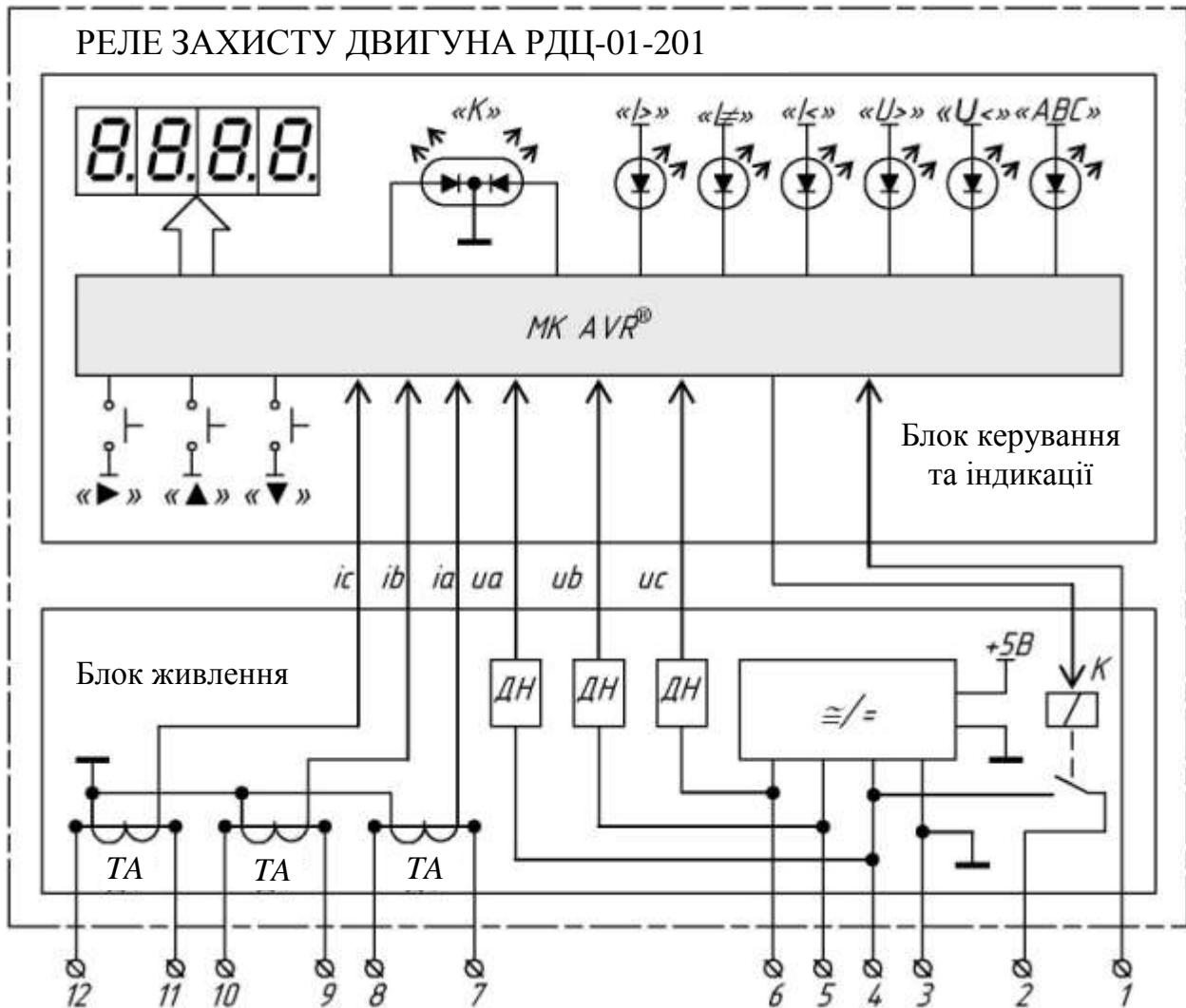
Реле РДЦ-01-201 здійснює захист і керування електродвигуном через пускач, контакторний вимикач або інші апарати пристосовані до автоматичної роботи та здатні проводити відмикання для струмів короткого замикання кола, що захищається.

### **Конструкція реле РДЦ-01-201**

Функціонально реле захисту двигуна складається із двох блоків:

- блок живлення.
- блок керування та індикації.

На рисунку 3.12 наведена структурна схема реле захисту двигуна.



*ТА* - датчик струму; *ДН* - датчик напруги; *К* - вихідне реле

Рисунок 3.12 – Структурна схема реле захисту РДЦ-01-201

Блок живлення (БЖ) забезпечує вихідну напругу +5 В для живлення схеми. Також у БЖ розташовані: датчики струму (ДС); датчики напруги (ДН); вихідне реле (К).

Блок керування та індикації (БКІ) складається з мікроконтролера (МК) з інтегрованим АЦП, 4-х розрядного світлодіодного індикатору, 3-х кнопок настроювання режиму роботи реле, 6-ти світлодіодних індикаторів, що сигналізують аварійні стани, а також одного двокольорового світлодіодного індикатору стану вихідного реле (зелений – реле замкнене, червоний – розімкнуте). На схемі показані стани вихідних контактів реле в положенні «розімкнуто».

### **Робота реле до вмикання двигуна**

Після того, як у реле РДЦ-01-201 замкнулись вихідні контакти (клеми 2 – 4), починається цикл очікування вмикання двигуна (у випадку ручного запуску двигуна). Ознакою увімкнення двигуна є наявність струму через вимірювальні трансформатори.

Індикатором очікування є індикатор сухого ходу, що мигає. У даному стані реле може перебувати як завгодно довго. Під час очікування реле веде контроль напруги й опору ізоляції двигуна.

Реле контролює опір ізоляції з моменту подачі напруги на реле до пуску двигуна, тобто до моменту початку протікання струму через трансформатори струму. Після цього контроль опору ізоляції припиняється й відновляється після аварійного відключення двигуна (відключення пускача). У випадку порушення опору ізоляції, повторні пуски забороняються. Ознакою аварійного відключення по опору ізоляції, є миготіння всіх світлодіодів.

### **Робота реле під час пуску й роботи двигуна**

*Контроль струмів і напруг.* Під час запуску двигуна  $T_{\text{зап}}$  реле проводить контроль струмів по параметрам «сухий хід» і «асиметрія струму». Контроль по параметру «асиметрія струму» проводиться за значеннями робочих струмів. За параметром «перевантаження» контроль не проводиться, завдяки чому забезпечується селективність реле до пускових струмів двигуна. Після закінчення часу запуску двигуна додатково включається захист від перевантаження по струмам і напругам.

При порушенні параметрів мережі, наприклад, перевищення напруги, загоряється світлодіод **U** і червоним кольором світлодіод **K** розімкнутий контакт реле. При наявності відразу декількох аварійних параметрів на світлодіодах може бути зафіксований тільки параметр, по якому відбулося відключення реле.

### Перезапуск реле

Для розблокування реле необхідно відключити й подати живлення реле або натиснути й утримувати в натиснутому стані кнопку ► протягом 2 с (поки не погаснуть світлодіоди, що показують причину відключення по вищевказаних параметрах). У заблокованому стані реле, можна переглядати параметри відключення, але не можна змінювати уставки. Для того, щоб обладнання запам'ятовувало параметри при яких відбулося відключення при ручному пуску, необхідно встановити число пусків – 0.

### Лічильник моторесурсу

Моторесурс двигуна рахується під час протікання струму через двигун. Накопичення мотогодин відбувається із кратністю 0,5 г. Мотогодини відображаються на екрані в тисячах годин у вигляді трьох цифр. Наприклад, 9.99 (дев'ять тисяч дев'ятсот дев'яносто годин), тобто ціна розподілу відповідає десяти годинам роботи двигуна.

### Робота реле при перевантаженні за струмом

При перевантаженні електродвигуна по струму час спрацьовування залежить від часу запуску двигуна й величини перевантаження по струму й розраховується по наступній формулі

$$t_{\text{СПРАЦ}} = \frac{Q}{A^2 - B^2}, \quad (3.6)$$

де А – кратність струму перевантаження;

В – постійна рівна 1,05;

Q – тимчасові характеристики струму залежать від часу запуску двигуна (таблиця 6.1).

Таблиці 3.1 – Співвідношення часових характеристик струму і часу запуску електродвигуна

Час запуску двигуна, с	Часові характеристики струму Q
1	30
2	75
3	120

Час запуску двигуна, с	Часові характеристики струму $Q$
4	180
5	255
6	270
7	280
8	290
9	295
10...25	300

Графік залежності часу спрацювання при перевантаженні представлений на рисунку 3.13.

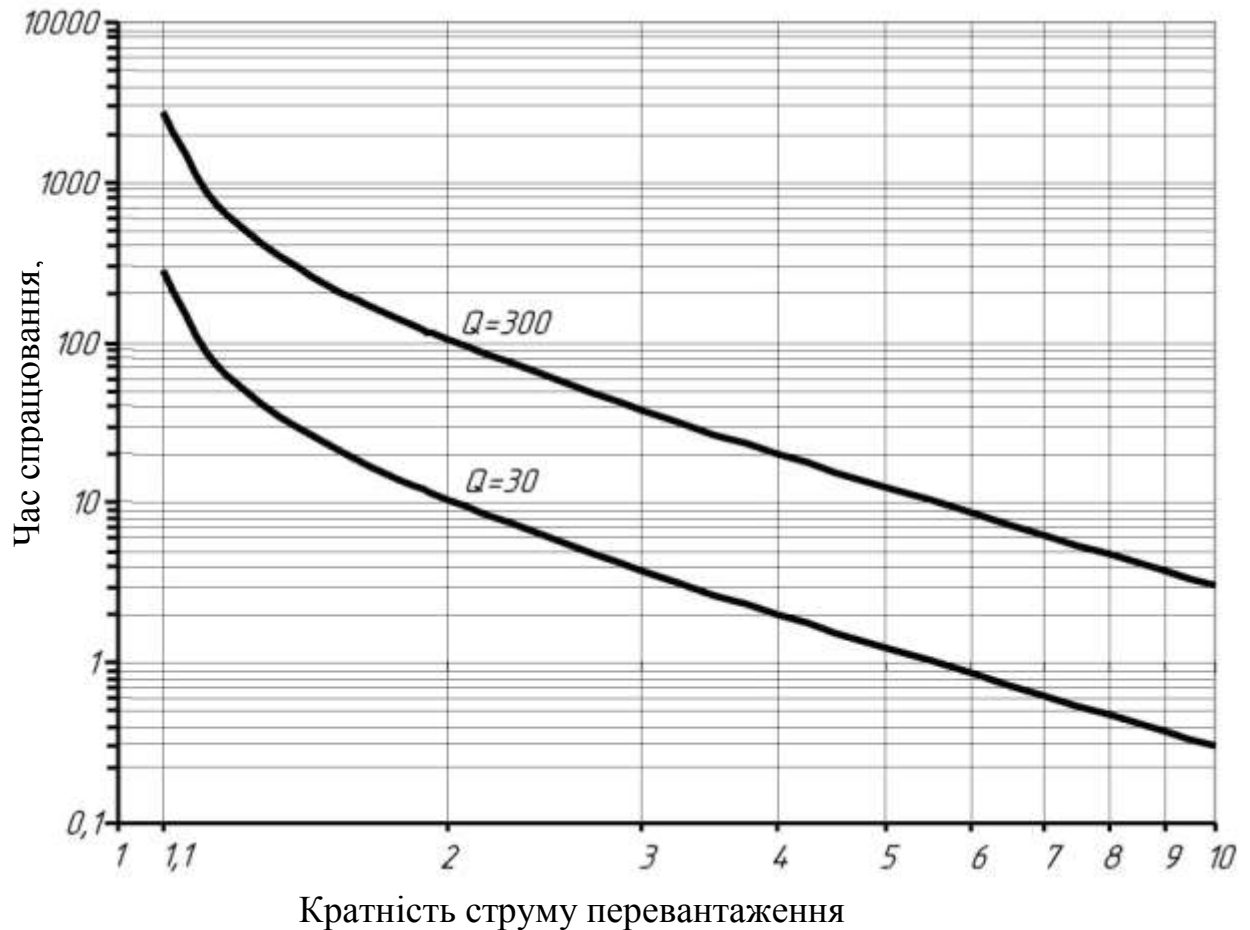


Рисунок 3.13 – Графічна залежність часу спрацювання реле РДЦ-01-201 при перевантаженні за струмом

### **Питання для самоконтролю**

1. Яке призначення електромеханічних реле?
2. З яких основних елементів побудоване електромеханічне реле?
3. На яких фізичних явищах заснований принцип дії електромеханічного реле?
4. Який принцип дії електромеханічного реле?
5. За якими признаками можна класифікувати електромеханічні реле?
6. Назвіть основні параметри електромеханічного реле?
7. Які відомі типи електромагнітних реле?
8. З яких основних елементів побудоване електромагнітне реле?
9. Який принцип дії електромагнітного реле з диференціальною магнітною схемою?
10. Яке призначення реле часу?
11. Яке призначення магнітного демпфірування в реле часу?
12. Назвіть типи реле часу з магнітним демпфіруванням.
13. Який параметр в реле часу з магнітним демпфіруванням можна змінювати за допомогою змінюванням натягу зворотної пружини?
14. Як можна регулювати витримку часу у пневматичних реле часу?
15. Яке призначення температурного захисту електродвигунів?
16. Які первинні перетворювачі застосовують у температурних захистах?
17. Яке призначення пристрою захисту ФУЗ-МУ?
18. Яке призначення пристрою захисту РУД-05-УЗ?
19. Який пристрій є датчиком струму у реле РУД-05-УЗ?
20. Який принцип дії реле РУД-05-УЗ?
21. Який електротехнічний закон лежить в основі принципу роботи РУД-05-УЗ?
22. Яке призначення вимикача ВД1-63?
23. З яких конструктивних елементів він складається?
24. Яке призначення реле захисту електродвигуна РДЦ-01-201?

### **Список літератури**

[2: с. 337-362; 377-400], [3: с. 357-74].

## Лекція 7

### ТЕМА 3 ДАТЧИКИ КОНТРОЛЮ І РЕГУЛЮВАННЯ. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

#### План лекції

#### 3.2 Датчики.

3.2.1. Поняття датчику. Форми сигналів датчиків. Класифікація датчиків.

3.2.2 Контактні датчики. Потенціометричні датчики. Омичні тензодатчики.

#### 3.3 Термоелектричні перетворювачі.

#### 3.2 Датчики.

##### 3.2.1. Поняття датчику. Форми сигналів датчиків.

##### Класифікація датчиків

**Датчик** – електричний апарат, який контролює і перетворює величину одного виду у величину іншого виду, більш зручну для впливу на оперативний орган системи автоматичного регулювання (САР). Переважно датчики перетворюють неелектричні величини в електричні, тобто замість фізичної змінної (швидкості, тиску, температури, тощо) видається еквівалентний електричний сигнал ( $I$ ,  $U$ , тощо), які є функцією цих змінних (рис. 3.14 і 3.15).

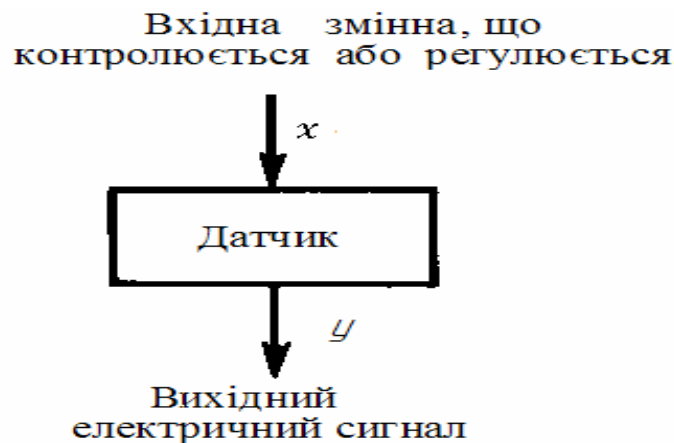
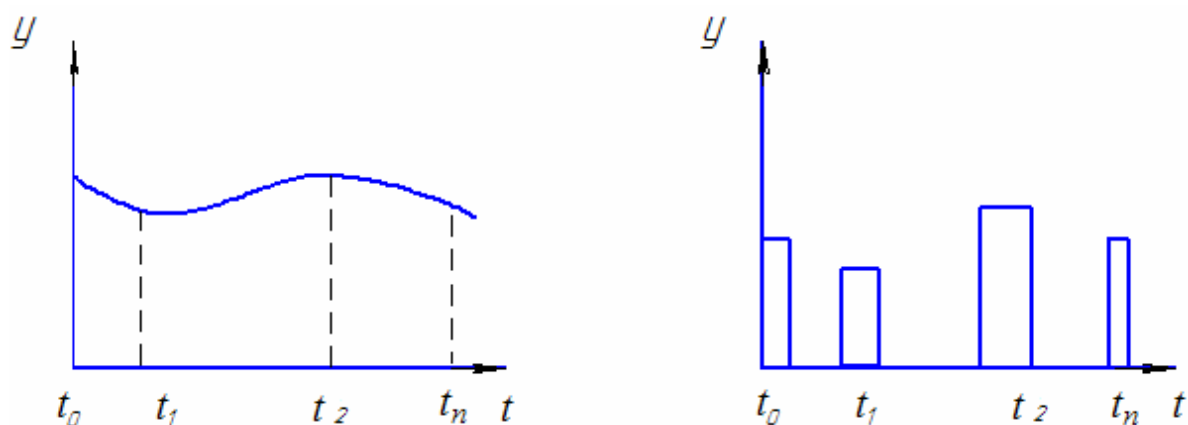


Рисунок 3.14 – Характеристики вхідних та вихідних сигналів датчиків

Тобто  $y = f(x)$ , де  $x$  - це є вхідна змінна фізичного процесу, що контролюється або регулюється, і функція  $y$  – це є вихідна змінна датчика. Таким чином, датчик - це перший елемент вимірювального каналу, зазвичай, аналоговий пристрій, що видає інформацію про параметри системи та процеси, які в ній протікають.

Розрізняють дві основні **форми сигналів**:

- безперервну, яка відбиває певний фізичний процес, інформація про який визначається певними інформативними параметрами: струму, частоти, фази та іншими (рис 3.14, а);
- дискретну (кодовану), при якій носіями інформації є кількість елементів кода, їх розподіл в часі, або в просторі (рис. 3.15, б).



а) дискретний сигналі; (б) вихідний сигнал.

Рисунок 3.15 – Характеристики датчиків при різних формах сигналів

Датчики доповнюють і розширюють можливості відчуттів і почуттів людини. Між будь-якою технічною системою (автоматом, роботом) і біологічною системою (людина) існує аналогія (рис. 3.16). За умови відсутності датчиків контроль якості продукції, виробництво і вживання електроенергії, розпізнавання образів (форми, габаритних розмірів, хімічного складу, швидкості переміщення, тощо), а також створення маніпуляторів та роботів не можливе. В сучасному виробництві датчики застосовують як елемент моніторингу технологічних процесів, що дозволяє під-вищувати якість, а також кількість кінцевої продукції за рахунок мо-



жливості одночасного регулювання та коректування процесу виробництва. У складі датчиків можуть бути чутливий елемент, що безпосередньо сприймає змінення сигналу, який контролюється, а також перетворювач та підсилювач для узгодження вихідних і вхідних сигналів.



Рисунок 3.16 – Аналогія функціонального зв'язку між процесами отримання, обробки і перетворення сигналів в біологічних (людина) і технічних (автомат) системах

Для надійної роботи всієї системи в цілому висуваються **вимоги до датчиків** наступні:

- висока надійність;
- довгий термін безвідмовної роботи;
- висока точність;
- здатність реагувати на незначні відхилення значення сигналу, що вимірюється;

– висока чутливість , яка не має залежати від значення та закону змінення контрольованої величини;

– стабільність і однозначність характеристик і незалежність від зовнішніх впливів (старіння елементів схем, нестабільність напруги живлення та опору на виході вимірювального органу, вплив оточуючого середовища, тощо);

– висока ефективність, тобто максимальний вихідний сигнал при мінімальній вхідній енергії та інші.

**Класифікація датчиків** проводиться за декількома ознаками та критеріями:

– за фізичними явищами, на базі яких відбувається робота датчиків (закон електромагнітної індукції, ефект Хола, магнітострикція та інші);

– наявності рухомих елементів (електромеханічні), або їх відсутності (статичні);

– за принципом дії;

– за конструкцією;

– за призначенням;

– за величиною, що контролюється (наприклад, тиск, вологість, прискорення, кут повороту і т.д.);

– за об'єктом регулювання (наприклад, температура печі, частота обертання двигуна, тощо);

– за видом передавальної функції (наприклад, безінерційні, інерційні, із запізненням, тощо).

Всі датчики розрізняються на пасивні (або параметричні), та активні (або генераторні).

До *параметричних* належать датчики, в яких зміна контрольованої величини викликає відповідну зміну параметра в електричному ланцюзі. Вони не можуть самостійно утворювати на виході електричний сигнал, для їх роботи необхідне джерело живлення (наприклад, резистивні, індуктивні та ємнісні датчики).

До *генераторних* належать датчики, які самі є джерелами електричної енергії, тобто не потребують додаткового джерела живлення, а самі генерують електричний сигнал, зазвичай у виді ЕРС, причому енергія, що виникає на виході, пропорційна величині, яку контролюють. Прикладом

можуть бути індукційні, термоелектричні, фотоелектричні, п'єзоелектричні датчики, сельсини, тощо.

Основна (головна) **характеристика датчика**  $y = f(x)$  може бути лінійною, або нелінійною. Частіше необхідна лінійна характеристика, тобто пропорційна зміна вихідної величини від вхідної.

*Чутливість* датчика визначається за формулою

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (3.7)$$

де  $x$  і  $y$  – повні змінення вхідної та вихідної величин.

*Відносна чутливість* за такою формулою

$$S_{\text{Від}} = \frac{\Delta y \cdot x}{\Delta x \cdot y}. \quad (3.8)$$

де  $S$  – відносна чутливість датчика.

Якщо  $S = \text{const}$ , тоді датчик є «лінійним», якщо ж  $S = \text{var}$ , датчик є «нелінійним». Тривалість перехідного процесу визначається швидкодією.

*Повна похибка* датчика визначається як

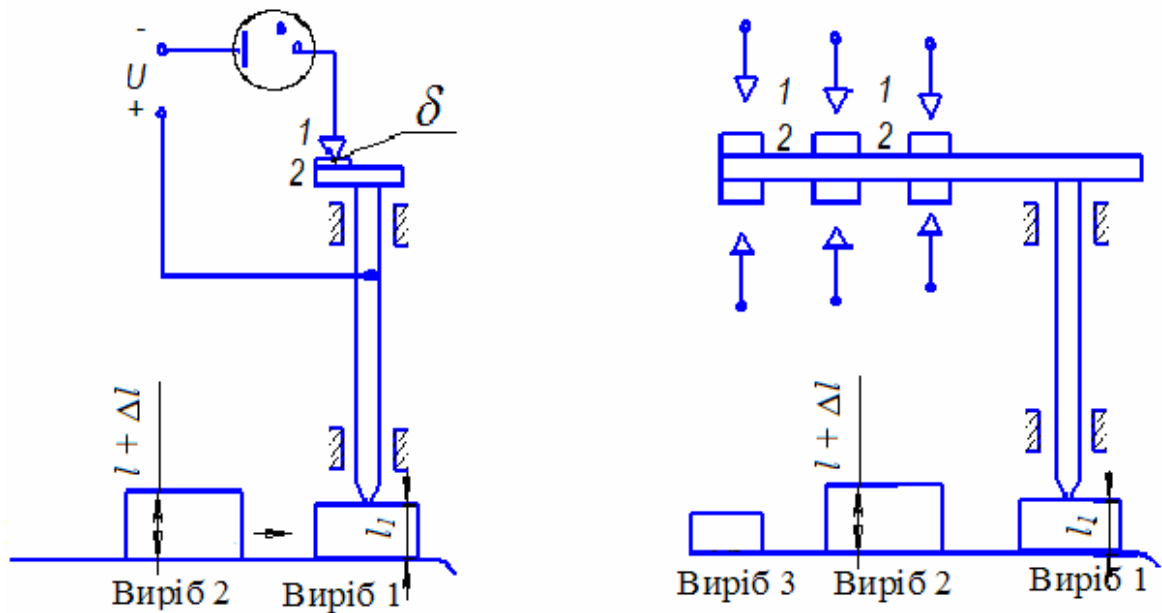
$$\Delta\Pi = (\Delta X_A + \Delta\Pi) = \pm(\Delta X_A + \gamma S), \quad (3.9)$$

де  $\Delta X_A$  – адитивна похибка, яка не залежить від вхідної величини, джерелом її служить зовнішеї наведення, втрати в схемах, шуми схемних елементів та інше;

$\gamma S$  – мультиплікативна похибка, яка залежить від вхідної величини, джерелом її є нестабільність і невідповідність номінальним значенням коефіцієнтів передач окремих функціональних вузлів та інше.

### 3.2.2 Контактні датчики. Потенціометричні датчики. Омичні Тензодатчики. Індуктивні і трансформаторні датчики. Ємнісні датчики. Датчики кутового прискорення. Датчики частоти обертання

**Контактні датчики** по суті є датчиками параметричного типу, в яких електричний опір змінюється при зміні певної механічної величини. Коли величина, яка вимірюється, досягає певного значення, електричні контакти 1 і 2, що включені в ті або інші ланцюги, замикаються або розмикаються. Це є сигналом того, що відбувається переміщення більше, або менше певної нормованої величини (рисунок 3.17). Статична характеристика має релейний характер тому, що його вихідна величина є опором електричного ланцюга і, відповідно, змінюється стрибком.



а - одноможевий контактний датчик; б - багатоможевий контактний датчик.

Рисунок 3.17 – Схема принципова дії контактних датчиків для контролю розмірів деталей:

Наприклад, у сортувальних апаратах ці датчики дозволяють розділяти вироби до 40 груп з продуктивністю у декілька сотень за хвилину. Для контролю розміру  $l$  деталей та відбраковки непридатних виробів  $l + \Delta l$  (1...3) в схемах на рисунку 3.4 включена лампа. Якщо розмір відрізняється від нормативного, вона загоряється і дозволяє реагувати контролеру на виробництві. Велике значення для роботи датчиків має вибір матеріалу контактів. Позитивні результати отримані з контактами, виготовленими зі сплавів паладію та ірідію, або вольфраму та ренію. При проектуванні датчиків орієнтуються на малу розривну потужність, щоб менше підгорали контакти (1) і (2). Матеріали для контактів залежать від контактного тиску  $P_K$ , який у свою чергу залежить від чутливості. Якщо  $P_K$  знаходиться в межах до 0,2 Н, то контакти виготовляються із золота; якщо  $P_K$  знаходиться в межах до 1,0 Н – зі срібла; якщо  $P_K$  знаходиться в межах до 3,5 Н – зі сплаву з вольфраму та молібдену.

Контактні датчики мають переваги такі, як високу точність і чутливість, можливість застосування в змінних і постійних колах та відносно невелику вартість, але ж і недоліки такі, як підігрівання контактів та великі погрішності при вібраціях і струсах.

**Потенціометричні датчики** належать до розповсюджених датчиків зсуву (переміщення), які можуть вимірювати як лінійне зсув (при поступальному переміщенні), так і кут повороту (при обертанні). Вони належать до датчиків параметричного типу і перетворюють механічні переміщення в змінювання активного опору електричного кола, а також мають назву резистивних датчиків зі змінним опором. Виготовляються потенціометричні датчики з матеріалів, які характеризуються такими питомими опорами:

- константан (Cu + Ni) з опором  $\rho = 0,49 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ;
- ніхром (Mn + Ni + Fe + Cr)  $\rho = 1,08 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ;
- манганін (Cu + Ni + Mn)  $\rho = 0,42 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ;
- сплав платини та ірідію (Pt + Ir)  $\rho = 0,23 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ;
- вольфрам (W)  $\rho = 0,056 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .

Провід намотується на плоский, циліндровий кільцевий каркас із діелектрика (текстоліт, електричний ебоніт, гетинакс та ін.), а для особливо точних датчиків – на металевий каркас, напилений ізоляційними

окислами (наприклад,  $Al_2O_3$ ), які добре відводять тепло. Повзунки зазвичай виготовляють зі сплавів паладія з іридієм, сріблом, або кобальта ( $Pd + Ir$ ,  $Pd + Ag$ ,  $Pd + Ag + Co$ ) та інші. Задля забезпечення контакту у момент переміщення з витка на виток, повзунок має торкатися одночасно попереднього витка і наступного (рисунок 3.18).



Рисунок 3.18 – Принцип дії потенціометричного датчика

З різноманітних існуючих схем комутації найбільшого поширення набула проста схема (рисунок 3.19).

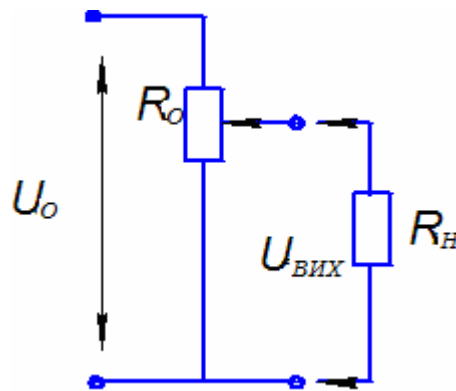


Рисунок 3.19 – Електрична схема датчика переміщення

Якщо переріз каркаса, на який намотаний дріт, однаковий по всій довжині, то опір датчика змінюється пропорційно куту повороту  $\alpha$  або переміщення  $x$ . Якщо вхідний опір у схемі, параметри якої вимірюються, має велике значення, то вихідна напруга  $U_{вих}$  залежатиме лише від куту повороту  $\alpha$ , або лінійного переміщення  $x$ , і не залежатиме від опору  $R_0$

$$U_{вих} = \frac{U_0}{a_{max}} \cdot a ; U_{вих} = \frac{U_0}{x_{max}} \cdot x, \quad (3.10)$$

де  $a_{max}$  – максимальний кут повороту, рад.;

$x_{max}$  – максимальне переміщення повзунка, м.

Чутливість датчика з лінійним переміщенням рухомого контакту визначається як

$$S_{\phi} = \frac{d \cdot U_{вих}}{dx} = \frac{U_0}{x_{max}}. \quad (3.11)$$

Для підвищення чутливості датчиків зазвичай збільшують напругу живлення  $U_0$ , проте, при цьому підвищується потужність, що розсіюється датчиком.

Максимальна чутливість  $S_{max}$  розраховується

$$S_{max} = \frac{\sqrt{P_{max} \cdot R_0}}{x_{max}}, \quad (3.12)$$

де  $P_{max}$  – найбільша допустима потужність потенціометрично-го датчика з  $R_0$ .

Похибка датчика залежить від стабільності напруги живлення  $U_0$ , точності виготовлення конструктивних деталей, температурної стабільності і матеріалу. Важливим показником якості потенціометра є плавність зміни вихідної напруги. Ця характеристика визначає, на який найменший кута повороту, або величину переміщення повзуна датчик здатний реагувати. Як видно з графіка (рис. 2.7) напруга дрових датчиків змінюється не безперервно, а сходами (нелінійно). Фізично це можна пояснити тим, що елемент повзунка, який знімає струм, не контактує з поверхнею дроту по всій довжині, а лише «перескоком» (а – б – в – г).

Тоді відхилення вихідної напруги від розрахункової через перестрибування по сходах дорівнюватиме

$$\Delta U_{сх} \leq U_0 / 2\pi, \quad (3.13)$$

де  $n$  – загальне число витків;

$U_0$  – напругою живлення, В.

Для оцінювання чисельного значення похибки, обумовленої перестрибуванням сходинок, було введено розуміння електричної здатності розрізнювання потенціометром  $\delta_p$ , (%). Це є величина приросту опору або напруги при переміщенні повзунка потенціометра на один виток. Вона визначає максимально можливу точність (безпомилковість) роботи потенціометричного датчика. Характеристика провідникових датчиків при зміні довжини переміщення або кута повороту наведена на рисунку 3.20.

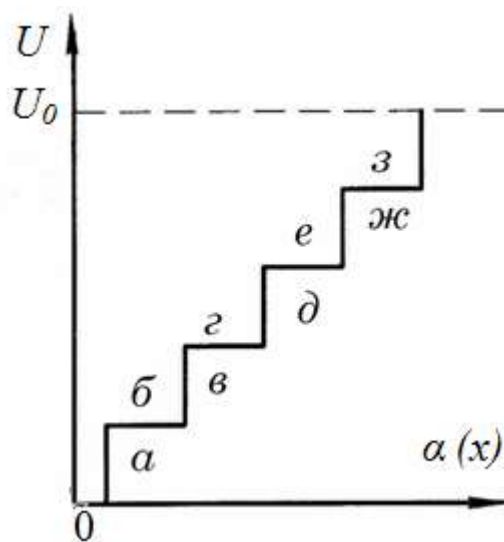
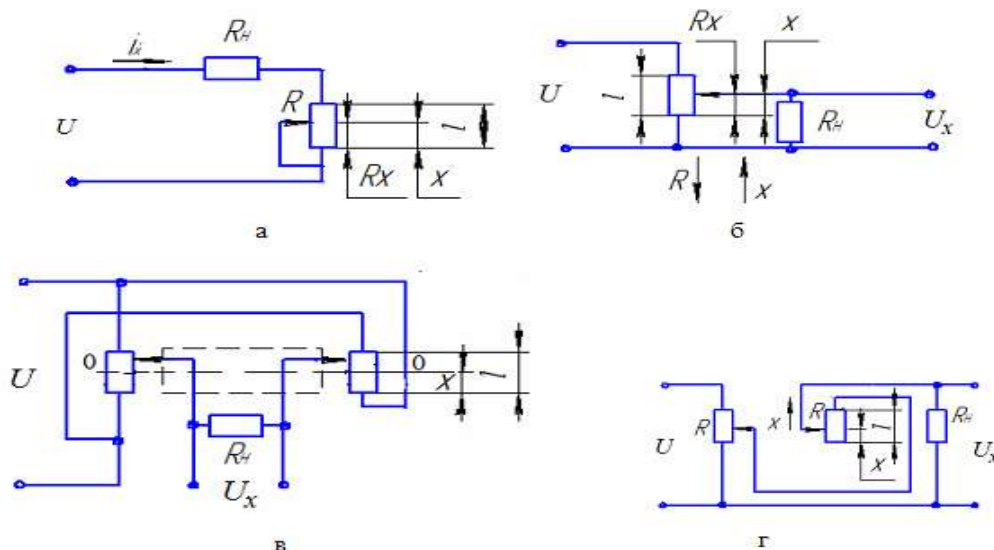


Рисунок 3.20 – Характеристика провідникових датчиків при зміні довжини переміщення або кута повороту

Для покращення здатності розрізнювання потенціометра збільшують число витків  $n$ . Цього можна досягти або шляхом подовження обмотки, або зменшення перетину безпосередньо дроту. Проте, перший варіант приводить до збільшення розмірів потенціометра, а другий – до зменшення механічної міцності провідника, а також технологічним труднощам виготовлення потенціометра і т. і. Одно бертові потенціометри мають значення  $\delta_p = (0,02 \dots 0,4)\%$ . Для зміни  $\delta_p$  можна застосовувати складні багато обертові потенціометри. Незмінну здатність розрізнювання мають лише лінійні потенціометри. Проте, крім переваг (можливість отримання



лінійної характеристики, проста конструкція і невелика вартість) вони мають і певні недоліки (відносно великі зусилля на переміщення, підгоряння контактів, механічне зношення і хімічна корозія). Наслідком цього може бути зміна передаточної характеристики впродовж всього терміну експлуатації. Резистивні датчики можуть бути каркасними та безкаркасними (рідинними або електролітичними), безступеневими (рисунку 3.21-3.24). Основою каркасних датчиків (рис. 3.21, а – г) є високоомний дріт, який виконує функцію опору.



а-г – різні форми каркасних датчиків.

Рисунок 3.21 – Резистивні каркасні датчики положення

Схеми принципові електролітичних резистивних датчиків на рисунку 3.22.

Для приблизного визначення зчпної ваги застосовуються датчики зі змінними довжиною та перетином каналу (рисунку 3.23). Опір електролітичного датчика  $R_D$  довжиною  $L$  може бути визначений як,

$$R = l/\Lambda, \quad (3.14)$$

де  $\Lambda$  – провідність електроліту, См. В загальному випадку визначається шляхом побудови картини електричного поля і підсумовуванням провідності окремих ділянок.

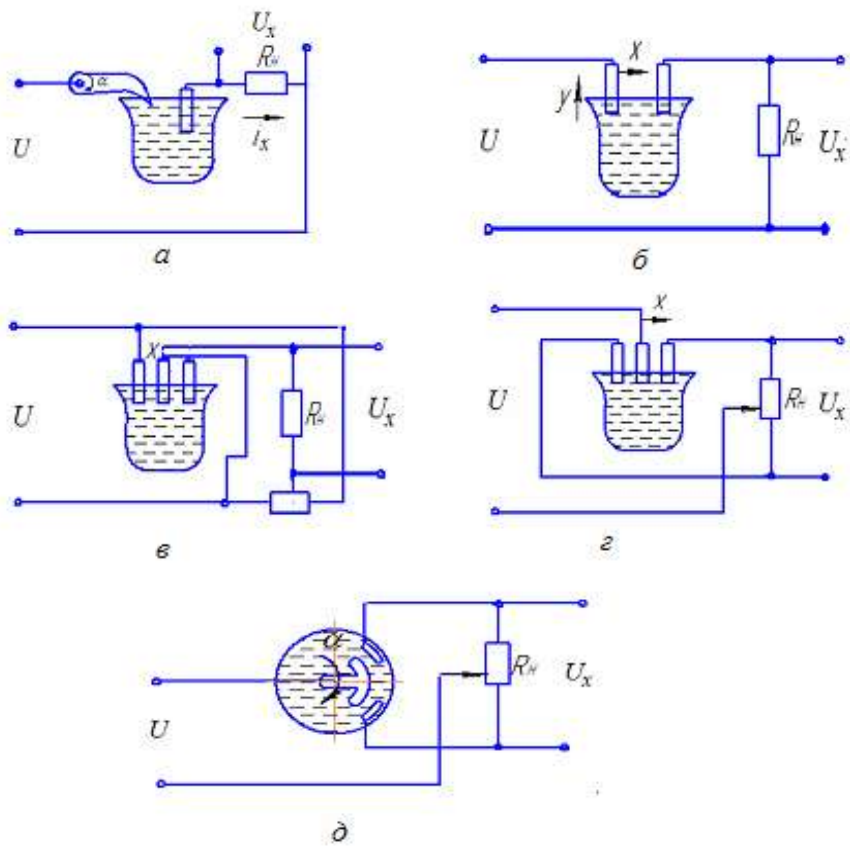


Рисунок 3.22 – Схеми електричні принципи резистивних електролітичних датчиків положення (а-д)

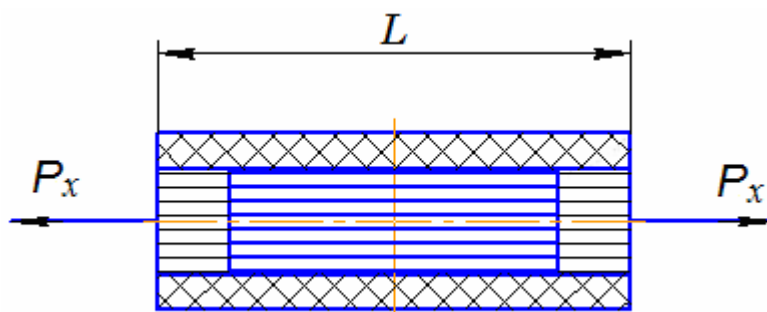


Рисунок 3.23 – Датчик зі змінними довжиною і перетином каналу

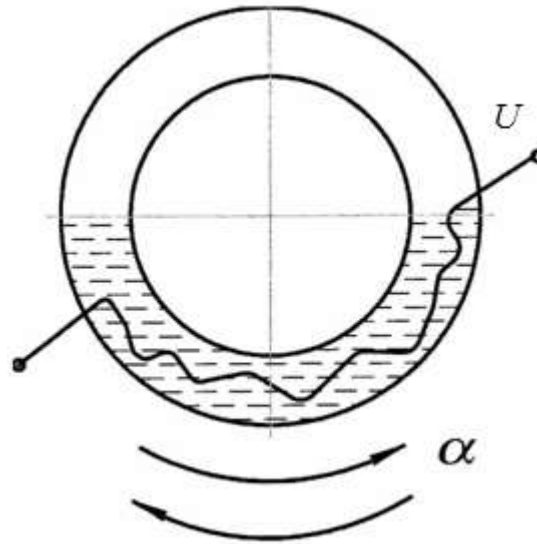


Рисунок 3.24 – Принцип роботи безступеневого датчика

**Омічні тензодатчики.** Дія цих датчиків заснована на змінюванні активного опору провідникових і напівпровідникових матеріалів при дії на них зовнішніх механічних пружних сил. Вони є датчиками параметричного виду, і використовуються для перетворення малих деформацій (порядку  $10^{-3}$  мм) в електричний сигнал (рис. 2.12). Зазвичай деформація в напрямку дії сили в зоні пружних деформацій відбувається відповідно до закону Гука

$$\delta_l = \Delta l / l = \sigma / E, \quad (3.15)$$

де  $\delta_l$  – відносна продольна деформація;

$\sigma$  – механічне напруження в провіднику, Н/м<sup>2</sup>;

$l$  – довжина провідника, м;

$E$  – модуль пружності (модуль Юнга).

Зміна опору характеризується тензочутливістю

$$S_\delta = (\Delta R / R) / \Delta l / l = E \cdot (\Delta R / R) / \sigma \quad (3.16)$$

де  $\Delta R$  і  $R$  – опір і приріст опору в результаті деформації, Ом.

Якщо позначити відносне подовження як  $\zeta = \Delta l / l$ , тоді модуль пружності буде рівний

$$E = \Delta R / \zeta, \quad (3.17)$$

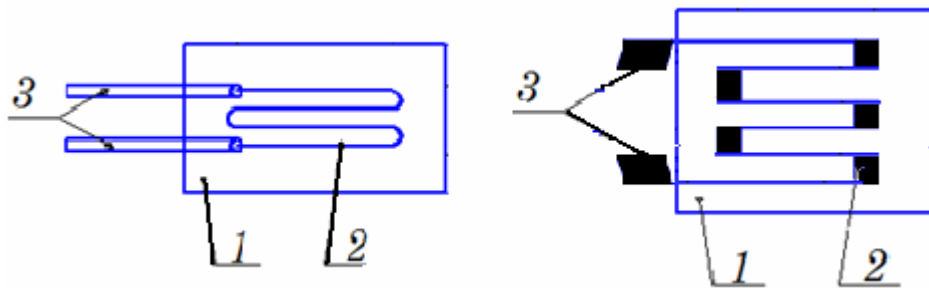
Принцип роботи тензодатчиків базується на тому, що опір металу змінюється через зміну геометричних розмірів і питомого опору матеріалу. Під дією деформації тензочутливого елемента деталі змінюються його геометричні розміри і питомий опір, що впливає на загальну зміну опору:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (3.18)$$

де  $\rho$  – питомий опір матеріалу тензочутливого елемента, Ом·м;  
 $l$  та  $S$  – відповідно довжина і перетин елемента, м і м<sup>2</sup>.

Провідникові тензодатчики бувають дротові та фольгові. Чутливі елементи датчиків виконуються з металевого дроту, або фольги – стрічки, а також напівпровідників круглого або прямокутного перетину.

Тензорезистор (рисунок 3.25) – це є тонкий тензочутливий елемент – дріт або фольга (2), який укладений зигзагом на тонкій еластичній ізоляційній пластині (1) з паперу або плівки. До виводів елемента припаюються або приварюються вивідні пелюстки (3). Для захисту від вологи їх герметизують за допомогою металевих кожухів, фольги, або гуми.



а) дротова конструкція; б) фольгової конструкція.

Рисунок 3.25 – Схема тензодатчиків різних конструкцій

Дротові елементи (рисун. 3.25, а) зазвичай мають діаметр дроту від 0,015 мм до 0,030 мм, виготовляються, наприклад, з константана (склад 60% Cu + 40% Ni), має питомий опір  $\rho = 0,44 \dots 0,52$  (Ом·мм<sup>2</sup>)/м,

температурний коефіцієнт лінійного розширення  $K_T=12,5$  при нагріванні елемента датчика до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Допустима робоча температура датчика  $\Theta_{\text{роб}} \leq 400\text{ }^\circ\text{C}$ . Інший матеріал може бути виконаний зі сплаву 479 (92% Pt + 8% W), який має питомий опір  $\rho$  приблизно рівний  $0,1\text{ (}\Omega\cdot\text{мм}^2\text{)/м}$ ,  $K_T=9$  та допустиму робочу  $\Theta_{\text{роб}} \leq 1300\text{ }^\circ\text{C}$ . Фольгові тензорезистори (рис. 3.25, б) аналогічні дротовим, і їх елементи виготовляються з тонкої фольги прямокутного перетину товщиною від  $0,004\text{ мм}$  до  $0,012\text{ мм}$ , яка наноситься на лакову основу. Виготовляються вони фотохімічним способом, тобто зображення контуру тензодатчика переноситься фотографічним способом на поверхню фольги, покритої світлочутливим шаром. Потім контур проявляють, що робить його кислотостійким. Фольгові елементи виготовляються із сплавів «золото-срібло» (Au+Ag) (кращі фольгові датчики), «мідь-нікель» (Cu+Ni), або «титана-алюміній» (Ti+Al). Останні забезпечують вимір відносної деформації до 12% і можуть працювати в агресивних середовищах. Зі зворотного боку фольги наносять шеллак, а незахищені кислотостійким шаром ділянки фольги протравлюють.

Фольгові тензоелементи в порівнянні з дротовими мають такі переваги:

- високу тепловіддачу, яка здійснюється через більш велику площу фольги і, відповідно, кращого контактування смужок фольги з деталлю;
- технологічно застосовувати фольгу великого площі і забезпечувати добре приклеювання;
- збільшується значення струму через датчик, що підвищує тензочутливість приблизно на 40%;
- краще сприймається деформація об'єкту, що досліджується, через велике значення відношення периметру перетину пласкої смужки до площі її перетину, тому точність вимірювання деформації збільшується;
- з'являється можливість збільшити перетин терморезистора, що дозволяє здійснити надійніше кріплення виводів.

Всі омичні тензодатчики мають **переваги** такі, як:

- безінерційність, що надає можливість вимірювати швидко-змінні навантаження;
- стабільність;
- малий гістерезис;

- можливість розміщувати у важкодоступних місцях;
- невеликі габарити і вагу, а також відносно малу вартість.

**Недоліки** таких датчиків в тому, що вони мають температурну похибку та малу відносну зміну опору. Мала відносна зміна опору призводить до необхідності застосовувати вимірювальні схеми значної чутливості (наприклад, мостові), а температурну похибку можна компенсувати спеціальною схемою включення. Наклеювання тензорезисторів призводить до того, що вони мають стабільні характеристики лише в одній партії при їх виробництві, та відповідно, тільки разове використання. Конструктивно існують ненаклеювані тензодатчики. Їх можна використовувати для визначення значних зусиль. Наприклад, у важких транспортних конвеєрах, зчепленнях вагонів і вантажівок з метою орієнтовної оцінки зусилля (з погрішністю до  $\pm 10\%$ ) можна використовувати датчик, виконаний з константа нового дроту, намотаного на ізолятори (рисунок 3.26), які кріпляться на де-талях, що взаємно переміщуються. Зусилля, яке можна отримати при розтягуванні пучка дротів кількістю  $N$ , можна визначити формулою

$$P = N \cdot (\pi \cdot d^2) / 4 \cdot E \cdot \Delta l / l . \quad (3.19)$$

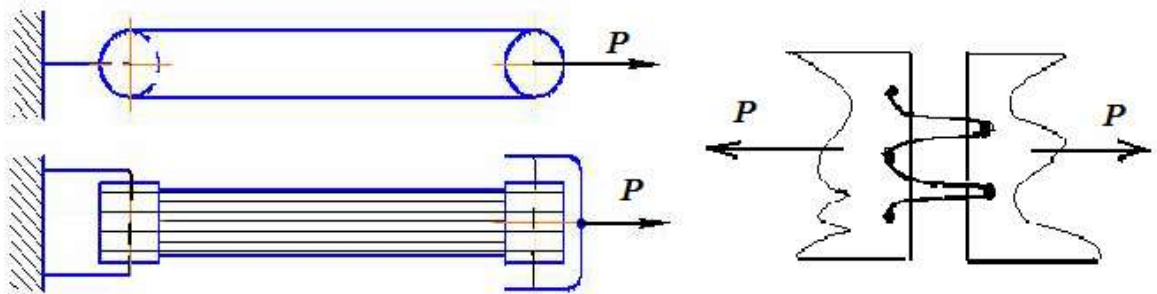


Рисунок 3.26 – Ненаклеєний датчик для визначення великих зусиль

### Індуктивні і трансформаторні датчики

Індуктивні і трансформаторні датчики призначені для вимірювання значень переміщень та зусиль. Принцип їх роботи, відповідно, базується на зміні індуктивності через пересування рухомого елемента, або

магнітного зв'язку між первинною та вторинною обмотками. Отже, ці датчики розрізняють за вихідними параметрами: з коефіцієнтом самоіндукції, що змінюється (індуктивні датчики) та з коефіцієнтом взаємоіндукції, що змінюється (трансформаторні датчики).

### Індуктивні датчики

Як було зазначено, принцип їх дії заснований на зміні значення індуктивності системи датчика через зміну магнітного потоку вхідної величини рухомої частини. Індуктивність електромагнітної системи визначається за формулою:

$$L = \frac{\Phi \cdot w}{I}, \quad (3.20)$$

де  $L$  – індуктивність електромагнітної системи датчика, Гн;

$I$  – сила струму котушки, А;

$\Phi$  – магнітний потік, Вб;

$w$  – кількість витків обмотки.

Якщо знехтувати розсіюванням магнітного потоку в магнітній системі, що містять обмотку і феромагнітне осердя з незначним повітряним зазором, тоді

$$\Phi = \frac{I \cdot w}{R_m}, \quad (3.21)$$

де–  $R_m$  магнітний опір магнітопроводу, 1/Гн. Який можна визначити

$$R_m = \frac{l}{\mu\mu_0 S}. \quad (3.22)$$

З (3.21) і (3.22) отримаємо залежність індуктивності електромагнітної системи датчика

$$L = \frac{w\Phi}{I} = \frac{w^2}{R_m} = \frac{w^2 \mu\mu_0 S}{l}, \quad (3.23)$$

де  $S$  – перетин магнітопроводу;  $m_2$ ;

$\mu\mu_0$  – магнітна проникненість матеріалу магніто проводу, Гн/м;

$l$  – довжина середньої магнітної лінії магнітопроводу, м.

Співвідношення (3.20) та (3.23) дозволяють пояснити наступні ідеї побудови індуктивних датчиків, наприклад, зі змінним числом витків (3.20), або з площею воздушного зазору магнітопроводу буде змінюватися магнітна проникненість матеріалу магнітопроводу.

Розглянемо принцип роботи індуктивного датчика зі змінним повітряним зазором і його площею (рисунок 3.27). Він має у своєму складі магнітопровід 1, на якій намотана обмотка збудження 2, а також рухомий якір 3. При оцінюванні характеристик датчика можна знехтувати магнітним опором сталевих частин магнітопроводу.

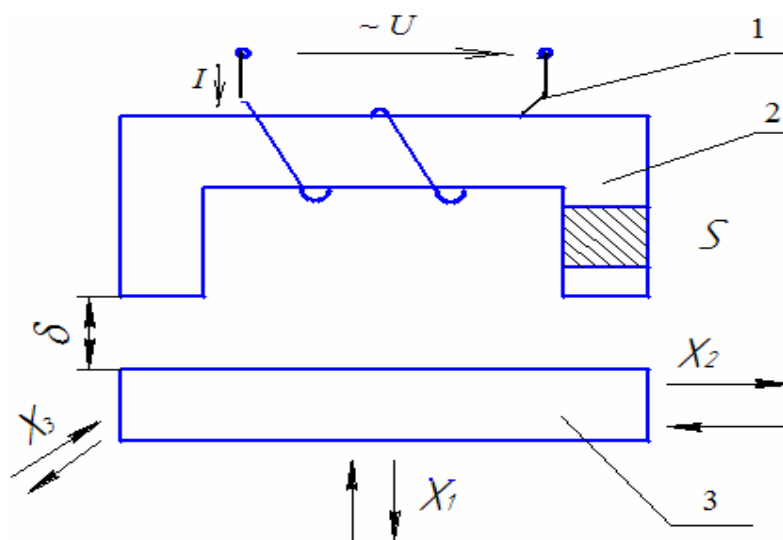


Рисунок 3.27 – Конструктивна схема індуктивного датчика

Також треба зауважити, що при переміщенні по якоря в напрямку  $X_1$  змінюватиметься повітряний зазор  $\delta$ , при переміщенні в напрямку  $X_2$  змінюватиметься площа зазору  $S$ , а також при переміщенні в напрямку  $X_3$  змінюватимуться обидва  $\delta$  і  $S$ . Для отримання більш задовільної лінійності такого датчика зміна робочого зазору  $\delta$  обмежується значенням 10% від номінального значення. До того ж вихідний сигнал не набуває



нульового значення ні при яких значеннях  $X$ . На якір датчика діє однобічне зусилля тяжіння

$$F = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{dx}, \quad (3.24)$$

де  $F$  – сила (зусилля) тяжіння, Н.

$I$  – сила струму в обмотці А.

На рисунку 3.28 наведені характеристики такого датчика, які відображають їх нелінійність.

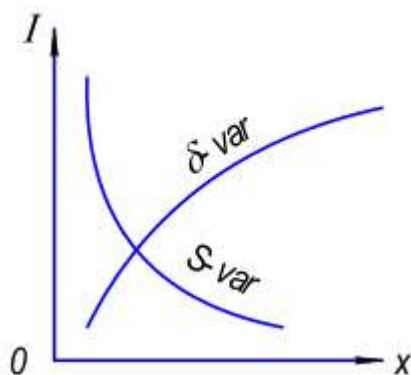
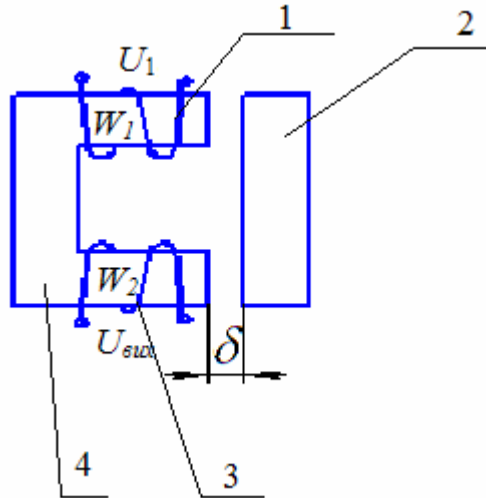


Рисунок 3.28 Характеристики індуктивного датчика

Для усунення цих недоліків застосовуються диференційні та мостові схеми включення, які мають кращі характеристики  $i$ , відповідно, здобули більш широкого розповсюдження.

### **Трансформаторні датчики**

На рисунку 3.29 наведена конструктивна схема найпростішого трансформаторного датчика.



1 – первинна обмотка; 2 – ярмо; 3 – вторинна обмотка, 4 – осердя.

Рисунок 3.29 – Одинарний трансформаторний датчик

У цих датчиках вхідне переміщення ( $\delta$ ,  $x$  або  $w$ ) змінює величину індуктивного зв'язку між двома системами обмоток, одна з яких (первинна - 1) має живлення змінним струмом, а з другої (вторинної - 3) знімається вихідний сигнал. Якір 2 притягується до осердя 4.

Перехідна характеристика такого датчика дорівнює:

$$U_{вих} = \frac{W_2}{W_1} \cdot U_1 = k \cdot U_1, \quad (3.24)$$

де  $w_1$  і  $w_2$  – витки вхідної і вихідної обмоток;

$\delta$  – зазор між ярмом і якорем датчика;

$k$  – коефіцієнт трансформації;

$U_1$ ,  $U_{вих}$  – відповідно вхідна та вихідна напруги.

На рисунку 3.30 показаний більш чутливий диференційний трансформаторний датчик, а його вихідна напруга, відповідно, дорівнює

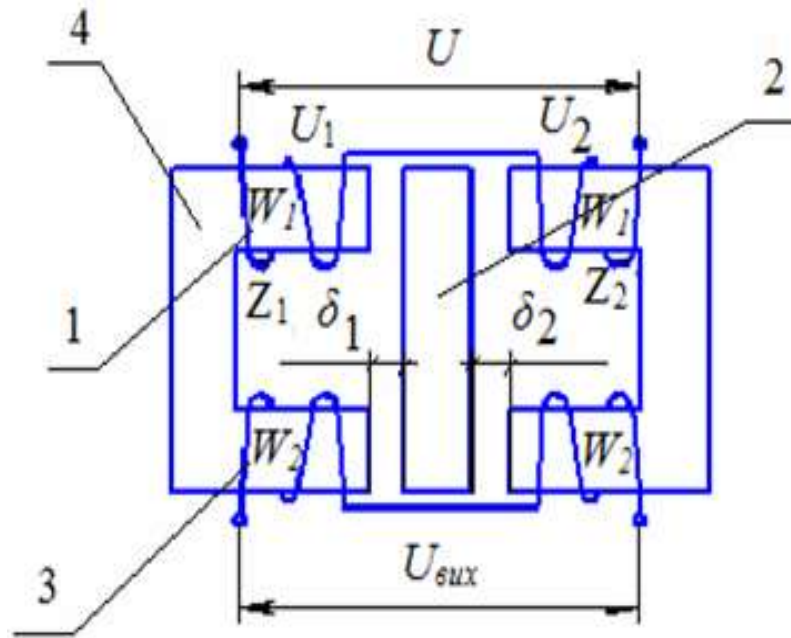


Рисунок 3.30 – Диференційний трансформаторний датчик

$$U_{\text{вих}} = k \cdot U_1 \cdot \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta_2 + \delta_1}, \quad (3.25)$$

де  $\delta_1$  і  $\delta_2$  – зазори датчика, м;  
 $k$  – коефіцієнт трансформації.

З формули (3.25) випливає, що вихідна напруга ( $U_{\text{вих}}$ ) є прямопропорційною до різниці довжини зазорів ( $\delta_2 - \delta_1$ ).

На рисунку 3.31 наведений датчик зі змінною площею зазорів, в якому при переміщенні якоря буде змінюватися розподіл магнітного потоку у вторинних обмотках.

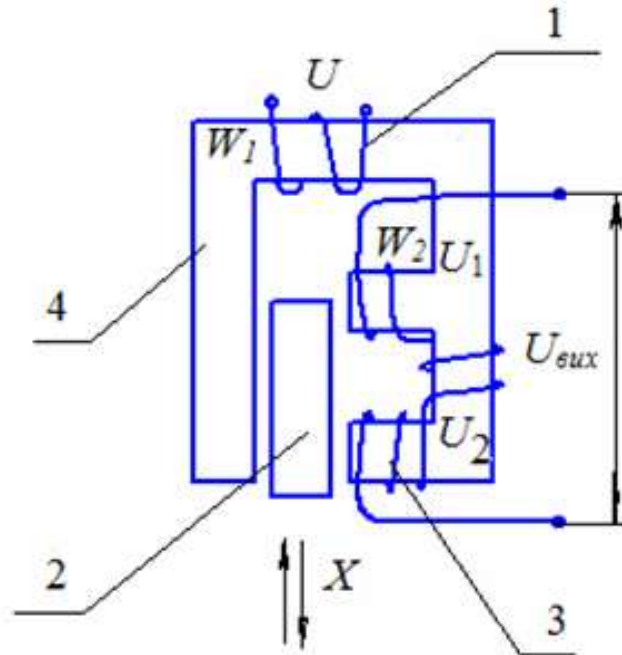


Рисунок 3.31 – Диференційний трансформаторний датчик зі змінною площею зазорів

### Ємнісні датчики зсуву

Ємнісні датчики зсуву (або ємнісні датчики) призначені для вимірювання значень переміщення, розмірів деталей, рівня рідини, тощо. Принцип дії базується на зміні ємності конденсатора датчика через вплив певного входного параметра, який вимірюється. Ємність  $C$  є функцією відстані  $d$  між електродами датчика (або обкладинками конденсатора), площі електродів  $S$  і діелектричної проникності  $\epsilon$  діелектрика між електродами, тобто  $C = f(d, S, \epsilon)$ .

Вочевидь, змінюючи  $d$ ,  $S$  і  $\epsilon$ , можна реалізувати три види ємнісних датчиків. Наприклад, деякі конструкції і графіки зміни їх ємності наведені на наступних рисунках: при зміні повітряного зазора між пластинами конденсатора (рисунок 3.32, а), при зміні площі перекриття пластин, коли одна пластина конденсатора зміщується відносно другої (рисунок 3. 31, б), при зміні діелектричної проникності середовища (рисунок 3.31, в).

Перший варіант конструкції має характеристику, що близька до гіперболічної, решта два варіанта конструкцій мають майже лінійні характеристики.

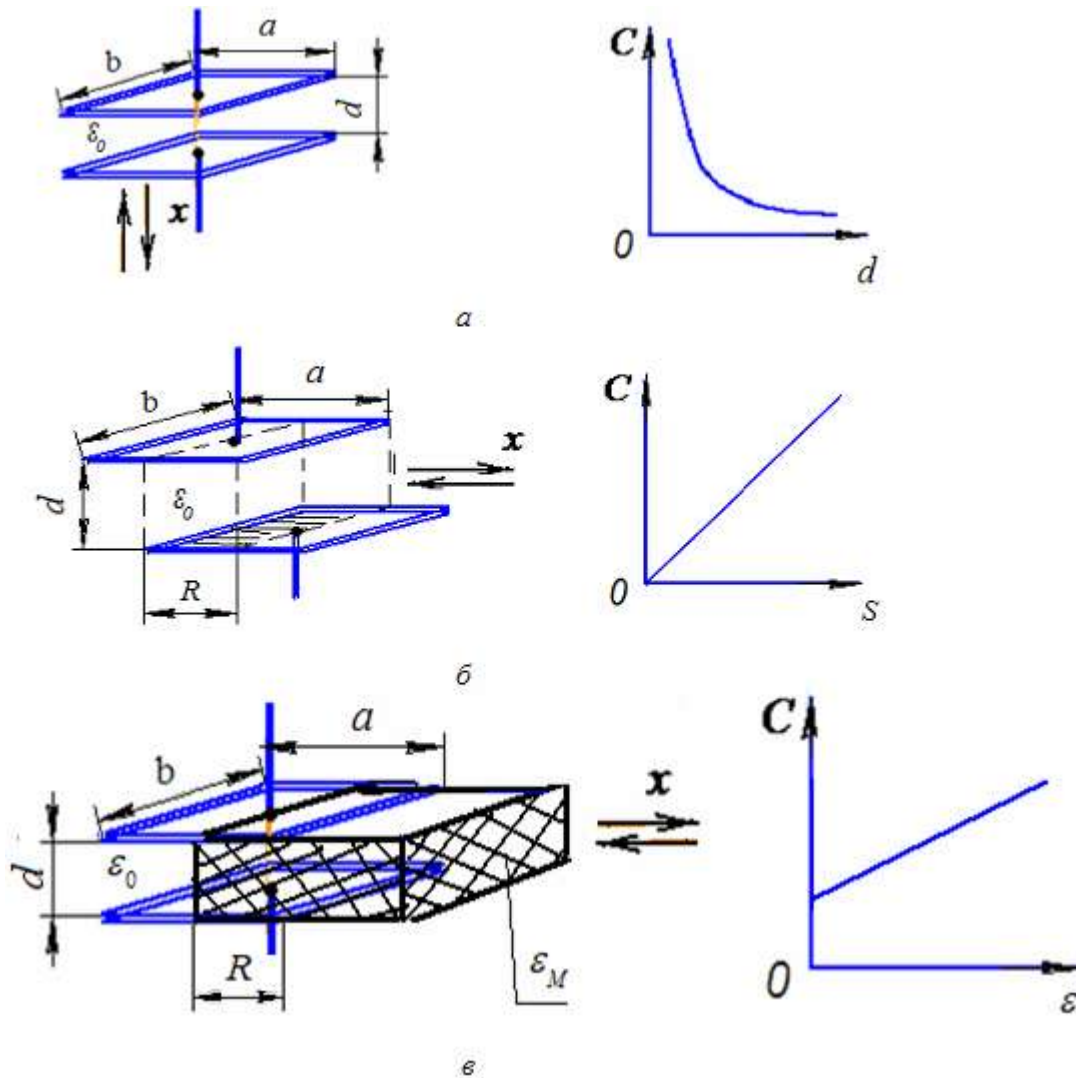


Рисунок 3.31 – Ємнісні датчики переміщення

Якщо знехтувати всіма краєвими ефектами, тоді ємність датчика, зображеного на рисунку 3.31, а, дорівнюватиме

$$C_{(x)} = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{d}, \quad (3.26)$$

де  $x$  – вхідна величина ємності, Ф;

$\epsilon_0$  – електрична постійна, Ф/м. Дорівнює  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

$S$  – площа, між обкладками конденсатора, м<sup>2</sup>. ( $S = a \cdot b$ )

$d$  – відстань між обкладками конденсатора, м.

Зменшення величини ємності при збільшенні відстані між обкладинками, означає, що при збільшенні магнітного потоку напрям індукованого струму протилежний до визначеного правилом буравчика. До того ж датчик нелінійний і має гіперболічну передавальну характеристику. Такі датчики застосовують для виміру малих переміщень без контакту з вимірюваним об'єктом. Характеристику датчика можна лінеаризувати шляхом використання диференціальних схем включення.

Датчик, що зображений на рис. 3.32, б, має передавальну характеристику при змінній площі перекриття електродів

$$C_{(x)} = \frac{\varepsilon_0 \cdot (\varrho \cdot R)}{d}, \quad (3.27)$$

де  $\varrho$  – ширина датчика, м;

$R$  – довжина перекриття обкладинок конденсатора, м.

Такий датчик має лінійну залежність від  $x$ . Зазвичай його конструкція реалізується у виді поворотного конденсатора для виміру кутових зсувів. Конструкція з поворотним конденсатором застосовується також і як вихідний перетворювач для виміру електричної напруги (ємнісний вольтметр). Датчик, зображений на рисунку 3.31, в, також є лінійним, і використовується у випадку, коли змінюється положення діелектрика, що має відносну електричну проникність  $\varepsilon_M$  матеріалу. Якщо прийняти, що  $C_0 = C \cdot \frac{a \cdot b}{d}$ , тоді ємність конденсатора буде дорівнювати

$$C_{(x)} = C_0 \cdot \left\{ 1 + \frac{R}{a} \cdot (\varepsilon_M - 1) \right\}. \quad (3.28)$$

Частіше за все він може бути реалізований у формі двох концентричних циліндрів та використаний для виміру рівня рідини в резервуарі. Причому непровідна рідина грає роль діелектрика. Вимірюваний об'єкт повинен прикласти силу  $F(x)$  до ємнісного датчика аби перемістити електроди на величину  $x$ , що дорівнює

$$F_{(x)} = \frac{1}{2} \cdot U^2 \cdot \frac{dC_{(x)}}{dx}, \quad (3.29)$$

де  $U$  – напруга живлення датчика, В.

Якщо за позитивне прийняти збільшення  $x$ , то для датчика (а) – сила буде позитивною, а для (б) і (в) – буде негативною. Загалом ємнісні датчики на практиці є достатньо надійними і дешевими.

### **Активні датчики**

Загальний принцип їх дії полягає в створенні вихідного сигналу струму, заряду або ЕРС, які є еквівалентними впливу механічного зусилля, магнітного чи світлового потоку, тощо.

Для активного датчика (згідно закону електромагнітної індукції за Фарадеєм) напруга може бути представлена співвідношенням

$$U = B \cdot l \cdot v, \quad (3.30)$$

де  $U$  – напруга, що є індукційованою в провіднику, який рухається, В;

$B$  – магнітна індукція, Тл;

$l$  – довжина провідника, м;

$v$  – швидкість рівномірного руху провідника в напрямку, який є перпендикулярним до силових ліній, м/с.

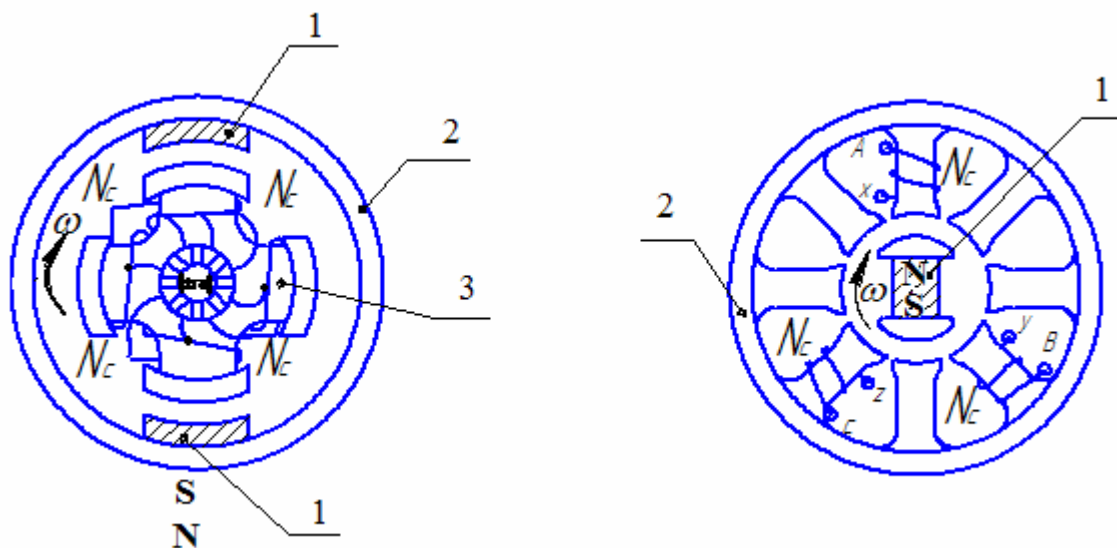
Активні датчики можуть бути постійного, або змінного струму, однофазні чи багатofазні, і, зазвичай, використовуються для контролю частоти обертання, кутового прискорення, кута повороту, швидкості чи прискорення лінійного переміщення. Датчики можуть формувати значні вихідні сигнали по напрузі потужності в широкому діапазоні зміни контрольованої величини, мають практично лінійну характеристику, добре протистоять короткочасним механічним і електричним перевантаженням, прості у використанні.

### **Датчик частоти обертання (тахогенератор)**

На виході датчика частоти обертання формується напруга, пропорційна частоті обертання ротора. На рисунку 3.32 зображені конструкції датчика частоти обертання постійного (а) та змінного (б) струмів. Магні-

тний потік збудження утворюється постійним магнітом 1. При обертанні ротора 3 (рисунок 3.32, а), або магніту 1 (рисунок 3.32, б) з кутовою швидкістю  $\omega$  у сигнальних обмотках N с індукується змінна ЕРС.

Для випрямлення напруги, що генерується, в схемі а використовується колектор і щітки.



а) тахогенератори постійного струму; б) тахогенератори змінного струму.

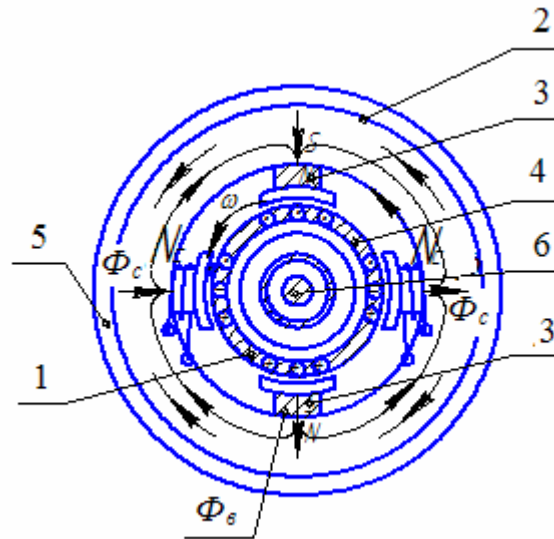
Рисунок 3.32 – Конструкція тахогенераторів

Для зменшення напруги між сусідніми ламелями колектору, з середини кожної обмотки зроблено відпаювання, поєднане відповідною колекторною пластиною. Тахогенератори можуть контролювати не лише частоту обертання, але і кут повороту  $\phi$  робочого механізму. Для цього датчик потрібно обертати з постійною частотою, а на вихід підключати інтегруючий пристрій. Датчик постійного струму не потребує такого пристрою, якщо одну з щіток механічно поєднати до робочого механізму, а ротор обертати з постійною частотою. Тоді по мірі обертання робочого механізму змінюватиметься положення щіток і напруга між ними, причому напруга буде змінюватися пропорційно куту повороту робочого механізму.



### Датчик кутового прискорення

Конструктивна схема датчика наведена на рисунку 3.33. Магнітний потік збудження  $\Phi_b$  в утворюється постійним магнітом 3. В роторі 4 (з міді або алюмінія) наводиться ЕРС за умови його обертання. Струми розподілятимуться, як в звичайній котушці.



1 і 2 – внутрішній і зовнішній магнітопроводи; 3 – постійні магніти;  
4 – ротор, 5 – корпус з підшипниковими вузлами; 6 – вал.

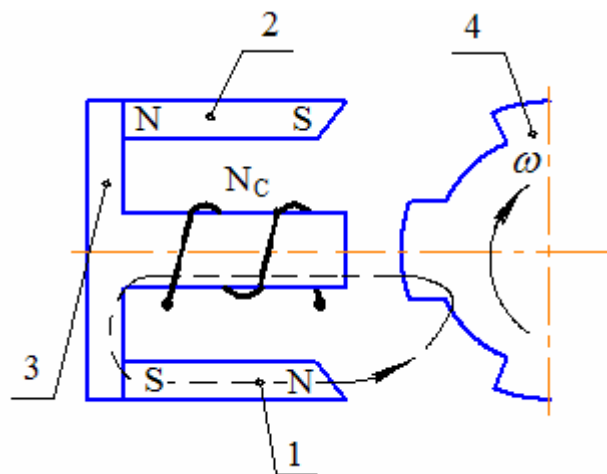
Рисунок 3.33 – Конструктивна схема датчика кутового прискорення

Отже, спродуковані струми ротора утворюють сигнальний магнітний потік  $\Phi_c$ . Його напрямок буде співпадати з напрямком потоку, який продукується котушкою при протіканні струмів в її верхній і нижній частинах. Потік  $\Phi_c$  є ортогональним по відношенню до потоку  $\Phi_b$ , і направлений вздовж магнітної осі сигнальних обмоток  $N_c$ . Якщо ротор обертається з постійною кутовою швидкістю  $\omega$ , то ЕРС в сигнальних обмотках дорівнюватиме нулю, оскільки згідно з законом електромагнітної індукції ЕРС завжди дорівнює нулю за умови незмінного потоку. Будь-які зміни частоти обертання ротора (прискорення або уповільнення) призведуть до зміни ЕРС і струмів в роторі, еквівалентному зростанню або зниженню потоку  $\Phi_c$ , і в кінцевому рахунку – до наведення ЕРС в сигнальних обмотках. Результуюча вихідна ЕРС буде дорівнювати сумі ЕРС кожної сигнальної обмотки, і пропорційна кутовому прискоренню  $\xi$ . Якщо пос-

тійні магніти замінити електромагнітами, підключити їх до джерела змінного струму, тоді при роботі датчика вихідна ЕРС буде пропорційна кутовій швидкості  $\omega$  обертання ротора.

### Датчик Віганда

Датчик Віганда (рисунок 3.34) використовується для визначення частоти обертання робочого механізму. При обертанні робочого механізму (на рисунку не показаний) пов'язаний з ним магнітний комутатор 4 змінює своє положення. Через те магнітні потоки від постійних магнітів 1, або 2 замикаються крізь сигнальну обмотку  $N_c$  та магнітопровід 3. В результаті в сигнальній обмотці індукується знакозмінний сигнал  $e_c$ . По кількості імпульсів  $e_c$  (позитивних), або по середньому значенню вихідної ЕРС можна судити про частоту обертання робочого механізму.



1, 2 – постійні магніти; 3 – магніто провід; 4 – магнітний комутатор.

Рисунок 3.34 – Конструктивна схема датчик Віганда

При обертанні робочого механізму (на рисунку не показаний) пов'язаний з ним магнітний комутатор 4 змінює своє положення. Через те магнітні потоки від постійних магнітів 1, або 2 замикаються крізь сигнальну обмотку  $N_c$  та магнітопровід 3. В результаті в сигнальній обмотці індукується знакозмінний сигнал ЕРС  $e_c$ . По кількості імпульсів  $e_c$  (позитивних), або по середньому значенню вихідної ЕРС можна судити про частоту обертання робочого механізму. Такі датчики мають певні переваги, тобто вони не потребують стороннє джерело живлення, мають доста-

тньо великий вихідний сигнал (до 5 В, тривалістю від 15 до 50 мкс), іскробезпеку, крім того амплітуда і тривалість імпульсів не залежать від швидкості зміни магнітного поля, що дозволяє використовувати датчики при швидкостях, близьких до нуля.

### **Особливості конструктивно-технологічних характеристик електромагнітних датчиків**

При розробці електромагнітних датчиків важливе значення набувають питання вибору матеріалів і комплектуючих деталей. У розглянутих системах датчиків основними елементами є магнітопроводи, обмоточні дроти і підшипники. Тому рекомендується впроваджувати такі технічні та технологічні рішення:

1) магнітопроводи рекомендується виготовляти з високонікелевих матеріалів (пермалої та сендасти), які мають найбільші значення магнітної проникності в слабких полях і стійкість до корозії, їх легко обробляти на металорізючих верстатах. Недолік пермалою – це чутливість його магнітних властивостей до механічних напружень під час механічної обробки. Але ж її можна знизити високотемпературним обпалюванням у вакуумі, або водні;

2) використовувати обмотувальні дроти (крім спеціальних і дорогих зі срібла та золота) з міді, що мають невеликий опір і велику еластичність (відносне подовження до розриву – 15%) у порівнянні з алюмінієм (відносне подовження до розриву – 5%), та діапазон робочих температур від – 60 о С до +150 о С. Наприклад, дроти марки ПЕВ-1 і ПНЕТ-ІМІд;

3) оскільки на підшипники діють як радіальні так і осьові навантаження, а прогин валу під дією цих навантажень малий, і не викликає кутового зсуву вісі валу відносно вісі посадочного отвору, тому треба обирати радіальні однорядні шарикопідшипники, або електромагнітні підвіси. Вони мають найменші втрати через тертя, і забезпечують найбільшу точність та частоту обертання. Підшипники повинні мати внутрішній діаметр в межах 3...5 мм, радіальне биття – в межах 5...7 мкм; довго тривалість роботи – не менше, ніж обертів; діапазон температури експлуатації від – 60 о С до +150 о С, а також вологостійкість. Магнітні, або електромагнітні підвіси використовуються для розвантаження вузлів тертя, в тому числі підшипників.

### 3.3 Термоелектричні перетворювачі (термопари)

Принцип роботи термопар оснований на фізичному явищі - термоелектричний ефект відкритий у 1823 р. Зеєбеком), коли два різнорідних за матеріалом провідники (наприклад, А і Б ) з'єднані між собою контактують один з другим на атомному рівні, до двох інших кінців провідників приєднаний гальванометр. Якщо кінці проводів цього з'єднання помістити в середовище з різними температурами, тоді в контурі цих провідників виникатиме термо-ЕРС (рисунок 3.35). Провідники А і Б називаються термоелектродами, а місця їх стику 1 і 2 –спаями.

Вільним чи холодним називається спай, температура якого підтримується відносно постійною. Гарячим називається спай, що знаходиться у середовищі, температуру якого вимірюється. З точки зору електронної побудови металів фізична сутність термо-ЕРС пояснюється тим, що в різних металах вільні електрони володіють різними енергіями і швидкістю руху.

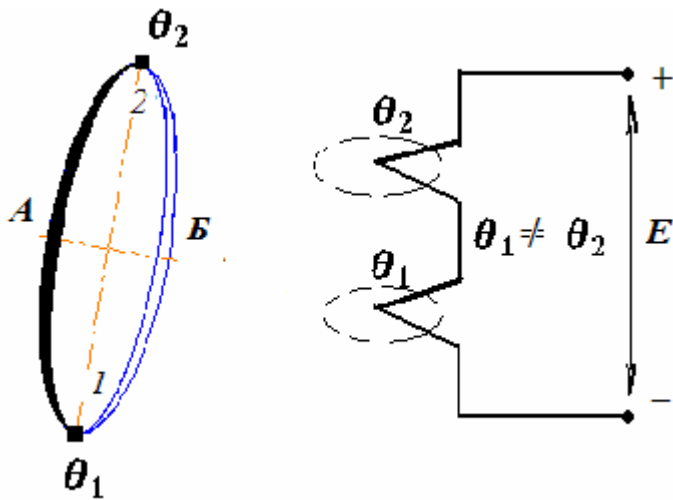


Рисунок 3.35 – Термопара. Принципова схема та термо-ЕРС

Через це явище при їх з'єднанні вільні електрони одного проникають в інший, причому метал з більшою активністю вільних електронів здобуває позитивний потенціал (завдяки втраті деякої частини електронів), а з меншою активністю – негативний потенціал. Термо-ЕРС є мірою різниці температур. Більш точніше вихідну напругу термопари можна за

писати як ступеневий ряд від різниці температур  $(\theta - \theta_0)$ , де під  $\theta_0$  розуміють певну задану температуру калібрування. Кожна комбінація двох металів в термопарі характеризується власним рядом температурно-незалежних коефіцієнтів  $\alpha_i$ , якщо  $i = 1 \dots n$ . Якщо спаї знаходяться при однаковій температурі, то струм в колі не протікає, оскільки в обох спаях виникає однакова за величиною, але протилежна за знаком термо-ЕРС. Для виміру термо-ЕРС до термопар підключаються мілівольтметри (рисунку 3.36).

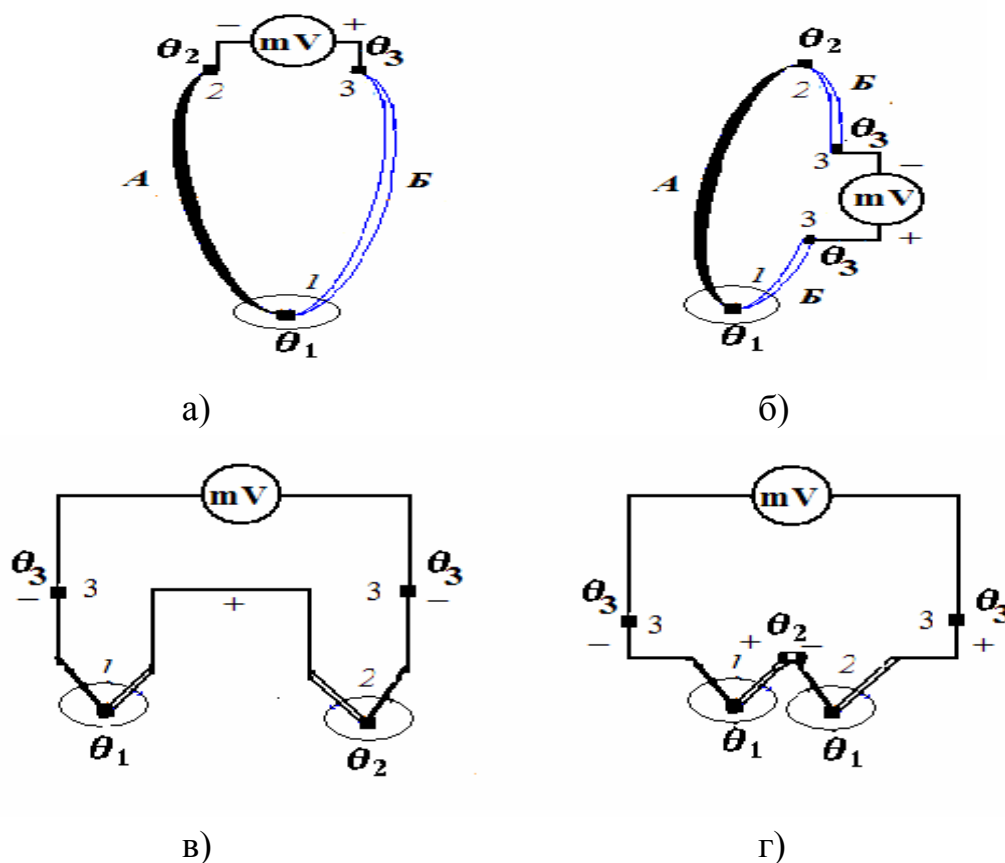


Рисунок 3.36 – Схеми підключення пристроїв вимірювання до термопар

Наприклад, між електродами А та Б, як показано на рисунку 3.36, а, тут точкою 1 позначений гарячий спай; а точками 2, 3 – холодні спаї.

На рисунку 3.36, б мілівольтметр включений в розрив електрода Б, точкою 1 позначений – гарячий спай; точкою 2 – холодний спай; а точ-

кюми 3 – нейтральні спаї. Диференційна пара, що наведена на рисунку 3.36, в, використовується для вимірювання різниці температур в двох точках 1 і 2, які є гарячі спаї. При цьому, якщо  $\Theta_1 \neq \Theta_2$ , то в колі буде з'являтися термо-ЕРС, полярність якої покаже, де температура буде вища, а де нижче. Для отримання значно більшої термо-ЕРС застосовують термобатареї, схема якої наведена на рисунку 3.36, г. Через те, що термо-ЕРС, яка утворюється одною термопарою невелика і складає для різних термопар від 0,01 мВ до 0,07 мВ на  $1^\circ\text{C}$ , необхідно підсумовувати всі ЕРС. Вважається, що при використанні термобатареї з термопар в кількості  $n$  підвищуватиметься точність виміру температури відповідно в  $n$  раз. Слід зазначити, що величина термо-ЕРС залежить лише від матеріалу термоелектродів і температури кожного спаю, і не залежить від розподілу температури вздовж термоелектронів (якщо при цьому температура спаїв залишається незмінною), крім того включення вимірювального прибору в термоелектричне коло не впливає на значення термо-ЕРС. Матеріали, з яких виготовляються термоелектроди, мають задовольняти вимогам зберігати свої механічні та хімічні властивості впродовж довгого терміну, мати порівняно високу термо-ЕРС та гарну електропровідність.

Термопари з благородних металів, зазвичай, застосовуються, як зразкові, або для виміру високих температур. Наприклад, платіно-родієва термопара (один електрод вироблений зі сплаву 90% Pt + 10% Rn а другий – з чистої платини) при  $\Theta = 1600^\circ\text{K}$  має термо-ЕРС 16,76 мВ. Застосовується в тривалому режимі для виміру температур до  $\Theta = 1600^\circ\text{K}$  і короткочасному до  $\Theta = 1600^\circ\text{K}$ . Або інша платіно-родієва термопара (один електрод виконаний зі сплаву 70% Pt + 30% Rn, а другий – зі сплаву 94% Pt + 6% Rn) при  $\Theta = 1800^\circ\text{K}$  має 10,82 мВ термо-ЕРС. Застосовується для короткочасних режимів до  $\Theta = 2100^\circ\text{K}$ .

Окрім переваги (хімічної стійкості) ці термопари мають і не-долік. При температурі вище  $1000^\circ\text{K}$  в тривалому режимі термоелектроди можуть взаємодіяти із навколишніми елементами, в на-слідок чого їх характеристики змінюватимуться.

Термопари з неблагородних металів, найбільш поширені через не-високу вартість. Наприклад, хромель-алюмелева термопара (один електрод виготовлений з хромелю 89% Ni + 9,8% Cr + 1% Fe + 0,2% Mn, а другий – з алюмелю 94% Ni + 2% Al + 2,5% Mn + 1% Si + 0,5% Fe). Або

хромель-копелева термопара (один електрод виготовлений з хромелю, а другий – з копелю 55% Cu + 45%Ni). Термопари з напівпровідникових матеріалів (термогенератори), володіють чутливістю до 1мВ на 1<sup>0</sup>С використовуються для перетворення теплової енергії в електричну в межах до 700<sup>0</sup>К.

Наприклад, один електрод виготовлений з вісмуту (Bi)+ сурми (Sb) + цинка (Zn), а другий – з (Bi + Sb), або (Sb + Zn). На основі напівпровідникових термопар розробляють перетворювачі сонячної енергії в електричну. Зазвичай градування реєструючих приладів здійснюють при температурі холодного спаю  $\Theta_2 = 0^{\circ}\text{C}$ , але на практиці задовольнити таким вимогам важко, оскільки треба поміщати холодний спай у ванну з танучим льодом, або розміщати в спеціальному термостаті. Тому простіше уточнювати реальну температуру відповідно до градувальної кривої (рисунок 3.37).

Крім того, також застосовується автоматична корекція температурних похибок (рисунок 3.38), що здійснюється за рахунок компенсації температури еталонного контакту, температура якого вимірюється резистивним датчиком  $R(\Theta)$ , який включений в мостову схему.

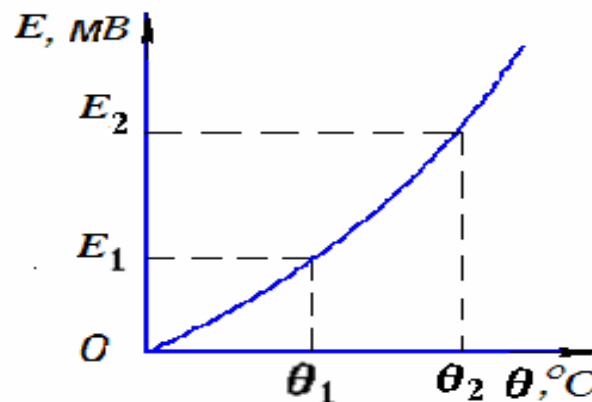


Рисунок 3.37 – Залежність ЕРС термопари від температури. Градувальна крива термопари

Схема підключена таким чином, що вхідна напруга моста і ЕРС термопари компенсують одна одну, і відбувається компенсація температури еталонного контакту.

Температурна чутливість еталонного контакту має бути протилежна тій, яку має мостова схема. Об'єкт, температура котрого вимірюється активним контактом АВ, частіше за все розташована на певній відстані від решти елементів схеми.

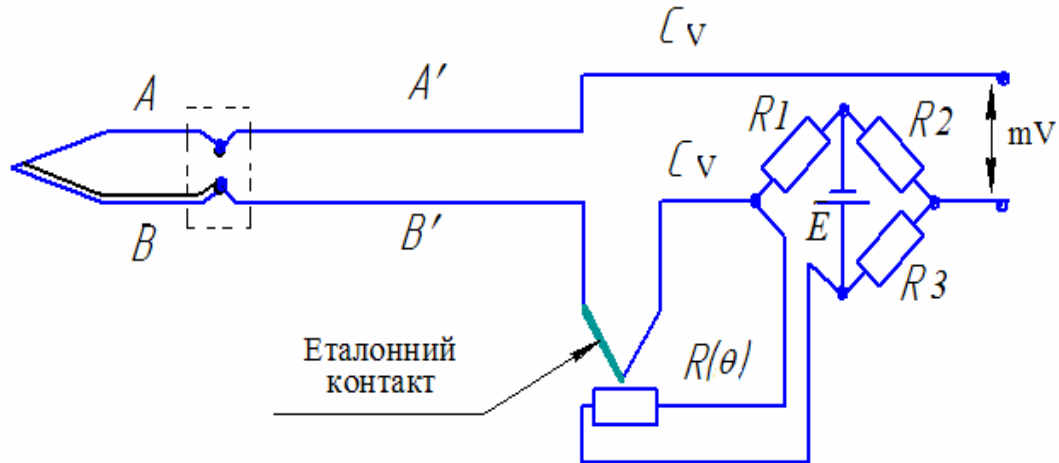


Рисунок 3.38 – Принципова електрична схема для компенсації температури за рахунок еталонного контакту

Матеріал у складі термопарі занадто дорогий для того, щоби використовувати його, як довгий поєднувальний провід, тому використовують більш дешеві два дроти А' та В'. До того ж не буде виникати додаткова помилка, якщо ці дроти мають термоелектричні характеристики, подібні до А та В. Поєднувальний кабель між двома контактами термопарі має ті самі термоелектричні характеристики і називається компенсаційним кабелем.

Для вираховування температури за допомогою термопарі наведемо один з наступних наближених методів. Визначається величина термо-ЕРС формулою

$$E_{ТП} = U_M \cdot (R_M + R_{ПД} + R_{ТП}) / R_M, \quad (3.31)$$

де  $U_M$  – напруга на затисках мілівольтметра, мВ;

$R_M$  – опір мілівольтметра, Ом;

$R_{ПД}$  – опір подовжувальних дротів, Ом;



$R_{ТП}$  – опір термопари, Ом.

Визначається перепад температури  $\Theta_{пер}$  який є різницею температури гарячого і холодного кінців термопари  $(\Theta_1 - \Theta_2)^{\circ}\text{K}$

$$\Theta_{пер} = E_{ТП} \cdot 100 / E_{ТАБ}, \quad (3.32)$$

де  $E_{ТАБ}$  – величина термо-ЕРС при температурах  $\Theta_1 = 373^{\circ}\text{K}$  та  $\Theta_2 = 273^{\circ}\text{K}$ .

Значення  $E_{ТАБ}$  для різних термопар наводяться в таблицях довідкових літературних джерел. Реальна температура визначається

$$\Theta_1 = \Theta_{пер} + \Theta_2, \quad (3.33)$$

де  $\Theta_2$  – температура холодного кінця термопари (зазвичай температура навколишнього середовища)

Це значення температури є приблизним через те, що воно розраховано на припущенні лінійної функції між термо-ЕРС та температурою вимірювання. Для більш точного визначення температури необхідно звертатися до таблиць градування. Розроблені цифрові пристрої для вимірювання температури термопарами в межах від 0 до  $1800^{\circ}\text{C}$  з інтервалом  $0,1^{\circ}\text{C}$  (рис. 3.31). Температура вимірюється за допомогою теропари ТП, виконану з двох електродів А і В, і далі перетворюється в сигнал, що придатний для обробки та аналізу. Функціональний блок перетворювача забезпечує лінеаризацію загальної функції перетворення.

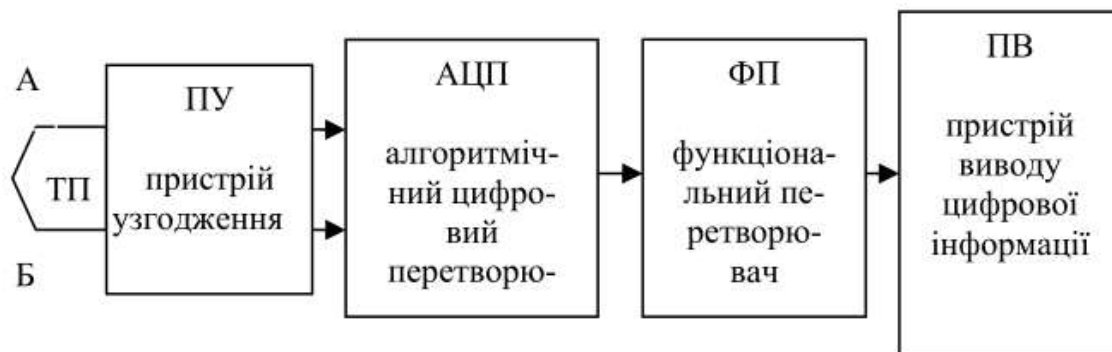


Рисунок 3.38 – Функціональна схема цифрового приладу для вимірювання температури.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що розуміють під датчиком?
2. Які форми сигналів існують від датчиків?
3. За якими ознаками класифікуються датчики?
4. Який принцип дії контактних датчиків?
5. Чому потенціометричні датчики називають датчиками зсуву (переміщення)?
6. Який принцип дії омичних датчиків?
7. Які переваги фольгових перед дротяними омичними тензодатчиками?
8. Яким чином вирішується компенсація температурної похибки в омичних тензодатчиках?
9. Чому змінюється індуктивність в індуктивних датчиках?
10. Який принцип дії індуктивних датчиків?
11. Який принцип дії трансформаторних датчиків?
12. Де застосовуються трансформаторні датчики?
13. На якому явище оснований принцип дії тахогенераторів?
14. Що розуміють під термопарою?
15. Які особливості конструктивно-технологічних характеристик електромагнітних датчиків?

### **Список літератури**

[2 с. 466 - 478].

## ЛЕКЦІЯ 8

### ТЕМА 4 ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ ВИЩЕ 1000 В.

#### План лекції

4.1 Вимикачі змінного струму високої напруги. Призначення і основні параметри. Вимоги до вимикачів. Класифікація вимикачів.

4.2 Бакові масляні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи. Переваги та недоліки.

4.3 Маломасляні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи вимикачів. Переваги та недоліки.

4.4 Повітряні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи вимикачів. Переваги та недоліки вимикачів.

4.5 Елегазові вимикачі. Конструкція вимикачів. Переваги та недоліки вимикачів.

4.6 Вакуумні вимикачі. Конструкція вимикачів. Гасіння дуги у вакуумі. Переваги та недоліки вакуумних вимикачів.

4.7 Вимикачі навантаження. Конструкція вимикачів. Типи вимикачів навантаження. Переваги та недоліки.

#### **4.1 Вимикачі змінного струму високої напруги. Призначення. основні параметри. Вимоги до вимикачів. Класифікація вимикачів**

Вимикач високої напруги **призначений** для комутації ланцюгів змінного струму з напругою 3 кВ і вище у всіх режимах, можливих в експлуатації: включення і відключення номінальних струмів, струмів КЗ, струмів холостого ходу силових трансформаторів та ємнісних струмів конденсаторних батарей та довгих ліній.

#### **Основні параметри** вимикачів:

- номінальна напруга;
- номінальний (тривалий) струм;
- номінальний струм термічної стійкості;
- номінальний струм електродинамічної стійкості;
- номінальний струм відключення;
- номінальна потужність відключення;

- номінальний струм включення;
- власний час включення та відключення вимикача;
- повний час включення та відключення.

Найтяжчим режимом для вимикача є відключення та включення струмів короткого замикання (КЗ).

*Процес відключення.* При відключенні вимикача між його контактами загорається дуга. Точки КЗ у ланцюгах високої напруги досягають значення десятків і навіть сотень кілоампер.

Одним з основних параметрів, який характеризує вимикач, є *номінальний струм відключення* – найбільший струм, який вимикач може надійно відключити при встановлюваній напрузі між фазами, що рівна номінальній напрузі мережі.

У більшості випадків причина, яка викликає КЗ, носить непостійний характер. Наприклад, у результаті перенапруг виникає перекриття ізолятора на землю та виникає КЗ. Виникаюча дуга швидко розтягується електродинамічними силами. Після відключення ланцюга вимикачем проходить деіонізація дугового проміжку та відновлення його електричної міцності за рахунок охолодження стовпа дуги потоками повітря та переміщення дуги в просторі.

Оскільки ізоляція при цьому залишається неушкодженою, то при новому включенні вдається відновити подачу енергії споживачу. Цей процес *називається автоматичним повторним включенням (АПВ)*. Використання АПВ дозволяє підвищити надійність енергопостачання.

Час з моменту відключення до нового включення повинен бути досить малим, щоб забезпечити неперервну роботу установок споживача. З іншого боку, цей час повинен бути достатнім для деіонізації пробитого проміжку. Час деіонізації складає приблизно 0,1 - 0,5 с та залежить від напруги системи.

Можливі випадки, коли до моменту повторного включення КЗ в мережі не зникає, тоді вимикач включається на існуюче КЗ, після чого йде знову відключення КЗ.

Згідно ГОСТ 687-70 потужні вимикачі з швидкодіючим АПВ без ревізії повинні відключати струм відключення у двох комутаційних циклах  $O - t - BO$ , які йдуть один за одним з паузою не менше 15 хв. Цикл  $O - t - BO$  означає, що вимикач спочатку відключає КЗ. Далі без витримки

часу відбувається подача сигналу на включення апарата. Після замикання ланцюга йде повторне відключення.

Діюче значення струму КЗ не залишається постійним через зміни періодичної та аперіодичної складових.

Контакти вимикача розходяться через час  $t_1$  після початку КЗ. Цей час представляється у вигляді суми

$$t_1 = t_3 + t_c, \quad (4.1)$$

де  $t_3$  – час дії релейного захисту, с;

$t_c$  – власний час вимикача (час з моменту подачі напруги на електромагніт відключення до початку розходження контактів), с.

Згідно ГОСТ 687-70 під номінальним струмом відключення слід розуміти діюче значення періодичної складової струму в момент розходження контактів. Цей струм вказується на вимикачі.

Збереження енергетичного обладнання, безперервне енергопостачання, динамічна стійкість паралельно працюючих систем вимагають, щоб тривалість КЗ була якомога меншою та обмежувалася часом 0,05-0,1 с. Тому всі вимикачі обладнуються дугогасильними системами, що забезпечують гасіння дуги в обмеженому об'ємі за час декілька сотих секунди.

*Час відключення вимикача* – це час від подачі команди на відключення до моменту згаснення дуги на всіх полюсах. Він складається з власного часу відключення (привода та вимикача)  $t_c$  та часу дуги  $t_d$ . Процес включення. При включенні вимикача на існуюче КЗ апарат підлягає великим механічним, тепловим, електродинамічним навантаженням та дає велике навантаження на контакти.

Струм КЗ, який з'являється при включенні, створює гальмівні електродинамічні сили, що перешкоджають руху. В результаті на включасьому пристрої привода створюються великі навантаження. При напрузі 110 кВ і вище в процесі включення на існуюче КЗ виникає попередній пробій між контактами, при цьому збільшується можливість зварювання контактів.

Здатність вимикача з відповідним йому приводом включатися на існуюче КЗ характеризується *номінальним струмом включення*.

*Номинальний струм включення* – це найбільший ударний струм КЗ, на який вимикач здатний включатися без зварювання контактів та інших ушкоджень, що заважають його подальшій нормальній роботі. Розрізняють миттєве значення ударного струму та діюче значення ударного струму за перший період після початку КЗ.

*Час включення вимикача* – час від подачі команди на включення до завершення операції включення (посадка привода на заціпку, закінчення ходу віділювача повітряного вимикача).

### **Вимоги до вимикачів**

Основна вимога до вимикачів це:

- особливо висока надійність їх роботи при всіх можливих експлуатаційних режимах. відключення вимикачем будь- яких навантажень не повинно супроводжуватись перенапругою, небезпечною для ізоляції елементів установки;

- вимикач повинен забезпечувати відключення ланцюга за мінімально можливий час;

- вимикач повинен забезпечувати надійне відключення ланцюга при умовах встановлення напруг, визначених ГОСТ 687-70;

- вимикач повинен допускати якомога більше число включень КЗ без ревізії та ремонту. Сучасні вимикачі можуть відключати без ревізії до 10 – 15 КЗ при повній потужності відключення;

- відключення вимикачем КЗ не повинно супроводжуватись викидом з нього потоку накалиених газів, що може призвести до перекриття ізоляції в РП.

### **Класифікація вимикачів**

Класифікація високовольних вимикачів може проводитись за різними ознаками: за методом гасіння дуги, за видом ізоляції струмоведучих частин апарата між собою та землею, за конструкцією дугогасильних пристроїв. У масляних вимикачах дуга горить у трансформаторному маслі. Під дією дуги масло розкладається та утворена пара і гази використовуються для її гасіння.

В залежності від способу ізоляції струмоведучих частин апарата розрізняють бакові вимикачі та маломасляні.

У перших ізоляція струмоведучих частин між собою та від землі здійснюється за допомогою *масла*, розміщеного у сталевому баці, з'єднаному з землею. У маломасляному вимикачі ізоляція струмоведучих частин між собою та від землі проводиться за допомогою твердих діелектриків та масла. У повітряному вимикачі в якості дугогасильного середовища використовується стиснуте повітря, яке знаходиться у баці під тиском 1 – 5 МПа.

При відключенні *стиснуте повітря* з бака подається у дугогасильний пристрій. Дуга, яка утворюється в камері, обдувається інтенсивним потоком повітря, що виходить в атмосферу. Ізоляція струмоведучих частин між собою здійснюється з допомогою твердих діелектриків та повітря (стиснутого або при атмосферному тиску).

У елегазових вимикачів гасіння дуги відбувається за рахунок *охолодження її елегазом* (SF<sub>6</sub>). Ізолюючим елементом є елегаз.

У вакуумних вимикачах контакти розходяться у *вакуумі* (тиск рівний 10<sup>-4</sup> Па). Виникаюча при розходженні контактів дуга швидко гасне завдяки інтенсивній дифузії зарядів у вакуумі.

## **4.2 Бакові масляні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи. Переваги та недоліки**

Загальна компоновка бакового вимикача представлена на рисунку 4.1.

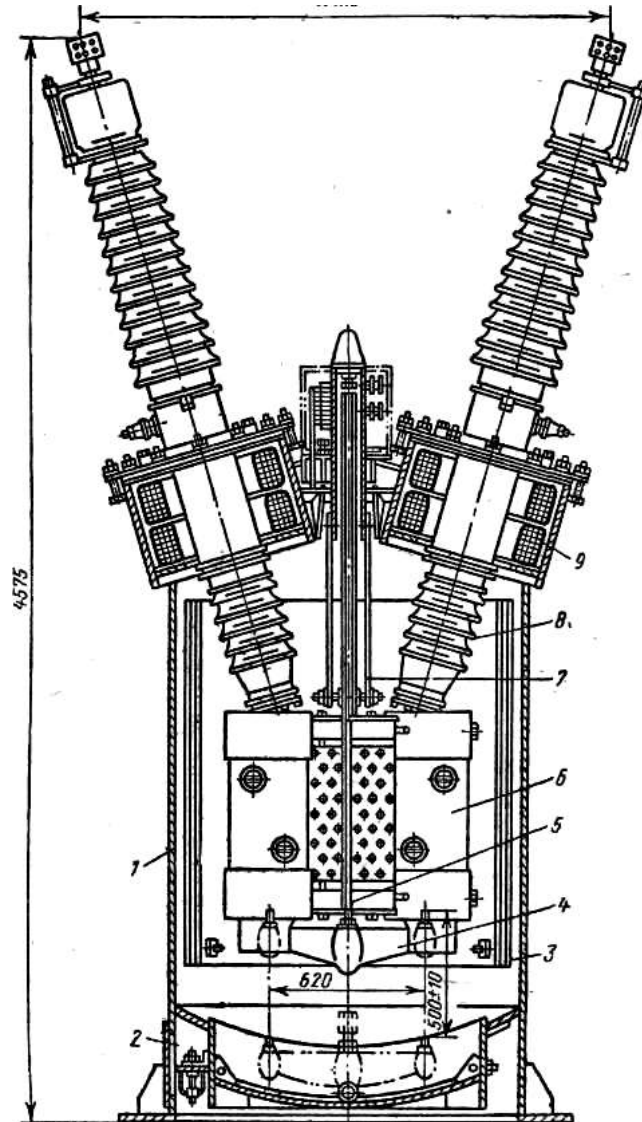


Рисунок 4.1 – Загальна компоновка бакового вимикача

У сталевому баці 1 на маслонеповнених вводах 8 розміщені дугогасильні пристрої (камери) 6, у якому знаходяться рухомі та нерухомі контакти вимикача. Траверса 4 перемикає зовнішні контакти камер. Гарячі та іонізовані вихлопні гази, які виходять з камер, можуть визвати перекриття з камер на бак. Для попередження цього явища служить бакова ізоляція 3. Переміщення траверси 4 проходить під дією штанги 5, яка рухається по направляючих 7 під дією пружин механізму та пружин камер.

На вимикачі встановлені магнітопроводи 9 з вторинними обмотками трансформаторів струму (у даному випадку їх чотири). Первинною обмоткою трансформаторів служать струмоведучі стержні вводів 8. Для



збереження в'язкості трансформаторного масла при низьких температурах передбачено електричний підігрів масла пристроєм 2.

При включенні вимикача рухома камера, рухаючись вгору, замикає нерухомі контакти шляхом підпружиненої перемички в камері. Бак заповнюється маслом не повністю, а приблизно на  $\frac{2}{3}$  об'єму. При відключенні вимикача рухома камера, рухаючись вниз, розмикає контакти, при цьому в камері виникає електрична дуга. На протязі сотої долі секунди дуга створює високий тиск (до 5 – 8 МПа), який інтенсивно виштовхує масло разом з газоподібними продуктами розкладу (метан, водень та інші гази) та його парами, через вихлопні отвори, що сприяє швидкому охолодженню та гасінню дуги. Слід відзначити, що енергія, потрібна для гасіння, виділяється дугою, тому чим більший струм, тим більший тиск у камері та інтенсивніше гасіння дуги. Якщо вимикач вибрано невірно за струмами КЗ чи невірно розраховані струми КЗ, то вимикач, за рахунок високого тиску всередині камери, може вибухнути. Для попередження вибуху вимикача у його кришці розташовані аварійні клапани. При певних тисках мембрани клапанів руйнуються та масло викидається в атмосферу.

**Типи бакових масляних вимикачів.** У наш час випускаються вимикачі на номінальну напругу 35—110 кВ: С-35М-630-10 У1; С-35-50/2000 УХЛ1; ВТ(Д)-35-630-12,5 Т1; У-220А-2000-25 У1; МКП-110Б-630-20У1.

Умовні позначення вимикачів складаються з літер та цифр, які означають:

В – вимикач, М – масляний (МКП), У – посилений за швидкістю відновлюваної напруги або Уральський (У), С – позначення серії, Т – трьохполюсний, Д – дистанційний, К – камерний, П – підстанційний. Перше число – номінальна напруга, кВ; літери А та Б після цього числа – категорія ізоляції, М – модернізований; друге та третє числа – відповідно номінальний струм, А, та номінальний струм відключення, кА (у деяких вимикачів навпаки); літери та числа після цих чисел – кліматичне виконання та категорія розташування.

### **Переваги та недоліки масляних вимикачів**

До основних переваг масляних вимикачів слід віднести:

- висока надійність апарата,
- простота конструкції камер та механізма,
- висока механічна міцність елементів (камер, бака, механізма, ввідів),
- наявність вбудованих трансформаторів струму.

До недоліків масляних вимикачів слід віднести:

- великі розміри та маса,
- необхідність періодичного очищення масла, що вимагає наявності маслогосподарства;
- ремонт та ревізія вимикача напругою 110 кВ та вище є досить складним та трудомісткою справою;
- вибухо- та пожежонебезпечність.

Поступово масляні бакові вимикачі замінюють елегазовими.

### **4.3 Маломасляні вимикачі. Конструкція вимикачів Типи вимикачів. Переваги та недоліки**

У маломасляному вимикачі з метою зменшення габаритів та маси ізоляція в основному здійснюється твердими матеріалами (рис. 9.1). На рисунку 4.2 представлено загальний вигляд маломасляного вимикача ВМП- 10. Цей вимикач призначений для роботи при номінальній напрузі 10 кВ, номінальний струм в залежності від контактної системи змінюється від 630 до 3150 А.

Номінальний струм відключення вимикача рівний 31,5 кА при напрузі 10 кВ. Контактна система, дугогасильний пристрій та пристрій, який перетворює обертальний рух ричагів у поступальний рух контактів, змонтовано у вигляді єдиного блоку полюса 1. цей блок за допомогою опорних ізоляторів 2 кріпиться до сталеві рами 3. У верхній частині полюса розташовано рухомий контакт, у нижній – нерухомий контакт. У рамі 3 встановлені вал вимикача 5, відключаюча пружина, пружинний буфер вмикання та масляний буфер відключення 6. Вал вимикача 5 зв'язаний з вихідним ричагом механізма полюса 7 з допомогою міцної ізоляційної тяги 4.



типу МГГ-10



типу ВГМ-15

Рисунок 4.2 – Маломасляні вимикачі ВАТ «Високольтний Союз» Ровенського заводу високовольної апаратури.

При включенні ізоляційна тяга 4 повертає вихідний ричаг полюса 7 проти годинникової стрілки та відбувається замикання контактів. Відключаюча пружина при цьому розтягується, а пружинний буфер включення стискається. Цей буфер розвиває велику силу на невеликому ході (відповідному ходу рухомого контакту) та створює потрібну для гасіння дуги швидкість пересування рухомого контакту.

### **Типи вимикачів**

У наш час випускаються вимикачі внутрішньої та зовнішньої установки на номінальну напругу 10—220 кВ і вище:

ВМПЭ-10-1600-20У3; ВПМП-10-20/630У3; МГГ-10-5000-63КУ3; МГУ-20-90/9500У3; ВКЭ-10-31,5/1000У3; ВМУЭ-35Б-25/1250УХЛ1; ВМКЭ-35А-16/1000У1; ВМТ-220Б-25/1250УХЛ1

Умовні позначення вимикачів складаються з літер та цифр, які означають:

В – вимикач, М – маломасляний або малогабаритний (ВМУЭ), М (друга літера) – маломасляний, Г – генераторний або з горшковим виконанням полюсів (МГГ), У – посилений за швидкістю відновлюваної напруги, Т – трьохполюсний, К – колонковий, П – підвісне виконання полюсів або з пружинним приводом, Э – з електромагнітним приводом. Перше число – номінальна напруга, кВ; літери А та Б після цього числа – категорія ізоляції; друге та третє числа – відповідно номінальний струм, А, та номінальний струм відключення, кА (у деяких вимикачів навпаки); літери та числа після цих чисел – кліматичне виконання та категорія розташування.

### **Переваги та недоліки**

Маломасляні вимикачі мають такі **переваги**:

1. Мала маса, невеликі розміри, мала маса масла.
2. Дугогасильний пристрій завжди придатний до роботи незалежно від наявності стиснутого повітря.
3. Зручність в експлуатації. Огляд та ремонт дугогасильних камер та контактів можливий без зливу масла.

Але ці вимикачі мають і **недоліки**:

1. Вони менш надійні у роботі, ніж бакові. Ізоляційні деталі, опорна ізоляція підлягають підвищеним механічним навантаженням. Потужність маломасляних вимикачів з цієї ж причини нижча, ніж у бакових.
2. Маломасляні вимикачі, як правило, не передбачають встановлення вбудованих трансформаторів струму.
3. В експлуатації при низьких температурах важко забезпечити підігрів масла для підтримання його в'язкості.

Завдяки своїм перевагам маломасляні вимикачі знайшли широкого використання в установках до 35 кВ або при напрузі вище 330 кВ.

### **4.4 Повітряні вимикачі. Конструкція вимикачів. Типи вимикачів. Переваги та недоліки вимикачів**

**За конструкцією** повітряні вимикачі поділяють на:

- вимикачі з відкритим відділювачем;
- вимикачі з повітрянаповненим відділювачем;

- вимикачі з камерами в баці з стиснутим повітрям;
- вимикачі серії ВНВ (вимикачі повітряні зовнішньої установки).

*Вимикач з відкритим відділювачем.* Принципова схема вимикача з відділювачем у повітрі та шунтуючим резистором на напругу 10 кВ представлено на рисунку. 4.3.

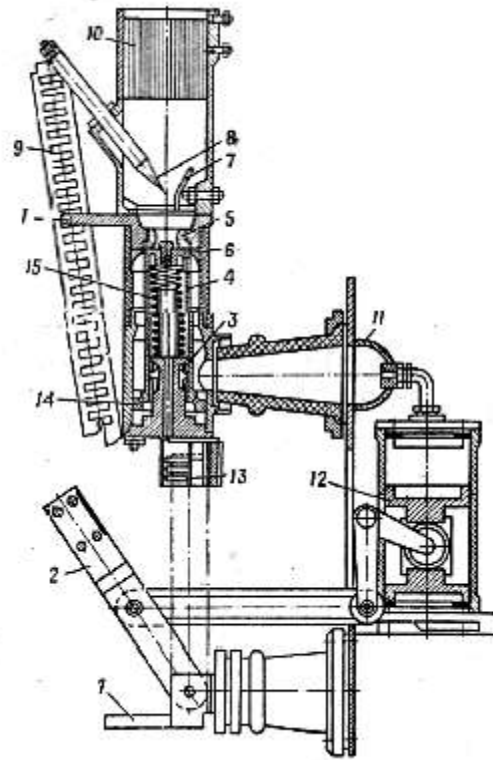


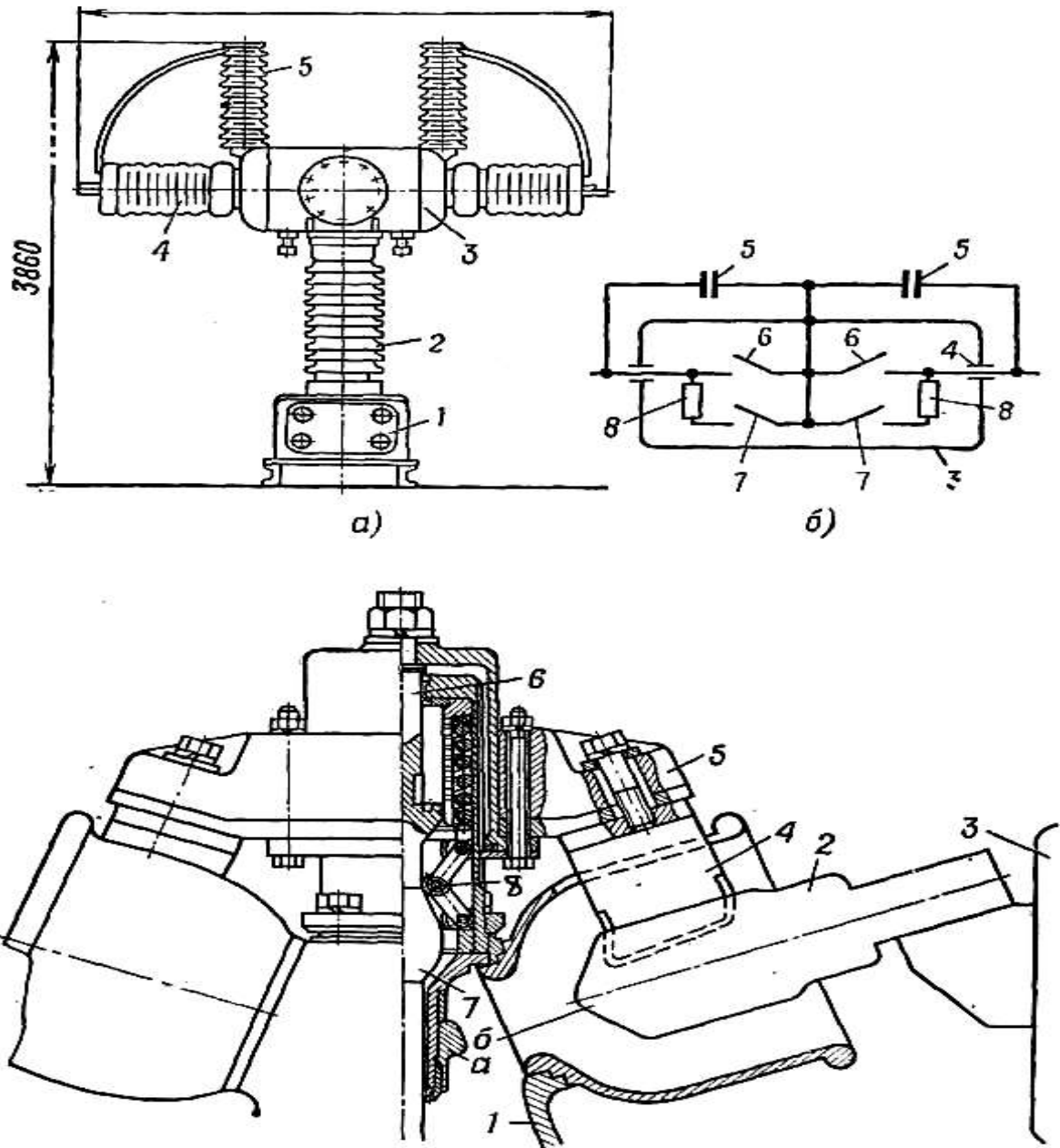
Рисунок 4.3 – Конструкція повітряного вимикача з відкритим відділювачем

Зовнішній ланцюг приєднується до виводів 1. У включеному положенні струм від верхнього вивода проходить до нерухомого контакту 5 та рухомого контакту 6. Далі по тілу рухомого контакту 4 струм через струмоз'ємні контакти 3 відділювачем подається до нерухомого контакту 13 відділювача. Після цього струм через ніж відділювача 2 проходить до нижнього виводу. Шунтуючий резистор 9 одним кінцем підключено до рухомого контакту, іншим – до електроду 8. При відключенні спеціальний клапан подає стиснуте повітря у збірник 11. Зі збірника через полий фарфоровий ізолятор повітря проходить у камеру. Одночасно повітря подається до поршня 12 привода відділювача. Стиснуте повітря діє на поршень 14 рухомого контакту та переміщує його вниз; при цьому стиска-

ється включаюча пружина 15. Після розходження контактів 5 та 6 між ними виникає дуга, яка видувається вгору через отвір нерухомого контакту. У даному випадку використовується камера з одностороннім поздовжнім дугтям. У якийсь момент дуга, що має форму петлі, торкнеться контакту 8 та частина її, яка горить між рухомим контактом 6 та електродом 8, є зашунтованою резистором.

Після проходження струму через нуль дуга гасне та на вимикачі відновлюється напруга. Ця напруга пробиває проміжок між електродами 7 та 8. При цьому резистор 9 шунтує головний проміжок 6 та 8 та напруга на ньому відновлюється за аперіодичним законом. Завдяки низькій швидкості відновлення напруги дуга між контактами 6 та 8 гасне та через дуговий проміжок між електродами 7 та 8 протікає струм шунта. На цей же проміжок діє потік стиснутого повітря. Оскільки струм обмежений шунтом та кут зсуву фаз між струмом та ЕРС системи близький до нуля, то дуга остаточно гаситься при першому ж проходженні струму через нуль. Глушник 10 зменшує звуковий ефект, знижує температуру викидаємих газів, перешкоджає викиду полум'я з вимикача. Одночасно з процесом гасіння зростає тиск під поршнем привода відділювача. Після гасіння дуги у камері приводиться у рух ніж 2 відділювача та створює необхідну ізоляційну відстань. Після цього подача стиснутого повітря у збірник зупиняється та рухомий контакт 6 повертається у замкнуте положення. Включення вимикача відбувається шляхом подачі стиснутого повітря на нижню поверхню поршня 12.

*Вимикачі з камерами у баці зі стиснутим повітрям.* Найдосконалішою вважається конструкція повітряного вимикача, у якого дугогасильна камера розміщується безпосередньо у баці зі стиснутим повітрям (рисунки 4.4), яке знаходиться під високим потенціалом.



а) полюс вимикача; б) електрична схема комутуючого пристрою.

Рисунок 4.4 – Баківий повітряний вимикач ВВБ-10

Бак зі стиснутим повітрям 3 розміщується на опорному ізоляторі 2, у якому проходять повітропроводи, номінальний тиск 2,6 МПа. Шкаф управління 1 розміщений біля основи вимикача. Дугогасильний пристрій, розташований всередині баку, з'єднується з зовнішнім ланцюгом через прохідні ізолятори 4. рівномірний розподіл напруги між двома розривами

пристрою забезпечується з допомогою конденсаторів 5. Електрична схема комутуючого пристрою представлена на рис.10.2, б, на цьому рисунку позиція 6 – основні контакти, 7 – допоміжні, 8 – шунтуючі резистори. Шунтуючі резистори 8 служать для зниження швидкості відновлення напруги. Відключення струму шунтів проводиться контактами 7 після того, як згасне дуга в основному розриві 6. Розріз дугогасильного пристрою представлено на рис.10.3. Нерухомий контакт 2 закріплено на кінці струмоведучого стержня ізолятора 3. Рухомий контакт 4 закріплено на траверсі 5, яка у свою чергу зв'язана з приводним штоком 6.

### **Типи вимикачів**

У наш час випускаються вимикачі на номінальну напругу 10—750 кВ: ВВБ-750А-60/3150 У1; ВВБК-110Б-50/3150 У1; ВВБК-500А-50/3150 У1; ВВБМ-110Б-31,5/2000 У1; ВВД-220Б-40/2000 Т1; ВВЧП-15-20/1000 У3; ВВОА-15-140/12500 У3; ВВУ-35Б-40/3150 ХЛ1; ВНВ-330А-63/4000 У1

Умовні позначення вимикачів складаються з літер та цифр, які означають:

ВВ – вимикач повітряний, Б - конструктивне виконання ( У – посилений за швидкістю відновлюваної напруги; Б - з металічною гасильною камерою - баком; Д - с підвищеним тиском; БМ - малогабаритний; С – сейсмостійкий ), К - крупно-модульний, ЧП - для частотного перетворювача, ОА – для гідроакумулюючих станцій, Н – зовнішньої установки. Перше число – номінальна напруга, кВ; літери А та Б після цього числа – категорія електрообладнання; друге та третє числа – відповідно номінальний струм відключення, кА, та номінальний струм, А (у деяких вимикачів навпаки); літери та числа після цих чисел – кліматичне виконання та категорія розташування.

### **Переваги та недоліки вимикачів**

**Переваги** повітряних вимикачів:

1. Час відключення доведено до 0,04 с.
2. Пожежобезпечні.



3. Зростання номінальної напруги відбувається послідовним з'єднанням модулів.

4. Для надійної роботи ізоляції вимикача здійснюється неперервна вентиляція полостей модуля.

5. Мають великий комутаційний ресурс при номінальному струмі (особливо у вимикачах для електротермічних установок).

До **недоліків** слід віднести такі:

1. Повітряні вимикачі складніші та дорожчі масляних.

2. Для надійної роботи потрібне чисте осушене стиснуте повітря — тому потрібна наявність складного та дорогого компресорного господарства.

3. При відключенні чутно сильні хлопки типу вибух.

#### **4.5 Елегазові вимикачі. Конструкція вимикачів. Переваги та недоліки вимикачів**

Найефективніше використовується дугогасильна здатність елегазу в таких конструктивних виконаннях:

- з автопневматичним дуттям;
- з рухом дуги в елегазі за рахунок взаємодії дуги з магнітним полем;
- гасіння дуги здійснюється за рахунок інтенсивного дуття, яке створюється при переході газу з резервуара з високим тиском у резервуар з низьким тиском.

Розглянемо конструкцію вимикачів на прикладі елегазових вимикачів HD4 фірми АВВ (рисунок 4.5).

Вимикачі HD4 використовуються в системах енергопостачання для управління та захисту ліній, трансформаторних та розподільчих підстанцій, двигунів, трансформаторів, батарей конденсаторів і т.д. Завдяки технології відключення, яка заснована на автоматичному випуску елегазу, вимикачі HD4 не створюють експлуатаційних перенапруг, тому чудово підходять для модернізації та розширення старих установок, у яких двигуни, кабелі, ізоляційні матеріали і т.д. можуть бути особливо чутливі до діелектричних навантажень.



Рисунок.4.5 – Елегазовий вимикач HD4 фірми АВВ

Вимикачі HD4 випускаються двох типів: стаціонарного та викотного, з приводним механізмом, який розміщений спереду.

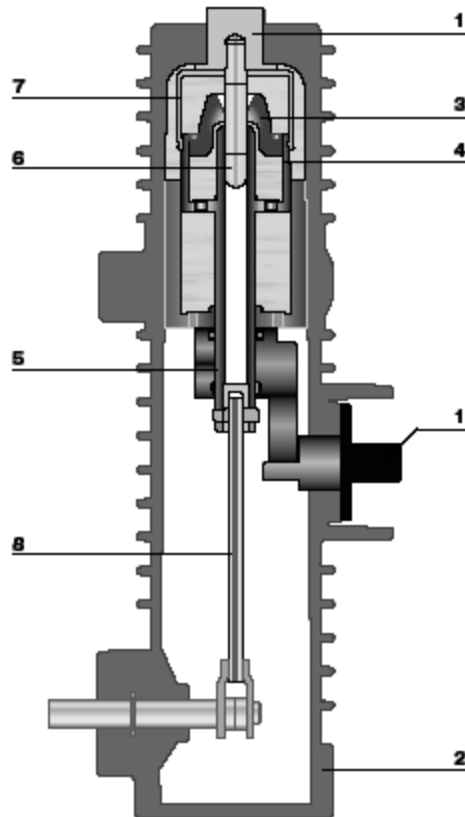
У вимикачах середньої напруги серії HD4 у якості дугогасильного та ізолюючого середовища використовується елегаз (гексафторид сірки SF<sub>6</sub>). Відключення у газі SF<sub>6</sub> проходить без зрізування дуги та без перенапруг, завдяки чому забезпечується тривалий срок служби самого вимикача та обмеження динамічних, діелектричних та температурних навантажень на всій установці.

Полюси вимикача, які складають відключаючу частину, представляють собою герметичні, не вимогливі у обслуговуванні системи, тиск у яких встановлюється один раз на весь срок служби (у відповідності з стандартами IEC 62271-100 та CEI 17-1).

Механічний приводний механізм типу ESH з накопиченою енергією обладнаний вільним розчеплювачем та дозволяє проводити операції відключення та включення незалежно від дій оператора.

Приводний механізм та полюси закріплені на металічній конструкції, яка також служить опорою для рухомих частин, керуючих рухомими контактами. У викотному варіанті вимикачі обладнані візком, який дозволяє встановлювати та виймати вимикач з кожуха або комутаційного

щита. Легка та компактна конструкція вимикачів забезпечує стійку робото-  
тоздатність та відмінну механіческую надійність. На рисунку 4.6 показа-  
но конструкцію вимикача.



1 – вивод, 2 – ізолюючий кожух, 3 – сопло продувки, 4 – рухомий  
дугогасильний контакт, 5 – рухомий контакт, 6 – нерухомий дугогасиль-  
ний контакт, 7 – нерухомий контакт, 8 – ізолююча тяга.

Рисунок.4.6 – Конструкція елегазового вимикача

*Відділення основного контакта.* При протіканні струму через дуго-  
гасильні контакти загорання дуги не виникає.

Рухаючись вниз, рухомі елементи стискають газ у нижній камері.  
Стиснутий газ перетікає з нижньої камери у верхню камеру, урівнюючи  
тиск в обох камерах.

*Відділення дугогасильного контакту.* Струм протікає завдяки електричній дузі, яка виникає між дугогасильними контактами. Газ не може вийти зовні ні через сопло, бо отвір все ще закритий нерухомим дугогасильним контактом, ні через внутрішню частину дугогасильного контакту, бо вона закрита електричною дугою (ефект закупорювання).

При низьких значеннях струму, коли струм проходить через нуль та дуга гаситься, газ протікає через контакти. При встановленому низькому тиску зрізування струму неможливо та невеликої кількості стиснутого газу достатньо для відновлення діелектричного опору між двома контактами, таким чином, попереджують повторне загорання при зростаючому фронті напруги повернення.

При високих значеннях струму КЗ, хвиля тиску, створена електричною дугою, закриває клапан між двома камерами, таким чином, що вимикач починає працювати з «самопродувкою у чистому вигляді». Тиск у верхньому об'ємі піднімається завдяки нагріванню газу та молекулярної дисоціації внаслідок високої температури. Підвищення тиску пропорційно струму дуги та забезпечує гасіння дуги при першому проході через нульове значення струму.

*Вимикач відключено.* Після переривання дуги тиск у верхній камері, який виникає сам собою, знижується, так як газ протікає через контакти. Клапан відкривається знову та в камеру відключення поступає новий потік свіжого газу. Таким чином, вимикач одразу готовий до нового включення та розчеплення з максимальним значенням відключаючої здатності.

### **Типи вимикачів**

У наш час випускаються вимикачі на номінальну напругу 12—110 кВ: HD4; ВГТ-110П\*-40/2500У1; ВЭО-27,5Б-20/1250У1; ВГУ-110 П\*-40/3150 У1; ВГУ-220П\*-50/3150 У1; ВГУ-500П\*-40/3150 У1; ВГУ-750-40/3150 У1; ВГУС-500-40/3150 У1.

Умовні позначення вимикачів складаються з літер та цифр, які означають: ВГ – вимикач елегазовий, Т – конструктивне виконання (Т, У), Э – елегазовий, О – однополюсний, Г – газовий, С – знижений рівень випробувальних напруг зовнішньої поздовжньої ізоляції. Перше число – номінальна напруга, кВ; літери після цього числа – категорія зовнішньої

ізоляції; друге та третє числа – відповідно номінальний струм відключення, кА, та номінальний струм, А; літери та числа після цих чисел – кліматичне виконання та категорія розташування.

### **Переваги та недоліки вимикачів**

Елегазові вимикачі мають такі **переваги**:

- висока електрична міцність та дугогасильна здатність елегазу дозволяє створити дугогасильний пристрій на струм відключення 40 кА при напрузі 220 кВ на один розрив при високій швидкості відновлення напруги мережі. Ведуться роботи щодо збільшення відключаючої здатності одного розриву;

- елегаз дозволяє підвищити навантаження струмоведучих частин та зменшити їх масу за рахунок своїх охолоджуючих властивостей;

- вимикачі зручно використовувати в елегазових КРУЭ, в яких елегаз використовується для ізоляції. Час відключення вимикачів приблизно 0,055 с.

**Недоліки** елегазових вимикачів:

- високі вимоги до якості елегаза;
- роботоздатність вимикача залежить від температури оточуючого середовища та при зниженні температури нижче визначеного значення вимикач може відмовити у гасінні. При тиску 0,35 МПа та густині елегазу 28 кг/м<sup>3</sup> гранична температура мінус 40<sup>0</sup>С. Це ускладнює використання елегазових вимикачів при більш низьких температурах оточуючого повітря. Розміщення вимикачів у ЗРУ підвищує температуру оточуючого середовища за рахунок тепла КРУ, покращує умови роботи вимикачів та розширює область їх використання.

- для привода вимикача потрібне стиснуте повітря.

### **4.6 Вакуумні вимикачі. Конструкція вимикачів. Гасіння дуги у вакуумі. Переваги та недоліки вакуумних вимикачів**

У вакуумних вимикачах контакти розходяться у вакуумі. На рисунку 4.7 представлено загальний вигляд вакуумних вимикачів провідних українських виробників: ВАТ «Ровенський завод високовольтної апаратури».

тури» (ВР35НС, ВРС-10, ВБКЄ -10) та «Таврида Електрик Україна» (ВВ/ТЕL).



а)

б)

в)

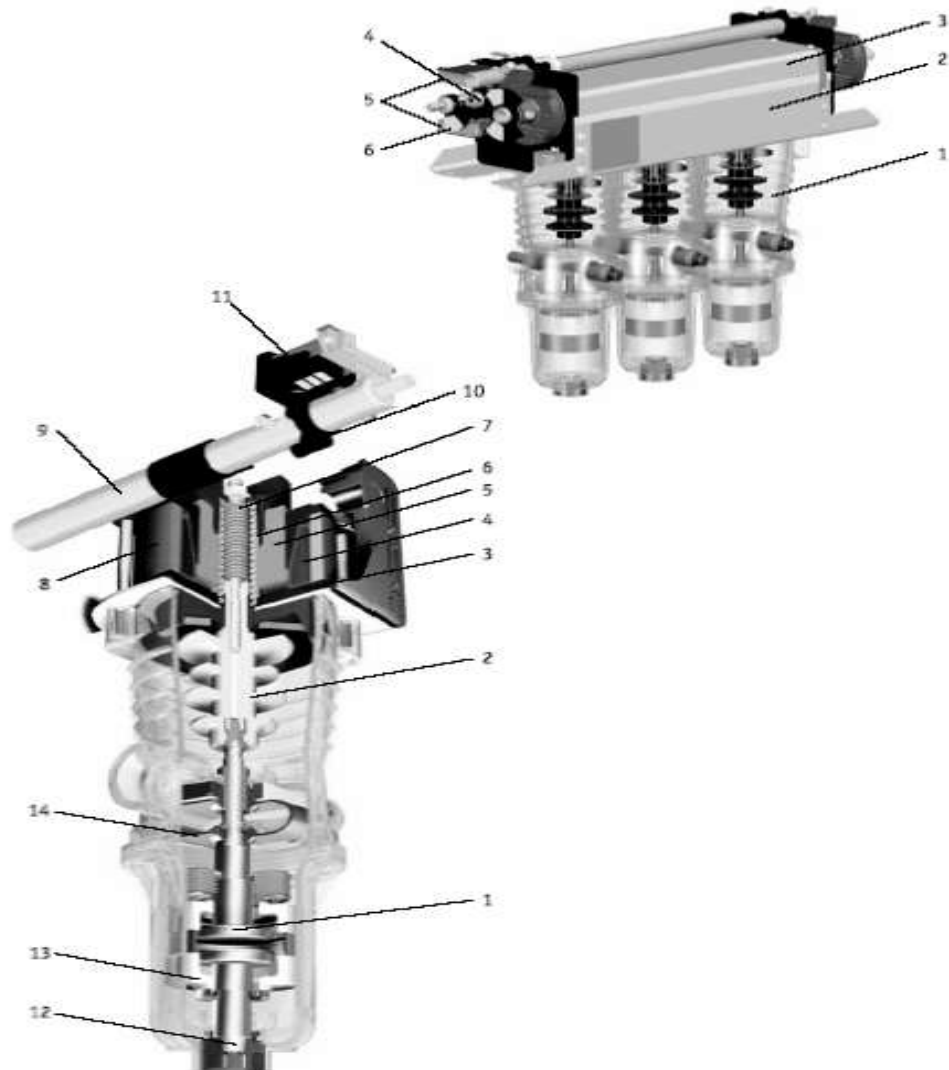


г)

а) ВР35НС, б) ВРС-10, в) ВБКЄ -10, г) ВВ/ТЕL.

Рисунок 4.7. Вакуумні вимикачі різних типів

Розглянемо конструкцію вимикачів на прикладі вимикача ВВ/ТЕL (рисунок 4.8).



1 – рухомий контакт вакуумної дугогасильної камери, 2 – тяговий ізолятор, 3 – кришка привода, 4 – котушка електромагніта, 5 – якір, 6 – пружина відключення, 7 – пружина підтягування, 8 – кільцевий магніт, 9 – вал, 10 – штовхач, 11 – допоміжні контакти, 12 – нерухомий контакт вакуумної дугогасильної камери, 13 - вакуумна дугогасильна камера, 14 – гнучкий струмоз’єм.

Рисунок 4.8 – Схема внутрішнього устро́йства полюса вимикача

Вимикач складається з трьох полюсів 1 з вбудованими електромагнітними приводами, які розміщені на загальній основі 2 та захищені кришкою 3. Якоря електромагнітів механічно зв’язані загальним валом 4, на якому встановлений штовхач (поз. 10 рис.4.7), керуючий при повороті

вала допоміжними контактами (поз. 11 рис. 4.7). П'ять контактів перемикаючого типу (мікроперемикачі), призначені для використання у зовнішніх допоміжних ланцюгах, розміщені на монтажних платах 5 (рис. 4.7).

*Включення вимикача.* У вихідному положенні контакти вакуумної дугогасильної камери розімкнуті (див. рис. 12.3) за рахунок дії на них відключаючої пружини 6 через тяговий ізолятор 2. У певний момент часу, після подачі напруги позитивної полярності від блоку керування до котушки 4 електромагніта, сила тяжіння якоря 5, створена магнітним потоком, більша за силу пружини відключення 6. Якір 5 електромагніта разом з тяговим ізолятором 2 та рухомих контактом 1 вакуумної камери починає рух униз, стискаючи пружину відключення. У процесі руху якір набуває швидкості близько 1 м/с, що дозволяє знизити вірогідність передпробоїв при включенні та запобігти вібрації контактів вакуумної дугогасильної камери. Після замикання контактів, під дією сили, створеної магнітним потоком та інерцією, якір 5 продовжує рух та стискає пружину додаткового контактного натискання 7. У момент замикання магнітної системи якір доторкається до кришки привода 3 та зупиняється. Після закінчення процесу включення струм котушки привода відключається. Вимикач залишається у включеному стані за рахунок залишкової індукції, створеної кільцевим постійним магнітом 8, який необмеженодовгий час утримує якір 5 у притянутому до кришки 3 положенні без додаткової струмової підтримки. Запас сили утримання складає 1350 – 1500 Н для вимикача в цілому, що достатньо для надійного утримання контактів у включеному положенні, навіть в умовах дії на вимикач вібрацій та ударних навантажень.

*Відключення вимикача.* Для відключення вимикача до виводів котушки 4 прикладається напруга негативної полярності від блоку керування ВU/TEL. При цьому струм, який протікає по обмотці, розмагнічує магніт 8. Якір 5 електромагніта під тиском пружини відключення 6 та пружини додаткового контактного натискання 7 прискорюється та ударяє по тяговому ізолятору 2. Ударна сила, яка передається якорем рухомому контакту 1 через тяговий ізолятор 2 перевищує 200 кгс, що сприяє розриву точок зварювання, які можуть виникати між контактами при протіканні струму КЗ. Крім того, рухомий контакт 1 вакуумної камери практично миттєво набуває високої стартової швидкості, що позитивно впливає на

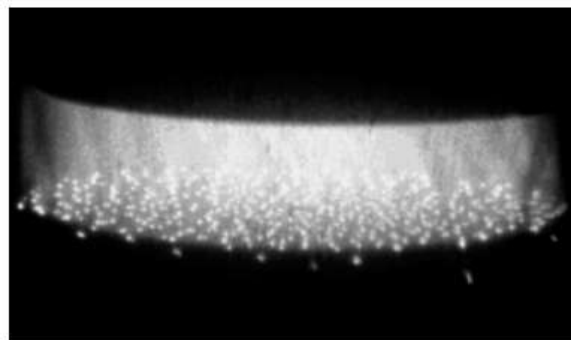


відключення струмів КЗ. Під дією пружини відключення якір 5 рухається вгору та переміщує рухомий контакт 1 вакуумної камери в розімкнуте положення. Привід ВВ/TEL потребує незначної енергії для відключення вимикача. При відключенні від джерела постійної напруги 220В (блока керування) струм у ланцюгу відключення не перевищує 1,5 А. Тривалість протікання струму - не більше 10 мс.

У момент розмикання контактів у вакуумному проміжку струм, який комутується, ініціює виникнення електричного розряда, так звана «вакуумна дуга». Існування вакуумної дуги підтримується за рахунок металу, який випаровується з поверхні контактів у вакуумний проміжок. Плазма, утворена іонізованими парами металу, є провідником струму та підтримує його протікання між контактами до момента переходу струму через нуль. Вакуумні дугогасильні камери показані на рисунку 4.8, а.



а)



б)

Рисунок 4.9 – Вакуумні дугогасильні камери (а); поздовжнє магнітне поле (б)

У цей момент дуга гасне, а залишки парів металу миттєво конденсуються на поверхні контактів та других деталей дугогасильної камери, відновлюючи електриміцність вакуумного проміжку. У цей же час на розведених контактах відновлюється прикладена до них напруга. Якщо при відновленні напруги на поверхні контакта (як правило, анода) залишаються перегріті ділянки, вони можуть служити джерелом емісії заряджених частинок, які викликають пробій вакуумного проміжку, з наступним протіканням струму через нього. Для попередження таких випадків потрібно керувати вакуумною дугою, рівномірно розподіляючи тепловий потік по всій поверхні контактів. Найефективнішим способом керування

дугою є накладання на неї поздовжнього (співнаправленого з напрямом струму) магнітного поля (рисунок 4.8, б), яке індукується самим струмом, рівномірно розподіляє вакуумну дугу по поверхні контактів.

Така конструкція вакуумних дугогасильних камер має явні переваги:

- висока відключаюча здатність;
- мінімальні габарити та маса;
- мала величина струму (4–5 А), що обмежує комутаційні перенапруги до безпечних величин;
- поздовжнє магнітне поле мінімізує комутаційний знос контактів (ерозію) та забезпечує значний комутаційний ресурс.

### **Типи вакуумних вимикачів**

У наш час випускаються вимикачі внутрішньої та зовнішньої установки на номінальну напругу до 35 кВ:

ВВ/TEL–10–12,5/630-У2; ВР1-10-20/630 У2; ВР6К-6-40/1600 У2;  
ВР35-35-20/1250 Т3; ВРС-10-20/1000 У2; ВР35НС-35-20/1600 У1;  
ВБЗЕ – 35-20/1000 У1; ВБЗО – 27,5-20/1000 У1;  
ВБПС – 35 III – 31,5/2000 УХЛ1; ВБЭС – 35 III – 25/1600УХЛ1;  
ВБЭТ – 35 – 25/630 УХЛ1; ВВТЭ – М – 10 – 20/630 Т3

Умовні позначення вимикачів складаються з літер та цифр, які означають:

В (ВВ, ВБ)– вимикач вакуумний, ВР1 – ВР35 – серія вакуумного вимикача з електромагнітним приводом, Н (З) – зовнішньої установки, Э (Е) – з електромагнітним приводом, П – з пружинним приводом, О – однофазний; Т – з вбудованими трансформаторами струму (ВБЭТ) або триполюсний (ВВТЭ), М – модернізований, С – сухий (з повітряною ізоляцією всередині полюсів – ВР35НС) або стаціонарний (ВБЭС, ВБПС). Перше число – номінальна напруга, кВ; III (цифра біля напруги) – ступінь забруднення зовнішньої ізоляції; друге та третє числа – відповідно номінальний струм відключення, кА, та номінальний струм, А; літери та числа після цих чисел – кліматичне виконання та категорія розташування.

### **Переваги та недоліки вакуумних вимикачів**

**Переваги** вакуумних вимикачів:

- невеликі габарити, простота конструкції;
- вибухобезпечність;
- малий час відключення ( 0,05—0,075 с );
- висока швидкість відновлення міцності дугогасильного проміжку;
- зручні для відключення емнісного навантаження;
- безшумна робота;
- немає викидів у атмосферу;
- повна герметизація дугогасильного пристрою;
- значний ресурс при комутації номінального струму  $(30—50) \cdot 10^3$  комутацій;
- легкість та простота адаптації у будь-які КРУ, КСО;
- низька вартість.

#### **Недоліки вакуумних вимикачів:**

- поблизу нуля струму спостерігається зрізання струму, в результаті якого у деяких типів вакуумних вимикачів виникають перенапруги, небезпечні для комутуючого обладнання;
- для боротьби з виникаючими перенапругами потрібно використовувати RC-ланцюжки або обмежувачі перенапруги, або використовувати вимикачі з електромеханічним способом уснення перенапруг.

### **4.7 Вимикачі навантаження. Конструкція вимикачів.**

#### **Типи вимикачів навантаження. Переваги та недоліки**

Вартість сучасного РП з вимикачами досить висока. Дорогий сам вимикач з приводом. Крім того, для управління вимикачем потрібні трансформатори струму, релейний захист.

Якщо тривалий струм установки невеликий (не більше 630 А), то вимикач та релейний захист можна замінити двома простими апаратами – вимикачем навантаження та запобіжником. Вимикач навантаження призначений для багатократних комутаційних операцій. Для відключення струмів навантаження використовується вимикач, який має дугогасильний пристрій невеликої потужності, а КЗ відключається високовольтним запобіжником. У вимикачах навантаження для гасіння дуги використовуються такі типи камер:

- 1- камери з автогазовим дуттям;

- 2 - камери з пневматичним дуттям;
- 3 - камери з елегазовим дуттям та вакуумними елементами.

### **Конструкція вимикачів з автогазовим дуттям**

Найрозповсюдженими є вимикачі навантаження з автогазовим дуттям. Одночасно ведуться роботи по створенню вимикачів навантаження, які використовуватимуть інші принципи та дозволять збільшити відключаючий струм до 1000 А і вище при напрузі від 10 кВ і вище.

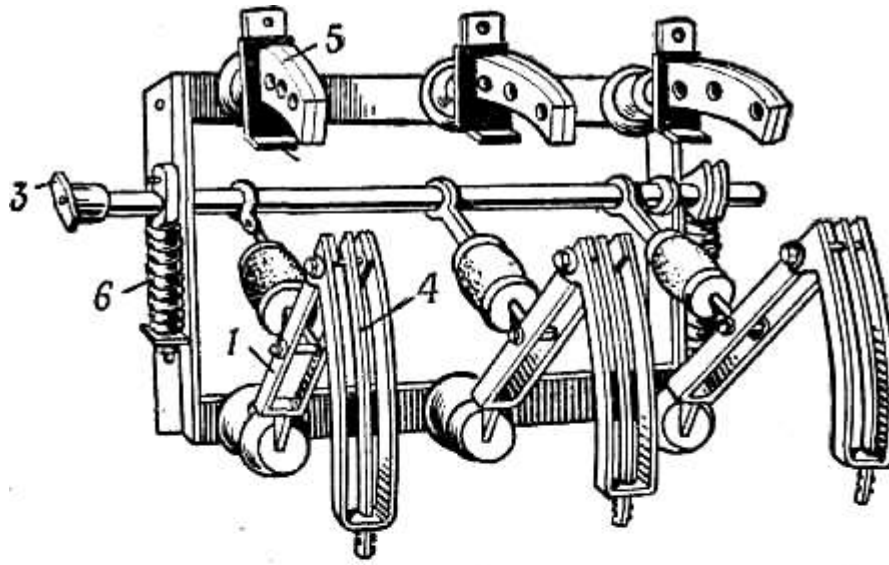
Загальний вигляд автогазового вимикача зображено на рисунку 4.9,а.

Усі три полюси вимикача розміщені на одній звареній рамі. На нижньому опорному ізоляторі полюса розміщені виводи полюса та шарнір рухомого контакту 1. На верхньому ізоляторі закріплений нерухомий головний контакт 2, дугогасильна камера 5 та другий вивод полюса. Рухомий контакт 1 виконано здвоєним. Усередині закріплений дугогасильний контакт 4 у вигляді вигнутої тонкої мідної шини. З боків йдуть дві сталеві пластини, які утворюють головний рухомий контакт.

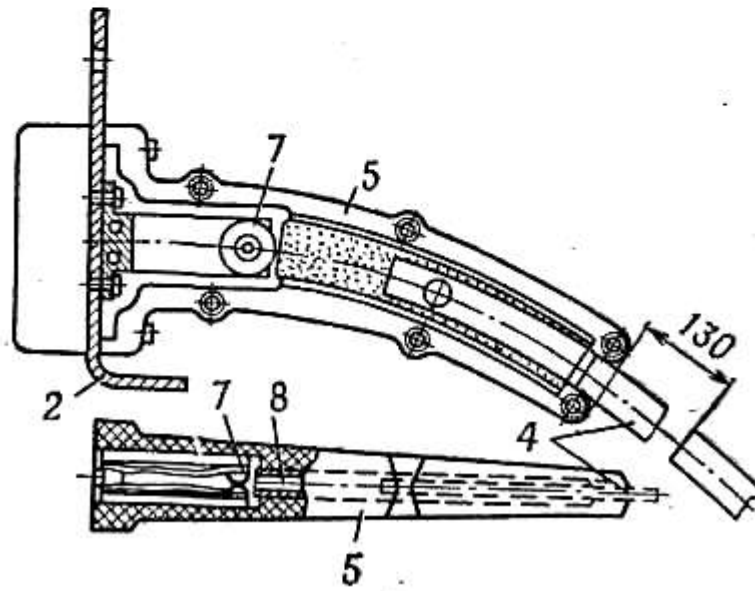
Рухомі контакти приводяться у рух валом вимикача 3, який з'єднаний з контактами фарфоровою тягою. Відключення вимикача проходить під дією пружин 6, які заводяться при включенні апарата.

Дугогасильна камера апарата зображена на рис.4.9,б. Нерухомий дугогасильний контакт точкового типу 7 з'єднаний з головним нерухомим контактом 2. Корпус 5 виконано з пластмаси та складається з двох половин, стянутих сталевими гвинтами. Всередині корпусу розміщені два вкладиша 8 з газогенеруючого матеріалу, наприклад, з органічного скла, вініпласта тощо.

Для управління вимикачем використовують ручний ричажний привод, який має вбудований електромагніт, що забезпечує дистанційне відключення апарата.



а)



б)

а) загальний вигляд; б) конструкція дугогасної камери.

Рисунок 4.10 – Вимикач навантаження типу ВН-16

У включеному стані вимикача струм проходить через контур головних та дугогасильних контактів.

Під час відключення спочатку без дуги розмикаються основні контакти та весь струм перекидається у дугогасильний контур. Після розходження дугогасильних контактів між вкладишами загоряється дуга. За-

вдяки високій температурі дуги вкладиші інтенсивно виділяють газ, який прямує вийти з камери через зазор між рухомим контактом та вкладишами. При цьому виникає поздовжній обдув дуги, у результаті чого вона гасне. Зона викиду газів з камери 200-500 мм. Контакт 4 виходить з камери тоді, коли дуга згасне.

У відключеному стані дугогасильний контакт відходить від камери на відстань, достатню, щоб витримати випробувальну напругу, призначену для роз'єднувача на цей клас напруги.

Без заміни вкладишів вимикач навантаження ВН-16 може відключити номінальний струм 200А при напрузі 10 кВ 75 разів.

### **Типи вимикачів навантаження**

У наш час випускаються вимикачі на номінальну напругу до 10 кВ: ВНБ-10/630-16 УХЛ2; ВНАП(Л)-10/630-20У2; ВНАП(Л)-10/630-20зУ2; ВНАП(Л)-10/630-20зпУ2; ВНМ-10/630-31,5УХЛ3; ВНАП(Л)-10/630-20-2зУ2; ВНАП(Л)-10/630-20-3зпУ2; ВНАП(Л)-10/630-20зпУ2

Умовні позначення вимикачів складаються з літер та цифр, які означають:

ВН – вимикач навантаження, Б – вакуумний (ВНБ), А – автогазовий, М – модернізований. Перше число – номінальна напруга, кВ; друге число – номінальний струм відключення, А; третє число – номінальне значення періодичної складової струму КЗ, кА; літери: з (2з) – наявність та кількість заземлюючих ножей, п – з запобіжником, 3 – наявність пристрою для подачі команди на відключення при перегоранні запобіжника, літери та числа наприкінці – кліматичне виконання та категорія розташування.

### **Переваги та недоліки вимикачів навантаження**

#### **Переваги** вимикачів навантаження:

- вимикач з приводом не потребує заміни деталей на протязі всього строка служби при виконанні правил транспортування, зберігання, монтажу та експлуатації;

- великий ресурс вимикача (8000 циклів на протязі строка служби не менше 25 років);

- невисока вартість.

### **Недолік** вимикачів навантаження:

- розрахований на невеликий струм та напругу установки.

### **Питання для самоконтролю**

1. Яке призначення вимикач високої напруги?
2. Який найтяжчий режим роботи для вимикача?
3. Які основні вимоги висуваються до вимикача високої напруги?
4. Які існують способи ізоляції струмоведучих частин вимикача?
5. Які переваги бакових масляних вимикачів?
6. Які недоліки бакових масляних вимикачів?
7. Яка принципова різниця в ізоляції бакових масляних і маломасляних вимикачів?
8. Які переваги маломасляних вимикачів?
9. Які недоліки маломасляних вимикачів?
10. Що служить ізоляцією струмоведучих частин у повітряному вимикачі?
11. Які переваги і недоліки повітряних вимикачів?
12. В якій частині елегазового вимикача застосовується елегаз?
13. Які переваги і недоліки елегазових вимикачів?
14. Які переваги має вакуумна дугогасильна камера вакуумного вимикача?
15. Які переваги і недоліки має вимикач навантаження?

### **Список літератури**

[2: с. 545-548; 552-605], [3: с. 222-228].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 449 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. - М: Энергоатомиздат. 1988. - 720 с.
3. Таев И.С. Электрические аппараты управления / И.С. Таев. – М: Высшая школа. - 1984. - 247 с.
4. Таев И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения / И.С. Таев. – М.: Энергия, 1973. – 424 с.
5. Куценко Ю.М. Монтаж електрообладнання і систем керування / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев. За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.



Навчальне видання

Попрядухін Вадим Сергійович

## **Апарати керування і захисту**

*Курс лекцій*

Формат 60x84  
Папір офсет. Друк офсет.  
Ум. друк. арк.. 11,9  
Наклад прим.

Видавництво та друк: видавничо-поліграфічний центр «Люкс