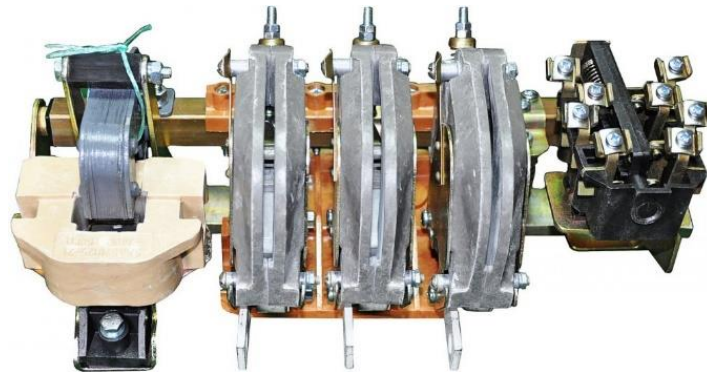


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ**

**Методичні вказівки до виконання практичних занять**

**Суми**  
**2022**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

## **ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ**

**Методичні вказівки до виконання практичних занять з  
дисципліни «Електричні апарати» для студентів 3 курс  
бакалавр, спеціальність 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка», денна та заочна ФН**

**Суми  
2022**

**УДК 631.81 (631)**  
**УДК – 5150-(075.8)**  
**Р-99**

**Укладачі:** Чепіжний А.В. , к.т.н., ст. викладач; завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ  
Рясна О.В., старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

**ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ/** Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни "Електричні апарати" для студентів 3 курс бакалавр, спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», денна та заочна ФН/Суми, 2022 рік, 59 ст., рис. 11, табл. 12, бібл. 14.

В методичних вказівках наведені всі теми практичних занять для вивчення дисципліни.

Методичні вказівки призначені для студентів 3 (2 с.т.) курсу денної і заочної форм навчання, за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**Рецензенти:** Квітка С.О., к.т.н., доцент кафедри електротехнологій і теплових процесів Таврійського державного агротехнологічного університету ім. Д. Моторного  
Герасименко В.О., к. фіз. – мат. н., доцент кафедри вищої математики

**Відповідальний за випуск:** Чепіжний А.В., к.т.н., доцент; завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 6 від « 25 » травня 2022 року

Сумський національний аграрний університет, 2022

Тематичний план

№ п/п	Назва розділу, теми	Кількість годин
		Денна /дистанційна форма навчання
1	Лабораторно-практичні роботи	14/10

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
Основні правила техніки безпеки при виконанні практичних занять .....	9
1 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ .....	11
1.1 Лабораторно-практична робота № 1 Тема: Дослідження умовних позначень контактних комутаційних пристроїв .....	11
1.2 Лабораторно-практична робота № 2 Тема: Дослідження конструкції низьковольтних контактних комутаційних апаратів .....	19
1.3 Лабораторно-практична робота № 3 Тема: Дослідження конструкції контакторів .....	27
1.4 Лабораторно-практична робота № 4 Тема: Дослідження конструкції низьковольтних електричних апаратів захисту .....	34
1.5 Лабораторно-практична робота № 5 Тема: Розрахунок обмотки електромагніта постійного струму .....	45
1.6 Лабораторно-практична робота № 6 Тема: Розрахунок обмотки електромагніту змінного струму .....	50
1.7 Лабораторно-практична робота № 7 Тема: Електрична дуга й основні методи її гасіння.....	54
Додаток А (Оформлення і зміст звіту про роботу).....	60
Список рекомендованої літератури.....	

## **ВСТУП**

Дисципліна «Електричні апарати» є однією з основних профільюючих дисциплін у системі підготовки інженера - енергетика.

В даному конспекті лекцій стисло розглядаються основи теорії, принципи роботи, конструкції вузлів апаратів та режими їх роботи і експлуатаційні характеристики, а також рекомендації по вибору електричних апаратів і розрахунку їх окремих вузлів. Конспект написано у відповідності до силябусу курсу «Електричні апарати» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», що розрахована на 16 год. лекцій і 14 години практичних занять на протязі одного семестру. Автори намагалися викласти матеріал таким чином, щоб при відносно невеликому об'ємі конспекта лекцій акцентувати увагу на розумінні фізичних процесів і явищ, що відбуваються в електричних апаратах, та основах роботи найбільш широко вживаних електричних апаратів в номінальному режимі, режимі перевантаження та режимі короткого замикання.

Основною задачею предмету є вивчення призначення, будови, принципу дії та використання електричних апаратів напругою до і вище 1000 В, як широко використовуються при виробленні, передачі та споживанні електричної енергії.

Дисципліна базується на знаннях з вищої математики, фізики, загальної електротехніки, промислової електроніки, теоретичної механіки. Оволодіння студентами навчальної дисципліни «Електричні апарати» дозволяє успішно засвоїти такі спеціальні дисципліни, як «Монтаж електрообладнання і систем керування», «Електротехнології в АПК», «Енергетичні установки», «Проектування систем електрифікації, автоматизації і електропостачання». «Електротехнології та електроосвітлення» та застосовувати знання при розв'язанні практичних виробничих завдань.

## **ОСНОВНІ ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

Учбово-лабораторно-практичні стенди в лабораторіях електричних апаратів (ЕА) відносяться до діючих електроустановок, окремі елементи яких перебувають під напругою 220-380 В. Тому під час занять у лабораторіях ЕА студенти повинні строго дотримувати Правила техніки безпеки (ГОСТ-12.0.002-74).

1. Студенти, які вперше приступають до виконання лабораторно-практичних занять проходять вступний інструктаж з техніки безпеки і розписуються в журналі реєстрації інструктажів (ГОСТ-12.0.004.-79). Інструктаж проводять викладачі, що проводять заняття. Студенти, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки до лабораторно-практичних занять не допускаються!

2. Перед початком роботи всі студенти повинні ретельно ознайомитися зі схемою електропостачання лабораторій ЕА і окремих робочих місць, розташуванням пускозахисної апаратури на лабораторному стенді і силовому щитку, а також записати технічні характеристики електричних машин, що досліджуються і використаних в досліді приладів і апаратів.

3. Забороняється починати зборку електричних схем без дозволу викладача, що проводить заняття. Перед початком зборки схеми необхідно переконатися в тім, що автоматичні вмикачі на силовому щитку і лабораторному стенді виключені. При збиранні схеми варто використовувати прилади й апарати відповідного роду струму і меж виміру. Не допускається використання несправних приладів, перемикаючих пристроїв і клемних з'єднань!

4. При зборці електричної схеми необхідно забезпечити надійні контактні під'єднання проводів до затискачів машин, приладів і апаратів. Дозволяється використати тільки з'єднувальні провідники зі спеціальними наконечниками і по перетину відповідним робочим значенням сили струму. Не допускається перетинання проводами проходів і торкання ними рухливих частин машин і апаратів.

5. Категорично забороняється включати електричну схему в мережу без перевірки й дозволу викладача. Будь-які зміни в схему дозволяється вносити тільки при відключенні її від мережі. Після внесення змін до робочої схеми включення її під напругу допускається тільки після перевірки викладачем.

6. Під час проведення випробувань електричних машин варто бути уважними і обережним, не відволікатися сторонніми справами й розмовами. Не дозволяється підходити до інших електроустановок, силовим щиткам і пунктам і робити на них які-небудь включення. Забороняється також залишати без спостереження лабораторну установку, що перебуває під напругою, або допускати до роботи на ній сторонніх осіб. У випадку припиненні досліду або перерви в роботі схема повинна бути відключена від мережі.

7. Під час роботи при виявленні несправного стану устаткування, апаратів, вимірювальних приладів і з'єднувальних проводів необхідно негайно відключити схему від мережі і повідомити про те, що трапилося викладача або лаборанта. Після закінчення роботи необхідно привести в порядок робоче місце.

8. Якщо під час занять стався нещасний випадок, необхідно негайно відключити установку від мережі і надати потерпілому першу допомогу. При необхідності слід викликати швидку медичну допомогу за телефоном 110.

У випадку виникненні в лабораторіях ЕА пожежі необхідно відключити лабораторну установку за допомогою автоматичного вимикача ввідної силової зборки даної лабораторії і вжити заходів по гасінню пожежі підручними засобами. При цьому категорично забороняється гасити пожежу в електроустановках пінними вогнегасниками. При необхідності слід подзвонити по телефону 101 і повідомити про пожежу.

9. Необхідно пам'ятати, що студенти які порушили Правила техніки безпеки, піддаються адміністративному стягненню. Студенти зобов'язані дбайливо ставитися до устаткування лабораторії. У випадку псування устаткування, приладів і апаратів через недотримання Правил винні несуть матеріальну відповідальність в установленому порядку.

## Практичне заняття № 1

### Дослідження умовних позначень контактних комутаційних пристроїв

**Мета роботи** – вивчити принцип дії та елементи конструкції найбільш розповсюджених контактних комутаційних апаратів та їх умовне графічне позначення (УГП).

**Пристрої комутації (device switching)** дозволяють комутувати (вмикати, вимикати) електричні кола в електричній апаратурі в результаті зміни опору виконуючих елементів під дією керуючих сигналів.

В комутуючих пристроях велике значення мають виконуючі елементи, які бувають контактні і безконтактні.

Існують також вставні контакти, коли контакт-деталі перед робочим станом здійснюють бічний чи подовжній рух у притиснутому стані з подоланням сил тертя (перемикачі ручного керування, з'єднувачі). Контактні виконавчі елементи застосовуються як при ручному, так і при дистанційному й автоматичному керуванні. При ручному керуванні це контактдеталі кнопок, тумблерів, галетних перемикачів і т.п. При дистанційному й автоматичному керуванні – це контакт-деталі електромагнітних реле і магнітокеруючих герметичних контактів (герконів).

У безконтактних виконавчих елементах використовується зміна умов про-тікання струму в обсязі кристала і його поверхневому шарі під впливом електричних напруги, освітлення і т.п. Такі елементи застосовують в основному при дистанційному й автоматичному керуванні апаратури - це оптрони, транзисторні ключі і комутатори. Почали знаходити застосування безконтактні комутаційні пристрої з ручним керуванням, наприклад, кнопки з оптронами і магніторезисторами, а також сенсорні.

З'єднувачі (контактні з'єднання) призначені тільки для проведення електричного струму і не призначені для комутації електричного ланцюга. Контактні з'єднання можуть бути роз'ємні, розбірні і нерозбірні.

### **Контакти комутаційних пристроїв**

За початкове положення замикаючих контактів прийнятий розімкнений стан комутаційного ланцюга, розмикаючих – замкнений, перемикаючих – положення, в якому один з ланцюгів замкнений, а інший розімкнений. УГП всіх контактів допускається зображувати в дзеркальному і поверненому на 90° положеннях.



Умовне буквено-цифрове позиційне позначення комутаційних пристроїв визначається комутуючим ланцюгом, способом управління і порядковим номером на схемі. Якщо комутаційний пристрій розташований в ланцюгу управління сигналізації, вимірювання і т.п., його позначають латинською буквою S, а якщо в силовому ланцюгу (енергоспоживання, живлення обладнання і т.п.) – буквою Q. Спосіб управління знаходить віддзеркалення в другій букві позначення: кно-пкові вимикачі і перемикачі позначають буквою B (SB), автоматичні – буквою F (SF), всі інші – буквою A (SA).

Для пояснення принципу роботи комутаційних пристроїв при необхідності на їх контакт-деталях зображують кваліфікуючі символи. Так, якщо необхідно показати, що контакт замикається або розмикається раніше за інших, символ його рухомої частини доповнюють коротким штрихом, спрямованим у бік спра-цювання, а якщо пізніше, – штрихом, направленим у зворотний бік.

Відсутність фіксації в замкнутому або розімкнутому положеннях (самопо-вернення) позначають невеликим трикутником, вершина якого спрямована в бік вихідного положення рухомої частини контакту, а фіксацію – кружком на символі його нерухомої частини.

### **Вимикачі**

УГП вимикачів на електричних схемах будують на основі символів зами-каючих і розмикаючих контактів. При цьому мається на увазі, що контакти фік-суються в обох положеннях, тобто не мають самоповернення.

Якщо у вимикачі кілька контактів, символи їх рухомих частин на електричних схемах розташовують паралельно і з'єднують лінією механічного зв'язку, наприклад вимикач трьохполюсний.

При зображенні контактів у різних ділянках схеми приналежність їх до одного комутаційного виробу традиційно відображають в буквено-цифровому позиційному позначенні (SA5.1, SA5.2, SA5.3).

### **Двохпозиційні перемикачі**

Аналогічно, на основі символу перемикаючого контакту, будують УГП двухпозиційних перемикачів. Якщо ж перемикач фіксується не тільки в крайніх, але і в середньому (нейтральному) положенні, символ рухомої частини контакту розташовують між символами нерухомих частин, а можливість повороту його в обидві сторони показують точкою. Так само роблять і в тому випадку, якщо не-обхідно показати на схемі перемикач, що фіксується тільки в середньому положенні.

### **Кнопкові вимикачі і перемикачі**

Відмітна ознака УГП кнопкових вимикачів і перемикачів – символ кнопки, з'єднаний з позначенням рухомої частини контакту лінією механічного зв'язку. При цьому якщо УГП побудовано на базі основного символу контакту, то це означає, що вимикач (перемикач) не фіксується в натиснутому положенні (при відпусканні кнопки повертається у вихідне положення).

Якщо ж необхідно показати фіксацію, використовують спеціально призначені для цієї мети символи контактів з фіксацією. Повернення у вихідне положення при натисканні іншої кнопки перемикача показують в цьому випадку знаком фіксуючого механізму, приєднуючи його до символу рухомої частини контакту з боку, протилежного символу кнопки. Якщо ж повернення відбувається при повторному натисканні кнопки, знак фіксуючого механізму зображують за-мість лінії механічного зв'язку.

### **Реле**

**Реле** (англ. **relay**) — електричний комутаційний апарат, який автоматично виконує певні перемикання контрольованого ним електричного кола.

Реле складається з релейного елемента (з двома станами стійкої рівноваги) і групи електричних контактів, які замикаються (розмикаються) при зміні стану релейного елемента.

Електромагнітне реле складається з електромагніту і однієї або декількох контактних груп, керованих пов'язаним з якорем електромагніту приводним механізмом. Після закінчення дії сигналу приводний механізм і контакти повертаються в початкове положення.

Розрізняють також теплові, механічні, оптичні, акустичні реле, які застосовують в системах автоматичного керування, контролю, сигналізації, захисту, комунікації і т.ін.

Контакти реле (замикаючі, розмикаючі, перемикаючі) зображують тими ж символами, що і в умовних позначеннях вимикачів і перемикачів, електромагніт (вірніше його обмотку) – у вигляді прямокутника з лініями-виводами від довгих сторін. Позначення контактів розташовують напроти однієї з вузьких сторін символу обмотки і сполучають з ним лінією механічного зв'язку. Буквений код реле – К.

Виводи обмотки можна зображати з одного боку, а символи контактів – в різних частинах схеми поряд з УГП комутуваних елементів. Приналежність контактів до того або іншого реле вказують в буквено-цифровому позиційному позначенні.

В автоматичних системах досить часто вимагається, щоб елементи, в тому числі і електромагнітні реле, реагували не тільки на значення, але й на полярність струму на вході. Для цього використовують поляризовані електромагнітні реле. Їх на схемі виділяють буквою Р, яку вписують в додаткове графічне поле УГП.

Для підвищення швидкодії, надійності, терміну служби і здатності працювати в особливо жорстких умовах агресивного середовища розроблені конструкції реле з герметизованими магнітокерованими контактами – **герконами (vacuum sealed contact)**.

Так само, як і звичайні контакти, геркони можуть бути замикаючі, перемикаючі і працювати на розмикання.

Щоб відрізнити геркон від контактів інших комутаційних пристроїв в його УГП іноді вводять символ герметичного корпусу – коло. Приналежність до конкретного реле указують в позиційному позначенні. Якщо ж геркон не є частиною реле, і управляється постійним магнітом, його позначають кодом автоматичного вимикача – буквами SF.

### **З'єднувачі**

Велику групу комутаційних пристроїв утворюють різноманітні з'єднувачі (роз'єми). У таких з'єднувачах, наприклад, циліндричні пружніметалеві штирки контактують з циліндричними пружними металевими гніздами. Гнізда і штирки збираються в прямокутну матрицю. Роз'єм зазвичай має від двох до кількох десятків контактів і має ключ, що забезпечує правильну орієнтацію. Штирки і гнізда можуть бути розташовані в будь-якій комбінації в одному корпусі, і корпус може бути виконано або вилкою, або розеткою. Штир такого вузла позначають стрілкою з кутом 90°, гніздо – "рогаткою". Код роз'ємного з'єднувача – "Х". При зображенні штирів і гнізд в різних частинах схеми в буквене позиційне позначення штирів вводять букву Р, гнізд – S.

Високочастотні з'єднувачі і їх частини позначають буквами ХW. Відмітна ознака високочастотного з'єднувача – кружок з відрізком дотичної лінії, паралельній лінії електричного зв'язку і направленої убік стрілки або рогатки (XW1, XW2). Якщо ж з іншими елементами пристрою штир або гніздо сполучені коаксіальним кабелем, дотичну продовжують і в інший бік.




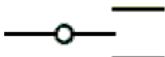










Контакти розбірного та нерозбірного з'єднань позначають на схемах буквами ХТ, а зображають відповідно невеликим колом та кругом.

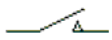

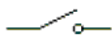


Приналежність штирів або гнізд до одного багатоконтактного з'єднувача показують на схемі лінією механічного зв'язку і нумерацією відповідно до нумерації на самих з'єднувачах. При зображенні рознесеним способом (у різних місцях схеми) умовне буквеночислове позначення штиря або гнізда складають з позиційного позначення багатоконтактного з'єднувача і його порядкового номера (XSI.I – перше гніздо розетки XSI; XP5.4 – четвертий штир XP5 і т.д.).

Для спрощення УГП контактів, розеток і вилок багатоконтактних з'єднувачів допускається зображувати їх у вигляді невеликих пронумерованих прямо-кутників з відповідними символами (гнізда або штиря) над ними.

### **Перемички комутаційні**

Перемички використовують для комутації рідко переключаючих ланцюгів. Перемичку, призначену для замикання і розмикання ланцюга, позначають відрізком лінії електричного зв'язку з символами роз'ємного з'єднання на кінцях, для перемикання – П-образною скобою. Наявність на перемичці контрольного гнізда або штиря показують відповідним символом.

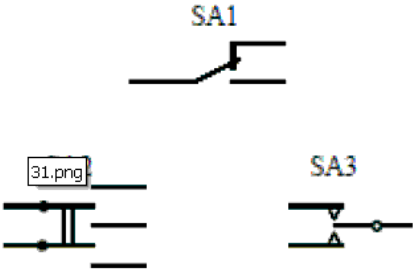
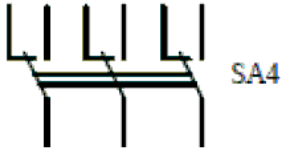
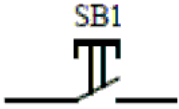

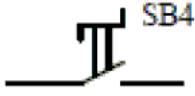
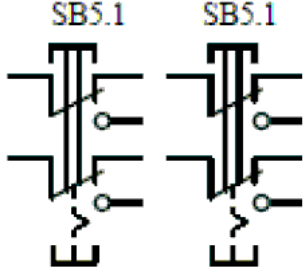

<b>Контакти комутаційних пристроїв</b>	
<b>Назва</b>	<b>Позначення</b>
1. Контакт замикаючий	
2. Контакт розмикаючий	
3. Контакт перемикаючий	
4. Контакт перемикаючий з нейтральним центральним положенням	SA1 
5. Кваліфікуючі символи на контакт-деталях:	
- функція контактора;	
- функція вимикача;	
- функція роз'єднувача;	
- функція вимикача-роз'єднувача;	
- автоматичне вимкнення при виникненні перевантаження;	
- самоповернення;	
- відсутність само-повернення;	
- контакт пристроями дугогасіння	
6. Контакт в контактній групі, що спрацьовує раніше по відношенню до інших контактів групи:	
- замикаючий;	
- розмикаючий;	

8. Контакт з самоповерненням	
- замикаючий;	
- розмикаючий;	
9. Контакт без самоповернення:	
- замикаючий;	
- розмикаючий;	
10. Нормально розімкнутий контакт (замикаючий);	
- вимикача;	<p>SA1</p> 
- роз'єднувача;	<p>SA2</p> 
- вимикача-роз'єднувача;	<p>SA3</p> 

<i><b>Вимикачі</b></i>	
<i><b>Назва</b></i>	<i><b>Позначення</b></i>
1.Вимикач	
2.Вимикач трьохполюсний	
3.Вимикачі ланцюгів живлення	
4.Літеро-цифрове позиційне позначення на схемах	
5.Вимикач з автоматичним поверненням при перенавантаженні:	
- в силових колах;	
- в колах керування;	

### ***Двохпозиційні перемикачі***

<i><b>Назва</b></i>	<i><b>Позначення</b></i>
---------------------	--------------------------

<p>1.Перемикачі з фіксацією в крайньому і середньому положеннях та з фіксацією тільки у середньому положенні</p>	
<p>2.Перемикач двопозиційний трьохполюсний</p>	
<p><b>Кнопкові вимикачі і перемикачі</b></p>	
<p style="text-align: center;"><i>Назва</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Позначення</i></p>
<p>1.Натискувальний кнопковий контакт з замикаючим контактом з самоповерненням</p>	
<p>2.Контакт кнопковий витяжний з розмикаючим контактом з самоповерненням</p>	
<p>3.Контакт кнопковий поворотний з замикаючим контактом з самоповерненням</p>	
<p>4.Контакт кнопковий натискувальний з поверненням за допомогою спеціальної кнопки</p>	
<p>5.Контакт кнопковий натискувальний з поверненням при повторному натисканні кнопки</p>	

## Практичне заняття № 2

### Дослідження конструкції низьковольтних контактних комутаційних апаратів

**Мета роботи** – вивчити принцип дії та елементи конструкції найбільш розповсюджених контактних комутаційних апаратів та електричні схеми їх увімкнення.

#### Короткі теоретичні відомості

Комутаційна апаратура є невід'ємною частиною у всіх електричних силових ланцюгах і ланцюгах керування різних систем та пристроїв.

Для комутації силових ланцюгів напругою до 1000 В широко використовуються рубильники, пакетні вимикачі (перемикачі), автоматичні вимикачі, контактори, силові контролери і т.д. Комутація ланцюгів керування для вмикання й вимикання релейно-контакторної апаратури здійснюється кнопками керування, кінцевими вимикачами. У ланцюгах автоматики та захисту застосовуються різні електромагнітні й інші реле, а також безконтактні електричні апарати.

Розглянемо принцип дії та будову деяких силових комутаційних апаратів і контактних апаратів ланцюгів керування й автоматики.

#### Рубильники

Рубильники призначені для ручного вмикання та вимикання електричних ланцюгів з постійною та змінною напругою. Вони розраховані на вимикання незначних струмів і за наявності відповідних дугогасильних пристроїв допускають вимикання струму до (1..1,25)Іном.

Рубильники (рис. 1.1) виконуються одно- і багатополюсними. Основними елементами їх є: нерухомі врубні контакти 4, рухомі контакти 5, закріплені шарнірно в інших нерухомих контактах 6, дугогасильний пристрій і привод. Монтуються рубильники на ізоляційних плитах 7.

Привод може здійснюватися за допомогою центральної рукоятки, бокової рукоятки 3 через вал 2, центральної рукоятки 9 через систему важелів 10.

Головною частиною рубильника є контакти. Майже виняткове застосування в цих апаратах знаходять врубні контакти. У рубильниках на малі струми контактне натискання забезпечується за рахунок пружних властивостей матеріалу губок, а на струми від 100 А і вище – сталевими пружинами чи іншими додатковими елементами. Зі збільшенням натискання зменшується перехідний опір, але збільшується зношення контактів шляхом тертя. 12

Гасіння дуги постійного струму при малих струмах (до 75 А) здійснюється за рахунок її механічного розтягування ножами, що розходяться. При великих струмах гасіння здійснюється в основному за рахунок переміщення дуги під дією електродинамічних сил контуру струму.

Гасіння електричної дуги змінного струму здійснюється в основному за рахунок білякатодних явищ, що мають місце при переході струму через нуль. Уже при відстані близько 2 мм між контактами при напрузі 380 В дуга надійно гаситься. Довжину ножа в рубильниках змінного струму через це варто вибирати не за умов гасіння дуги, а за механічних умов.

При монтажу рубильників у розподільчих пристроях малого обсягу дуже актуальним стає питання обмеження розмірів дуги. Необхідно, щоб іонізовані гази, які залишилися після згасання дуги, не викликали пробій на корпус або між струмоведучими частинами. Для цього рубильники оснащують дугогасильними камерами 1. Ефективною є камера з дугогасильною решіткою 8.

Дугогасильні контакти 11 можуть застосовуватися в рубильниках постійного струму при струмах понад 100 А і у всіх рубильниках змінного струму, де швидкість руху



контактів та їх зазор не впливають помітно на умови гасіння дуги. Дугогасильні контакти, які вимикаються останніми, призначені для захисту головних ножів від обгорання. На великі струми рубильники виконуються з декількома рівнобіжними ножами.

### Пакетні вимикачі

Пакетні вимикачі та перемикачі є найбільш простими комутаційними апаратами та призначені для вмикання та вимикання окремих струмоприймачів та ділянок ланцюгів у нормальних режимах, а також для від'єднання під час виконання ремонтних робіт.

У пакетному вимикачі чи перемикачі кожен полюс, що комутується, конструктивно оформлений у вигляді окремого елемента – пакета. Число пакетів у вимикачі, наприклад серії ПКВ, може досягати восьми.

Пакетний вимикач ПВМ (рис. 1.2, а) складається з окремих з'єднаних разом пакетів 5 та приводного механізму 4. Кожен полюс має два розриви. Нерухомі контакти 1 виконані у вигляді масивних пластин із латуні. Рухомий контакт 2 насаджений на квадратний ізольований вал вимикача і має обертальний рух. Натискання контактів створюється за рахунок пружних властивостей губок рухомого контакту 2. До рухомого контакту прикріплені дві щічки 3 із фібрових пластин. Відстань між щічками трохи більша за товщину нерухомого контакту, що дозволяє рухомому контакту вільно обертатися всередині пакета. 13

Рухомий контакт переміщується за допомогою приводного механізму. Під час обертання рукоятки спочатку заводиться пружина, а потім ця пружина надає необхідної швидкості контакту.

При розходженні контактів дуга загоряється у двох розривах, що забезпечує надійне гасіння дуги змінного струму за рахунок білякатодної електричної міцності. Дуга гасне при першому проходженні змінного струму через нуль.

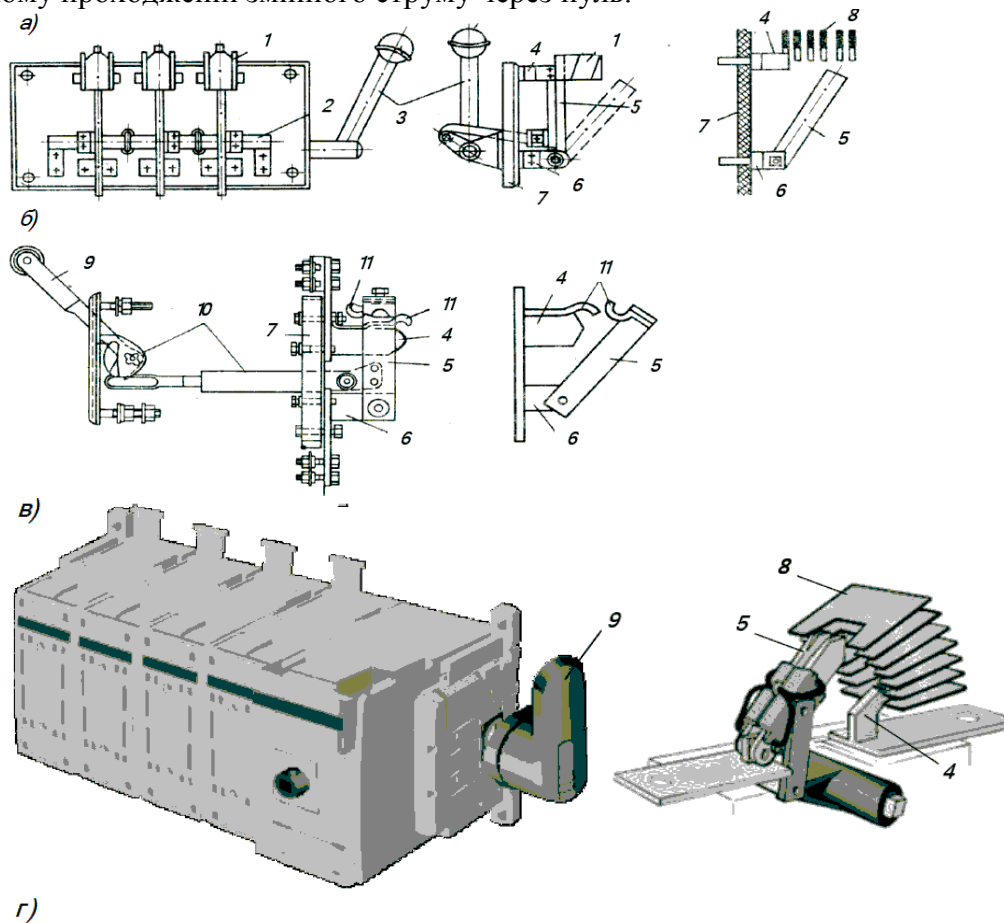


Рисунок 1.1 – Рубильники:

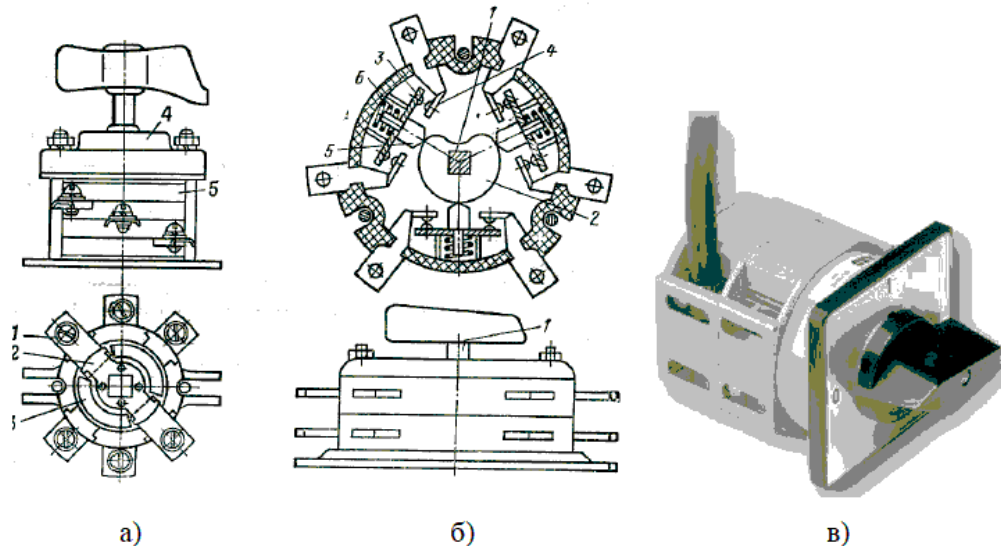
а, в – з боковою рукояткою та дугогасильними камерами;  
б, г – з центральним важільним приводом і дугогасильними контактами 14

Гасіння дуги постійного струму забезпечується за рахунок її горіння в просторі між фібровими щічками. При зіткненні дуги з фібровими стінками з них виділяється газ. Оскільки внутрішня порожнина пакета досить герметична, усередині пакета підвищується тиск. Це веде до підйому вольт-амперної характеристики та гасіння дуги. Однофазні ланцюги повинні вимикатися двополюсним вимикачем.

Недоліками вимикача ПВМ є невисока зносостійкість (до  $20 \cdot 10^3$  циклів) і недостатня надійність механізму привода.

Більш досконалий пакетний кулачковий вимикач серії ПКВ (рис. 1.2, б). На валу 1 укріплені кулачки 2 (по одному на пакет). Кожен ланцюг має два розриви, утворені містками 3 і контактами 4. Під час обертання вала кулачок повертається й у його заглиблення потрапляє шток 5. При цьому ланцюг замикається. Натискання контактів створюється сталеву пружиною 6. Для підвищення зносостійкості використовуються металокерамічні контакти. Електрична зносостійкість досягає  $2 \cdot 10^5$  циклів. Усі пакетні вимикачі використовуються для комутації номінальних струмів.

Пакетні вимикачі та перемикачі порівняно з рубильниками мають менші габарити, зручніші в монтажі. Дуга гаситься в замкненому просторі, без викиду полум'я та газів. Контактна система дозволяє керувати одночасно великою кількістю ланцюгів. Ці вимикачі комутують номінальні струми, мають високу вібро- та ударостійкість.



а) пакетний вимикач серії ПВМ; б) пакетний кулачковий вимикач серії ПКВ;  
в) пакетний кулачковий вимикач серії ОМ виробництва фірми «АВВ»

#### Кнопки керування

Кнопки керування – це апарати, рухомі контакти яких переміщуються й спрацьовують під час натискання на штовхач кнопки. Вони застосовуються, головним чином, для дистанційного керування електромагнітними апаратами постійного та змінного струму. Комплект кнопок, змонтованих на загальній панелі (чи в блоці), являє собою кнопку станцію (пульт).

Усі кнопки керування, що використовуються в схемах автоматики, розрізняють за кількістю та типом контактів (від 1 до кількох, що замикаються й розмикаються), формою штовхача (циліндричний, прямокутний, грибоподібний), написом та кольором штовхача, а також за способом захисту від впливів навколишнього середовища (відкриті, закриті, герметичні й т.д.).

Зовнішній вигляд кнопок та кнопкових станцій різного виконання наведено на рисунках 1.3 – 1.5.

Шляхові (позиційні) вимикачі (перемикачі) та мікровимикачі

Шляховий вимикач призначений для замикання чи розмикання слабкострумівих сигнальних ланцюгів залежно від просторового положення (позиції) робочого органа керованого електропривода. Одним із різновидів шляхових є кінцеві вимикачі, що забезпечують комутацію сигнальних ланцюгів тільки в крайніх положеннях ходу робочого органа. Контактні шляхові вимикачі можна розділити на кнопкові та важільні. У кнопковому шляховому вимикачі контрольований робочий орган впливає на шток кнопкового елемента контактів (рис. 1.6).

Розмикання й замикання контактів відбувається зі швидкістю переміщення контрольованого органа. При швидкості штока понад 0,4 м/хв необхідно застосовувати вимикачі з підвищеною швидкістю, що забезпечують необхідну швидкість розмикання.

При великих ходах робочого органа і великих струмах застосовуються важільні шляхові перемикачі. Контрольований робочий орган привода діє на ролик, укріплений на кінці важеля (рис. 1.6).

Завдяки наявності пружин, замикання і розмикання контактів відбувається з великою швидкістю, що не залежить від швидкості руху ролика. Це дає можливість вимикати струми до 6 А при напрузі до 220 В постійного струму. Повернення у вихідне положення після припинення впливу на ролик відбувається під дією пружини.

Якщо потрібно зупинити робочий орган привода при його наблизненні та виконати відповідні переключення з високою точністю (0,3..0,7)·10<sup>-3</sup> м, застосовуються шляхові (кінцеві) мікроперемикачі. На рис. 1.7 показано мікроперемикач з одним перемикаючим контактом.

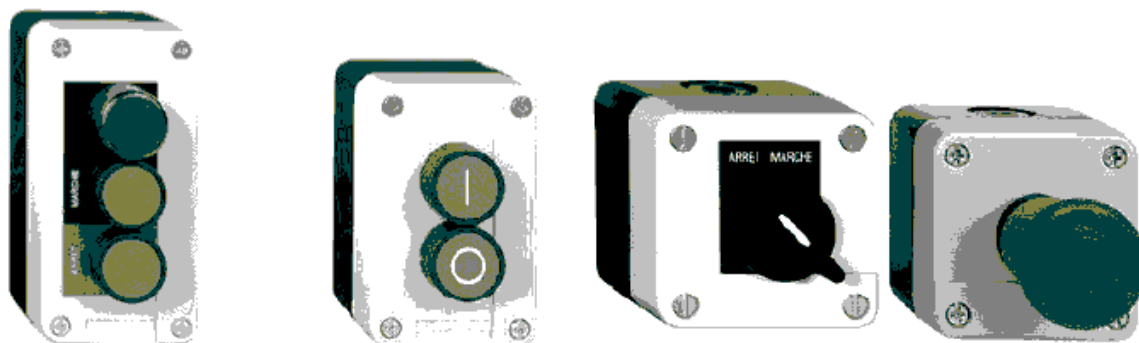


Рисунок 1.4 – Кнопкові станції

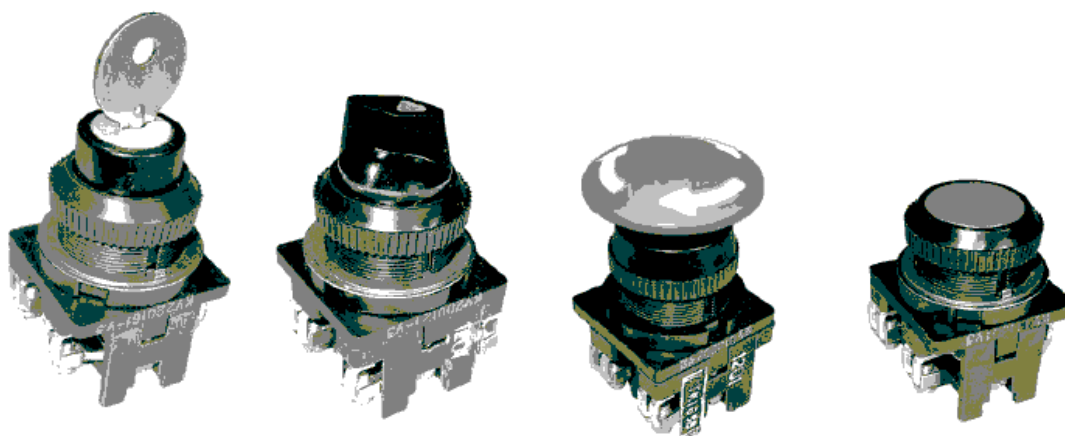


Рисунок 1.3 – Кнопки серії КУ

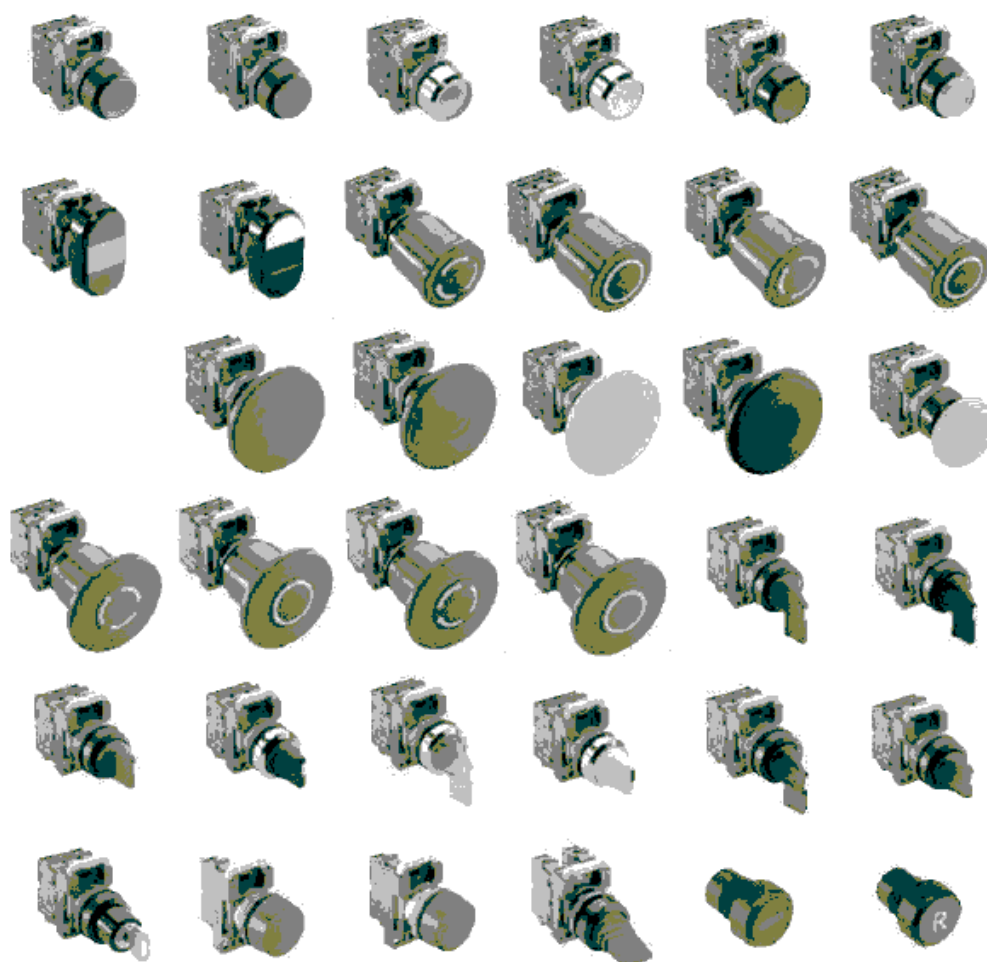


Рисунок 1.5 – Кнопки з каталогу фірми «ABB»

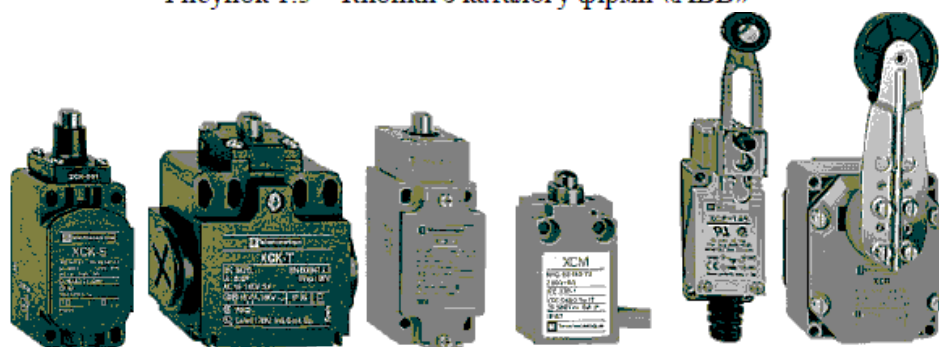


Рисунок 1.6 – Шляхові та кінцеві вимикачі

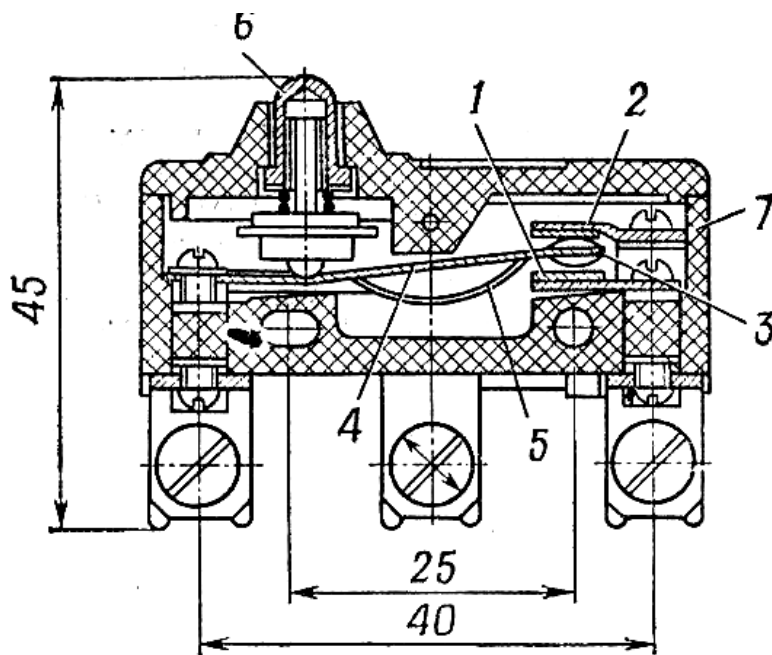


Рисунок 1.7 – Мікроперемикач ВМК

Нерухомі контакти 1 і 2 укріплені в пластмасовому корпусі 7. Рухомий контакт 3 укріплений на кінці спеціальної пружини, що складається з плоскої 4 та фігурної 5 частин. У зображеному на рисунку положенні пружина створює тиск на контакт 2. Під час натискання робочого органа на головку 6 відбуваються деформація пружини та перекидання контакту 3 у нижнє положення за час 0,01..0,02 с, що забезпечує надійне вимикання ланцюга. Хід головки 6 складає десяти частки міліметра. Наприклад, мікрвимикачі ВМК-ВЗГ вимикають струм 2,5 А при постійній напрузі 220 В та змінній 380 В.

### Зміст звіту

1. Короткий опис і схематичне зображення основних типів електричних апаратів згідно з порядком виконання роботи.
2. Висновки за роботою.

### Контрольні питання

1. Роз'ясніть особливості застосування рубильників різних типів.
2. Яке призначення ізоляційних (фібрових) прокладок у пакетному вимикачі?
3. Які переваги мають кулачкові пакетні вимикачі над іншими?
4. За якими параметрами вибираються пакетні вимикачі?
5. За якими параметрами розрізняються кнопки керування?
6. У яких умовах застосовують кнопкові та важільні шляхові вимикачі?
7. Де і чому застосовують мікрвимикачі?

## Практичне заняття № 3

### Тема. Дослідження конструкції контакторів

**Мета роботи** – вивчити принцип дії та елементи конструкції контакторів

#### Контактори

Контактор (рис. 1.8) являє собою електричний апарат, призначений для комутації силових електричних ланцюгів. Замикання чи розмикання контактів контактора здійснюється найчастіше під впливом електромагнітного привода. Контактори постійного струму призначені для комутації ланцюгів постійного струму і, як правило, приводяться в дію електромагнітом постійного струму. Контактори змінного струму призначені для комутації ланцюгів змінного струму. Електромагніти цих контакторів можуть бути як змінного, так і постійного струму. Через більш сприятливі умови гасіння дуги при змінному струмі зазор між головними контактами робиться меншим, ніж у контакторах постійного струму. Зменшення зазору дозволяє зменшити потужність електромагніта, його габарити й масу.

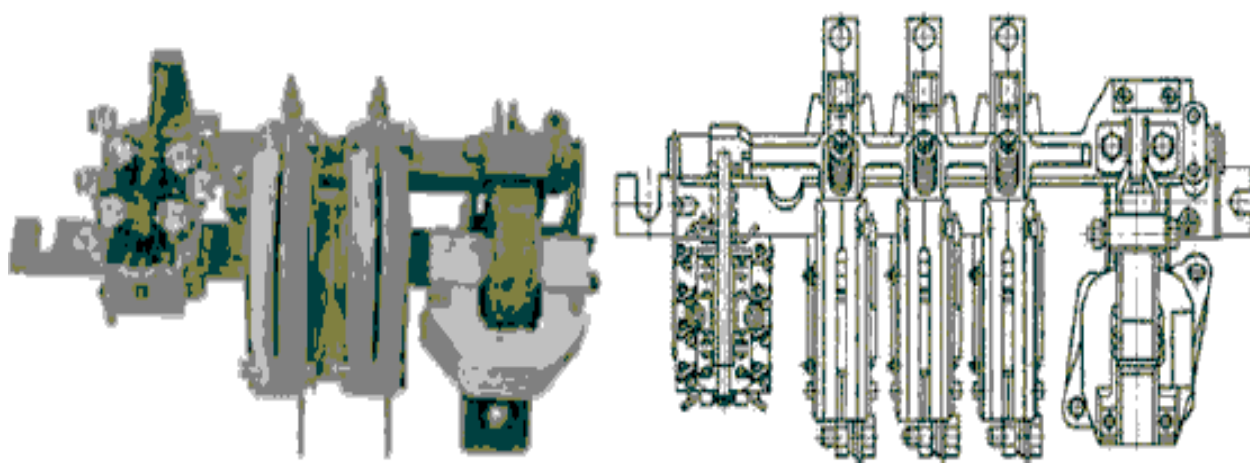


Рисунок 1.8 – Контактор

У даний час частота комутацій у схемах електропривода сягає понад 3600 на годину. Цей режим роботи є найбільш складним. При кожному ввімкненні та відключенні відбувається знос контактів. Тому вживаються заходи щодо скорочення тривалості горіння дуги при відключенні та до усунення вібрацій контактів.

Основними технічними даними контакторів є номінальний струм головних контактів, граничний струм, що відключається, номінальна напруга ланцюга, що комутується, механічна та комутаційна зносостійкість, припустиме число ввімкнень на годину, власний час увімкнення та вимикання.

З метою зменшення зносу для контакторів застосовуються переважно лінійні контакти, що перекочуються (рис. 1.9). Для запобігання вібрацій контактів контактна пружина створює попереднє натискання, що складає приблизно 50% кінцевого контактного натискання. Великий вплив на вібрацію спричиняє твердість кріплення нерухомого контакту та стійкість до вібрацій усього контактора в цілому.

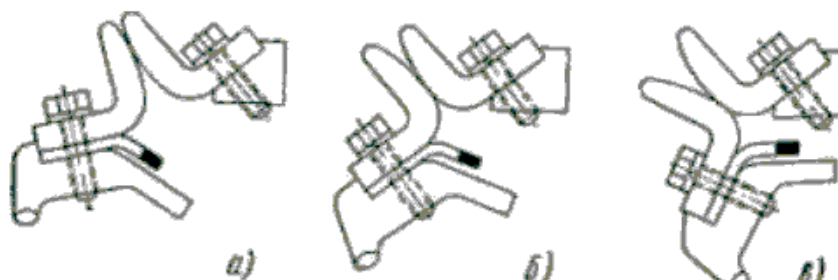


Рисунок 1.9 – Положення контактів при вмиканні:

а – момент початкового контакту; б – проміжний стан; в – увімкнене положення

На рис. 1.10 показано зовнішній вигляд, а на рис. 1.11 – конструкцію контактора постійного струму серії КПВ-600. Нерухомий контакт 1 жорстко прикріплений до скоби 2, до якої приєднаний один кінець дугогасильної котушки 3. Другий кінець дугогасильної котушки з відводом 4 закріплений у пластмасовій основі 5. Остання кріпиться до міцної сталевій скоби 6. Рухомий контакт 7 виконаний у вигляді товстої пластини, нижній кінець якої може повертатися відносно точки опори 8. Завдяки цьому контакт 7 може перекочуватися та ковзати по поверхні нерухомого контакту 1. Відвід 9 з'єднується з рухомим контактом 7 гнучким зв'язком 10. Контактне натискання створюється пружиною 12.

При зношенні контакт 1 замінюється новим, а пластина рухомого контакту перевертається на 180° та використовується її неушкоджений бік.

Для зменшення оплавлення контактів дугою при струмах більше 50 А контактор має дугогасильні контакти – роги 2, 11. Під дією магнітного поля опорні точки дуги 14 швидко переміщуються на скобу 2, з'єднану з нерухомим контактом 1, і на захисний ріг рухомого контакту. Повернення якоря в початкове положення (після вимикання електромагніта) відбувається за допомогою пружини 13. 21

У контакторах КПВ-600, як і в багатьох інших, відвід рухомого контакту електрично з'єднаний з корпусом. Як при ввімкненому, так і при вимкненому стані контактора його конструктивні деталі можуть знаходитися під напругою, і зіткнення з ними небезпечно для життя.

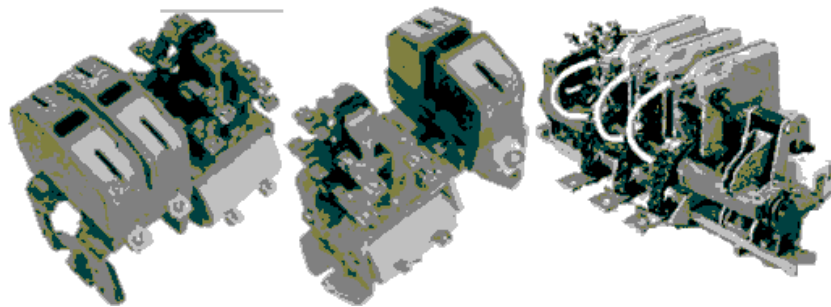


Рисунок 1.10 – Контактори постійного струму

У контакторах постійного струму найбільше поширення одержали дугогасильні пристрої з електромагнітним дуттям із котушкою струму 3 і полюсами 15. Також, у них часто використовуються електромагніти клапанного типу. З метою підвищення механічної зносостійкості застосовується обертання якоря 17 на призмі 19. Компонування електромагніта і контактної системи, застосування спеціальної пружини 16, що притискає якор до призми, дозволяють забезпечити зносостійкість вузла обертання в контакторів КПВ-600 до 20·10<sup>6</sup> при припустимій кількості ввімкнень 1200 на годину. У міру зношення зазор між скобою якоря 18 і призмою 19 автоматично вибирається під впливом пружини 16.

Рухома система контактора повинна бути врівноважена щодо осі обертання. У контакторі серії КПВ-600 якор електромагніта врівноважується деталями, що несуть рухомий контакт і сприймають вплив поворотної пружини. Котушка електромагніта намотується на тонкостінну ізольовану сталеву гільзу, що забезпечує достатню твердість і поліпшує тепловий контакт котушки із сердечником. Останнє сприяє зниженню температури котушки й зменшенню габаритів контактора.

Дугогасильні системи контакторів постійного струму будують за принципом гасіння електричної дуги поперечним магнітним полем у дугогасильних камерах. Магнітне поле в більшості конструкцій збуджується послідовною дугогасильною котушкою. Найбільше

розповсюдження отримують камери з вузькими щілинами та дугогасильні пристрої, які обмежують розміри дуги обсягом камери.

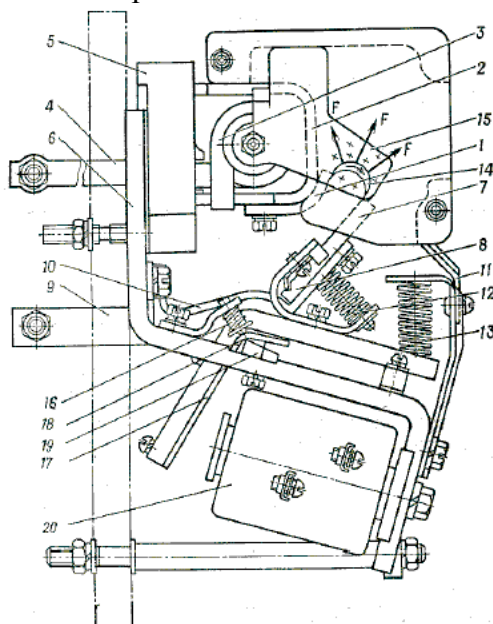


Рисунок 1.11 – Контактор постійного струму КПВ-600

На рис. 1.12 наведено схеми розповсюджених конструкцій дугогасильних пристроїв контакторів постійного струму. Характерною є тенденція до підвищення їх здатності вимикати дугу, обмежувати розміри дуги та її полум'я.

На рис. 1.13 показано розріз за контактною системою та загальний вигляд одного полюса контактора змінного струму КТ-6000.

Рухомий контакт 1 із пружиною 2 укріплений на важелі 3. Рухомий контакт 1 і ярмі 4 електромагніта з'єднані між собою через вал контактора 6. На відміну від контакторів постійного струму, тут рухомий контакт плоский без перекошування.

Вимикання апарата відбувається під дією контактних пружин і маси рухомих частин.

Для зручності експлуатації рухомий та нерухомий контакти зроблені легко змінюваними. Контактна пружина 2 так само, як і в контакторах постійного струму, забезпечує попереднє натискання.

Усі деталі контактора укріплені на ізоляційній рейці 5. Важіль 3 рухомого контакту 1 укріплений на валу 6, покритому ізоляційним матеріалом. Вал обертається в підшипниках 7. Система дугогасіння складається з послідовної котушки 5, сердечника 9, полюсних пластин 10 і керамічної камери 11. Котушка 8 увімкнена в ланцюг послідовно з нерухомим контактом 12 і рухливим контактом 1. Головні контакти підключаються до схеми відводами 13 і 14. Рухомий контакт 1 з'єднується з відводом 13 за допомогою гнучкого зв'язку 15.

Блок допоміжних контактів 16 приводиться в дію від вала 6. Кріплення всіх деталей на рейці дозволяє використовувати контактор у комплектних станціях рейкової конструкції та скоротити обсяг та масу станції керування. Припустиме число ввімкнень досягає 1200 на годину.



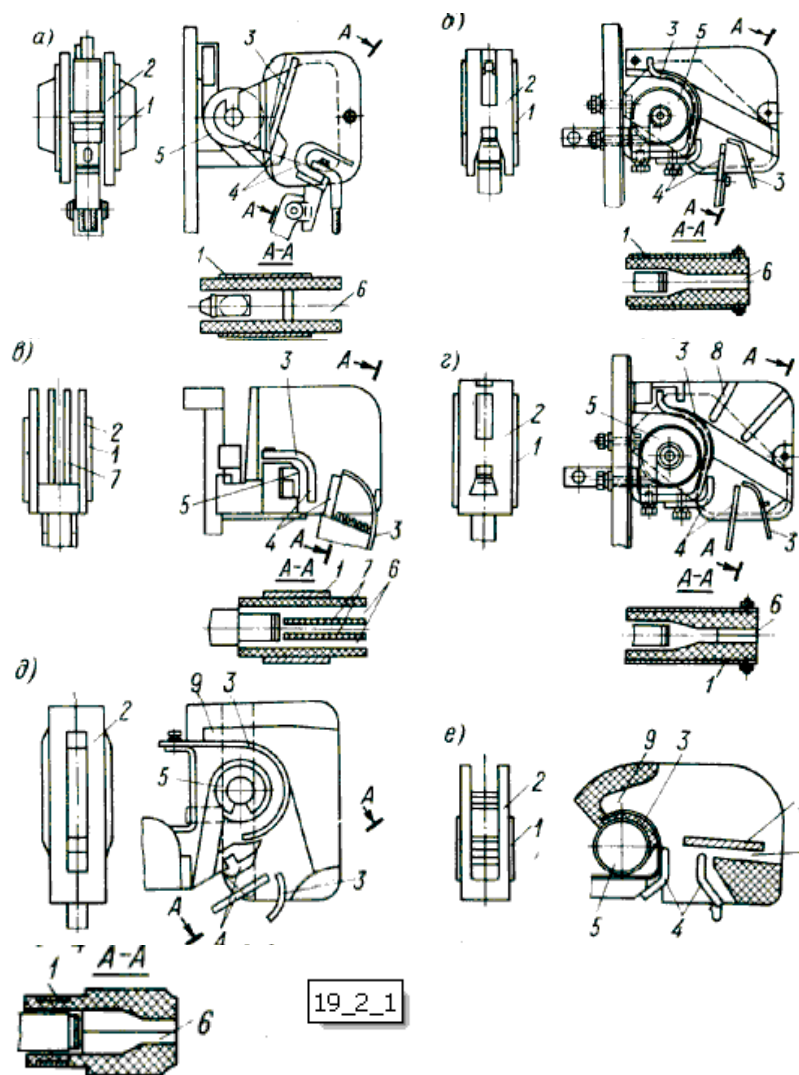
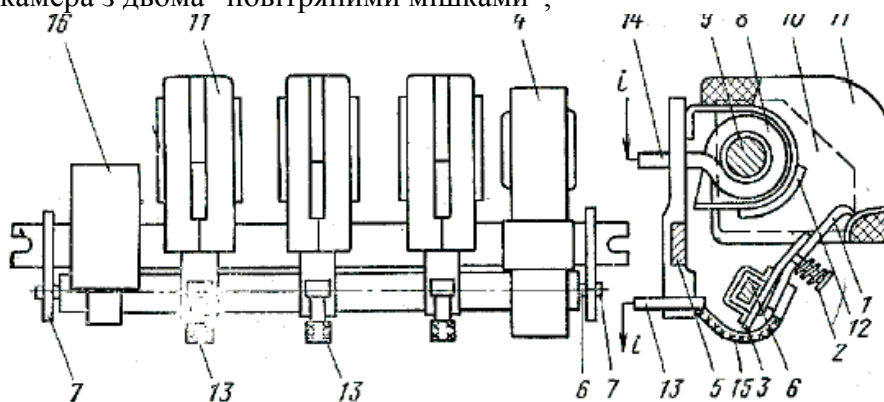


Рисунок 1.12 – Дугогасильні пристрої контакторів постійного струму з послідовною дугогасильною котушкою:

а – камера відкрита; б – камера з широкою щілиною; в – камера з подовжніми перегородками; г – камера з поперечними перегородками; д – камера з “повітряним мішком”; е – камера з двома “повітряними мішками”;



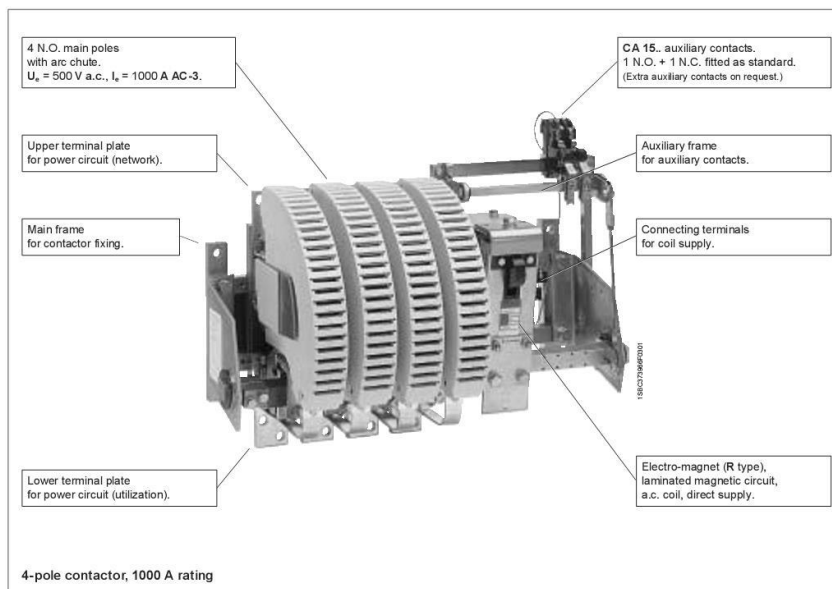


Рисунок 1.14 – Контактор з каталогу «АВВ»

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію та розібратися з принципом дії контакторів постійного та змінного струмів. Звернути увагу на будову системи дугогасіння. Зробити ескізи контакторів постійного та змінного струмів.

### Зміст звіту

1. Короткий опис і схематичне зображення основних типів електричних апаратів згідно з порядком виконання роботи.
2. Висновки за роботою.

### Контрольні питання

1. У чому конструктивна відмінність контакторів постійного і змінного струму?
2. Наведіть найбільш розповсюджені системи дугогасіння.
3. Навіщо взагалі гасити дугу?
4. Яка принципова відмінність контактора від пакетного вимикача?
5. Чи можна замінити контактор пакетним вимикачем і навпаки? Пояснити чому?
6. Назвіть кілька сучасних виробників контактної апаратури.

## Практичне заняття № 4

### Тема. Дослідження конструкції низьковольтних електричних апаратів захисту

**Мета роботи** – вивчити принцип дії та конструкцію найбільш розповсюджених низьковольтних електричних апаратів захисту.

### Короткі теоретичні відомості

Розглянемо найбільш розповсюджені апарати захисту: запобіжники, автоматичні вимикачі, пристрої захисного вимикання.

#### Запобіжники

Запобіжники – це електричні апарати, призначені для захисту електричних ланцюгів від струмових перевантажень і струмів короткого замикання (КЗ). Основними елементами запобіжника є плавка вставка, яка вмикається послідовно з ланцюгом, що захищається, та дугогасильний пристрій. Основними характеристиками запобіжника є номінальний струм, номінальна напруга та часо-струмова характеристика.

До запобіжників висувають наступні вимоги:

1. Часо-струмова характеристика запобіжника повинна проходити нижче, але якомога ближче до часо-струмової характеристики об'єкта, який захищають.
2. Час спрацьовування запобіжника при КЗ повинен бути мінімально можливим, особливо під час захисту напівпровідникових приладів.
3. Запобіжники повинні працювати зі струмообмеженням (у деяких дугогасильних пристроях після виникнення дуги її опір так швидко зростає, що струм у ланцозі починає зменшуватися за рахунок цього опору і не досягає максимально можливого значення. Такий процес вимикання називається процесом зі струмообмеженням).
4. Запобіжники повинні забезпечувати селективність захисту.
5. Характеристики запобіжника повинні бути стабільними, а технологічний розкид їх параметрів не повинен порушувати надійність захисту.
6. Запобіжники повинні мати високу здатність вимикання.
7. Конструкція запобіжника повинна забезпечувати можливість швидкої та зручної заміни плавкої вставки при її перегорянні.

### Запобіжники з гасінням дуги в закритому просторі

Запобіжники на струми до 60 А можуть мати спрощену конструкцію. Так, на рис. 2.1, а зображено запобіжник типу ПР-2. У ньому плавка вставка 1 притискається до латунної обойми 4 ковпачком 5, що є вихідним контактом, а на рис. 2.1, б приєднується до контактних ножів за допомогою болтів. Плавка вставка 1 штампується з цинку, що є легкоплавким та стійким до корозії матеріалом. Зазначена форма вставки дозволяє одержати сприятливу часо-струмову (захисну) характеристику.

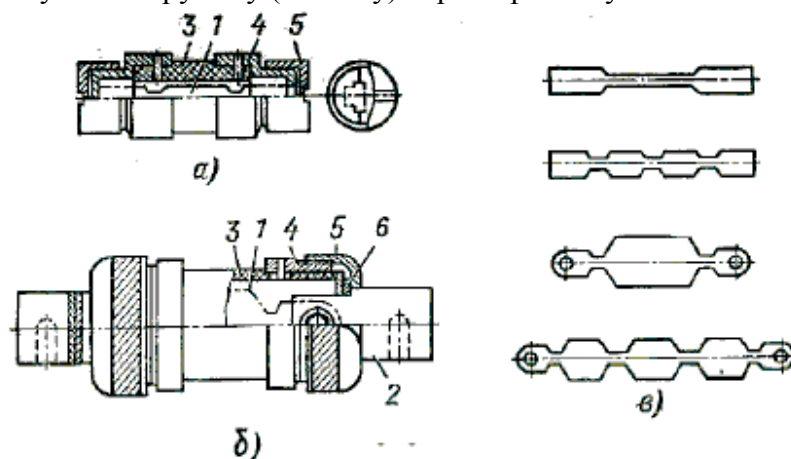


Рисунок 2.1 – Запобіжник типу ПР-2

Вставка розташовується в герметичному трубчастому патроні, що складається з фібрового циліндра 3, латунної обойми 4 і латунного ковпачка 5.

При відключенні згоряють звужені переходи плавкої вставки, після чого виникає дуга. Під дією температури дуги фіброві стінки патрона виділяють газ, у результаті чого тиск у патроні за частки напівперіоду піднімається до 4..8 МПа. За рахунок збільшення тиску піднімається вольт-амперна характеристика дуги, що сприяє її швидкому гасінню.

Плавка вставка може мати від одного до кількох звужень (рис. 2.1, в) залежно від номінальної напруги. Звужені ділянки вставки сприяють швидкому її плавленню при КЗ та створюють ефект струмообмеження.

Запобіжники працюють безшумно, без викиду полум'я й газів, що дозволяє встановлювати їх на близькій відстані один від одного.

Залежно від номінального струму випускається кілька габаритів патронів різних діаметрів. У патроні кожного габариту можуть встановлюватися вставки на різні номінальні струми. Так, у патроні на номінальний струм 15 А можуть бути встановлені вставки на струм 6, 10 і 15 А.

Запобіжники типу ПР-2 мають струмообмеженням. Так, у ланцюзі зі струмом КЗ 50000 А плавка вставка на номінальний струм 6 А перегорє при струмі всього 400 А. Однак, чим більший номінальний струм, тим менший ефект струмообмеження. При номінальному струмі 600 А струмообмеження відсутнє, тому що дуга горить увесь напівперіод.

В побуті, де струми часто не перевищують кількох ампер, застосовують більш прості запобіжники (рис. 2.2). Їх відмінність від розглянутих вище полягає у відсутності фібрового циліндра (використовують скло, кераміку), а також більш простій будові плавкої вставки (тонка нитка).



Рисунок 2.2 – Запобіжники

### Запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем

Ці запобіжники більш досконалі, ніж запобіжники ПР-2. Часто вони мають показчик спрацьовування. Розглянемо типову конструкцію запобіжників даного типу (рис. 2.3). Корпус квадратного перерізу 1 запобіжника виготовляється з міцного фарфору чи стеатиту. Усередині корпусу розташовані стрічкові плавкі вставки 2 і наповнювач – кварцовий пісок 3. Плавкі вставки приварюють до диска 4, що кріпиться до пластин 5, з'єднаних із ножовими контактами 9. Пластини 5 кріпляться до корпусу гвинтами 7.

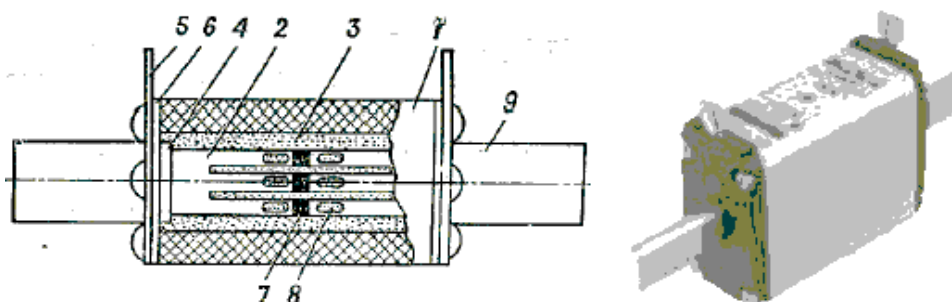


Рисунок 2.3 – Запобіжник із дрібнозернистим наповнювачем

Як наповнювач використовують кварцовий пісок чи гранули із зернами певного розміру та вологістю. Зерна кварцового піску мають високу теплопровідність і добре розвинуту поверхню охолодження.

Плавка вставка виконується переважно з мідної стрічки завтовшки 0,1..0,2 мм. Для одержання струмообмеження вставка має звуження в перерізі.

Плавка вставка розділена на три рівнобіжні стрічки для більш повного використання наповнювача. Застосування тонкої стрічки, ефективне тепловідведення від звужених ділянок дозволяють вибрати невеликий мінімальний переріз вставки для даного номінального струму, що забезпечує високу здатність струмообмеження. З'єднання декількох звужених ділянок послідовно сприяє уповільненню зростання струму після плавлення вставки, тому що зростає напруга на дузі запобіжника. Для зниження температури плавлення на вставки наносяться олов'яні смужки (металургійний ефект).

При КЗ плавка вставка згорає і дуга виникає у каналі, утвореному зернами наповнювача. Після спрацьовування запобіжника плавкі вставки разом із диском замінюють, після чого патрон засипають піском. Для герметизації патрона під пластини кладеться азбестова прокладка, що захищає пісок від зволоження. При номінальному струмі 40 А та нижче запобіжник має більш просту конструкцію.

Запобіжники часто мають показчик спрацьовування. При згорянні плавкої вставки звільняється спеціальна пружина, що викидає кольоровий показчик у засклений отвір. Після спрацьовування запобіжника замінюється циліндр зі згорілою плавкою вставкою й сигнальним пристроєм.

#### **Автоматичні вимикачі (автомати)**

Автоматичні вимикачі використовують як захисні апарати від коротких замикань та перевантажень, а також для нечастих оперативних відключень електроприймачів при нормальних режимах роботи. Таким чином, автомати виконують функції пакетних вимикачів, запобіжників та магнітних пускачів. Вони зручні в експлуатації, надійні та безвідмовні в роботі, мають багаторазовість дії.

В автоматах використовують принцип моментального ввімкнення, коли замикання та розмикання контактів здійснюється заздалегідь зведеною пружиною. При цьому швидкість руху контактів достатньо висока та не залежить від швидкості вмикаючої рукоятки. Елементами захисту є тепловий розчеплювач, який нагрівається струмом, та електромагнітний розчеплювач. Для вмикання автомата варто привести його пружину у зведений стан.

Зовнішній вигляд деяких сучасних автоматичних вимикачів зображено на рис. 2.4. На рис. 2.5 у розрізі показано автоматичний вимикач серії М фірми «ABB». Основні характеристики автоматів обов'язково подаються на їх лицьовій панелі (рис. 2.6).

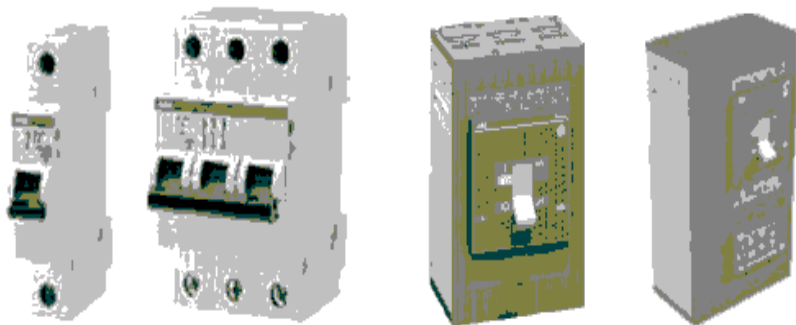


Рисунок 2.4 – Автоматичні вимикачі

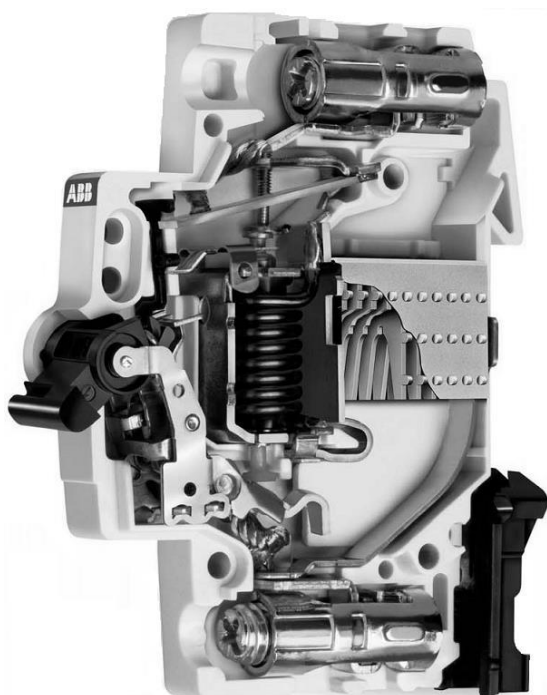


Рисунок 2.5 – Автоматичний вимикач серії М фірми «АВВ» в розрізі

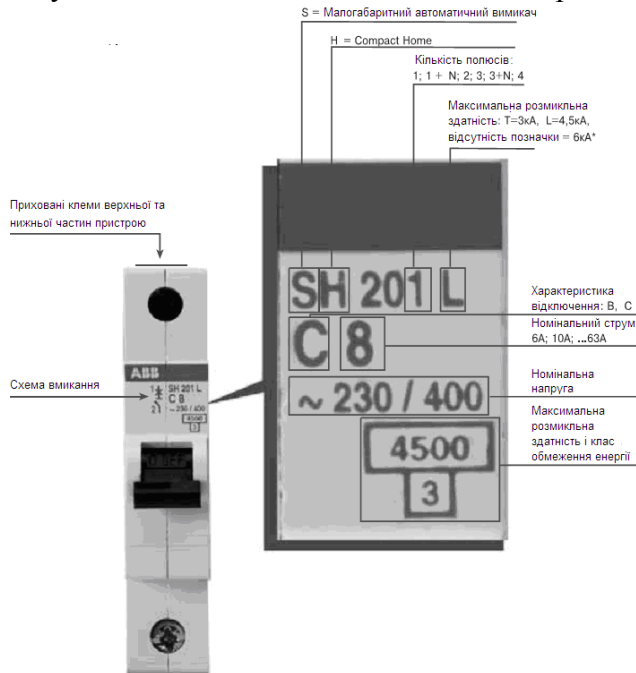


Рисунок 2.6 – Позначення на автоматі (ілюстрація з каталогу «АВВ»)

### Пристрій захисного вимикання

Пристрої захисного вимикання (ПЗВ), що реагують на диференціальний струм, поряд із пристроями захисту від надструму, належать до додаткових видів захисту людини від ураження при непрямому дотику, що забезпечується шляхом автоматичного вимикання живлення. Захист від надструму (при застосуванні захисного занулення) забезпечує захист людини при непрямому дотику – шляхом вимикання автоматичними вимикачами чи запобіжниками uszkodженої ділянки ланцюга при короткому замиканні на корпус.

При малих струмах замикання, зниженні рівня ізоляції, а також при обриві нульового захисного провідника занулення недостатньо ефективно, тому в цих 33

випадках ПЗВ є єдиним засобом захисту людини від ураження електричним струмом.

В основі дії захисного вимикання як електрозахисного засобу лежить принцип обмеження (за рахунок швидкого вимикання) тривалості протікання струму через тіло людини при ненавмисному дотику до елементів електроустановки, які знаходяться під напругою. З усіх відомих електрозахисних засобів ПЗВ є єдиним, що забезпечує захист людини від ураження електричним струмом при прямому дотику до однієї зі струмопровідних частин.

Функціонально ПЗВ можна визначити як швидкодіючий захисний вимикач, що реагує на диференціальний струм у провідниках.

Зовнішній вигляд ПЗВ зображено на рис. 2.7. На рис. 2.8 показано ПЗВ у розрізі. Параметри ПЗВ подають на передній панелі (рис. 2.9).

Найважливішим функціональним блоком ПЗВ є диференціальний трансформатор струму  $I$ . В абсолютній більшості ПЗВ як датчик диференціального струму використовується трансформатор струму. У літературі з питань конструювання та застосування ПЗВ цей трансформатор іноді називають трансформатором струму нульової послідовності – ТСНП, хоча поняття "нульова послідовність" застосовується тільки до трифазних ланцюгів і використовується при розрахунках несиметричних режимів.

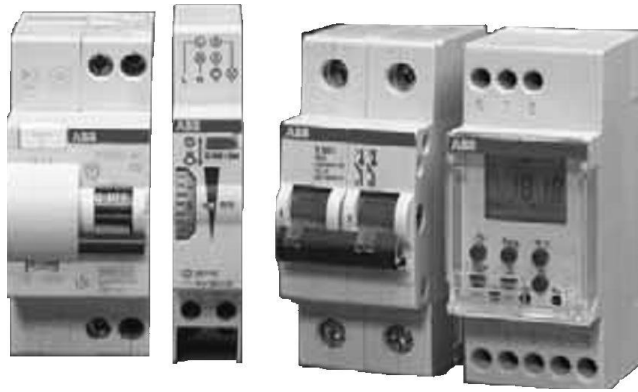


Рисунок 2.7 – Пристрої захисного вимикання

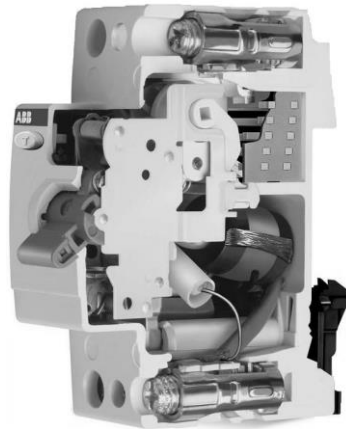


Рисунок 2.8 – ПЗВ у розрізі

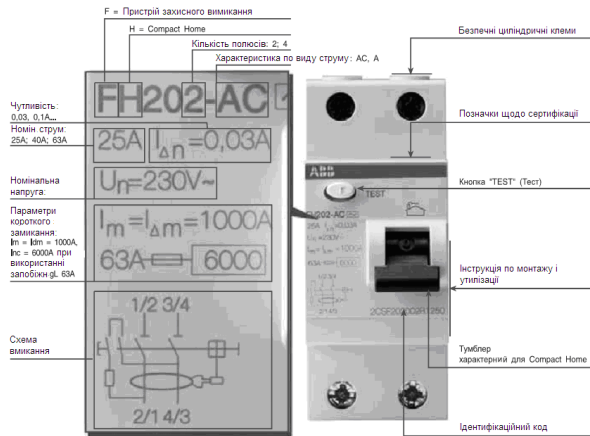


Рисунок 2.9 – Позначення на лицьовій панелі ПЗВ

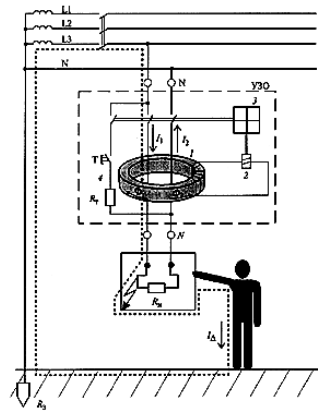


Рисунок 2.10 – Структура ПЗВ

Основні функціональні блоки ПЗВ зображено на рис. 2.10.

Пусковий орган (граничний елемент) 2 виконують, як правило, на чутливих магнітоелектричних реле прямої дії чи на електронних компонентах. Виконавчий механізм 3 містить у собі силову контактну групу з механізмом привода.

У нормальному режимі, за відсутності диференціального струму – струму витоку, в силовому ланцюзі по провідниках, що проходять крізь вікно магнітопроводу трансформатора струму  $I$ , протікає робочий струм навантаження. Провідники, що проходять крізь вікно магнітопроводу, утворюють зустрічно ввімкнені первинні обмотки диференціального трансформатора струму. Якщо позначити струм, що протікає в напрямку до навантаження як  $I_1$ , а від навантаження – як  $I_2$ , то можна записати  $I_1 = I_2$ .

Однакові струми в зустрічно ввімкнених обмотках наводять у магнітному осерді трансформатора струму однакові, але зустрічно спрямовані магнітні потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ . Результируючий магнітний потік дорівнює нулю, струм у вторинній обмотці диференціального трансформатора також дорівнює нулю. Пусковий орган 2 знаходиться в цьому випадку в стані спокою.

Під час дотику людини до відкритих струмопровідних частин чи до корпусу, на якому відбувся пробій ізоляції, по фазному провіднику через ПЗВ, крім струму навантаження  $I_1$ , протікає додатковий струм – струм витоку ( $I_\Delta$ ), що є для трансформатора струму диференціальним (різницеvim).

Нерівність струмів у первинних обмотках ( $I_1 + I_\Delta$  у фазному провіднику і  $I_2 = I_1$ , у нейтральному провіднику) викликає нерівність магнітних потоків і, як наслідок, виникнення на вторинній обмотці напруги. Якщо диференціальний струм перевищує значення уставки граничного елемента пускового органа 2, останній спрацьовує й впливає на виконавчий механізм 3.

Виконавчий механізм, що, як правило, складається з пружинного привода, спускового механізму та групи силових контактів, розмикає електричний ланцюг. У результаті електроустановка знеструмлюється.

Для здійснення періодичного контролю справності (працездатності) ПЗВ передбачено схему тестування 4. При натисканні кнопки "Тест" штучно створюється диференціальний струм і ПЗВ повинно спрацювати.

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію запобіжників. Зробити ескізи запобіжників різних типів.
2. Вивчити конструкцію автоматичних вимикачів різних типів. Ознайомитися з роботою механізмів автоматичного вимикача. Зробити ескіз автоматичного вимикача.
3. Вивчити конструкцію пристрою захисного вимикання. Зробити ескіз основних функціональних блоків ПЗВ.



### Зміст звіту

1. Короткий опис і схематичне зображення основних типів розглянутих у роботі електричних апаратів захисту.
2. Схеми ввімкнення окремих видів захисних ЕА.
3. Висновки з роботи.

### Контрольні питання

1. Яке призначення запобіжників?
2. Назвіть особливості конструкції запобіжників різних типів.
3. Поясніть термін “струмообмеження.” Яким чином струмообмеження реалізується на практиці?
4. Що таке селективність роботи (запобіжників, автоматичних вимикачів, ПЗВ)?
5. Назвіть основні елементи конструкції автоматичних вимикачів.
6. Яким чином відбувається автоматичне вимикання автомата при перевантаженнях?
7. Якими номінальними параметрами характеризуються автоматичні вимикачі?
8. За яким принципом працює ПЗВ?
9. Назвіть основні функціональні елементи ПЗВ.
10. Наведіть схему підключення ПЗВ.
11. Наведіть кілька виробників сучасних захисних апаратів.

## Практичне заняття № 5

### Розрахунок обмотки електромагніта постійного струму

#### Завдання

Розрахувати обмотку напруги електромагніту постійного струму за вихідними даними в таблиці 1. Позначення геометричних розмірів котушки відповідають рисунку 1. Як зміняться обмотувальні дані електромагніта, якщо напруга джерела живлення замість  $U_1$  стане рівним  $U_2$ ?

Режим роботи тривалий. Питомий електричний опір проводу прийняти рівним  $\rho = 2,4 \cdot 10^{-8}$  Ом·м ( $105^{\circ}\text{C}$ )

Варіант вибирається за номером в списку групи

#### Варіанти завдань на котушку постійного струму

Таблиця 1

№ з/п	$D_k$	$d_k$	$l_k$	$\Delta_k$	F	$U_1$	$U_2$
	$10^{-3}$ , м	$10^{-3}$ , м	$10^{-3}$ , м	$10^{-3}$ , м		В	В
1	2	3	4	5	6	7	8
1	54	18	72	2	1600	440	48
2						220	24
3						110	12
4						60	6
5	80	24	108	2	2000	440	48
6						220	24
7						110	12
8						60	6
9	94	31	142	2,5	3000	440	48
10						220	24

11						110	12
12						60	6
13	103	41	160	3	4200	440	48
14						220	24
15						110	12
16						60	6
17						440	48
18	60	12	46	2	1400	220	24
19						110	12
20						60	6

### Методичні вказівки.

На рисунку 1 показані магнітопровід і котушка електромагніта. Обмотка котушки виконується ізолюваним проводом, який намотується на каркас. Котушки можуть бути і безкаркасними. У цьому випадку витки обмотки скріплюються стрічковою або листовий ізоляцією, або заливальним компаундом. Для розрахунку обмотки напруги повинні бути задані напруга  $U$ , МДС  $F$  і геометричні розміри котушки.

Перетин обмоточного дроту  $q$  знаходять з потрібної МДС:

$$F = \frac{U}{R} \cdot W = \frac{U \cdot q \cdot W}{\rho \cdot l_{\text{сер}} \cdot W} = \frac{U \cdot q}{\rho \cdot l_{\text{сер}}}, \quad (1)$$

звідси

$$q = F \cdot \rho \cdot l_{\text{сер}} / U, \quad (2)$$

де  $\rho$  - питомий опір матеріалу проводу, Ом·м;

$W$  - число витків обмотки;

$l_{\text{сер}}$  - середня довжина витка, м;

З рисунка 1 випливає

$$l_{\text{сер}} = \frac{\pi(D_{\text{об}} + d_{\text{об}})}{2}, \quad (3)$$

$D_{\text{об}}$ ,  $d_{\text{об}}$  - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри обмотки, м;

$R$  - опір обмотки, Ом;

$$R = \frac{\rho \cdot l_{\text{сер}} \cdot W}{q}. \quad (4)$$

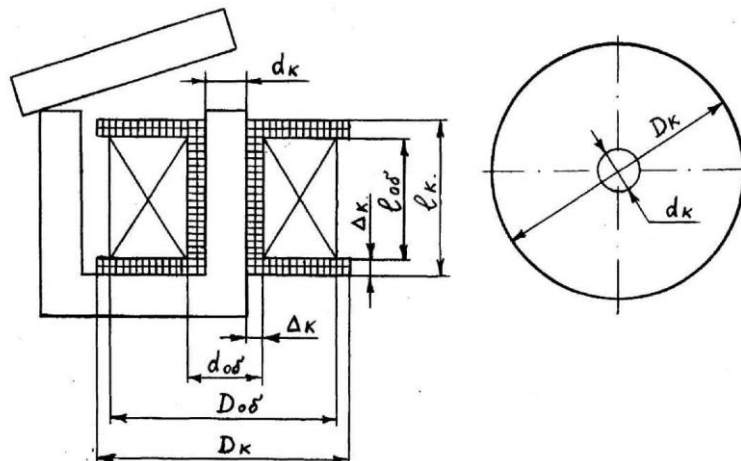


Рисунок 1 – Електромагніт постійного струму

По знайденому перетину, за допомогою таблиць сортamentів [3, 4] знаходиться найближчий стандартний діаметр проводу. Число витків обмотки при заданому перерізі котушки  $Q_{об}$  визначається коефіцієнтом заповнення по міді  $f_m$ :

$$f_m = \frac{W \cdot q}{Q_{об}}, \quad (5)$$

де  $W \cdot q$  - площа, займана міддю обмотки,  $m^2$ ;

$Q_{об}$  - перетин обмотки,  $m^2$ .

З рисунка 1

$$Q_{об} = \frac{D_{об} - d_{об}}{2} \cdot l_{об}, \quad (6)$$

де  $l_{об}$  - довжина обмотки, м.

Число витків обмотки

$$W = \frac{f_m \cdot Q_{об}}{q}. \quad (7)$$

Потужність, що виділяється в обмотці у вигляді тепла

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (8)$$

З урахуванням виразів (1), (4), (5) потужність, споживану обмоткою, можна розрахувати інакше:

$$P = \frac{U^2 \cdot q^2}{\rho \cdot l_{сер} \cdot f_m \cdot Q_{об}} = F^2 \cdot \frac{\rho \cdot l_{сер}}{f_m \cdot Q_{об}}. \quad (9)$$

Таким чином, потужність прямо пропорційна квадрату МДС і обернено пропорційна коефіцієнту заповнення  $f_m$  і площі перетину обмотки  $Q_{об}$ . Звичайно застосовується рядове намотування і намотування " навалом ". У першій - провід укладають рядами щільно виток до витка. Такі обмотки можна мотати вручну або на спеціальних верстатах. У другій - провід намотують без дотримання рядності.

Згідно (1) при заданому діаметрі дроту МДС обмотки не залежить від способу укладання дроти. При намотуванні " навалом " число витків при тих же геометричних розмірах каркаса зменшиться в порівнянні з рядовий, струм пропорційно збільшиться, а МДС обмотки залишиться без зміни. потужність, споживана обмоткою, під час намотування " навалом " збільшиться, оскільки зменшиться коефіцієнт  $f_m$ .

Для рядового намотування значення  $f_m$  беруть в довідковій літературі [2] або знаходять розрахунковим шляхом:

$$f_m \approx \frac{q}{d_1^2}. \quad (10)$$

Орієнтовну оцінку нагріву обмотки можна виконати за наступними рекомендаціями [1]. Дослідним шляхом встановлено, що в обмотці, намотаною проводом ПЕВ-1 і ПЕВ-2 на ізоляційному каркасі, максимальна температура не перевищить  $105^\circ C$ , якщо на кожну одиницю виділеної потужності буде припадати визначена бокова поверхня  $S_{бок0}$ . Тоді

можна ввести поняття питомої охолоджуючої бічної поверхні  $\sigma = \frac{S_{бок0}}{P}$ . Розмір цієї поверхні залежить від геометрії обмотки (рис. 1):

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } \frac{l_{об}}{D_{об}} < 1 \\ \text{при } \frac{l_{об}}{D_{об}} = 1 \\ \text{при } \frac{l_{об}}{D_{об}} > 1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \sigma_0 \geq 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вт}; \\ \sigma_0 \geq 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вт}; \\ \sigma_0 \geq 12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вт}. \end{array} \quad (11)$$

Якщо в результаті розрахунку виявиться, що  $\sigma < \sigma_0$ ,  
де

$$\sigma = \frac{S_{бок0}}{P}, \text{ м}^2/\text{Вт}; \quad (12)$$

з рис. 1 отримаємо фактичну бокову охолоджуючу поверхню

$$S_{бок} = \pi \cdot D_{об} \cdot l_{об}, \text{ м}^2; \quad (13)$$

то температура обмотки буде вище допустимої. У цьому випадку необхідно або зменшити МДС обмотки, або збільшити площу вікна  $Q_{об}$ . При зміні живлячої напруги з  $U_1$  на  $U_2$  і незмінному вікні обмотки, згідно (1) повинно мати місце рівність

$$U_1 \cdot q_1 = U_2 \cdot q_2, \quad (14)$$

так як  $p$  і  $I_{сер}$  залишаються без змін, а МРС обмотки повинен залишитися постійною заданою величиною. Оскільки при переході з однієї напруги на інше змінюється діаметр проводу і товщина ізоляції, коефіцієнт заповнення обмотки  $f_m$  також змінюється. Скориставшись (9), отримаємо:

$$P_1 f_{m1} = P_2 f_{m2}. \quad (15)$$

При меншому діаметрі дроту (це має місце, якщо  $U_1 < U_2$ )  $f_m$  зменшується через зрослу відносної товщини ізоляції. Отже, перехід на більш високу напругу супроводжується збільшенням споживаної потужності і температури обмотки. Якщо не було запасу по температурі нагріву, то це зажадає зниження сили, що розвивається електромагнітом. Для розрахунку обмотки струму вихідними параметрами є МРС  $F$  і струм ланцюга  $I$ . Число витків обмотки знаходиться з виразу

$$W = \frac{F}{I}. \quad (16)$$

Перетин дроту доцільно вибрати за рекомендованою щільності струму  $j$ :

$$q = I/j, \quad (17)$$

де  $j = (2 - 4) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$  - для тривалого режиму роботи,

$j = (5 - 12) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$  - для повторно - короткочасного режиму роботи,

$j = (13 - 30) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$  - для короткочасного режиму роботи.

Площа вікна, займаного рядовий обмоткою, визначається числом витків і коефіцієнтом  $f_m$ . З (7) отримаємо:

$$Q_{об} = \frac{W \cdot q}{f_m} \quad (19)$$

Знаючи  $Q_{об}$  і використовуючи вирази (3), (4) і (8), можна визначити середню довжину витка, опір обмотки і втрати в ній. Після цього може бути проведена оцінка нагріву з допомогою (11) - (13)

### Практичне заняття № 6 Розрахунок обмотки електромагніту змінного струму

#### Завдання

Розрахувати обмотку напруги електромагніту змінного струму за вихідними даними в таблиці 2.

Позначення геометричних розмірів котушки відповідають рисунку 2. Як зміняться обмотувальні дані електромагніта при зменшенні напруги джерела живлення з  $U_1$  до  $U_2$ ? Режим роботи тривалий. Питомий електричний опір проводу прийняти рівним  $\rho = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} (105^0 \text{ C})$ .

Варіант вибирається за номером в списку групи

#### Варіанти завдання на котушку змінного струму

Таблиця 2

№ з/п	$A_k$	$a_k$	$B_k$	$b_k$	$l_k$	$\Delta_k$	$F_m$	$\Phi_m$	$U_1$	$U_2$
	$10^{-3},$ м	$10^{-3},$ м	$10^{-3},$ м	$10^{-3},$ м	$10^{-3},$ м	$10^{-3},$ м	А	$10^{-4},$ Вб	В	В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	13	13	31	31	24	1,5	410	1,8	500	48
2									380	36
3									220	24
4									127	12
5	18	12	39	31	32	1,5	610	2,3	500	48
6									380	36
7									220	24
8									127	12
9	21	17	47	45	35	2	480	3,8	500	48
10									380	36
11									220	24
12									127	12
13	26	24	55	51	25	2	470	4,5	500	48
14									380	36
15									220	24
16									127	12
17	40	24	80	60	35	2,5	630	6,2	500	48
18									380	36
19									220	24
20									127	12

### Методичні вказівки.

Вихідними даними для розрахунку обмотки напруги є амплітуди МРС  $F_m$ , магнітного потоку  $\Phi_m$  і напруга мережі  $U$ . Для електромагнітів змінного струму справедливо наступне рівняння рівноваги напруг:

$$U^2 = (IR)^2 + (4,44f_c \cdot W \cdot \Phi_m)^2, \quad (20)$$

де  $U$  та  $I$  - діючі значення напруги та струму,  $W$  та  $A$ ;

$f_c$  - частота струму мережі, Гц.

Оскільки струм і опір можуть бути розраховані тільки після визначення числа витків, то (20) не дозволяє знайти відразу всі параметри обмотки. Завдання вирішується методом послідовних наближень. У першому наближенні можна прийняти  $R = 0$ , так як активне падіння напруги значно менше реактивного. Тоді число витків обмотки

$$W = \frac{U}{4,44f_c \cdot \Phi_m}.$$

Оскільки при розрахунку  $W$  ми знехтували активної складової падіння напруги, то дійсне число витків повинно бути декілька менше. У практичних викладках зазвичай

$$W = \frac{(0,7 - 0,95) \cdot U}{4,44f_c \cdot \Phi_m}, \quad (21)$$

тоді

$$I = \frac{F_m}{\sqrt{2} \cdot W}. \quad (22)$$

Перетин дроту визначають за виразом (17), задавшись щільністю струму (18). Вибравши стандартний діаметр і спосіб укладання дроти, знаходимо коефіцієнт заповнення  $f_m$  (10) і площа вікна обмотки  $Q_{об}$  з (19).

Після цього можна визначити середню довжину витка і активний опір обмотки. Товщину обмотки  $h_{об}$  легко знайти за геометричними розмірами котушки (рис. 2):

$$h_{об} = \frac{(b_{об} - a_{об})}{2} = \frac{Q_{об}}{l_{об}}. \quad (23)$$

Середня довжина витка розраховується через внутрішній  $\Pi_{вн}$  та зовнішній  $\Pi_{зовн}$  периметри обмотки:

$$\Pi_{вн} = 2[(a_k + 2\Delta_k) + (A_k + 2\Delta_k)], \quad (24)$$

$$\Pi_{зовн} = 2[(a_k + 2\Delta_k + 2h_{об}) + (A_k + 2\Delta_k + 2h_{об})]$$

або

$$\Pi_{зовн} = \Pi_{вн} + 8h_{об}, \quad (25)$$

$$l_{сер} = \frac{\Pi_{вн} + \Pi_{зовн}}{2}. \quad (26)$$

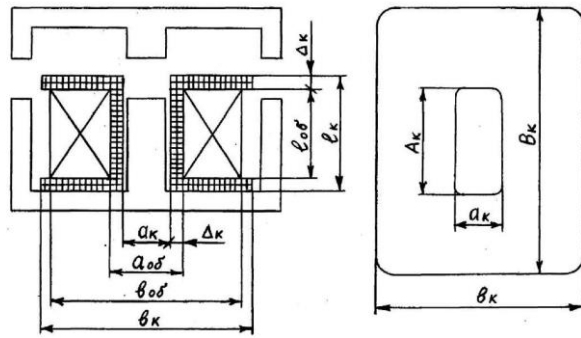


Рисунок 2 – Електромагніт змінного струму

Активний опір обмотки визначаємо за (4). Якщо, після підстановки отриманих даних у (20) ліва частина відрізняється від правої більш ніж на 10%, то необхідно варіювати число витків до отримання задовільного збігу.

Після розрахунку R проводиться перевірка обмотки на нагрівання. Розрахунок ведеться так само, як і для обмоток постійного струму. При цьому у співвідношеннях (11) замість зовнішнього діаметра обмотки  $D_{об}$  слід підставляти еквівалентний зовнішній діаметр обмотки

$$D_{езовн} = \frac{\Pi_{зовн}}{\pi}. \quad (27)$$

Особливістю є нагрів магнітопроводу за рахунок втрат від вихрових струмів і гістерезису. Відведення що виділяється в обмотці тепла через сердечник утруднений, і крапка з максимальною температурою лежить на внутрішньому радіусі обмотки. Для поліпшення охолодження прагнуть збільшувати поверхню торців котушки при зменшенні її довжини.

Потужність втрат в обмотці знаходять за виразом

$$P = I^2 R. \quad (28)$$

Бічна охолоджуюча поверхня

$$S_{\sigma} = \Pi_{зовн} \cdot l_{об}. \quad (29)$$

Якщо обмотка напруги харчується від джерела з напругою  $U_2$ , відмінним від номінального  $U_1$ , і сила тяги повинна залишитися тією ж, то обмотувальні дані повинні бути відповідно змінені. Значення MPC і кут зсуву між струмом і напругою при цьому вважаються незмінними. Згідно [1] повинні бути дотримані співвідношення:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}, \quad (30)$$

$$U_1 \cdot q_1 = U_2 \cdot q_2, \quad (31)$$

$$Q_{об1} f_{m1} = Q_{об2} f_{m2}. \quad (32)$$

Повна потужність обмотки при переході з однієї напруги на інше і дотриманні зазначених умов не змінюється, так як

$$U_1 I_1 = U_2 I_2. \quad (33)$$

Для розрахунку обмотки струму заданими параметрами є діючі значення МДС F і струму ланцюга I. Розрахунок таких обмоток ведеться за аналогією з обмотками постійного струму з урахуванням (26) - (29).

### Контрольні питання

1. Які величини є основними вихідними даними для розрахунку обмотки електромагніту змінного струму (потужність, MPC, частота, індукція тощо)?

2. Як визначається магніторухійна сила (МРС) електромагніту для забезпечення необхідної сили притягання якоря? Наведіть формулу та поясніть її складові.
3. Яким чином розраховується індукція в магнітному зазорі електромагніту і чому саме зазор визначає більшу частину магнітного опору?
4. Як визначити необхідну кількість витків обмотки електромагніту змінного струму для заданої МРС?
5. Які особливості має розрахунок активного опору обмотки змінного струму? Чому потрібно враховувати нагрівання провідника?
6. Як визначається діаметр проводу обмотки та за яким критерієм обирається густина струму?
7. Чому у електромагніті змінного струму виникає пульсація сили притягання та які методи її зменшення використовуються (тіньовий полюс, шихтування тощо)?
8. Яким чином частота живлення впливає на індуктивність та опір обмотки електромагніту?
9. Як обчислюється індуктивний опір обмотки та чому він суттєво впливає на споживаний струм електромагніту?
10. Як перевіряється теплова стійкість обмотки електромагніту та які допустимі класи нагрівостійкості ізоляції застосовуються?

## **Практичне заняття № 7**

### **Електрична дуга й основні методи її гасіння**

**Мета роботи:** вивчити фізичні процеси, що проходять в електричній дузі постійного і змінного струму на різних стадіях її горіння, дослідити електричні характеристики дуги постійного і змінного струму, а також основні методи її гасіння.

#### **Завдання**

1. По рекомендованій літературі ознайомитися з процесами, що протікають в електричній дузі, і основними методами її гасіння. Підготувати відповіді на контрольні питання 1-9. Підготувати протокол виконання лабораторної роботи.
2. По зразках, що є в лабораторії, виконати ескізи дугогасних камер та привести короткі пояснення методів гасіння дуги, що в них використовуються.
3. Експериментально зняти вольтамперну характеристику дуги постійного струму при двох фіксованих відстанях між контактами.
4. Експериментально зняти осцилограми струму і напруги дуги змінного струму для двох фіксованих відстаней між контактами при  $\cos\varphi=1$  та одній відстані при  $\cos\varphi<1$ .
5. З'ясувати ефективність гасіння дуги різними методами фізичного впливу.
6. Оформити протокол лабораторної роботи, зробити письмові висновки по кожному пункту експеримента.
7. Підготувати відповіді на контрольні питання 10-19.

#### **Опис лабораторного стенда**

Лицева панель стенда має клеми «220 В» джерела змінного струму і його вимикач S1; вхідні A1, A2 і вихідні B1, B2 клеми регулятора напруги (лабораторний автотрансформатор /ЛАТР/ знаходиться під столом); вхідні A3, A4 і вихідні B3, B4 клеми випрямляча; вхідні клеми Д1, Д2 дугового пристрою.

Дуговий пристрій має черв'ячну передачу 6 (мал. 1.1) для переміщення рухомого контакту 5; нерухомий контакт 1; оптичну систему 3 з екраном 4 для підтримки необхідної відстані між контактами; вольтметр PV і амперметр PA0, що вимірюють напругу і струм дуги; пристосування 2 для введення пристроїв інтенсивного гасіння дуги; баластовий



опір  $R_6$ . Електричні з'єднання елементів дугового пристрою виконані усередині стенда й не потребують додаткової зборки.

В комплект стенда входять також двопробеневий осцилограф і вольтметр PV2, що підключається на вхід дугового пристрою.

### Методика виконання роботи

1. По рекомендованій літературі [1, с.18-25], [2, с.244-250], [3, с.123-143] і конспекту лекцій слід ознайомитися з фізичними процесами, що відбуваються в *перший момент* розмикання контактів, котрі передують загорянню електричної дуги (термоелектронна й автоелектронна емісії); з процесами, що відбуваються в *стійко палаючій дузі* (ударною і термічною іонізацією), а також з процесами деіонізації; зі статичними і динамічними вольтамперними характеристиками дуги; характерними зонами в дузі, умовами гасіння дуги постійного й змінного струму; основними методами гасіння електричної дуги (розтягання й охолодження дуги, спеціальні середовища і т.д.). Підготувати відповіді на контрольні питання 1-9.

2. Виконати технічні ескізи (при необхідності з розрізами) зразків дугогасних камер, що є в лабораторії, із зазначенням їх здатності відключати струми, описом методів гасіння дуги, використаних у їх конструкції матеріалів.

3. Вивчивши лабораторний стенд і одержавши у викладача додаткові пояснення та дозвіл на виконання роботи, зібрати схему експерименту на постійному струмі (мал. 1.2, а). За допомогою ЛАТРа подати на вхід дугового пристрою напругу не більше 100 В. За допомогою черв'ячної передачі 6 провести короткочасне замикання рухомого і нерухомого контактів, а потім розвести їх на відстань  $l_d = 2 \dots 7$  мм (конкретне значення задає викладач). Підтримуючи за допомогою оптичної системи постійну відстань між контактами, домогтися стійкого горіння дуги.

Знижуючи напругу на виході випрямляча, через кожні 5 В зробити виміри напруги на дузі  $U_d$  і струму дуги  $I_d$  при сталій довжині дуги  $l_d = \text{const}$ . Занести отримані дані в табл.1.1.

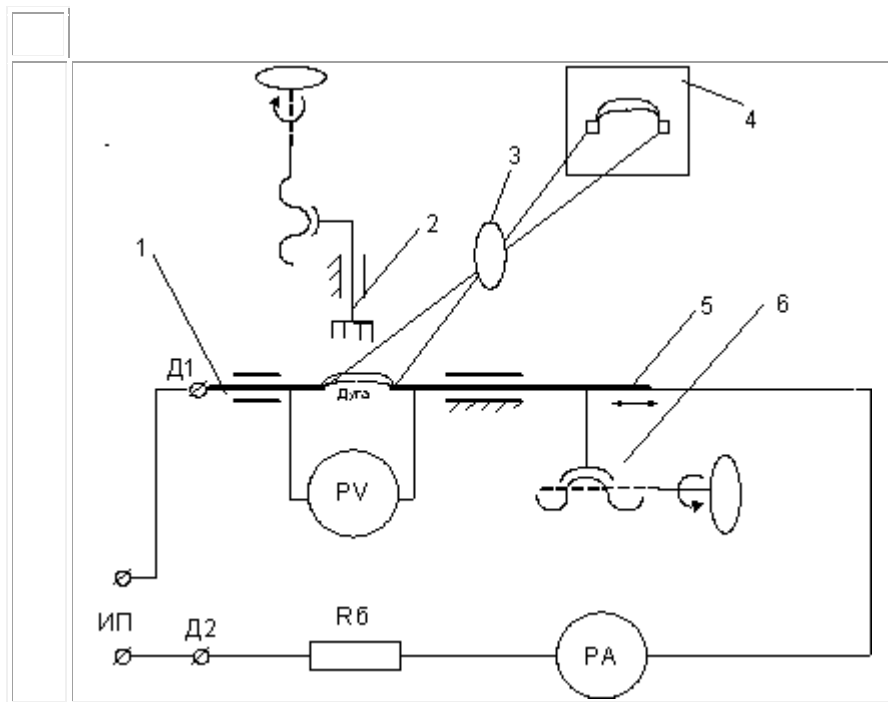


Рис. 1.1

Одержавши у викладача нове значення  $l_d$ , повторити дослід. По отриманих даних побудувати вольтамперні характеристики дуги  $U_d = f(I_d)$  при двох значеннях  $l_d$  в одних координатах. Зробити висновки про характер отриманих залежностей і причини їхньої розбіжності.

**Таблиця 1.1**

Дослідження вольтамперної характеристики дуги

Параметри	Довжина дуги $l_d = \dots$				Довжина дуги $l_d = \dots$			
$U_d, \text{В}$								
$I_d, \text{А}$								

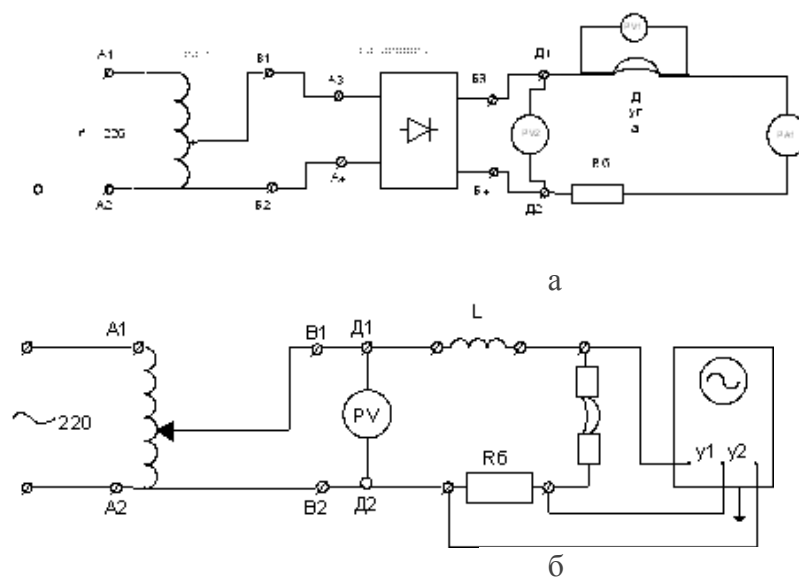


Рис. 1.2

4. Для зняття осцилограм дуги змінного струму зібрати схему, показану на мал. 1.2,

б. Запалити дугу при  $U_{\text{змс}} = 70 \dots 80 \text{ В}$ . Домогтись її стійкого горіння при фіксованій відстані між контактами і  $\cos\varphi = 1$  (індуктивність  $L$  зашунтована) та замалювати осцилограми напруг  $U_{\text{змс}}$ ,  $U_d$  і струму  $I_d$ .

При тому ж значенні  $U_{\text{змс}}$ , змінивши відстань між контактами, замалювати нові осцилограми. У звіті осцилограми представити одні під іншими в синхронізованому виді.

Повторити дослід при  $\cos\varphi < 1$  (дешунтувати індуктивність  $L$ ). Порівнявши отримані осцилограми, дати пояснення наявних в них відмінностей у вигляді висновків.

5. Запалити дугу змінного струму ( $U_{\text{змс}} = 60 \dots 70 \text{ В}$ ) і домогтись її стійкого горіння при  $l_d = 5 \dots 7 \text{ мм}$ . Впливаючи на дугу потоком повітря, підводячи до дуги поперечні металеві ґрати і вводячи в стовп дуги подовжні діелектричні пластини, зробити висновки про їхній вплив на ефективність гасіння дуги змінного струму.

6. Оформити протокол лабораторної роботи, зробити письмові висновки по кожному експерименту, відповісти на контрольні питання 10 – 19.

## Зміст звіту

В звіті про лабораторну роботу повинні бути приведені мета і завдання роботи, ескізи дугогасних камер з технічними параметрами, поясненнями їх принципу дії і використовуваних матеріалів, експериментальні дані у вигляді таблиць, графіків і осцилограм, висновки по кожному пункту експерименту.

## Контрольні питання

1. Які фізичні процеси відбуваються між електричними контактами зі струмом в початковій фазі їх розмикання?
2. Які основні іонізаційні процеси відбуваються в стійко палаючій дузі?
3. Що таке статична і динамічна вольтамперні характеристики дуги постійного струму?
4. Які характерні зони в дузі постійного струму вам відомі? У чому їх особливості?
5. Назвіть і поясніть графічно умови гасіння дуги постійного струму.
6. Намалюйте і поясніть осцилограми струму і напруги при відключенні кола постійного струму.
7. Що таке електрична міцність міжконтактного проміжку і як вона змінюється в часі після гасіння дуги?
8. Намалюйте осцилограми, що пояснюють процес гасіння дуги змінного струму при розходженні контактів ( $\cos\varphi=1$ ).
9. Намалюйте осцилограми, що пояснюють процес гасіння дуги змінного струму при розходженні контактів ( $\cos\varphi<1$ ).
10. Які методи гасіння дуги реалізовані у вивченій вами дугогасній камері з поперечними феромагнітними пластинами?
11. Які методи гасіння дуги використані в дугогасній камері газогенеруючого вимикача навантаження?
12. Які методи гасіння дуги використані в дугогасній камері маломасляного вимикача?
13. Які методи гасіння дуги використані в кварцових запобіжниках?
14. Поясніть ідею використання вузьких подовжніх щілин для гасіння дуги
15. Що таке елегаз? Які позитивні якості він має?
16. Поясніть ідею використання підвищеного тиску і вакууму при гасінні дуги.
17. Що таке безструмова пауза? Як її можна використовувати для гасіння дуги?
18. Поясніть принцип дії тиристора. Як його можна використовувати для бездугової комутації?
19. Які ви знаєте спеціальні середовища, що використовують для підвищення ефективності гасіння дуги? Охарактеризуйте їх властивості.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Базова

1. А.А.Чунихин „Электрические аппараты», М. Энергоатомиздат 1988.
2. Буркевич.Г.В. Деттярь В.Г., Славинская А.Г. Задачник по электрическим аппаратам. М. Высшая школа, 1987.
3. Л.А.Родштейн « Электрические аппараты», Л. Энергоиздат., 1981.
4. Н.С.Таев «Электрические аппараты управления» М. Энергоатомиздат 1997; 1984 (В.Ш.).
5. «Проектирование электрических аппаратов» (под ред. Г.Н.Александрова). Л. Энергоиздат.1985.
6. Р.С.Кузнецов Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000В. М. Энергия 1970.

Чепіжний Андрій Володимирович  
Рясна Ольга Василівна

# **ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ**

**методичні вказівки до виконання практичних занять**

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г.-Кондратьєва 160

Підписано до друку: \_\_\_\_ 2022 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman Cyr  
Тираж: 25 примірників Замовлення № \_\_\_\_ Ум. друк. арк. 1,9