

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський промислово-економічний коледж  
Київського національного університету технологій та дизайну

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Заступник директора з НР

\_\_\_\_\_ С.В.Бондаренко

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Методичні вказівки щодо організації  
самостійної роботи студентів  
з дисципліни Електричні апарати  
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація  
електроустаткування  
підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

Ю. В. Алійник

Розглянуто на засіданні  
циклової комісії  
спеціальних електротехнічних  
дисциплін  
Протокол №\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

Голова циклової комісії

В. В. Олійник

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Навчальна дисципліна "Електричні апарати" входить до циклу професійно-орієнтованих дисциплін та є однією з найважливіших складових у системі підготовки студентів за спеціальністю 5.05070104 "Монтаж та експлуатація електроустаткування підприємств і цивільних споруд" .

Метою викладання курсу «Електричні апарати» є придбання теоретичних і практичних знань процесів електромеханічного перетворення енергії; формування знань, умінь і навичок з налагодження та ремонту електричних апаратів високої та низької напруги; знайомство студентів із перспективами в цій області знань. Головне завдання навчальної дисципліни: ознайомлення з загальними питаннями та призначенням електричних апаратів; вивчення питань будови та принципу дії апаратів високої та низької напруги.

Предмети вивчення – електричні апарати високої та низької напруги, що являють собою основну ланку в сучасній енергетичній установці. Теоретичною базою курсу «Електричні апарати» є вища математика, фізика, теоретична механіка та теоретичні основи електротехніки (ТОЕ). Курс «Електричні апарати», використовуючи відомі закони електрики та магнетизму, відбиває їх на практиці. Вивчаючи будову і принцип дії електричних апаратів, необхідні також знання з інженерної графіки, електротехнічних матеріалів, прикладної механіки, промислової електроніки, з основ метрології та електричних вимірювань. В свою чергу курс «Електричні апарати» є базовою дисципліною для вивчення наступних дисциплін: елементи автоматизованого електропривода, електропостачання підприємств, електроустаткування.

## ЦІЛІ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Головне завдання навчальної дисципліни:

- ознайомлення з загальними питаннями та призначенням електричних апаратів;
- вивчення питань будови та принципу дії електричних апаратів високої та низької напруги.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:

- основи теорії електричних апаратів, основи їх теплових розрахунків, основи розрахунків електродинамічних сил та магнітних кіл;
- призначення, будову, принцип дії високовольтних вимикачів та вимикачів навантаження, роз'єднувачів, відокремлювачів, розрядників;
- призначення, будову та принцип дії контактних апаратів низької напруги;
- призначення, будову та принцип дії безконтактних апаратів низької напруги.

Студент повинен вміти:

- налагоджувати високовольтні вимикачі та вимикачі навантаження, роз'єднувачі, відокремлювачі, розрядники, засоби автоматичного керування, схеми керування та захисту електроустаткування, контактні та безконтактні апарати низької напруги;
- виконувати ремонт електричних апаратів високої та низької напруги.

Студент повинен мати навички: визначення типу електричного апарату, його потужності; аналізувати паспорт електричного апарату.

## РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО РОБОТИ СТУДЕНТІВ З ЛІТЕРАТУРОЮ

Опрацювання матеріалу потрібно починати з прочитання всього тексту, параграфу, дотримуючись таких правил:

- 1 Зосередитись на тім, що читаєш;
- 2 Виділити саму суттєвість прочитаного;
- 3 Мислити послідовно і обережно;
- 4 Уявити ясно те, що читаєш.

У процесі роботи над темою тлумачення незнайомих слів і спеціальних термінів знаходити в словнику іншомовних слів і у спеціальних довідниках з професії.

Незрозумілі місця, фрази, вирази перечитувати декілька раз, щоб зрозуміти їхній смисл.

У тексті зустрічаються окремі слова, фрази, або цілі речення, що виділені курсивом, жирним шрифтом, або набрані в розрядку. Це свідчить про акцент автора на основному.

Після прочитання тексту необхідно:

- 1 Виділити основні поняття та формули;
- 2 Усвідомити зв'язок між теоретичними положеннями і практичними розрахунками;
- 3 Закріпити прочитане у свідомості;
- 4 Пов'язати нові знання з попередніми у даній галузі;
- 5 Перейти до заключного етапу засвоєння і опрацювання -записам.

Записи необхідно починати з назви теми та посібника, прізвища автора, року видання та назви видавництва. Якщо це журнал, то рік і номер видання, заголовок статті. Після чого скласти план, тобто короткий перелік основних питань тексту в логічній послідовності теми.

Складання плану, або тез логічно закінченого по смислового змісту уривка тексту, сприяє кращому розумінню його. План може бути простий або

розгорнутий, тобто більш поглиблений, особливо при опрацюванні додаткової літератури за даною темою.

Після складення плану необхідно перейти до текстування записів.

Записи необхідно вести розбірливо і чітко. Вони можуть бути короткі або розгорнуті залежно від рівня знань студента, багатства його літературної і професійно лексичної, навичок самостійної роботи з книгою. По мірі клопіткої і систематичної праці, записи повинні носити тезисний характер і бути логічно послідовними.

Для зручності користування записами необхідно залишати поля для заміток і вільні рядки для доповнень. В записах необхідно виділяти важливі місця, головні слова, які акцентуються різним шрифтом або різним кольором шрифтів, підкреслюванням, замітками на полях, рамками, стовпчиками тощо.

Записи можуть бути у вигляді конспекту, простих або розгорнутих тез, виписок, систематизованих таблиць, графіків, діаграм, схем, формул, визначень.

**Конспект** (лат. огляд) - це коротка, стисла, послідовно викладена за текстом універсальна форма запису основного змісту прочитаного, яка може супроводжуватись різними вищезгаданими записами.

Складання конспекту зводиться до коротких записів змісту кожного заголовку плану. Виділяючи основні думки, положення, підтвердження прикладами. Всі питання плану повинні бути пов'язані між собою.

**Виписки** використовуються за необхідності викладання найбільш важливих місць, фактів, цифрових даних, точного формулювання правил та законів.

Важливим елементом конспектування є вміння використовувати **ілюстровані роботи** (схеми, графіки, діаграми) і систематизовані **таблиці**. Основним недоліком у даному питанні є механічне виконання ілюстрацій, що не пов'язане з текстовим матеріалом.

Викладач повинен акцентувати увагу студентів на необхідності виконання та значенні графічних зображень і систематизованих таблиць, навчити їх самостійно складати, аналізувати і користуватись при теоретичних викладках матеріалу.

Складання тематичних графічних зображень і таблиць сприяє кращому засвоєнню однорідних явищ, дозволяє простежити за розвитком одного і того ж явища, тобто охопити увесь навчальний матеріал теми.

Систематизовані таблиці дозволяють студентам узагальнити набуті знання, аналізувати одержану інформацію.

Складання ілюстрованих матеріалів проявляє творчу і свідому активність студента до оволодіння знаннями, сприяє практичним умінням і навичкам до самостійної, вдумливої праці.

Навички конспектування виробляють уміння студента до написання рефератів.

**Реферат** (лат. докладувати, повідомляти) - це короткий виклад суттєвості змісту якої-небудь книги, теми, чи окремого питання прочитаного джерела.

Реферат викладають у вигляді вільного запису своїми словами, дотримуючись послідовності фактів згідно з джерелами і супроводжуючі текст виписками, ілюстративними матеріалами.

Необхідно привчити студентів користуватись великою кількістю джерел для написання реферату. Це дає можливість повноцінніше висвітлювати тему і навчитись зіставляти вислови, думки, цифрові дані різних авторів, років видання, що сприяє виробленню власної думки студента і є рушійним фактором до навичок елементів дослідницького мислення.

## **Визначення найбільш важливих термінів**

Активним опором називають деякий фіктивний опір провідника, який будучи помноженим на квадрат діючого струму дає втрати потужності, що дійсно мають місце при даному змінному струмі.

Запобіжник - комутаційний електричний апарат, призначений для відключення захищеного кола за допомогою руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під дією струму, що перевищує певне значення.

Електричні апарати – це пристрої електротехніки, що використовуються для вмикання, вимикання електрокіл, контролю, захисту, керування, регулювання роботою установок, що призначені для передачі, перерозподілу та споживання енергії.

Електричним контактом називається місце переходу струму із однієї струмоведучої деталі в іншу.

Електрична зносостійкість визначається тим, як зношуються контакти внаслідок вигорання під дією електричної дуги або стирання внаслідок спрацювання.

Електродинамічна стійкість визначається максимально допустимим струмом, який може витримувати апарат не руйнуючись ні електрично, ні механічно і не відключаючись самовільно.

Комутація електричного кола – процес замикання або розмикання кола зі струмом.

Комутаційна здатність – здатність відключати струми (менші струми відключаються гірше, чим великі).

Конвекція – це спосіб передачі теплоти при контакті нагрітого твердого тіла з газом або рідиною.

Контактори - це апарати дистанційної дії, призначені для частих включень і відключень силових електричних кіл при нормальних режимах роботи.

Магнітним колом називають з'єднання пристроїв, що містять феромагнітні осердя з витками із ізольованих провідників і повітряні проміжки.

Механічна зносостійкість – це зносостійкість, що обумовлюється зношуванням деталей під час їх обертового і поступального руху поверхонь, коли контакти вдаряються або труться.

Роз'єднувачі - апарати, призначені для включення й відключення ділянок електричних кіл під напругою при відсутності навантажувального струму.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.
- 2 Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
- 3 Правила улаштування електроустановок. – Х. Вид-во «Форт», 2009. – 708с.
- 4 Проектирование электрических аппаратов / Г. Н. Александров, В. В. Борисов, Г. С. Каплан и др.. Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 520 с.
- 5 Чунихин А. А., Жаворонков М. А. Аппараты высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
- 6 Гук Ю. Б., Каплан В. В., Петрова С. С. Проектирование электрической части станций и подстанций. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.



## Самостійна робота №1

**Тема:** Процес розмикання та замикання контактів.

**Мета:** ознайомитися з процесом розмикання та замикання контактів електричних апаратів.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Процес розмикання контактів.
- 2 Знос контактів при розмиканні.
- 3 Процес замикання контактів. Знос при замиканні.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Поясніть процес розмикання контактів.
- 2 Поясніть процес замикання контактів.
- 3 Що впливає на величину зносу контактів?
- 4 Чим обумовлене явище ерозії контактів? Як її можна знизити?
- 5 Як впливає напруженість магнітного поля на знос контактів?
- 6 Від яких факторів залежить знос контактів при замиканні?

## ***1 Процес розмикання контактів***

Працездатність комутуючих контактів характеризується процесами при їх замиканні (включенні) і розмиканні (відключенні). Розглянемо спершу процеси при розмиканні і знос контактів при відключенні кола. Під зносом контактів розуміють руйнування робочих поверхонь контакт-деталей, що приводить до зміни їх форми, розміру, маси і до зменшення провалу. Знос під дією електричних факторів будемо називати комутаційним зносом - електричної ерозією. Знос під дією механічних факторів тут не розглядається, він зазвичай значно менше комутаційного.

При розмиканні сила, що стискає контакти, знижується до нуля, різко зростають перехідний опір контакту і щільність струму в останній площадці контактування. Площадка сильно розігрівається, і між розбіжними контактами утворюється контактний перешийок з розплавленого металу, який надалі рветься. При цьому в проміжку між контактами можуть виникнути різні форми електричного розряду. При струмі і напрузі, більших за мінімально необхідні (наприклад, для міді при  $I = 0,5 \text{ A}$  і  $U = 15 \text{ B}$ ), виникне дуговий розряд. Якщо струм менше мінімально необхідного, а напруга вище напруги запалювання дуги, то виникне іскровий розряд.

Під дією високої температури дуги або іскри, а також інших факторів частина металу контактного перешийка випаровується, частина розбризкується і викидається з проміжку між контактами, частина переноситься з одного контакту на інший.

Поряд з абсолютною величиною зносу в колах постійного струму важливою характеристикою є також знак зносу, або знак переносу. Якщо більше зношується позитивний електрод (анод), то переносу приписується знак плюс, і навпаки.

Враховуючи, що наявність дуги істотно змінює характер і величину зносу, розглянемо окремо знос (ерозію) при малих струмах (коли дуга відсутня) і знос при великих струмах (за наявності дуги).

## ***2 Знос контактів при розмиканні***

**Знос контактів при малих струмах.** Ерозія контактів обумовлена тим, що руйнування рідкого контактного перешийка відбувається внаслідок розпилення і розриву його, але не в середині, а ближче до одного з електродів. Найчастіше контактний перешийок розривається у анода, внаслідок чого зносу піддається тільки анод (можна вважати, що сам перешийок складається з металу анода і катода порівну). При іскровому розряді знак переносу зазвичай теж позитивний. Величина ерозії пропорційна кількості електроенергії, що пройшла через контакти за час іскри, і залежить від властивостей матеріалу контактів.

Зниження ерозії може бути досягнуто за рахунок застосування ерозійно-стійких матеріалів, а також за рахунок шунтування контактів іскрогасильними (активно-ємнісними) ланцюгами. У цьому випадку при розмиканні частина енергії ланцюга йде на заряд конденсатора. Тривалість іскрового розряду істотно скорочується. Слід, однак, мати на увазі, що при значних ємностях при замиканні

може статися розряд конденсатора на наближені одне до одного, але ще не замкнуті контакти і як наслідок цього - зварювання контактів.

**Знос контактів при великих струмах.** Знос походить від дії багатьох змінних факторів. До теперішнього часу немає аналітичного виразу для розрахунку величини зносу. Зважаючи на це наведемо деякі залежності, отримані дослідним шляхом.

**Залежність зносу від числа розмикань.** Знос контактів при даній напруженості магнітного поля прямо пропорційний числу розмикань. Якщо знос при одному розмиканні дорівнює  $C$ , то за  $N$  розмикань він буде  $CN$ .

**Залежність зносу від напруженості магнітного поля.** При малих напруженостях, дуга тривалий час перебуває на одних і тих же опорних точках, що і призводить до збільшеного зносу контактів. З ростом напруженості зростає швидкість руху опорних точок дуги, контакти менше нагріваються і плавляться, знос знижується.

Однак при деякій напруженості магнітного поля починає позначатися нове явище, що міняє картину процесу.

Як зазначалося, появі дуги на розбіжних контактах передують наявність перешийка з розплавленого металу. З ростом напруженості зростають електродинамічні сили взаємодії струму з зовнішнім магнітним полем. Ці сили починають викидати з щілини між контактами розплавлений біметал перешийка. Знос зростає. Коли електродинамічні сили досягають такого значення, що викидають весь розплавлений метал з проміжку між контактами, знос практично вже не залежить від подальшого зростання напруженості магнітного поля.

**Залежність зносу від напруги.** При наявності зовнішнього магнітного поля гасіння дуга покидає щілину між контактами, ледь останні встигнуть розійтися на 1-2 см; знос контактів практично не залежить від напруги мережі.

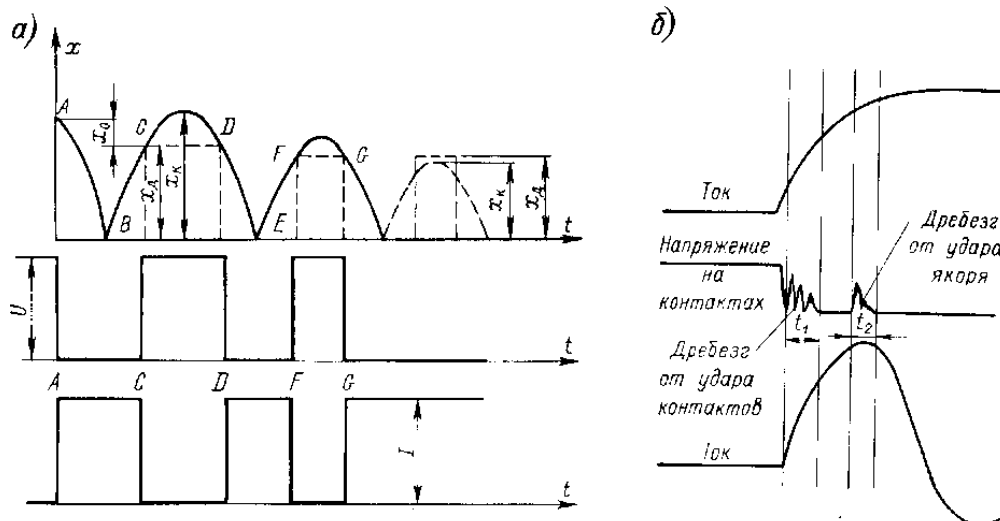
**Залежність зносу від струму.** Знос контактів зростає із збільшенням струму. При незмінних інших умовах ця залежність близька до лінійної. В апаратах, однак, зміна струму викликає і зміну зовнішнього магнітного поля (зокрема, при послідовно включеної дугогасильній котушці), і тоді знос йде інтенсивніше зростання струму.

**Залежність зносу від ширини контакту.** При кожному відключенні розплавляється, випаровується і вигорає певна кількість металу. Це головним чином метал з майданчиків контактування. Зміна кількості металу, що впливає на знос в області торкання, може бути досягнуто за рахунок зміни ширини контактів. Досліди підтверджують сказане: знос контактів, вимірюваний зміною провалу, обернено пропорційний ширині контактів.

**Залежність зносу від швидкості розбіжності контактів.** В апаратах на великі струми, де є магнітне дуття і в яких сам контур струму створює достатні електродинамічні сили, швидкість розбіжності контактів практично не позначається на величині зносу контактів. Збільшення швидкості розбіжності контактів не може служити способом боротьби зі зносом. Тільки при дуже малих швидкостях розбіжності контактів, знос збільшується зі зменшенням швидкості їх розбіжності.

### 3 Процес замикання контактів. Знос при замиканні

У процесі замикання відстань між контактними поверхнями поступово зменшується. При деякій відстані між ними відбувається пробій, виникає дуга, яка гасне при замиканні контактів. Знос від цього явища слід враховувати в апаратах на високу напругу



У низьковольтних апаратах це явище можна не враховувати.

У комутаційних апаратах при замиканні відбувається комутаційний знос, що викликається явищем брязкоту контактів. У ряді випадків він перевищує знос при розмиканні. Рухома контакт-деталь підходить до нерухомої з певною швидкістю. При зіткненні відбувається пружна деформація матеріалу обох контактів (мається на увазі контактує частина електричного контакту). Пружна деформація призводить до відскакування рухомої контакт-деталі - вона відскакує від нерухомої на деяку відстань, що вимірюється сотими і десятими частками міліметра (іноді до 1 мм). Під дією контактної пружини відбувається повторне замикання контактів. Цей процес може повторюватися кілька разів з затухаючою амплітудою, як показано на рис. 4-14, а. При кожному відкидуванні між контактами виникає електрична дуга, що викликає їх знос.

Брязкіт при замиканні можливий внаслідок удару при тяжінні якоря. При цьому знос може бути більшим, ніж від удару самих контактів, так як тут брязкіт контактів відбувається при набагато більших миттєвих струмах (рис. 4-14, б).

Нижче наводяться отримані дослідним шляхом залежності зносу контактів при замиканні від ряду факторів.

**Залежність зносу від співвідношення механічної та тягової характеристик апарату.** Швидкість руху контактів визначається співвідношенням між механічною і тяговими характеристиками. Чим більше запас тягового зусилля, тим більшою буде швидкість, а відповідно, будуть великими удар і брязкіт контактів. При недостатньому тяговому зусиллі відбуватиметься зупинка рухомої системи в момент зіткнення контактів (двотактне включення), що також призведе до підвищення зносу. Для забезпечення мінімального зносу тягова характеристика повинна забезпечувати чітке включення апарату і не мати надмірних запасів.

**Залежність зносу від початкового натискання «Р» і жорсткості контактної пружини.** Початкове натискання на контакти в момент їх зіткнення - це та сила, яка протидіє відскакуванню контактів при їх зіткненні. Природно, що чим більше ця сила, тим менше будуть відскакування і брязкіт, а отже, і знос.

**Підвищення початкового натискання обмежено тягової характеристикою.** Якщо початкове натискання перевершує деяке значення, при якому МРС втягуючої котушки стає недостатньою для деформації тугої пружини і відбувається відкидування всієї рухомої системи, знос контактів починає зростати.

При більшій жорсткості пружини відкидування контактів буде дещо меншим, а отже, знос дещо знизиться.

Зниження зносу при замиканні може бути досягнуто за рахунок застосування паралельних контактів. Тут кожним з контактів включається частина струму. Внаслідок різночасного розмикання контактів при їх брязкоті на відкиданих контактах не виникає дуга, що також призводить до зниження зносу.

Для зниження та усунення брязкоту, що викликається ударом в магнітній системі, останню амортизують.

Підвищенню комутаційної зносостійкості мостикових контактів сприяє одночасність торкання обох контактів містка. Досягти цього можна за самовстановлення мостикового контакту. Будучи затиснутим між двома сферичними поверхнями, мостиковий контакт після деякого числа включень приймає положення, при якому досягається одночасне торкання контактів.

## Самостійна робота №2

**Тема:** Особливості роботи контактів при рідинному охолодженні. Основні конструкції контактів та їх параметри.

**Мета:** ознайомитися з особливостями роботи контактів при рідинному охолодженні та вивчити основні конструкції контактів.

### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Особливості роботи контактів при рідинному охолодженні.
- 2 Основні конструкції контактів.
- 3 Основні параметри контактів.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

### **Питання для самоконтролю:**

- 1 Які особливості роботи контактів при рідинному охолодженні.
- 2 В якому випадку застосовуються розбірні контактні з'єднання? Які особливості такої конструкції контактів?
- 3 Які є конструкції контактів?
- 4 Що таке комутуючі контакти?
- 5 В яких електричних апаратах застосовують важільні контакти?
- 6 В яких електричних апаратах застосовують мостикові контакти?
- 7 В яких електричних апаратах застосовують врубні контакти?
- 8 Поясніть принцип виконання торцевих контактів.
- 9 Наведіть основні параметри контактів.

## 1 Особливості роботи контактів при рідинному охолодженні

При водяному охолодженні, підвищення струмового навантаження на контакти призводить до відповідного зростання падіння напруги на контактному переході і різкого зростання температури майданчики контактування. Так, при збільшенні навантаження в 5 - 6 разів (а для водоохолоджуючих провідників допустимо ще більше збільшення навантаження) падіння напруги в тому ж контакті може скласти 80-100 мВ і перевищення температури майданчиків контактування над середньою температурою контакт-деталей вже буде 140-180°C, тоді як середня температура деталі буде невисокою.

Здавалося б, що для поліпшення охолодження майданчик контактування слід розташовувати якнайближче до поверхні, охолоджуємої водою. І дійсно, у міру наближення майданчиків контактування до охолоджуваної водою поверхні перевищення температури майданчика над максимальною температурою охолоджуваної поверхні в районі контакту трохи зменшується. Однак при цьому скорочується поверхня найбільш інтенсивної тепловіддачі. Останнє призводить до вельми інтенсивного підвищення температури, найбільш нагрівається точка максимуму на охолоджуваній поверхні. У підсумку температура майданчиків контактування зростає. Наближення майданчиків контактування до охолоджуваної водою поверхні за деякою різницею не покращує, а, навпаки, погіршує умови охолодження. Збільшення витрати води в такому разі не може помітно знизити температуру.

Таким чином, при підвищенні навантаження і інтенсивному охолодженні контактів водою можна створити такі умови, при яких контакти будуть посилено окислюватися поблизу контактних точок або навіть зварюватись. Тому допустиме навантаження на водоохолоджуваних апаратах слід визначати не з умов нагрівання контакту, а з умов допустимої температури фізичної площадки контактування. Середня температура контакт-деталей не може служити критерієм для визначення допустимого навантаження на них.

В даний час ще не вироблені допустимі норми нагрівання водоохолоджуючих контактів і навантажень на них. Проте наявні дослідні дані дозволяють стверджувати, що для срібних контактів можна допустити навантаження, при яких температура майданчиків контактування не перевищує 200°C. Перевищення температури водоохолоджуючих контактів слід визначати не по відношенню до температури навколишнього повітря, а по відношенню до середньої температури охолоджуючої води. Що ж до мідних контактів, то їх, мабуть, не слід застосовувати при водяному охолодженні за вказаною вище причиною.

## 2 Основні конструкції контактів

**Розбірне контактне з'єднання.** Такий пристрій застосовується для жорсткого з'єднання між собою окремих струмоведучих частин. Конструкція повинна забезпечувати надійні притиснення робочих поверхонь контакт-деталей, які не слабшають при експлуатації, і мінімальний перехідний опір.

Шини вигідніше скріплювати кількома меншими болтами, ніж одним великим. У першому випадку забезпечується більша кількість точок дотику, ніж у другому.

З'єднання пакетів шин рекомендується виконувати так, щоб число точок дотику було приблизно в три рази більше.

Круглі провідники можуть з'єднуватися між собою і з плоскими провідниками наступними способами. Кінці провідників розплющуються або забезпечуються наконечниками, які можуть напаяватися, приварюватися або щільно обжиматися. При струмах до декількох десятків ампер кінець провідника може бути згорнутий у вигляді кільця (петлі) і затиснутий болтом. З'єднання може бути здійснено за допомогою концентричного затиску. Останнє підключення складне, дороге і застосовується рідко.

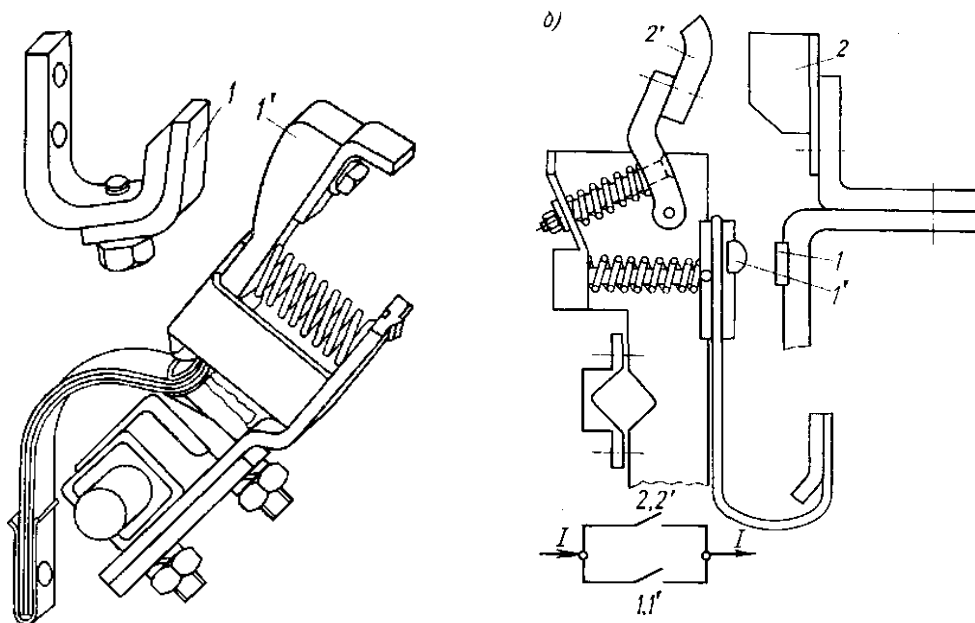


Рис. 4-7. Одно-(а) і двоступеневі (б) головні комутуючі контакти 1, - основні контакти; 2, 2'-дугогасильні контакти

**Комутуючі контакти.** Такі контакти є основним елементом комутаційних апаратів. У контактах на малі струми (до декількох ампер) прагнуть незалежно від конструктивного виконання мати одноточкове контактування, щоб при малих натисненнях отримати відносно високий питомий тиск в контактній точці. При скільки-небудь значних токах конструкція повинна забезпечувати багатоточкове контактування.

Конструкції контактів надзвичайно різноманітні. Однак по взаємному переміщенню контакт-деталей під час зіткнення, контакти можуть бути поділені на дотичні з перекатом і проковзуванням - важільні, дотичні встик - торцеві, мостикові і дотичні з впровадженням деталей одного контакту між деталями іншого контакту - врубної, розеткові, роликові .



Для здійснення своїх функцій контакти можуть виконуватися одноступінчатими і багатоступінчатими.

У одноступінчастому контакті, контактна пара служить як для тривалого проведення струму у включеному положенні, так і для розриву дуги при розмиканні.

У багатоступеневих контактних системах з двома або трьома паралельними контактами, між якими основні функції розділені, досягається краще забезпечення суперечливих вимог, пропонованих до них. Так, в автоматичних вимикачах контакти головного ланцюга (головні) мають забезпечувати тривалий перебіг номінальних струмів у включеному положенні, з одного боку, і відключення без пошкодження вимикача великих струмів короткого замикання - з іншого. У зв'язку з цим головні контакти виконуються багатоступінчатыми. Для забезпечення першої вимоги контакти повинні мати якнайменший перехідний опір, що не змінюється при окисленні поверхні (основні контакти).

Для забезпечення другої вимоги слід застосовувати дугостійкі контактні матеріали, які мають, як правило, високі перехідні опори і непридатні зважаючи на окислення для тривалого проведення струму (дугогасильні контакти). Основні контакти 1 виконуються з срібла і служать для тривалого проведення струму, дугогасильні 2 виконуються з дугостійких матеріалів і відіграють основну роль при включенні і відключенні апарату. Замикаються контакти в такій черговості: спочатку дугогасильні, а потім основні. При розмиканні почерговість зворотна: спочатку розмикаються основні контакти, розриву ланцюга не відбувається, так як весь струм переходить в дугогасильні контакти, а потім розмикаються дугогасильні, на яких і виникає електрична дуга.

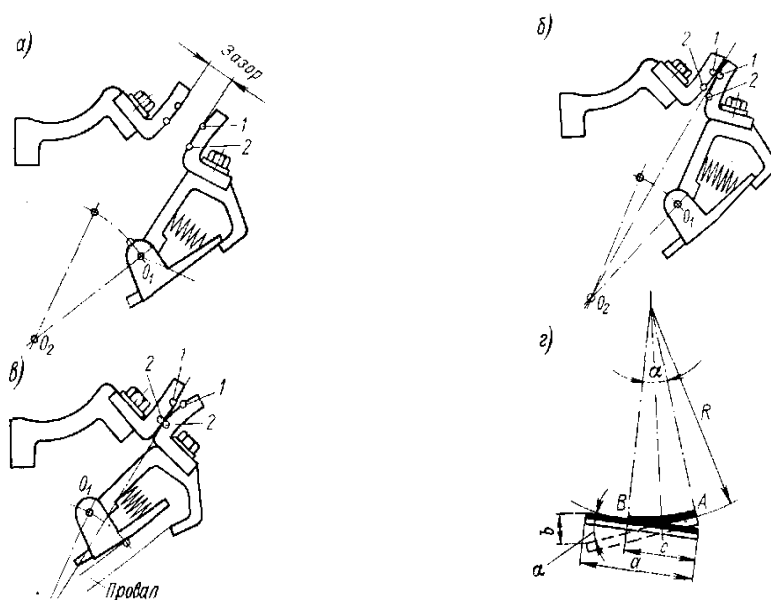


Рис. 4-8. Важільні контакти: а, б, в - кінематика руху

Іноді застосовують систему з трьох паралельних контактів: основних, проміжних і дугогасильних. Проміжні контакти служать для полегшення переходу струму з дугогасильних в основні (при замиканні) і назад (при розмиканні).

**Важільні контакти** ( рис. 4-8 ) застосовуються в апаратах з поворотною рухливою системою. Як правило, осі обертання контакту 01 і рухомої системи 02 не збігаються. Крім того, контакти стосуються раніше, ніж рухлива система досягає кінцевого положення . Внаслідок цього при замиканні і розмиканні відбувається перекочування і прослизання рухомої контакт-деталі, в результаті початкова точка дотику 1 при замиканні, вона ж остання точка дотику і точка виникнення дуги при розмиканні, виявляється зміщеною по відношенню до точки 2 кінцевого торкання контактів.

Таким чином, поверхні, що забезпечують тривале проведення струму і визначають перехідний опір контакту, віддалені від місця виникнення дуги. Прослизання контактів при достатньому контактному натисканні призводить до стирання оксидної плівки і бруду з поверхні контакту, тобто до самоочищення контактів, і це дозволяє застосовувати мідь як контактний матеріал.

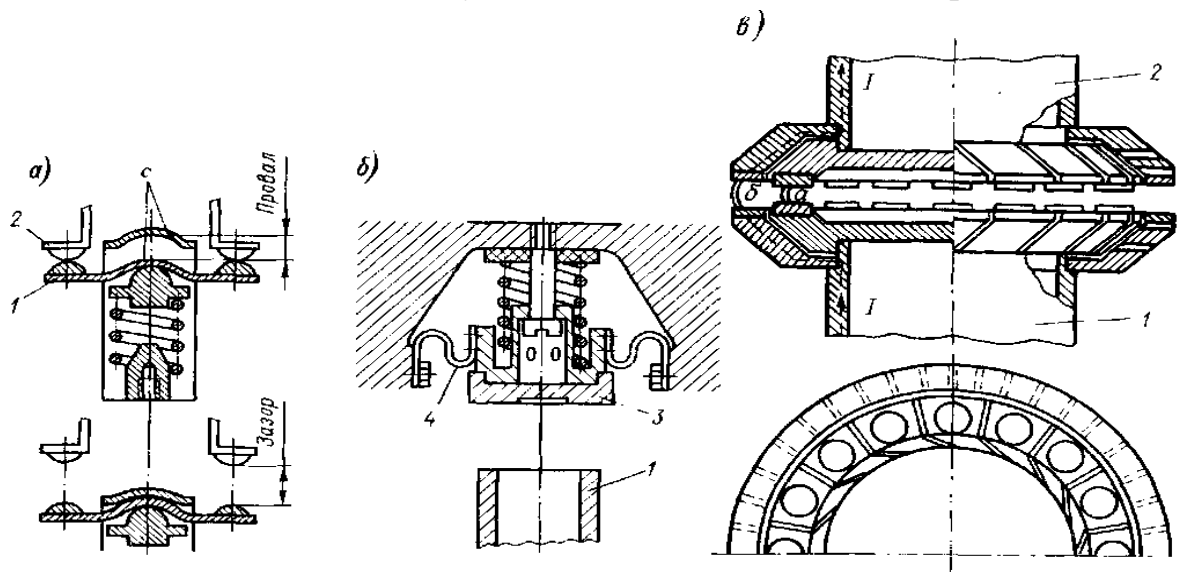


Рис. 4-9. Торцеві контакти: а - мостиковий; б - торцевий; в - торцевий багатоточковий 1 - рухома контакт-деталь; 2 - нерухома контакт-деталь; 3 - нерухома контакт-деталь, яка переміщається на величину провалу; 4 - гнучкий зв'язок

Прослизання при тій шорсткості, яку зазвичай мають поверхні контактів (особливо, робочі), викликає додатковий брязкіт контактів при їх замиканні, а отже, і їх підвищений знос. Зважаючи на це з'явилася тенденція виключати або зводити до мінімуму прослизання, зберігаючи перекочування.

Для того щоб рухома контакт-деталь могла перекочуватися по нерухомій, центр обертання першого при переміщенні по контактні поверхні другого повинен описати коло.

Відмова від прослизання вимагає підвищення контактного натискання для забезпечення роботи апарату в тривалому та переривчасто-тривалому режимах. При повній відсутності прослизання і недостатньо високому натисканні варто очікувати високого перегріву мідних контактів за рахунок поступового окислення кінцевої контактної точки.

Робочі поверхні контакт-деталей важільних контактів виконуються головним чином у вигляді площина-циліндр, циліндр-циліндр.

Важільні контакти вимагають гнучкого зв'язку для приєднання до струмопроводів, але гнучкий зв'язок в ряді випадків є слабким місцем контактної системи. Його важко здійснити на великі струми, механічна зносостійкість його виявляється нижче, ніж інших деталей.

**Мостикові контакти** ( рис. 4-9 , а ) застосовуються головним чином в апаратах з прямоходною рухливою системою . Гнучкий зв'язок відсутній, що є перевагою конструкції, але зате потрібно подвоєне контактне натискання порівняно з важільними контактами, так як число перехідних контактів подвоюється. У мостикових контактів теоретично перекочування і прослизання відсутні. Тому мідні контактують деталі тут застосовуватися не можуть, тому використовуються деталі зі срібла або металокераміки на базі срібла. Робочі поверхні виконуються у вигляді площина-площина, площина-циліндр, циліндр-циліндр, площина-сфера, сфера-сфера (при малих токах).

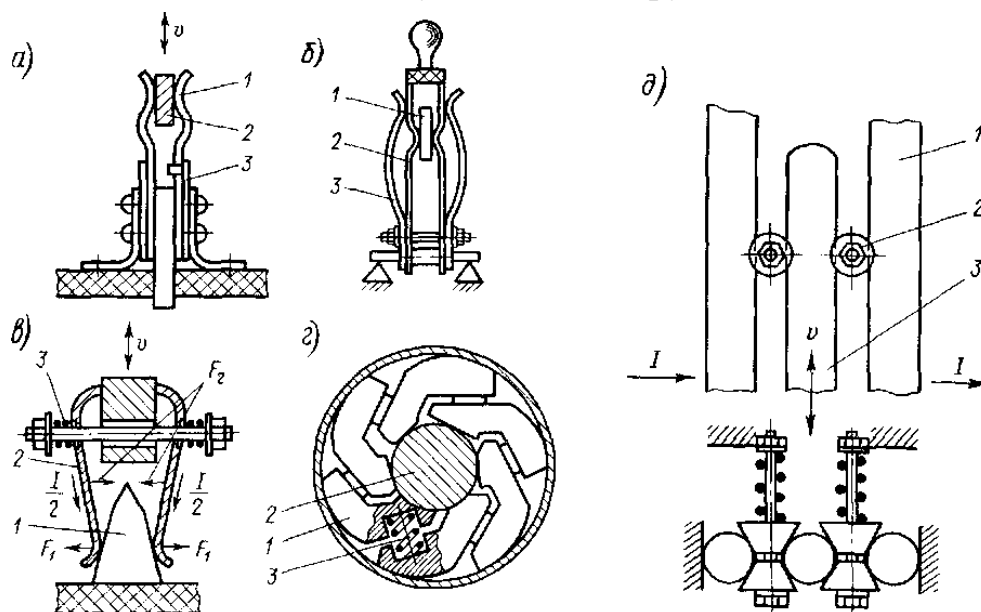
На рис. 4-9 (а) показаний **мостиковий самоустановлювальний контакт**. Самовстановлення досягається за рахунок різних радіусів сферичних поверхонь обойми, містка і упору і достатньою мірою забезпечує одночасний дотик обох контактів і зниження (виключення) брязкоту при включенні.

**Торцеві контакти** ( рис. 4-9,б ) виконуються у вигляді суцільних металевих стрижнів або порожнистих труб. Контактні поверхні можуть бути плоскими, сферичними або одна - плоскою, інша - сферичної. Контакти мають великий перехідний опір і вимагають більшого натискання, тому застосування їх на великі номінальні струми ускладнене. Вони використовуються переважно як дугогасильні. Торцеві контакти вимагають гнучкого зв'язку, роликового або іншого струмопроводу.

Багатоточкові торцеві контакти застосовуються на великі номінальні струми ( до 4000 А ) при вимозі малого перехідного опору, зокрема у вакуумних вимикачах. Приклад конструкції Багатоточкового торцевого контакту наведено на рис. 4-9 (в). По суті, це розетка, яка має велике число торцевих контактів. У замкнутому стані струм проходить як по контактам «а», так і по контактах «б». При відключенні спочатку розмикаються контакти «б», а потім контакти «а». Струмоведучі елементи контакту утворюють контур, який створює магнітне поле, спрямоване по дотичній кола. Це поле викликає радіальну електромагнітну силу, що переміщує дугу з контакту «а» на контакт «б». Таким чином, контакти «а» можуть виконуватися з матеріалу з меншим перехідним опором і меншою дугостійкістю (мідь, композиції срібла), а контакти «б» - з матеріалу з більшою дугостійкістю і великим перехідним опором (вольфрам). Загальна температура контакту знижується через малий перехідний опір контактів в замкнутому положенні і малого часу горіння дуги при відключенні. Знос контактів зменшується.

У багатоточковому контакті знижуються пропорційно числу точок електродинамічні сили контактів, отже, такий контакт має велику електродинамічну стійкість і вимагає меншого контактного натискання.

**Врубні контакти** показані на рис. 4-10. Найпростіші з них на невеликі струми складаються з нерухокої контактної стійки 1, в яку входить рухливий контактний ніж 2, напрямок його руху показано стрілками. Натискання здійснюється за рахунок пружних властивостей матеріалу стійок, яким надається відповідна форма. При перегрівих, а також при частих включеннях пружні властивості губок послаблюються і контакт порушується. Для усунення зазначеного недоліку врубних контактів на великі струми для отримання більш високих і стійких натискань застосовують сталеві пружини 3.



У контактах на рис. 4-10(а) зіткнення відбувається по лінії. При тому ж натисканні тут досягається більший питомий тиск, ніж при поверхневому контакті, і менший перехідний опір. Але й ця конструкція чутлива до перекосів контактної ножа. Більш досконалою є контактна система, зображена на рис. 4-10(б). Тут нерухома контакт-деталь 1 охоплюється рухливими контактними ножами 2, які мають циліндричні виступи. Натискання здійснюється сталевими пружинами 3. При практично можливих перекосах лінійний контакт в цій конструкції не порушується.

Розглянуті конструкції знаходять широке застосування в рубильниках, перемикачах, плавких запобіжниках.

У високовольтних вимикачах застосовуються контакти ламельні врубні (рис. 4-10, в). Рухома контакт-деталь тут виконується з окремих ламелей 2 (їх може бути кілька пар), нерухома 1 - клинчастої. Рухома система прямоходового. Ламелі можуть бути не самоустановлювальні або самоустановлювальні. У самоустановлювальній конструкції ламель може завжди прийняти положення, що забезпечує не менше двох контактних точок. Така конструкція більш досконала і дає при рівних натисненнях менший перехідний опір. Розглянуті контакти можуть виконуватися на дуже великі струми шляхом паралельного приєднання будь-якого числа пар ламелей.

**Розеткові контакти** складаються з контактної стрижня 2 (рухлива контакт-деталь) і ряду сегментів (ламельей), з пружинами 3, що утворюють нерухому контакт-деталь. Розеткові контакти застосовуються переважно в якості основних.

**Роликові контакти** ( рис. 4-10 , д ) служать для струмознімання з нерухомих контакт-деталей (стержнів) 1. Плазуни роликками 2, на рухому контакт-деталь 3. Ролики ніби замінюють гнучкий зв'язок і широко застосовуються при великих ходах рухомої контакт-деталі і великих номінальних токах.

Врубні, роликові і розеткові конструкції не можуть відключати значні струми. Виникає при цьому дуга, що порушує контактні поверхні. На них з'являються оплавлення, контакт порушується. Крім того, різко зростає зусилля, необхідне для включення і виключення. Для відключення значних струмів застосовують паралельне включення дугогасильних контактів.

**Графатичні контакти.** Контакти звичайних реле працюють в середовищі атмосферного повітря. Вони забруднюються пилом, парами металів, покриваються оксидами, що виникають при хімічних реакціях під впливом електричної дуги ( іскри ), піддаються впливу різних атмосферних агресивних газів, водяної пари. Всі ці фактори знижують надійність їх роботи і зносостійкість, особливо при малих токах і напруженнях, коли окислення робочих поверхонь може призвести до припинення провідності контактів. Зазначені явища можна послабити або практично виключити, якщо помістити контакти в інертний газ або вакуум.

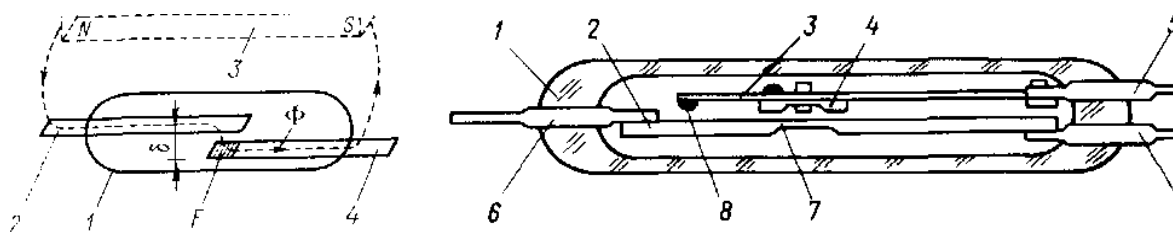


Рис. 4-11. Герметичний контакт – геркон

Одним з найбільш перспективних напрямків удосконалення контактних пристроїв (особливо на малі струми і напруги) є розробка герметичних магнітокерованих контактів (МК) - герконів .

Найпростіша конструкція МК (рис. 4-11 , а ) являє собою скляний балон 1 з ув'язненими в ньому двома електродами 2 і 4. Балон заповнений інертним газом (азот, аргон, водень і т. п. ) або вакуумована до залишкового тиску 0,13 - 0,0013 Па. Електроди виконані з магнітного матеріалу (зазвичай пермаллоя ) і є одночасно і магнітопроводом. Кінці електродів покриваються шаром якої-небудь благородного металу (золото, паладій, радій, або їх сплави), утворюючи робочу поверхню Р для контактування.

Управління МК здійснюється магнітним полем, яке може створюватися або котушкою, або постійним магнітом 3. Магнітний потік  $\Phi$ , що проходить через електроди і повітряний зазор 8 (зазор контактів ), при деякому його значенні призводить до замикання робочих поверхонь електродів і утворення замкнутого електричного ланцюга. При ослабленні ( зникненні ) магнітного потоку електроди за рахунок своїх пружних властивостей розмикаються, розриваючи електричну

ланцюг. Таким чином, електроди виконують функції контакту, муздрамтеатру і контактних пружин.

МК можуть виконуватися з замикаючими, розмикаючими, переключаючими, поляризованими, «запам'ятовуючими» контактами. По конструкції вони можуть бути язичковими, плунжерними, мембранними, кульковими, стрічковими та ін.. За своїми технічними характеристиками МК наближаються до статичних пристроїв, маючи в той же час і всіма достоїнствами контактних. Вони мають високу швидкодію ( допускають частоту включень до 100 Гц), великий ресурс ( 10<sup>7</sup> - 10<sup>9</sup> спрацьовувань ), високу надійність, забезпечують комутацію вельми малих струмів при малих напругах (одиниці мікроампер при напрузі кілька мілівольт), можуть застосовуватися у вибухонебезпечній апаратурі, допускають експлуатацію при будь-якому положенні в просторі і при великому діапазоні зміни температури (від - 60 до +125 ° С).

Основними недоліками МК є їх порівняно мала комутаційна і перевантажувальна здатність, а також низька електрична міцність міжконтактного проміжку. Комутаційна здатність перших вітчизняних герконів становила 15 - 60 Вт, максимальна напруга 220 В. Виконується великий обсяг робіт з удосконалення їх конструкцій, підвищенню комутаційної здатності.

Геркон складається з рухомої і нерухомих контактних систем, впаяних в скляний балон 1. Нерухома контактна система являє собою магнітопровід 2, що містить ділянку зменшеного перерізу 7 і два виводи 6, рухлива система включає в себе вивід 5, контактну пластину 3 і яркір 4, встановлений проти ділянки магнітопроводу зменшеного перетину.

Системи утворюють основні та дугогасильні контакти. Основні контакти утворюються полюсними поверхнями яркря і магнітопровода, покритими матеріалом з високою електропровідністю. Дугогасильні контакти 8 складаються з напайок , виконаних з тугоплавкого матеріалу, встановлених на магнітопроводі і кінці пружного елемента.

Геркон управляється магнітним полем постійного магніту або котушки. При певному значенні магнітний потік на ділянці 7 витрощається і замикається через яркір. Яркір притягується до магнітопроводу, замикаючи дугогасильні, а потім основні контакти. Відключення контактів відбувається в зворотній послідовності.

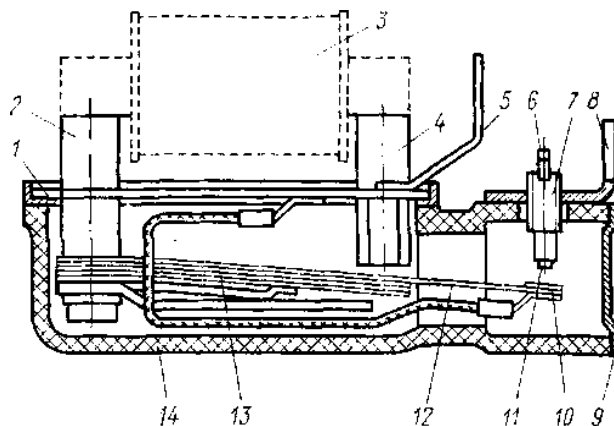


Рис. 4-12. Герметичний силовий контакт - герсикон

**Герсікони.** На відміну від герконів тут застосовані різні деталі для контактів і магнітопроводу (рис. 4-12 ). Всередину герметичної оболонки (плата 1, корпус 14 і кришка 9) введені полюси 2 і 4 електромагніту. Один полюс забезпечує жорстке кріплення кінця феромагнітної пружини якоря 12, несучої рухливої контакт-деталь 10, а другий утворює з цією пружиною робочий зазор в ланцюзі магнітопроводу. Феромагнітна пружина із зовнішнього боку шунтується більш тонкими феромагнітними пружними пластинками 13, значно збільшують загальне перетин якоря електромагніту, але практично не підвищує протидіюче зусилля. Це дозволяє при відносно невеликій магніторушійній силі отримати необхідне електромагнітне зусилля. Магніторушійна сила створюється котушкою 3, розміщеній поза герсіконом.

Контакт-деталі герсікона виконані масивними з напайками з тугоплавкого матеріалу. Підведення струму до рухомої контакт-деталі здійснюється за допомогою гнучкого зв'язку високої провідності. Нерухома контакт-деталь 11 кріпиться на кінці спеціального регулювального гвинта 7, введеного всередину герметичної оболонки. Таке кріплення дозволяє регулювати зазор, провал і контактне натискання. Зовнішні затискачі 5 і 8 розташовані поза герметичним корпусом.

Ніпель 6 служить для забезпечення відкачування повітря з герметичного корпусу і заповнення його захисним газом (суміш азоту з воднем ), що забезпечує високу електричну міцність (до 3000 В).

Герсікон типу КМГ-12 на номінальний струм 6,3 А призначений для роботи в мережах з напругою 380 - 440 В при частоті 50-60 Гц. Він здатний включати струм 180 А і відключати струм 60 А. Комутаційна зносостійкість контактів при напрузі 380 В і частоті комутацій 1200 включень і відключень на годину двигуна потужністю 1,1 кВт складає більше 10 млн. циклів спрацьовувань. Герсікони володіють великою швидкодією - близько 10 мс. Потужність, споживана котушкою контактора з герсіконом типу КМГ - 12, не перевищує 2 Вт, що дозволяє застосовувати контактор в якості вихідного елемента логічних пристроїв замість складнішого тиристорного підсилювача.

**Ковзні контакти.** Ці конструкції здійснюють передачу струму без обриву ланцюга з нерухомою контакт-деталі на рухому. Вони можуть виконуватися з важільними, мостиковими, роликowymi і іншими контактами.

Різновидом ковзаючого контакту є **шарнірний контакт**. Він одночасно забезпечує і механічний зв'язок між деталями. В апаратах низької напруги ковзаючі з'єднання широко застосовуються в реостатах і контролерах.

**Роз'ємне контактне з'єднання.** Це контактне з'єднання, яке може бути розімкнуте (замкнуте) без розбирання (складання). Розмикання (замикання) здійснюють при знеструмленому електричному колі. Конструкції контактів різноманітні; головним чином застосовуються контакти, де деталі одного контакту впроваджуються між деталями іншого (врубні, розеткові і т. п.).

### 3 Основні параметри контактів

Зазор контактів являє собою найкоротша відстань між розімкнутими робочими поверхнями рухомої і нерухомої контакт-деталей. Зазор контактів зазвичай вибирається з умови гасіння малих струмів .

При роботі контакти зношуються. Щоб забезпечити надійне їх зіткнення на тривалий термін, кінематика апарату виконується таким чином, що контакти стикаються раніше, ніж рухлива система (система переміщення рухомих контакт-деталей) доходить до упору. Контакт кріпиться до рухливої системи через пружину. Завдяки цьому після зіткнення з нерухомим контактом рухливий контакт зупиняється, а рухлива система просувається ще вперед до упору, стискаючи додатково при цьому контактну пружину. Таким чином, якщо при замкнутому положенні рухомої системи прибрати нерухому, то рухомий контакт зміститься на деяку відстань, звану провалом.

У прямоходових контактних конструкціях провал вимірюється безпосередньо, а в апаратах з поворотною системою його визначають величиною зазору, контролюючого провал. Провал визначає запас на знос контактів при заданому числі спрацьовувань. За інших рівних умов більший провал забезпечує більш високу зносостійкість, тобто більший термін служби. Але більший провал, як правило, вимагає і більш потужної магнітної системи.

Контактне натискання - сила, що стискає контакти в місці їхнього зіткнення.



### Самостійна робота №3

**Тема:** Способи компенсації електродинамічних сил в контактах. Матеріали контактних з'єднань.

**Мета:** вивчити способи компенсації електродинамічних сил в контактах; ознайомитися з матеріалами контактних з'єднань.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Способи компенсації електродинамічних сил в контактах.
- 2 Матеріали контактних з'єднань.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Наведіть способи компенсації електродинамічних сил в контактах.
- 2 Поясніть електродинамічну компенсацію.
- 3 Які параметри контактів залежать від матеріалу контактних з'єднань?
- 4 Які основні матеріали застосовуються при виготовленні контактних з'єднань?

## 1 Способи компенсації електродинамічних сил в контактах

В апаратах на великі струми, зокрема в автоматичних вимикачах, прагнуть так виконати контактну систему, щоб компенсувати або послабити дію електродинамічних сил.

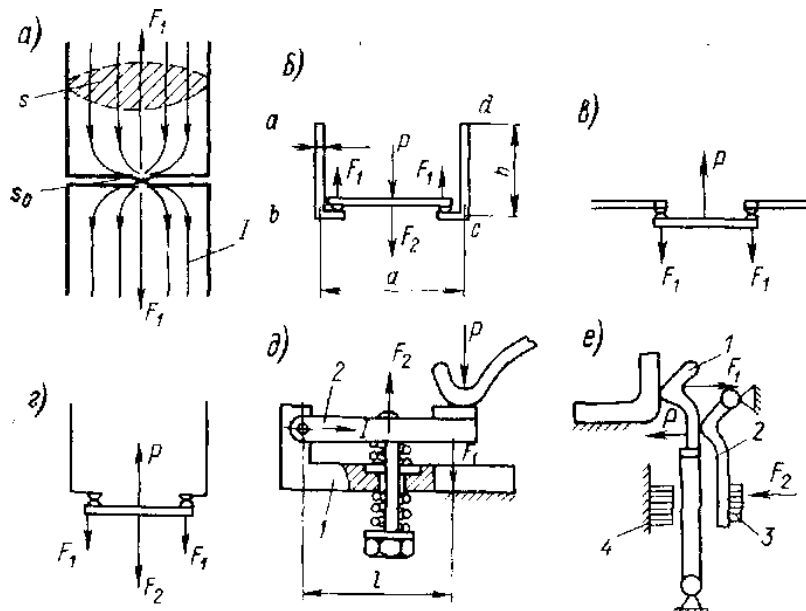


Рис. 4.20. Приклади електродинамічної та електромагнітної компенсації електродинамічних сил

$P$  - контактне натискання;  $F_1$  - відкидаючі зусилля;  $F_2$  - компенсуючі зусилля

На рис. 4-20(Д) показаний приклад електродинамічної компенсації для важільних контактів. Нерухомий контакт складається з двох частин (1 і 2), з'єднаних за допомогою шарніра. Рухома частина цього контакту утримується в нейтральному положенні двома пружинами, діючими назустріч один одному. Електродинамічна сила  $F_2$  прагне розсунути паралельні частини 1 і 2 контакту. Сила  $F_2$  спрямована назустріч силі  $F_1$ . Тоді при короткому замиканні частина 2 контакту буде завжди притискатися до рухомої контакт-деталі, і контактне натискання буде при цьому зростати.

Схема електромагнітного компенсатора наведена на рис. 4-20, тобто Магнітне поле струмопроводу рухомого контакту прагне притягнути якір 3 магнітопроводу компенсатора до нерухомої частини 4 останнього. Через

важіль 2 сила  $F_2$  передається на рухому контакт-деталь 1, перешкоджаючи її відкиданню, що викликається електродинамічною силою  $F_1$ .

## 2 Матеріали контактних з'єднань

Від матеріалу контакту в сильно залежать його термін служби і надійність роботи. До цих матеріалів пред'являються такі основні 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 випаровування, бути твердими, механічно міцними і легко піддаватися механічній обробці, мати невисоку вартість. Перераховані вимоги суперечливі, і майже неможливо знайти матеріал, який задовольняв би всі ці вимоги.

Для контактних з'єднань застосовуються такі матеріали.

**Мідь.** Задовольняє майже всім перерахованим вище вимогам, за винятком корозійної стійкості. Оксиди міді мають низьку провідність. Мідь - найпоширеніший контактний матеріал, використовується як для розбірних, так і для комутуючих контактів. У розбірних з'єднаннях застосовують антикорозійні покриття робочих поверхонь.

У комутуючих контактах мідь застосовується при натисненнях понад 3 Н для всіх режимів роботи, крім тривалого. Для тривалого режиму мідь не рекомендується, але якщо вона застосована, то слід вжити заходів по боротьбі з окисненням робочих поверхонь. Мідь може використовуватися і для дугогасильних контактів.

При малих контактних натисненнях ( $P < 3 \text{ Н}$ ) застосування мідних контакти не рекомендується.

**Срібло.** Дуже хороший контактний матеріал, який задовольняє всім вимогам, за винятком дугостійкості при значних токах. При малих токах має гарну зносостійкість. Оксиди срібла мають майже таку ж провідність, як і чисте срібло. Срібло зазвичай застосовується у вигляді накладок - вся деталь

виконується з міді або іншого матеріалу, на який приварюється срібна накладка, що утворює робочу поверхню.

**Алюміній.** У порівнянні з міддю володіє значно меншими провідністю і механічною міцністю. Утворює погано провідну тверду оксидну плівку, що істотно обмежує його застосування. Може використовуватися в розбірних контактних з'єднаннях (шинопроводи, монтажні дроти). Для цього контактні робочі поверхні срібляться, мідних або армуються міддю. Слід, однак, мати на увазі невисоку механічну міцність алюмінію, внаслідок чого з'єднання можуть з часом ослабнути і контакт порушиться (не слід завищувати контактне натискання).

Для комутуючих контактів алюміній непридатний.

**Платина, золото, молібден.** Застосовуються для комутуючих контактів на дуже малі струми при малих натисненнях. Платина і золото не утворюють оксидних плівок. Контакти з цих металів мають малий перехідний опір. Для підвищення зносостійкості застосовують сплави з платини з іридію.

**Вольфрам і сплави з вольфраму.** При великій твердості і високій температурі плавлення мають високу електричної зносостійкістю. Вольфрам і сплави вольфрам - молібден, вольфрам - платина, вольфрам - платина - іридій та інші застосовуються при малих токах для контактів з великою частотою розмикання. При середніх і великих токах вони використовуються як дугогасильних контактів на відключаються струми до 100 кА і більше.

**Металокераміка** - механічна суміш двох практично несплавляємих металів, одержувана методом спікання суміші їх порошків або просоченням одного розплавом іншого. При цьому один з металів має хорошу провідність, а інший володіє великою механічною міцністю, є тугоплавким і дугостійкостійким. Металокераміка, таким чином, поєднує високу дугостійкість з відносно хорошою провідністю. Найбільш поширеними композиціями металокераміки є: срібло - вольфрам, срібло - молібден, срібло - нікель, срібло - оксид кадмію, срібло - графіт, срібло - графіт - нікель, мідь - вольфрам, мідь - молібден і ін Застосовується

металокераміка для дугогасильних контактів (композиції з сріблом в основному для змінного струму) на середні і великі відключаються струми , а також для головних контактів на номінальні струми до 600 А.

## Самостійна робота №4

**Тема:** Енергія, що виділяється в дузі. Відновлення електричної міцності дугового проміжку та напруги на контактах.

**Мета:** ознайомитися з явищем відновлення електричної міцності дугового проміжку та напруги на контактах.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Відновлення електричної міцності дугового проміжку.
- 2 Відновлення напруги на контактах.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Дайте визначення пробивної напруги.
- 2 Поясніть процес відновлення міцності коротких дугових проміжків.
- 3 Поясніть процес відновлення напруги на контактах.
- 4 Яким чином взаємопов'язані процеси відновлення напруги та електричної міцності проміжку?

## 1 Відновлення електричної міцності дугового проміжку

Під відновленням електричної міцності дугового (міжконтактного) проміжку розуміють пробивну напругу, яка здатна викликати повторне запалювання дуги в цьому проміжку в той чи інший момент часу.

Вже в стадії дугового розряду міжконтактний проміжок залежно від ступеня іонізації володіє певною електричною міцністю, відповідної значенню напруги, необхідної для підтримки постійної провідності дугового стовбура. Таким чином, в момент переходу струму через нуль, проміжку властива деяка електрична міцність, яку назвемо початковою відновлюваною міцністю. Далі електрична міцність змінюється залежно від умов, створюваних ( утворюваних ) у проміжку. При аналізі умов, необхідних для гасіння дуги, розрізняють короткі і довгі проміжки.

**Відновлення міцності коротких дугових проміжків.** Короткими називають проміжки, у яких електрична міцність після переходу струму через нуль визначається головним чином явищами у електродів. Ці явища залежать від стану і властивостей електродів і газового середовища, що знаходиться між ними.

Розглянемо явища у електродів при переході струму через нуль. При цьому зробимо допущення, що катод «холодний» і що температура газу в навколкатодному шарі недостатня для виникнення термічної іонізації, тобто термоелектронна емісія і термічна іонізація відсутні. Припустимо, що післядугова плазма має рівномірну щільність у всьому просторі і що щільності позитивних і негативних частинок рівні між собою. Тоді при появі між електродами різниці потенціалів (початок процесу відновлення напруги) негативні частки почнуть рухатися до анода, а позитивні - до катода. Враховуючи, що рухливість електронів у багато разів вище (до 1000 разів) рухливості іонів, то в дуже короткий час від початку відновлення міцності проміжку електрони підуть з навколкатодного простору, а іони залишаться на місці. При цьому у катода виникне зона просторового позитивного заряду, і

цю зону можна вважати діелектриком. Різниця потенціалів виявляється прикладеною до цієї зони просторового заряду, проте розподіл напруженості електричного поля і відновлюється напруги вздовж цієї зони буде нерівномірним. Максимальної напруженості електричне поле досягає біля поверхні катода і залежить (як і товщина шару просторового заряду) від щільності заряджених частинок і прикладеного до проміжку напруги.

Коли електроди (контакти) залишаються «холодними», то основною причиною пробую проміжку може бути автоелектронна емісія (якщо максимальна напруженість електричного поля у катода досягає 105 - 107 В / см). За відсутності автоелектронної емісії відновлюється міцність проміжку може бути досить високою і процес може протікати.

Якщо в газі містяться пари металу, а електроди «гарячі», тобто існує термоелектронна емісія, то значення початкової міцності може коливатися в широких межах і зменшуватися до декількох десятків вольт.

**Відновлення міцності довгих дугових проміжків у вимикачах з активною деонізацією дугового стовбура.** Відновлення міцності в цьому випадку визначається швидким розпадом дугової плазми (дугового стовбура) після переходу струму через нуль. Дугова плазма (залишковий дуговий стовбур) зберігає деяку провідність, і по проміжку протікає залишковий. Якщо розсіяна залишковим стволем потужність буде перевершувати підведену, то відновлення міцності проміжку випереджатиме відновлення напруги і дуга остаточно згасне. Якщо ж підведена до залишковим стовбуру потужність буде перевершувати розсіювану, то почнеться зростання залишкового струму, розігрів плазми і в якийсь момент настане тепловий пробій, струм дуги відновиться.

## 2 Відновлення напруги на контактах

Процеси відновлення напруги та електричної міцності проміжку взаємопов'язані, і цей взаємозв'язок досить складна і ще недостатньо вивчена.



Було прийнято, що напруга на дузі дорівнює нулю, а після переходу струму через нуль опір проміжку стає відразу рівним нескінченності. При такому припущенні відновлення напруги на вимикачі починається з нуля, а не з піку гасіння. Частота і амплітуда коливань перехідного процесу визначаються індуктивністю, ємністю і опором джерела струму і ланцюги і лежить в межах тисяч герц.

Насправді відновлювана напруга залежить не тільки від опору, індуктивності і ємності ланцюга, але і від залишкової провідності самого міжконтактного проміжку. Останній залежить від властивостей дугогасильних пристроїв, які вельми різноманітні. У загальному випадку процес відновлення напруги на контактах може мати аперіодичний або періодичний характер.

При аперіодичному процесі максимальне значення напруги, що відновлюється не може бути вище ЕРС джерела. Зважаючи на велику різницю частоти перехідного процесу і частоти мережі (50 Гц) ЕРС мережі за час перехідного процесу можна вважати постійною. Весь процес відновлення напруги становить десятки (сотні) мікросекунд.

## Самостійна робота №5

**Тема:** Особливості відключення кола змінного струму підвищеної частоти.

**Мета:** ознайомитися з процесом відключення кола змінного струму підвищеної частоти.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

1 Відключення кола змінного струму підвищеної частоти

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

1 Яка виникає частота коливального процесу при відновленні напруги на дуговому проміжку?

2 На що впливає збіг частот джерела живлення і власних коливань?

3 Які чинники погіршують умови гасіння дуги підвищеної частоти?

4 Чи знижується температура дугового проміжку при переході струму через нуль при змінному струму підвищеної частоти?

## 1 Відключення кола змінного струму підвищеної частоти

Апарати низької напруги виготовляються для змінного струму підвищеної частоти 400-500 Гц, а також 2,5-10 кГц (гартівні установки). В останньому випадку частота коливального процесу при відновленні напруги на дуговому проміжку виявляється того ж порядку, що і частота струму. Тут вже не можна вважати ЕРС джерела живлення незмінним за час перехідного процесу. Близький збіг частот джерела живлення і власних коливань істотно змінює характер перехідних процесів. Якщо при промисловій частоті відключення індуктивного контуру виявлялося важче, ніж відключення активного контуру, то при підвищеній частоті відключення активного контуру здійснюється важче, ніж індуктивного контуру.

При гасінні дуги в індуктивному контурі промислової частоти напруга на дуговому проміжку може досягти 2В. При гасінні дуги в активному контурі підвищеної частоти напруга не може перевершити величини 1В. При інших рівних умовах полегшується гасіння високочастотної дуги в порівнянні з дугою промислової частоти.

Існують, однак, і чинники, що погіршують умови гасіння дуги підвищеної частоти. При промисловій частоті температура дугового проміжку при переході струму через нуль встигає знизитися на 30-50%, що сприяє інтенсифікації процесів деонізації. При дузі підвищеної частоти істотного зниження температури дугового проміжку при переході струму через нуль не відбувається. Якщо не враховувати явищ у катода при переході струму через нуль, то умови гасіння дуги підвищеної частоти ( від 1 до 10 кГц) наближаються до умов гасіння дуги постійного струму.

## Самостійна робота №6

**Тема:** Гасіння дуги в дугогасильній решітці. Бездугова комутація кіл змінного та постійного струму.

**Мета:** ознайомитися з процесом гасіння дуги в дугогасній решітці та з процесом бездугової комутації кіл змінного та постійного струму.

### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Загальні поняття
- 2 Комутація кіл змінного струму
- 3 Комутація кіл постійного струму

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

### **Питання для самоконтролю:**

- 1 Як відбувається процес гасіння дуги в дугогасильній решітці?
- 2 Поясніть процес комутації кіл змінного струму.
- 3 Поясніть процес комутації кіл постійного струму.

## 1 Загальні поняття

Одним з перспективних шляхів підвищення ефективності комутації силових ланцюгів, що дозволяє виключити виникнення дуги відключення або обмежити час її горіння, є використання силових напівпровідникових приладів. У багатьох країнах і у нас в СРСР ведуться роботи зі створення комутаційних апаратів на базі тиристорів і семісторів, проте до теперішнього часу такі апарати мають обмежене застосування. 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.

Більш прийнятними для надточних апаратів визнані пристрої з бездуговою комутацією, засновані на використанні механічних контактів і тиристорів або механічних синхронізуючих пристроїв, контактів і некерованих діодів.

## 2 Комутація кіл змінного струму

Для апаратів з високою частотою оперативних включень і відключень заслуговує уваги контактна система з тиристорним блоком бездугового відключення. Пряме падіння напруги на відкритому тиристорі мале ( 1,5 - 2 В на одному тиристорі ), тому дуга на контактах не виникає. При переході струму через нуль тиристор закриється.

Так як тиристори обтікаються струмом тільки протягом напівперіоду, то вони можуть вибиратися на малі номінальні струми з великими перевантаженнями. Габарити тиристорного блоку опиняються малими.

## 3 Комутація кіл постійного струму

Відключення постійного струму являє собою процес примусового його обриву. Схеми, що забезпечують або обмежують час горіння дуги, різноманітні і складні. Вони засновуються, як правило, на конденсаторному гасінні в поєднанні з штучною комутацією тиристорів.

У схемах після розмикання контакту відкривається тиристор заздалегідь заряджений конденсатор розряджається через дугу і котушку індуктивності, завдяки чому струм в дузі двічі змінює свій напрямок. В один з переходів струму через нуль можливо гасіння дуги. Такі схеми при токах понад 100 А вимагають значних ємностей (конденсатор має великі габарити і час заряду), забезпечують тільки скорочення часу горіння дуги і, таким чином, малоефективні.

В інших схемах процес відключення ланцюга двоступінчастий: спершу відкривається тиристор, струм переводиться в ланцюг тиристора і контакт розмикається без дуги. Потім відкриттям другого тиристора здійснюється розряд конденсатора і замикання третього тиристора, досягається повне бездугове відключення струму.

У всіх випадках амплітуда струму розряду конденсатора повинна бути більше струму ланцюга. Ланцюг діода і резистора служить для зниження напружень і підвищення відключаючих здібностей, тиристор - для заряду конденсатора.

Бездугова комутація кіл постійного струму в поєднанні з іншими заходами дозволяє проектувати вимикачі з повним часом відключення не більше 0,01 с, а також підвищувати комутаційну зносостійкість апаратів ( для контакторів - у 5-10 разів).

## Самостійна робота №7

**Тема:** Потоки плазми та гасіння електричної дуги.

**Мета:** ознайомитися зі способами гасіння електричної дуги.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

1 Загальні поняття.

2 Потоки плазми та гасіння електричної дуги.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

1 Яка історія виникнення електричної дуги?

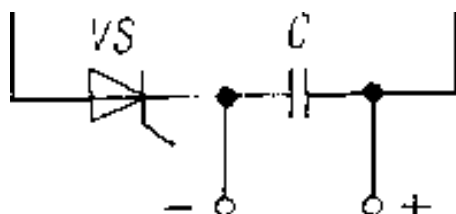
2 Поясніть процес виникнення електричної дуги.

3 Яким чином виникають потоки плазми?

4 В якому випадку виникають потоки плазми?

## 1 Загальні поняття

Електрична дуга була відкрита В. В. Петровим у 1802 р. і нині широко використовується в різних областях техніки і фізичного експерименту, проте багато ще залишається в ній нез'ясованим і спірним. Відкриваються все нові особливості цього складного явища. Однією з таких особливостей, що привернула до себе в останні роки увагу, є наявність в дузі поздовжніх потоків плазми (факелів).



Давно було помічено, що в ряді випадків електрична дуга відхиляється від найкоротшої відстані між електродами і приймає вельми химерну форму, не піддаючись мабуть впливу зовнішніх сил. При цьому з опорних точок дуги виходять язички полум'я, що швидко переміщуються.

Електрична дуга, подібно циліндричному провіднику, стискається власним магнітним полем. Якщо вздовж осі провідника змінюється площа його перерізу, то неоднаковим виявляється і електромагнітне тиск усередині провідника. Воно більше в місцях звуження і менше там, де провідник розширюється. У провіднику змінного перерізу виникає поздовжня різниця тисків.

У твердому провіднику це зазвичай не призводить до яких-небудь переміщенням. Але в газоподібному середовищі, якою є електрична дуга, ця різниця тисків породжує потоки плазми, що виходять з місць зменшених перетинів. Такими місцями в електричній дузі служать, зокрема, приелектродні області. З них і виходять потоки плазми, які ми сприймаємо як світіння факелу, часто додають дузі досить вигадливу форму.



Електромагнітне тиск є досить важливою, але не єдиною причиною виникнення поздовжніх потоків плазми. За певних умов істотну роль починають грати і теплові процеси.

## 2 Потоки плазми та гасіння електричної дуги

Потоки плазми виникають тільки в тому випадку, якщо струм в дузі досягає деякого певного рівня, і спостерігаються при відстанях між електродами понад 1 мм. Вони з'являються не відразу після виникнення дуги, а з деяким відставанням, що досягає 1-2 мкс.

Потоки плазми виникають як на аноді, так і на катоді, на електродах з різних (будь-яких) матеріалів (вони особливо великі на рідких електродах), в різних газових середовищах, в дугах високого і низького тиску. Вони з'являються не тільки у електродів, а при будь-якому штучному зміні площі перетину дуги (при зіткненні з ізоляційною або металеву перегородкою, при входженні у вузьку щілину і т. п.).

Потоки плазми мають вигляд різко окреслених пучків (факелів) і по своїй яскравості значно перевершують інші частини дуги. Вони дуже рухливі і часто змінюють свою форму і місце розташування, зберігаючи загальні обриси протягом 20-30 мс. Вони неоднорідні за структурою. У їх центральній частині виявляється область найбільш яскравого світіння - ядро потоку, яке оточене плазмою, що має більш низьку температуру і більш слабке світіння.

Потоки плазми спрямовані перпендикулярно до поверхні тих електродів, з яких вони виходять, і поширюються прямолінійно, якщо на них не діють зовнішні чинники. Вони мають більш високу температуру і провідність, ніж інші частини стовбура дуги. Тому в багатьох випадках стовбур дуги розділяється на яскраві потоки плазми і менш яскраву частину стовбура, що спирається на ці потоки.

Маючи більш високу температуру і провідність, потоки плазми є концентрованими носіями енергії. Умови горіння і гасіння електричної дуги значною мірою залежать від напрямку плазмових потоків. Якщо вони

спрямовані назустріч один одному, то вся їхня енергія виділяється в дуговому проміжку (плазмовий диск ПД) та умови гасіння утруднюються. Навпаки, якщо потоки плазми виносять енергію з дугового проміжку, то умови гасіння дуги полегшуються.

Вище розглянуто рух дуги в поперечному, поздовжньому і радіальному магнітному полі. В даний час до зазначених трьох основних форм руху дуги додається ще четверта. Вона обумовлена впливом на дугу її власного вихрового магнітного поля, яке стискає дугу і викликає появу в ній поздовжніх потоків плазми. Якщо рух дуги в поперечному, поздовжньому і радіальному магнітному полі пов'язано з переміщенням її в просторі, то вплив власного вихрового поля викликає рух плазми в самій дузі.

Вище дуга розглядалася як деяке незбиране освітлення - шнур, її рух під дією зовнішніх магнітних полів уподібнювалося переміщенню легко деформується провідника зі струмом. Виявлення потоків плазми вносить зміни і уточнення в ці подання. Доводиться рахуватися з рухом плазми всередині дугового шнура. Це рух має загальний характер. Він існує як в нерухомій палаючій дузі, так і при всіх формах її руху в магнітному полі і дозволяє більш повно пояснити не цілком зрозумілі раніше явища.

Поперечне магнітне поле відхиляє потоки плазми. Переривчастий характер руху дуги тут пов'язаний з потоками плазми, зміна форми яких сприяє утворенню нових опорних плям дуги. Рух дуги в поздовжньому магнітному полі пов'язаний з появою двох потоків плазми - анодного і катодного, що обертаються навколо осі системи і завиваються в спіраль. У радіальному магнітному полі обертання дуги навколо її власної осі пов'язано з появою потоків, усередині яких частинки плазми рухаються по спіралях. Осі цих спіралей збігаються з віссю стовбура дуги. З потоками плазми доводиться рахуватися при розробці дугогасильних пристроїв.

## Самостійна робота №8

**Тема:** Котушки електромагнітів. Основи розрахунку системи з постійними магнітами.

**Мета:** ознайомитися з вимогами та призначенням котушок електромагнітів; з основами розрахунку системи з постійними магнітами.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Котушки електромагнітів.
- 2 Основи розрахунку систем з постійним магнітом.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Які вимоги висуваються до котушок електромагнітів?
- 2 Які напруги виникають в котушці в процесі роботи?
- 3 Які параметри визначають при розрахунку котушки?
- 4 Які параметри визначають при розрахунку систем з постійним магнітом?

## 1 Катушки електромагнітів

Котушка є одним з головних елементів електромагніту і повинна відповідати таким основним вимогам:

- 1 ) забезпечувати надійне включення електромагніту при найгірших умовах, тобто в нагрітому стані і при зниженій напрузі;
- 2) не перегріватися понад допустимої температури при всіх можливих режимах, тобто при підвищеній напрузі;
- 3 ) при мінімальних розмірах бути зручною для виробництва;
- 4 ) бути механічно міцною;
- 5 ) мати певний рівень ізоляції, а в деяких апаратах бути волого-, кислотно- та масло стійкою.

У процесі роботи в котушці виникають напруги: механічні - за рахунок електродинамічних сил в 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. Перше - забезпечити необхідну МРС при гарячій котушці і зниженій напрузі. Друге - температура нагріву котушки при цьому не повинна перевищувати допустиму.

У результаті розрахунку повинні бути визначені наступні величини, необхідні для намотування:

$d$ - діаметр дроту обраної марки;

$w$ - число витків;

$R$ - опір котушки.

За конструктивним виконанням розрізняють котушки: каркасні - намотування здійснена на металевому або пластмасовому каркасі; без каркаснібандажні - намотування проводиться на знімному шаблоні, після намотування котушки бандажуються; без каркасні з намотуванням на сердечник магнітної системи.

## 2 Основи розрахунку систем з постійним магнітом

Постійний магніт являє собою шматок сталі або якого-небудь іншого твердого сплаву, який, будучи намагнічений, стійко зберігає запасені частина магнітної енергії. Призначення магніту - служити джерелом магнітного поля, не змінюючи з плином часу, ні під впливом таких факторів, як струму, зміни температури, зовнішнього магнітного поля. Постійні магніти застосовуються в різноманітних приладах: реле, електровимірювальних приладах, контакторах, електричних машинах.

Розрізняють такі основні групи сплавів для постійних магнітів:

1 ) Мартенситові сталі - вуглецеві, вольфрамові, хромисті, кобальтові ;

2 ) сплави на основі сталі - нікелю - алюмінію з додаванням в деяких випадках кобальту, силіцію: алні ( Fe , Al , Ni ), алнісі ( Fe , Al , Ni , Si ), магніко ( Fe, Ni, Al, Co );

3 ) сплави на основі срібла, міді, кобальту.

Величинами, що характеризують постійний магніт, є залишкова індукція  $B_r$  і коерцитивна сила  $H_c$ . Для визначення магнітних характеристик готових магнітів користуються кривими розмагнічування (рис. 1-1 ), що представляють собою залежність  $B = f ( - H )$ . Крива знімається для кільця, яке спочатку намагнічується до індукції насичення, а потім розмагнічується до  $B = 0$ .

Потік в повітряному зазорі. Для використання енергії магніту необхідно виготовити його з повітряним зазором. Складова МРС, яка використовується постійним магнітом на проведення потоку в повітряному зазорі, називається вільною МРС.

Наявність повітряного зазору знижує індукцію в магніті від  $B_r$  до  $B$  (рис. 1-1) аналогічно тому, як якби по котушці, одягненою на кільце, пропустили розмагнічуючий струм, що створює напруженість  $H$ . Це міркування покладено в основу наведеного нижче способу обчислення потоку в повітряному зазорі магніту.

За відсутності зазору вся МДС витрачається на проведення потоку через магніт:

$$F = H_c l_\mu; B = B_r$$

де  $l_\mu$ - довжина магніту.

При наявності повітряного зазору частина МРС буде витрачатися на проведення потоку через цей зазор:

$$F = F_\mu + F_\delta$$

Припустимо, що ми створили таку розмагнічуючу напруженість магнітного поля  $H$ , що

$$H l_\mu = F_\delta$$

та індукція при цьому стала рівною  $B$ .

За відсутності розсіювання потік в магніті дорівнює потоку в повітряному зазорі:

$$B S_\mu = F_\delta \Lambda_\delta = \Lambda_\delta \Lambda_\delta$$

де  $S_\mu$  переріз магніту;  $\Lambda_\delta = \mu_0 S_\delta / \delta$ ; де  $\mu_0$  - магнітна проникність повітряного зазору.

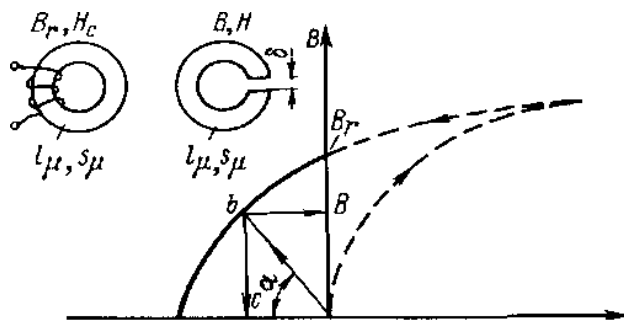


рис 1.1 – криві розмагнічування

магніту

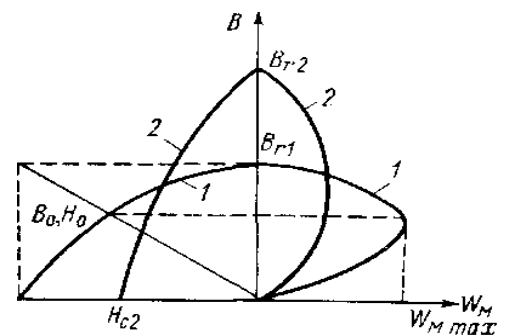


рис 1.2 – визначення енергії

магнітної

З рис 1.1 випливає що:

$$B/H = l_\mu \Lambda_\delta / S_\mu = \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Phi_\delta = B S_\mu / \sigma$$

Індукція в робочому зазорі

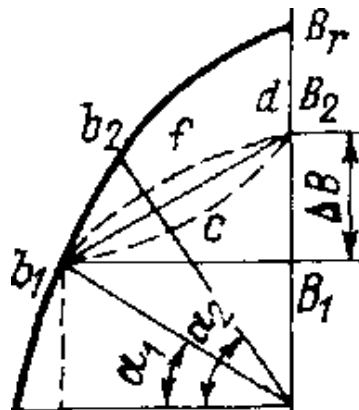
$$B_\delta = \Phi_\delta / S_\delta$$

Прямі магніти. Вираз  $\Phi_{\delta} = BS_{\mu} / \sigma$  дає рішення задачі для магнітів замкнутої форми, де провідності зазорів можуть бути обчислені з достатньою для практичних цілей точністю. Для прямих магнітів задача обчислення провідностей потоку розсіювання вельми важка. Потік обчислюється за допомогою досвідчених залежностей, що пов'язують напруженість поля магніту з розмірами магніту.

Вільна магнітна енергія. Це та енергія, яку віддає магніт в повітряних зазорах. При розрахунку постійних магнітів, виборі матеріалу і необхідних співвідношень розмірів прагнуть до максимального використання матеріалу магніту, що зводиться до отримання максимального значення вільної магнітної енергії.

магнітна енергія зосереджена в повітряному зазорі, пропорційна проєкції потоку в зазорі і МРС:

$$W_M = \frac{1}{2} \Phi_{\delta} F_{\delta}$$



Криві повернення. У процесі роботи може змінюватися повітряний зазор. Припустимо, що до введення якоря індукція дорівнювала  $B_1 \text{tg} \alpha_1$ . При введенні якоря зазор  $\delta$  змінюється, і такого стану системи відповідають кут  $\alpha_2$  і велика індукція. Однак збільшення індукції відбувається не по кривій розмагнічування, а за деякою іншою кривою  $b_1cd$ , названої кривою повернення. При повному замиканні ( $\delta = 0$ ) ми мали б індукцію  $B_2$ . При зміні зазору в зворотному напрямку індукція змінюється по кривій  $dfb_1$ . Криві повернення  $b_1cd$  і  $dfb_1$  є кривими приватних

циклів намагнічування і розмагнічування. Ширина петлі зазвичай невелика, і петлю можна замінити прямою  $b_1 d$ . Відношення  $\Delta B / \Delta H$  називається зворотною проникністю магніту.

Старіння магнітів. Під старінням розуміють явище зменшення магнітного потоку магніту з плином часу. Це явище визначається рядом причин, що перераховуються нижче.

Структурне старіння. Матеріал магніту після гарту або відливання має нерівномірну структуру. З часом ця нерівномірність переходить у більш стабільний стан, що призводить до зміни значень  $B$  і  $H$ .

Механічне старіння. Відбувається внаслідок ударів, поштовхів, вібрацій і впливу високих температур, які послаблюють потік магніту.

Магнітне старіння. Визначається впливом зовнішніх магнітних полів.

Стабілізація магнітів. Будьякий магніт перед установкою його в апарат повинен бути підданий додатковому процесу стабілізації, після якого збільшується опір магніту до зменшення потоку.

Структурна стабілізація. Полягає в додатковій термічній обробці, яка проводиться до намагнічування магніту (кип'ятіння загартованого

магніту протягом 4 год після загартування). Сплави на основі сталі, нікелю та алюмінію не вимагають структурної стабілізації.

Механічна стабілізація. Намагнічений магніт піддається перед установкою в апарат ударам, вібраціям в умовах, близьких до режиму роботи.

Магнітна стабілізація. Намагнічений магніт піддають дії зовнішніх полів змінного знака, після чого магніт стає більш стійким до впливу зовнішніх полів, до температурних і механічних впливів.



## Самостійна робота №9

**Тема:** Статичні та механічні характеристики апаратів. Динамічні характеристики електромагнітів.

**Мета:** вивчити статичні та механічні характеристики апаратів; динамічні характеристики електромагнітів.

### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Механічні та статичні характеристики апаратів
- 2 Динамічні характеристики електромагнітів

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

### **Питання для самоконтролю:**

- 1 Яку залежність представляє механічна характеристика апаратів?
- 2 Яку залежність представляє статична характеристика апаратів?
- 3 Яку залежність представляє динамічна характеристика електромагнітів?
- 4 Побудуйте механічну характеристику та поясніть її проміжки.

## 1 Механічні та статичні характеристики апаратів

Для утримують електромагнітів інтерес представляє тільки сила  $P$ , створювана електромагнітом при незмінному ( притягнутому ) положенні деталі.

Для притягують електромагнітів нас цікавить залежність створюваного електромагнітом зусилля від робочого зазору  $P = f(\delta)$  або залежність моменту від кута розчину якоря  $M = f(\alpha)$ , так як для приведення в дію того чи іншого апарату необхідно подолати його протидіючі сили, що змінюються по ходу якоря у різних апаратів порізному. Приклади тягових характеристик деяких електромагнітів наведено на рис.1.

Під механічною характеристикою апарату розуміють залежність сумарної сили опору, протидіє переміщенню рухомої системи, від ходу якоря. Сумарна сила опору складається з протидіючих сил отключающих і контактних пружин, ваги рухомої системи і сил тертя в підшипниках і шарнірах між рухомими деталями. При цьому протидіючі сили пружин і ваги завжди спрямовані в одну сторону незалежно від напрямку переміщення якоря, сили тертя змінюють свій напрямок в залежності від напрямку руху якоря. Характеристики зазвичай будуються: для прямоходових рухливих систем в осях « протидіюча сила  $P_{отр}$  - робочий зазор  $\delta$  », для поворотних магнітних систем в осях « протидіючий момент  $M_{отр}$  - кут повороту  $\alpha$  », де  $P_{отр}$  і  $M_{отр}$  - відповідно відривні зусилля і момент.

При включенні

$$P_{отр} = P_{пруж} \pm G + P_{тр}$$

і відповідно

при відключенні

$$M_{отр} = M_{пруж} \pm M_G + M_{тр};$$

$$P_{отр} = P_{пруж} \pm G - P_{тр}$$

і відповідно

$$M_{отр} = M_{пруж} \pm M_G - M_{тр},$$

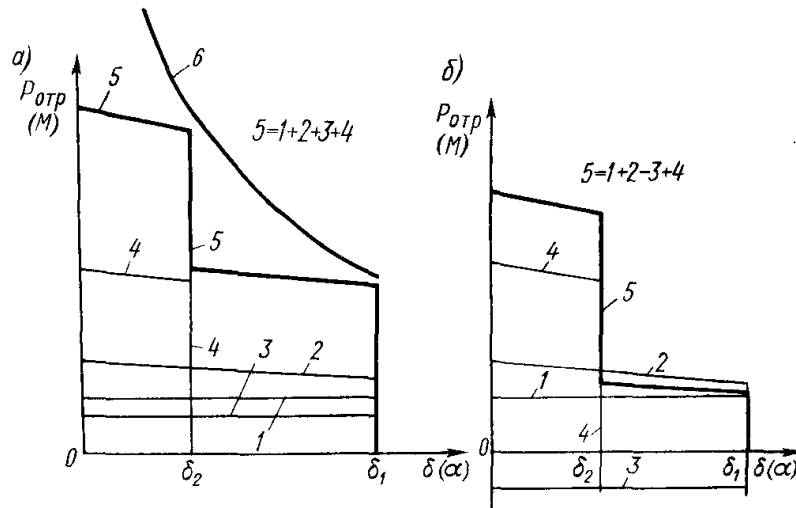


Рис.2 Механічна характеристика контактора: а - при включенні; б - при відключенні де  $P_{пруж}$  - зусилля, створювані відключають та контактними пружинами;  $G$  - вага рухомої системи, залежновід конструкції вага може протидіяти (+) або допомагати включенню;  $P_{тр}$  - силитертя.

У загальному випадку механічна характеристика являє собою ламану лінію (рис. 2). Як приклад розглянемо побудову механічної характеристики електромагнітного контактора при включенні і відключенні. У точці  $\delta_1$  діють вага рухомої системи (крива 1), сила відключає пружини (крива 2) і силитертя (крива 3). При русі якоря  $P_{отр}$  зростає за рахунок додаткового стиснення відключає пружини. У точці  $\delta_2$  відбувається зіткнення контактів, при цьому  $P_{отр}$  зростає спочатку стрибкоподібно за рахунок початкового натискання (крива 4), а потім плавно за рахунок додаткового стиснення контактних пружин. Крива 5 являє собою суму кривих 1-4 і є механічною характеристикою розглянутого апарату.

## 2 Динамічні характеристики апаратів

Тягова характеристика  $P$  (крива б) являє собою залежність сили тяжиння електромагніту від зазору (відповідно залежність моменту тяжиння від кута повороту якоря). Рух якоря почнеться, коли електромагнітна сила тяжиння при  $\delta = \delta_1$  стане більше протидіє. Для забезпечення чіткого і надійного включення апарату тягова характеристика повинна лежати вище механічної та

відповідатий. Залежновідконструкції і роду струму електромагнітуможуть бути отримані різного роду статичні тягові характеристики, як це показано на рис. 1 .

Розташування котушки в магнітній системі щод робочого зазору в значній мірі визначає потік розсіювання. Таким чином, при даній МРС значення сили тяжіння електромагніта також залежить від розташування котушки в магнітній системі. Велика сила тяжіння виходить, коли робочий зазор розташований всередині котушки. При цьому котушка повинна бути зміщена в сторону якоря.

## Самостійна робота №10

**Тема:** Уповільнена та прискорена дія електромагніту. Поляризовані електромагнітні системи та гальмувальні пристрої.

**Мета:** ознайомитися з уповільненою та прискореною дією електромагніту; поляризованими електромагнітними пристроями; призначенням та принципом дії гальмувальних пристроїв.

### Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Уповільнена та прискорена дія електромагніту
- 2 Поляризовані електромагнітні системи та гальмувальні пристрої

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

### Питання для самоконтролю:

- 1 Яким чином досягається уповільнена дія електромагніту?
- 2 Яким чином досягається прискорена дія електромагніту?
- 3 Поясніть принцип дії поляризованої електромагнітної системи.
- 4 Як проводиться розрахунок тягових сил?
- 5 Яка область застосування поляризованих електромагнітних систем?
- 6 Яка область застосування гальмувальних пристроїв?

## 1 Уповільнена та прискорена дія електромагніту

У ряді випадків на практиці необхідно уповільнити або прискорити дію електромагніта.

Уповільнення дії електромагніту постійного струму може бути досягнуто збільшенням його постійної часу, або збільшенням індуктивності самої котушки, або послідовним включенням додаткової котушки індуктивності  $L$  (рис. 1, а). Останнє застосовується рідко. Включення паралельно котушці конденсатора  $C$  (рис. 1, б) також дає уповільнення спрацьовування.

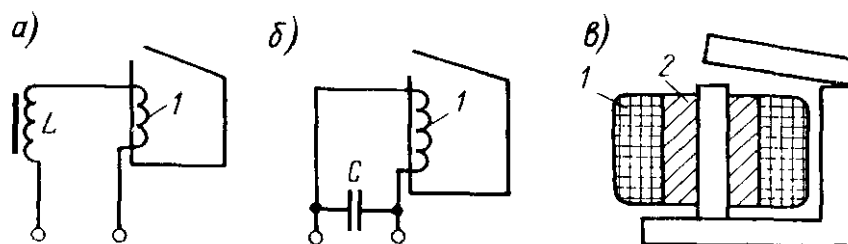


Рис. 1. Схеми уповільнення спрацьовування електромагніта 1 - котушка; 2 - короткозамкнута обмотка

Широко застосовується уповільнення дії електромагніту за допомогою короткозамкнутого витка, що має мале електричний опір (рис. 1, в). Короткозамкнений виток (обмотка) уповільнює наростання потоку при включенні електромагніта і в набагато більшому ступені його зменшення при відключенні електромагніту.

Прискорення дії електромагніту може бути отримано за рахунок зменшення його постійної часу. У цьому випадку наявність короткозамкненого витка (обмотки), масивних частин магнітопровода, металевих каркасів котушки і всяких короткозамкнутих витків, утворених з кріпильних та інших деталей, що лежать на шляху потоку, є неприпустимим, так як вони будуть збільшувати час дії електромагніту. Шихтований магнітопровід також призводить до прискорення дії електромагніту.

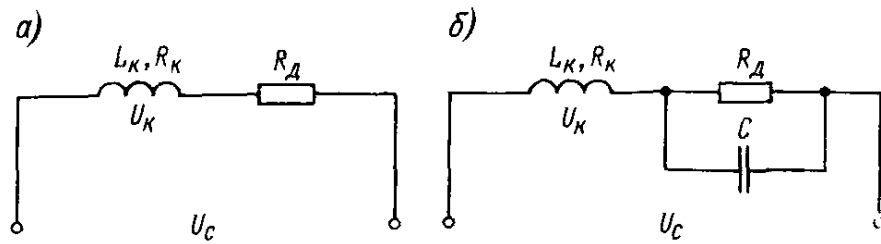


Рис. 2. Схема прискорення спрацьовування електромагнітів постійного струму

Включення послідовно з котушкою додаткового активного опору , (рис.2, а) призводить до зменшення постійної часу всього ланцюга і прискоренню дії електромагніту. При цьому котушка повинна бути розрахована тільки на частину напруги мережі

$$U_k = U_c \frac{R_k}{R_k + R_d}.$$

Ще більше прискорення може бути отримано при включенні електромагніта за схемою рис. 2,б. У момент включення конденсатор являє собою дуже маленький опір. Опір  $R_d$  виявляється як би зашунтуваним. Майже вся напруга мережі виявляється прикладеною до котушки, розрахованої тільки на частину напруги. Струм в котушці електромагніту швидко наростає, і включення електромагніта прискорюється. Коли конденсатор зарядиться, струм в ланцюзі буде визначатися сумарним опором  $R_k + R_d$ , як у схемі на рис. 2, а.

## 2 Поляризовані електромагнітні системи та гальмувальні пристрої

Поляризовані електромагнітні системи відрізняються від розглянутих вище наявністю двох не залежних один від одного магнітних потоків: постійного , не залежного від стану схеми , в яку включений механізм , і змінного , залежного від стану схеми , в яку включений механізм . Перший , поляризуючий , потік Фп створюється або постійним магнітом (рис. 1 , а) , або електромагнітом з незалежним харчуванням. Другий , робочий , потік Фе , створюється електромагнітом . Значення і напрямок робочого потоку залежать від стану схеми , в яку включений механізм .

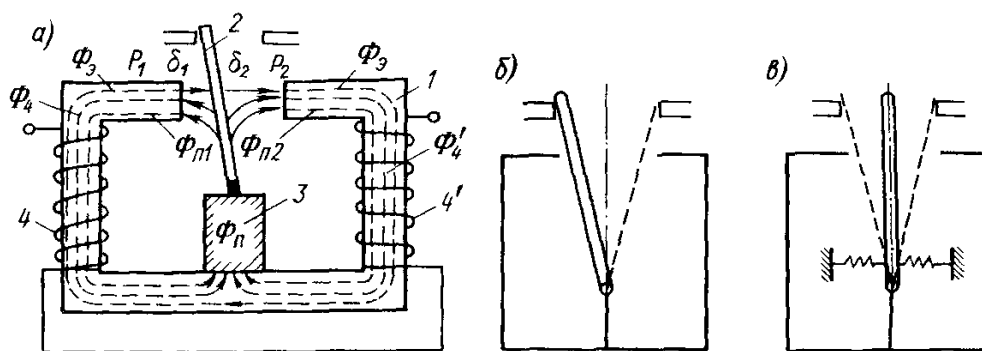


Рис. 1. Принцип пристрою поляризованої магнітної системи

**Принцип дії**. Утворений магнітом 3 поляризуючий потік  $\Phi_n$ , пройшовши через ярі 2, розгалужується. Одна його частина  $\Phi_{n1}$  проходить через зазор  $\delta_1$  ліву частину сердечника 1. Друга його частина  $\Phi_{n2}$  проходить через зазор  $\delta_2$  і праву частину сердечника. Котушками 4 і 4', надітими на сердечник і включеними згідно, створюється робочий потік. Основна його частина  $\Phi_e$  замикається через весь повітряний зазор  $\delta_1 + \delta_2$  і сердечник, охоплюючи обидві котушки. Менші частини цього потоку  $\Phi_4$  і  $\Phi'_4$  замикаються через ярі, відповідний повітряний зазор і частину сердечника, охоплюючи лише одну котушку.

При наявності тільки одного поляризуючого потоку ярі відхиляться до одного з полюсів магніту, оскільки із зменшенням зазору частина поляризуючого потоку в цьому зазорі збільшиться за рахунок зменшення його частки в іншому зазорі. При появі робочого потоку в одному із зазорів матимемо різницю потоків, а в іншому - суму у нашому прикладі в зазорі  $\delta_1$  - потік  $\Phi_{n1} - \Phi_e - \Phi_4$ , в зазорі  $\delta_2$  - потік  $\Phi_{n2} + \Phi_e + \Phi_4$  у міру збільшення робочого потоку потік в зазорі  $\delta_1$  буде все зменшуватися, а в зазорі  $\delta_2$  - збільшуватися. При якомусь співвідношенні потоків ярі перекинеться на праву сторону, тобто система спрацює.

Для повернення системи в початковий стан потрібно змінити полярність струму (а отже, і потоку) в робочих котушках.

**Розрахунок тягових сил**. Вважаємо, що індукція розподілена в зазорах рівномірно, і розрахунок будемо вести, використовуючи формулу Максвелла.



Сили, що діють на якір в зазорах  $\delta_1$  і  $\delta_2$  від усіх потоків, позначимо відповідно  $P_1$  і  $P_2$ .

При наявності тільки поляризуючого потоку

$$P_1 = \frac{\Phi_{n1}^2}{2\mu_0 s_\delta}; \quad P_2 = \frac{\Phi_{n2}^2}{2\mu_0 s_\delta}.$$

Сумарна сила, що діє на якір,

$$P = P_1 - P_2 = \frac{\Phi_{n1}^2 - \Phi_{n2}^2}{2\mu_0 s_\delta}.$$

**Форми магнітних систем** . За джерела МДС поляризуючого поля розрізняють системи з постійним магнітом і системи з електромагнітом , що живиться від незалежного джерела .

По конструкції розрізняють системи з послідовним магнітним ланцюгом , з паралельним , або диференціальним , магнітним ланцюгом і з мостовим магнітним ланцюгом. У мостовому магнітному ланцюга якір залишається в нейтральному положенні при відсутності струму в робочих обмотках .

**Область застосування** . Поляризовані системи знаходять широке застосування в установках дротового зв'язку , а також в пристроях електросилової автоматики , релейного захисту , системах телекерування , залізничної сигналізації та блокування. Особливостями цих систем є спрямованість дії , висока чутливість , велика кратність термічної стійкості , швидкодію.

## Самостійна робота №11

**Тема:** Вимикачі електромагнітні та вакуумні.

**Мета:** вивчити область застосування, призначення, принцип дії та будову вимикачів електромагнітних і вакуумних.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Вимикачі електромагнітні.
- 2 Вимикачі вакуумні.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

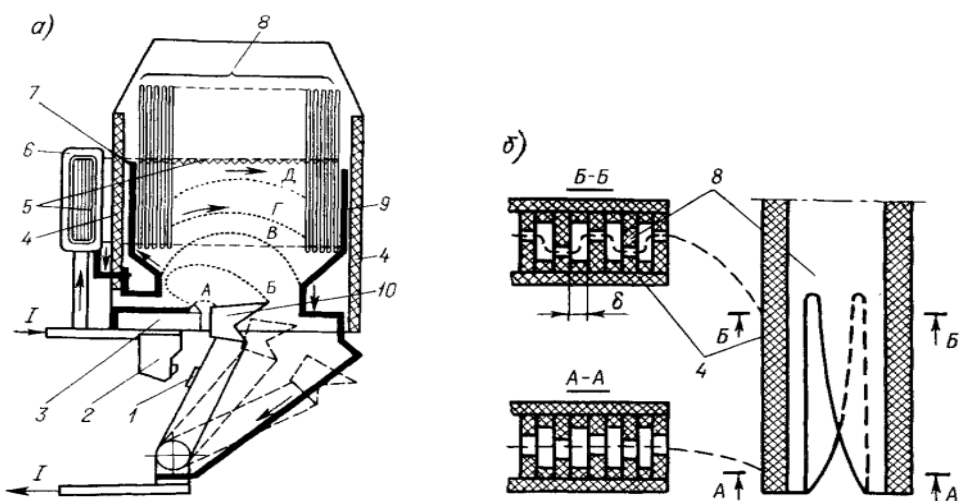
- 1 Яке призначення вимикачів електромагнітних та вакуумних?
- 2 Які переваги та недоліки вимикачів електромагнітних?
- 3 Які переваги та недоліки вимикачів вакуумних?
- 4 Яка будова та принцип дії вимикачів електромагнітних?
- 5 Яка будова та принцип дії вимикачів вакуумних?

## 1 Вимикачі електромагнітні

Вимикачі електромагнітні володіють тими достоїнствами, що для своєї роботи не вимагають ні масла, ні стисненого повітря, ні тим більше елегазу, вони допускають велике число включень. Гасіння в електромагнітних вимикачах засноване на дії на стовбур дуги і досягненні падіння напруги на стовбурі дуги. Вони знаходять застосування як вимикачі для КРУ на напругу 6 - 20 кВ, струми до 3200 А при частих комутаціях ( вимикачі навантаження - вимикачі в колах потужних двигунів та інших навантажень).

Гасіння дуги тут здійснюється за допомогою магнітного дуття в камерах з поздовжніми ( прямими , звивистими і т. п. ) щілинами. Котушки магнітного дуття і струмопроводи до них зазвичай при замкнутах контактах не обтікають струмом. При відключенні виникнена дуга перекидається на ці деталі і включає їх послідовно в ланцюг струму. Збуджується поле гасіння дуги. Дуга гасне, струм в ланцюзі обривається. Таким чином, ці деталі знаходяться під струмом тільки на час гасіння - приблизно 0,02 с.

На рис.1 а) представлена схема контактної і дугогасильної систем електромагнітного вимикача. Контактна система складається з основних 1 і 2 та дугогасильних 3 і 10 контактів , останні мають дугостійкі напайки. дугогасильна система складається з ізоляційної камери 4 і охоплює камеру П- образного магнітопроводу 5 , на середню частину якого надіта дугогасильна котушка 6.



Всередині камери розміщений пакет дугогасильних керамічних пластин 8, розташованих на невеликій відстані один від одного. У нижній частині пластини мають вирізи, які поступово звужуються догори. Пластини утворюють поступово звужуючу зигзагоподібну щілину (рис. 1, б). З боків пакета укріплені дугогасильні роги. Ріг 7 електрично з'єднаний тільки з дугогасильною котушкою. Другий кінець котушки приєднаний до нерухомого контакту. Ріг 9 з'єднаний з рухомим контактом. При замкнутих контактах котушка не обтікається струмом. Виникаюча при розмиканні контактів дуга рухається спочатку під дією тільки електродинамічних сил контуру ( положення А і Б ) і перекидається цими силами на роги 7 і 9. При цьому в контур струму включається дугогасильна котушка, і створене нею магнітне поле заганяє дугу в решітку ( положення В, Г і Д ) , де і відбувається її гасіння. Багато дугогасильні пристрої мають пламенегасильні решітки.

У системах з електромагнітним дуттям утруднено гасіння малих струмів, відповідно малих електродинамічних сил, яких недостатньо для розтягування дуги і перекидання її на роги. Тому багато конструкцій забезпечуються невеликим автопневматичними пристроями, пов'язаними з рухливою системою та діючими на початковому етапі при розходженні контактів.

Всі три полюси вимикача монтується на сталевий зварний рамі, яка має катки. У нижній частині рами розташований привід. Як правило , привід електромагнітний , але може бути й інший. На опорних фарфорових ізоляторах, закріплених на вертикальній стійці рами, укріплена контактна і дугогасильна системи. Струмopідведення при монтуванні вимикача в КРУ забезпечуються втичними контактами. Рухливі контакти трьох полюсів пов'язані ізоляційними тягами із загальним валом вимикача. Дугогасна камера і контакти кожного полюса закриті ізоляційним кожухом, що відокремлює полюси вимикача один від одного і від стінок розподільчого пристрою.

## 2 Вимикачі вакуумні

У вакуумних вимикачах гасіння дуги відбувається у високому вакуумі. Високі дугогасильні властивості цього середовища дозволили створити вимикачі на напругу до 35 кВ. Завдяки своїм перевагам вакуумні вимикачі витісняють інші вимикачі, в тому числі і електромагнітні, а особливо в діапазоні на напруг 6кВ - 10кВ.

Основні їх переваги:

відсутність компресорних установок, масляного господарства, а також необхідності в поповненні і заміні дугогасильного середовища;

висока механічна і комутаційна зносостійкість (до 500000 - 5000000 операцій);

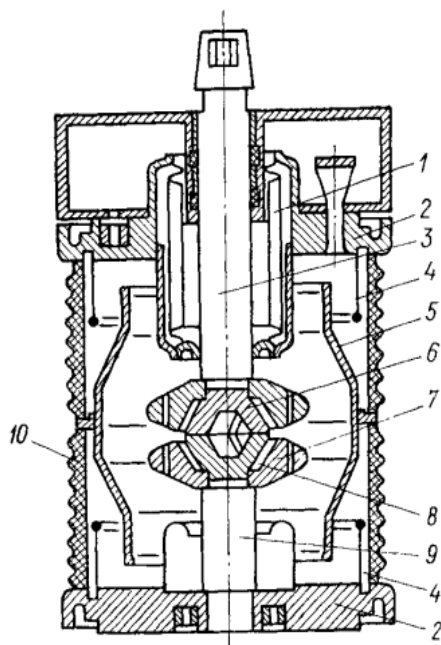


рис 1

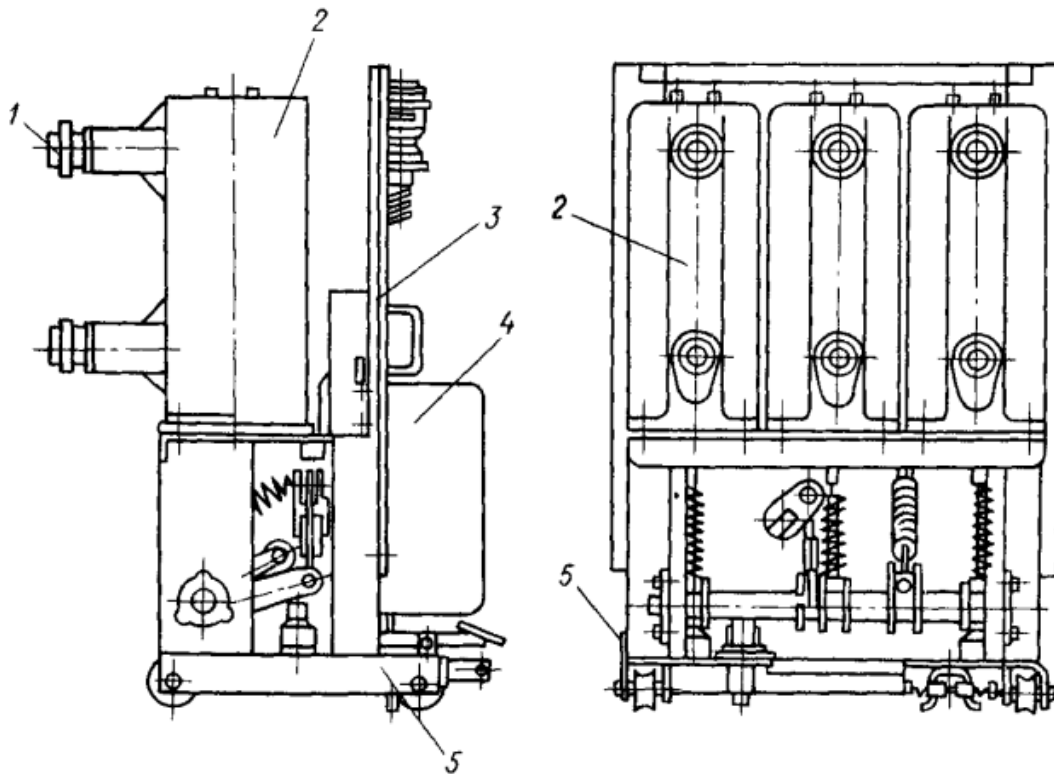
Переваги:

Мінімум обслуговування, безшумність і чистота, зниження експлуатаційних витрат (майже в два рази), термін служби 25 років; повна вибухо-іпожежобезпечність.

Недоліками вакуумних вимикачів є:

труднощі розробки та виготовлення, пов'язані із створенням вакуумностійких матеріалів та спеціальних контактних матеріалів, складністю вакуумного виробництва;

Дугогасильний пристрій ( ДП) вимикача виконується як герметична посудина, тиск усередині якої  $1,33 ( 10^{-4} \dots 10^{-6} )$  Па . Натискання рухомого контакту на нерухомий створюється за рахунок атмосферного тиску. При великих номінальних струмах ставиться додаткова контактна пружина.



Приклад конструкції вакуумного ДП наведено рис1. ДП являє собою ізоляційний (керамічний ) вакуумно-міцний ребристий циліндр 10, закритий фланцями 2. Усередині циліндра розташовані нерухомі контакт 8 і струмопровід 9, рухливі контакт 6 і струмопідвід 3 ( 7 - дугогасильні контакти). Для зниження перехідного опору застосовується багатоточковий торцевий контакт. Струмопідвід 3 пов'язаний з корпусом сильфоном 1, чим і забезпечується можливість переміщення контакту. Сильфон являє собою циліндричку гармошку, виконану з нержавіючої сталі. Зовнішні шини приєднуються до струмопроводів 9 жорстко, а до струмопідводів 3 за допомогою гнучких провідників. Для вирівнювання електричного поля та захисту циліндра 10 від попадання на нього металевих частинок (при відключенні ) служать екрани 4 і 5.

Вимикачі вакуумні серії ВВЕ - 10 випускаються на напругу 10 кВ частотою 50 і 60 Гц , номінальні струми 630 - 3200 А, відключаються струми 20 - 31,5 кА при включаються ударних токах 52 - 80 кА.

На підставі ( викочування візку ) 5 встановлені дугогасильні пристрої 2 полюсів з струмопідводами 1 і електромагнітний привід 4. Привід з системою ричагів і пружин здійснює управління контактами - розмикання, утримання контактів в розімкнутому положенні і забезпечення їх замикання. Вимикач забезпечений відповідним числом допоміжних контактів для ланцюгів управління та сигналізації. На фасадній панелі 5 розміщуються всі допоміжні пристрої .

## Самостійна робота №12

**Тема:** Вимикачі гасіння магнітного поля.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії вимикачів гасіння магнітного поля.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Область застосування вимикачів гасіння магнітного поля.
- 2 Будова та принцип дії вимикача гасіння магнітного поля.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Яке призначення вимикачів гасіння магнітного поля?
- 2 Які є способи гасіння магнітного поля?
- 3 Яка будова вимикача гасіння магнітного поля?
- 4 Опишіть принцип дії вимикача гасіння магнітного поля.



## 1 Область застосування вимикачів гасіння магнітного поля

При несправності (пробій ізоляції, внутрішнє замикання і т. п.) в обмотках електричних машин необхідно якнайшвидше погасити магнітне поле збудження машини. Чим швидше зникне магнітне поле, тим меншими будуть ушкодження. Цю задачу здійснюють вимикачі гасіння магнітного поля, відключаючи обмотку збудження від джерела живлення. Однак безпосереднє її відключення неприпустимо. Унаслідок великої індуктивності обмотки при обриві струму на її затискачах виникає надзвичайно велика напруга, здатна викликати порушення (пробою) ізоляції самої обмотки.

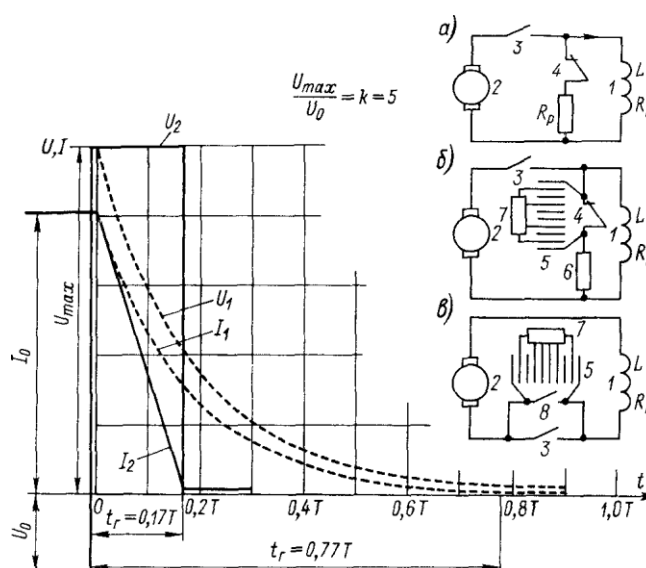


Рис. -Процес гасіння поля та схем вимикачів

Широке поширення одержав спосіб гасіння поля шляхом розряду обмотки збудження на постійний або змінний резистор. Застосовувані в цьому випадку вимикачі (рис. а). мають дві пари контактів - замикають 3 і розмикають 4. Контакти комутують з перекриттям. При включенні замикаючими контактами підключаються до джерела живлення (збудника 2) обмотка збудження 1 і розрядний резистор  $R_p$ , а розмикаючими контактами через дуже невеликий час (соті частки секунди) відключається ланцюг розрядного резистора. Харчування отримує тільки обмотка збудження Б. При відключенні (аварійному або оперативному) робота контактів здійснюється в зворотному порядку. Спершу підключається до обмотки збудження розрядний резистор, а потім обмотка збудження, шунтується розрядним резистором,

відключається від джерела живлення. Відбувається розряд обмотки збудження на підключений до неї резистор. Процес гасіння поля ( струму) при постійному значенні опору резистора показаний кривими  $I_1$  і  $U_1$  на рис.

При розглянутому способі час гасіння поля виявляється відносно великим . Скорочення тривалості гасіння може бути досягнуто за рахунок збільшення опору розрядного резистора. Однак тут швидко досягається межа. Максимальна напруга  $U_{max}$  на обмотці збудження в перший момент дорівнює  $I_0 R_p$  , де  $I_0$  - струм в обмотці збудження в момент початку гасіння , а  $R_p$ - опір резистора. Необхідно , щоб ця напруга не перевищувала допустимого за умовами міцності ізоляції значення  $U_{із}$ , звідки опір розрядного резистора не може перевищувати величини

$$R_p \leq U_{із}/I_0$$

отже, час гасіння поля не може бути зменшено нижче певного значення.

Оптимальним є такий процес гасіння поля, при якому струм в обмотці збудження падає прямолінійно від  $I_0$  до нуля, а напруга на обмотці підтримується постійним протягом усього часу гасіння поля. Здійснити Такий процес вдалося, використавши електричну дугу в якості нелінійного опору [6]. Тут струм і напруга при гасінні поля змінюються за прямим  $I_2$  і  $U_2$  (рис.), час гасіння одно 0,17 Т замість 0, 77Т при гасінні на розрядний резистор.

Запропонований спосіб гасіння поля [6] заснований на тому, що падіння напруги на короткій дузі (довжина 2-3мм) між двома металевими пластинами залишається практично постійним при зміні струму в широких межах. Так при струмі понад 50А напруга на кожній короткій дузі при мідних пластинах становить 28-32В.

На рис. - б наведена схема вимикача, в якому розрядний резистор замінений дугогасильні гратами 5, підключеною паралельно контактам 4. У включеному положенні вимикача, як і раніше, контакти 3 замкнуті, а контакти 4 розімкнуті. При відключенні контакти 4 замикаються, контакти 3 розмикаються (як і раніше), а потім контакти 4 знову розмикаються. Виникаюча на них

електрична дуга заганяється магнітним полем в дугогасильні грати, де вона горить під час всього процесу гасіння поля. Напруга на решітці залишається постійним і дорівнює

$$U_d = nU_k$$

де  $U_d$ -напруга на короткій дузі між двома пластинами решітки;

$n$ - число послідовно включених дуг.

Резистор 6 довелося ввести для виключення короткого замикання на час , коли одночасно замкнуті контакти 3 і 4 в ході відключення вимикача. Опір обмежує резистора 6 багато менше опору розрядного резистора , однак при цьому наявність резистора 6 трохи знижує ефективність розглянутого способу гасіння поля .

При одночасному згасанні дуги у всіх проміжках дугогасительной решітки в момент , коли струм прагне до нуля ( згасання дуги на одному проміжку веде до погасанням всієї дуги ) , на решітці виникає висока напруга , що може привести до пробоя ізоляції обмотки. Для виключення цього явища паралельно решітці включений резистор 7 з відносно великим опором. Резистор розбитий на частини , кожна з яких має різний опір і шунтує певну групу ( секцію) пластин решітки. Одна група пластин не шунтуватися . Така схема забезпечує різночасне згасання дуги в секціях (у нешунтіро - ванній - в останню чергу ) , що дозволяє обмежити перенапруги допустимим значенням.

## 2 Будова та принцип дії вимикача гасіння магнітного поля

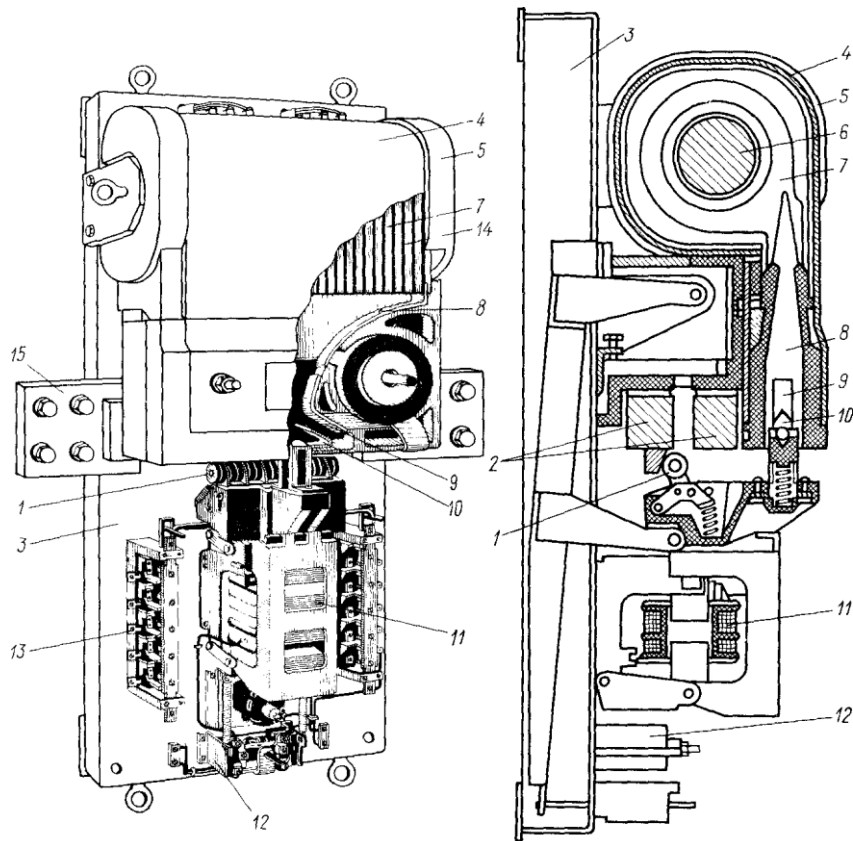


Рис.2-Загальний вигляд вимикача серії АГП

Загальний вид одного з вимикачів серії АГП, виконаного з послідовним включенням дугогасильної решітки, наведено на рис.-2. Струмopрoвід 15 і основні контакти - нерухомі 2 і рухомі 1 - розташовані відкрито, дугогасильні контакти 9, 10 розміщені в камері дугогасіння. Виникаюча при відключенні дуга під дією поперечного магнітного поля, створюваного послідовної котушкою 5, швидко переміщається по рогах 8 і проникає в дугогасильну решітку 7.

Решітка складається з ряду мідних пластин , ізолюваних один від одного кільцями з фібри 14 . Пластини насаджені на сталевий ізолюваний стрижень 6 . Зовні решітка охоплена ізолюваним сталевим кожухом 4 . З боків решітки розміщені котушки 5 . Котушки включаються самої дугою в момент входження її в ґрати . Вони намотані так , що їх магнітні поля спрямовані назустріч один одному. В результаті між стрижнем і кожухом виникає радіальне магнітне поле. Дуга , потрапивши в таке поле , приходить в обертальний рух навколо осі решітки. Вона рухається з великою швидкістю і не плавить пластин

решітки. Вся енергія, що виділяється в дузі , розподіляється по поверхні пластин і поглинається ними .

При відключенні ланцюга постійного струму вся енергія, збережена в відключається ланцюга , виділяється в дузі. Розміри пластин ( обсяг металу ) прийняті такими , що решітка поглинає всю енергію, що виділяється при гасінні поля, не перегріваючись понад  $200^{\circ} \text{C}$ . При цьому вимикач допускає при номінальному струмі п'ять гасінь поля поспіль. Шунтувальний резистор розміщений поза дугогасительной камери.

Електромагніт 11 з електромагнітної засувкою 12 служить тільки для включення. У включеному положенні вимикач утримується засувкою. При звільненні засувки вимикач вимикається . Вимикач забезпечується відповідним числом допоміжних контактів 13 для ланцюгів управління і сигналізації . Монтується вимикач на сталевий плиті 3 .

Вимикачі серії АГП виконуються на номінальні струми 1200 , 1600 , 3200 , 4000 і 6000 А.

## Самостійна робота №13

**Тема:** Вимикачі та перемикачі пакетні. Роз'єднувачі багатоамперні.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою, принципом дії вимикачів та перемикачів пакетних, роз'єднувачів багатоамперних.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

1

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Для чого призначені вимикачі та перемикачі пакетні?
- 2 Для чого призначені роз'єднувачі багатоамперні?
- 3 Яка будова перемикачів пакетних?
- 4 Який принцип дії перемикачів пакетних?
- 5 Яка будова та принцип дії роз'єднувачів багатоамперних?
- 6 Які є серії роз'єднувачів багатоамперних?

## 1 Вимикачі та перемикачі пакетні

Ці апарати застосовуються як комутаційні в ланцюгах напругою 110-380 В (і до 660 В) і струмами до 200 А частотою 50 і 400 Гц для керування асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором, а також в комплектних пристроях.

Приклад пристрою пакетного перемикача наведено на рис. 14-5.

Перемикачі зібрані на квадратному валу з певного числа комутуючих пристроїв (пакетів), мають рукоятку та механізми фіксації її положення. Поворотом рукоятки перемикача приводяться в обертання вал і кулачки комутуючих пристроїв, які розмикають або замикають контакти. Залежно від діаграми комутаційних положень застосовуються кулачки різної конфігурації.

Комутуючі пристрій (рис. 14-5,6) має один або два незалежних контактних елемента, електрично ізольованих або поєднаних залежно від електричної схеми. Воно складається з корпусу 1, контактних містків 2, нерухомих контактів 3, кулачка 4, вкладишів (роликів) 5, штовхачів б, пружин 7.

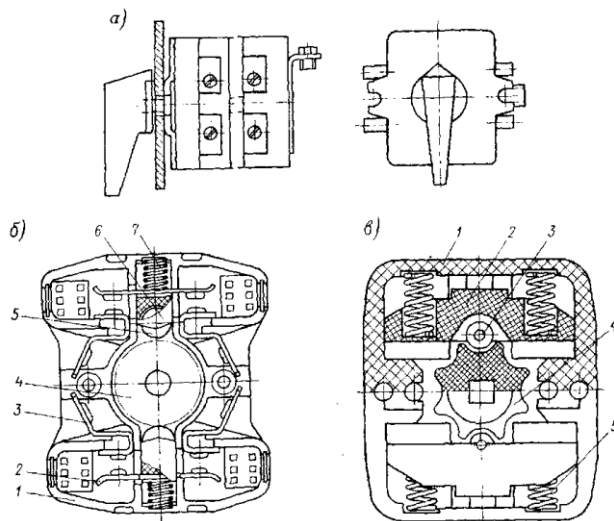


Рис. 14-5. ПеремикачсеріїПКП: а - загальнийвигляд, б-комутуючі пристрій; в механізм фіксації

Механізмфіксації(рис.14-5, в)складається з корпусу1, траверс(важелів) 2, роликів3, зірочки4, пружин5.

## 2 Роз'єднувачі багатоамперні

Ріст одиничних потужностей електротехнічних пристроїв, зокрема застосування потужних випрямних пристроїв, зажадали створення роз'єднувачів у

ланцюгах змінного струму До 6300 А при напрузі 660 У, а в ланцюгах постійного струму до 150 кА при напрузі до 1250 У с електродинамічною стійкістю до 300 кА й термічною стійкістю до 80-100 кА<sup>2-3</sup>.

Рис. 14-3. Модуль полюса роз'єднувача серії РН15

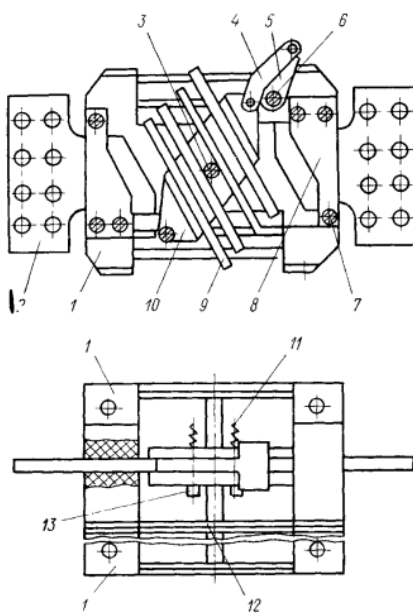
Виконуються роз'єднувачі як із природним повітряним охолодженням, так і з водяником. Приклад пристрою роз'єднувачів з повітряним охолодженням наведений нижче.

Чи роз'єднає серії РЕ15 виконуються на струми 6,3 — 50 кА при напрузі постійного струму 1250 В. Конструкція модульна. Роз'єднувач на даний струм являє собою набір з відповідного числа модулів (комутаційних пристроїв) і рухового привода.

Модуль (мал. 14-3) розрахований на струм 6,3 кА й складається із двох стійок 1, нерухомих контактів 2 з висновками, рухливих контактів 9 і вала 6. Контакти врубные. Нерухомий контакт виконаний із шини й закріплений болтами 7 між ізоляторами 8. Рухливий контакт виконаний у вигляді чотирьох пар паралельних пластин, закріплених у власнику 10 і пазах

циліндра 12, що, обертаючись на осі 11, здійснює включення й відключення контактів головного ланцюга. Контактне натискання забезпечується пружинами 13, закріпленими гвинтами 13. Привод руховий (ручний), здійснюється через вал 6 і важелі 4 й 5.

Роз'єднувачі серії РЕИ на струми 50. 100 й 150 ка, напруга 440 У компонуються з модулів по 50 ка. Модуль збирається з восьми блоків рухливих і нерухомих контактів.





## Самостійна робота №14

**Тема:** Конструкції запобіжників високої напруги. Зопобіжник-вимикач.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії запобіжників високої напруги.

### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Запобіжники високої напруги з дрібнозернистим наповнювачем серій ПК і ПКТ.
- 2 Запобіжники високої напруги з автогазовим, газовим та рідинним гасінням дуги.
- 3 Запобіжник – вимикач.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

### **Питання для самоконтролю:**

- 1 Яке призначення запобіжників високої напруги?
- 2 Які є типи запобіжників високої напруги?
- 3 Наведіть будову запобіжника високої напруги з дрібнозернистим наповнювачем серій ПК і ПКТ. Який його принцип дії?
- 4 Яка будова запобіжника – вимикача? Опишіть його принцип дії.

## 1 Запобіжники високої напруги з дрібнозернистим наповнювачем серій ПК і ПКТ

Призначення і принцип роботи запобіжників високої напруги такі ж, як і запобіжників низької напруги. Основні труднощі створення запобіжників високої напруги - гасіння дуги. У сучасних конструкціях застосовується головним чином гасіння у вузьких каналах при високому тиску (запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем) і гасіння за допомогою автогазовий або рідинного дуття.

Запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем серій ПК і ПКТ . Вони виконуються на напруги 3 ; 6,3; 10 і 35 кВ і номінальні струми 400 , 300 , 200 і 40 А відповідно. Невелика розривна здатність 200 МВ • А для силових запобіжників і 1000 МВ А і більше ( не обмежений) у запобіжників (серія ПКТ) на малі струми для захисту ланцюгів вимірвальних трансформаторів напруги. Така висока відключаема здатність досягається струмообмежувальним ефектом. Повний час відключення силовими запобіжниками струму короткого замикання досягає 0,005 - 0,007 с. Запобіжники призначені для внутрішньої і зовнішньої установки.

Запобіжник (рис. 1) складається з контактних стійок 1, укріплених через відповідні ізолятори 2 на сталевій підставі 3, і патрона 4. Патрон складається з ізоляційного корпусу 8, армованого по кінцях латунними ковпаками 13 та закритого герметично з обох сторін кришками 5. Усередині патрона розміщуються плавкі вставки 7. Весь обсяг заповнений кварцовим піском 6. Перегорання запобіжника сигналізується якорем 14, який після перегорання утримується його сталеву указательною вставкою 11 виштовхується пружиною 12.

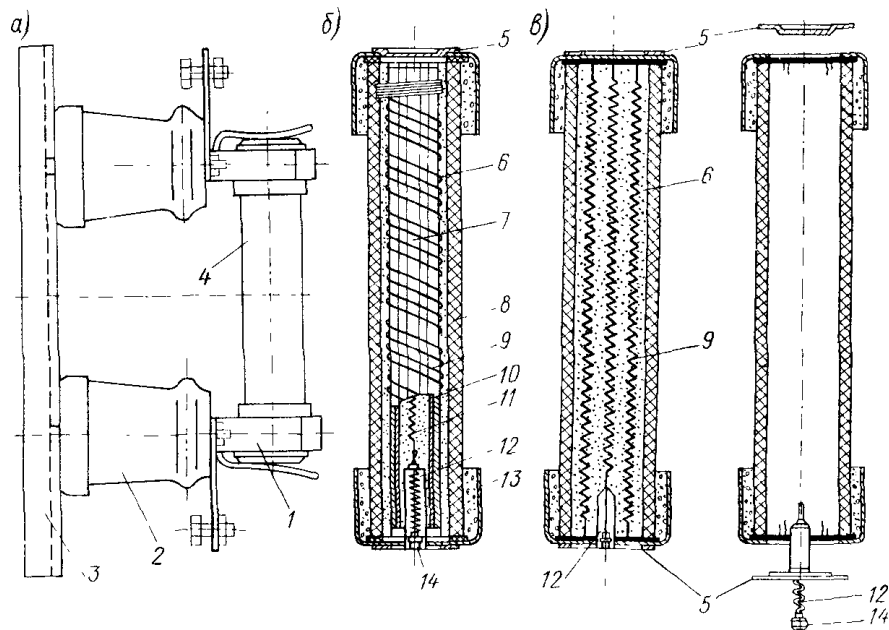


Рис. 1. Запобіжники серіїПК: а - загальний вигляд; б-патрон з плавкою вставкою у вигляді намотування з тонких дротів 9 на керамічному осерді 10; в-патрон з спіральними плавкими вставками

На малі струми плавка вставка виконується у вигляді намотування з тонких дротів 9 на керамічному осерді 10. На великі струми плавкі вставки виконуються у вигляді окремих спіральних дротів 9 (рис. 1,б). Дроту мідні, посріблені або константанові. Така форма вставок зумовлена прагненням розмістити досить довгу вставку в патроні обмеженої довжини. Згідно роботі [4] довжина плавкою вставки (в міліметрах) для цих запобіжників становить  $l = 160 + 70U_{\text{ном}}$ , де  $U_{\text{ном}}$  - номінальна напруга, кВ.

Для зниження температури запобіжника при невеликих перевантаженнях на місця скрутки плавких вставок напаяні олов'яні кульки. На струми 7,5 А і нижче для обмеження перенапруг вставки мають змінний перетин. Різний час перегорання окремих ділянок призводить до зниження перенапруг при відключенні.

2 Запобіжники високої напруги з автогазовим, газовим та рідинним гасінням дуги

**Запобіжники з автогазовим, газовим та рідинним гасінням дуги (рис. 2).** Ці запобіжники виконуються з короткою плавкою вставкою. Плавка вставка

складається з мідної 4 (струмоведучої) і сталевий 5 (утримує) частин. Після розплавлення (перегорання) вставки (спочатку мідної частини, а потім сталевий) дугового проміжок подовжується за допомогою пружин або тиску утворюються газів. Дуга втягується в дугогасним або газогенеруючого середовище і під дією газового чи рідинного дуття гасне.

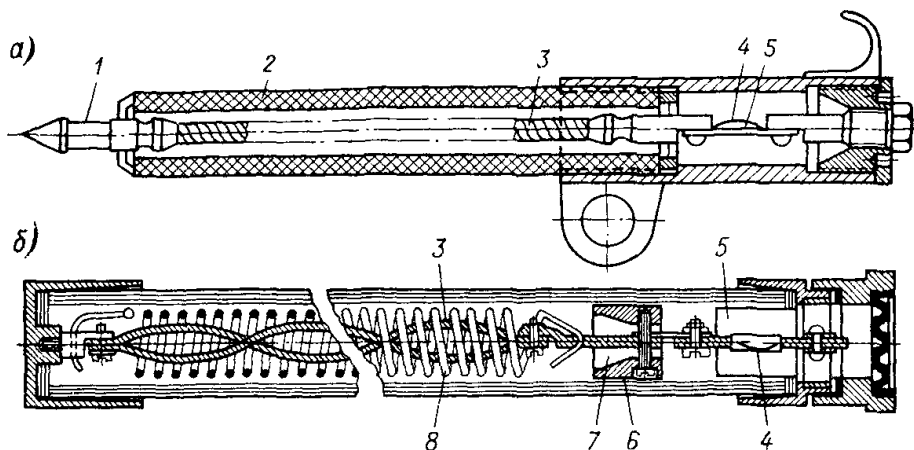


Рис. 2. Запобіжники автогазовий (а) і рідинний (б) гасінням

У стріляючому запобіжнику (тип ПСН - рис . 2 , а ) витягування гнучкого зв'язку 3 з патрона здійснюється пружиною ножа , пов'язаного з контактним наконечником 1 . Дуга , втягнута в газогенеруючого трубку 2 , різко підвищує тиск в трубці ( до 10-12 МПа ) і створює вельми інтенсивне поздовжнє автодуття . Гнучкий зв'язок остаточно викидається з патрона , дуга енергійно гаситься. Гасіння супроводжується викидом розпечених газів , світловим і звуковим ефектом. У рідинному запобіжнику (рис. 2,б ) пружина 8 , розтягуючи дугового проміжок , тягне поршень 6 і проштовхує через отвори 7 рідину , що заповнює весь об'єм під поршнем. Створюване інтенсивне поздовжнє дуття надійно гасить дугу. Автогазове і рідинне гасіння дозволяє створити конструкції запобіжників на напруги 110 - 220 кВ з високою відключаємою здатністю.

### 3 Запобіжник - вимикач

**Запобіжник - вимикач** - апарат (блок) , виконаний як рубильник , в якому як рухомих контактів ( ножів ) застосовані запобіжники. Таким чином , він одночасно призначений для неавтоматичної комутації силових електричних ланцюгів в пристроях розподілу електричної енергії , а також для захисту цих ланцюгів при

токах перевантаження і короткого замикання. Використовується на напругу до 380 В частотою 50 Гц з номінальними струмами до 400 А і відключає здатністю відповідно до застосованим запобіжником.

Апарат складається з несучої конструкції , нерухомих контактів , рухомих контактів - запобіжників , ручного приводу з системою важелів . Привід забезпечує необхідне переміщення патронів запобіжників з положення « Відключено » у положення « Включено » і назад . У закритому виконанні мається блокування, що унеможлиблює відкривання дверцят ( кожуха ) при включеному положенні апарату і включення апарату при відкритих дверцятах .

## Самостійна робота №15

**Тема:** Контактори змінного струму вакуумні та підвищеної частоти. Пускачі магнітні.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії контакторів змінного струму вакуумних та підвищеної частоти, пускачів магнітних.

### **Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Контактори змінного струму вакуумні.
- 2 Контактори змінного струму підвищеної частоти.
- 3 Пускачі магнітні

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

### **Питання для самоконтролю:**

- 1 Яке призначення контакторів змінного струму?
- 2 Наведіть будову контакторів змінного струму вакуумних.
- 3 Опишіть принцип дії контакторів змінного струму вакуумних.
- 4 Наведіть будову контакторів змінного струму підвищеної частоти.
- 5 Опишіть принцип дії контакторів змінного струму підвищеної частоти.
- 6 Яке призначення та будова пускачів магнітних?

## 1 Контактори змінного струму вакуумні

Контактори вакуумні забезпечують високу комутаційну здатність. Наприклад, у контактора на номінальний струм 400 А при напружених 660-1140 В відповідно струм включення 8800 - 6500 А, струм відключення 4800 - 3450 А, струм динамічної стійкості 10000 А, термічна стійкість 8000 А<sup>2</sup>-с. Гасіння дуги відбувається без будь-якого ефекту при першому проходженні струму через нуль. Ці контактори розроблені в СРСР на струми до 630 А, напруга до 1140 В частотою 50 і 60 Гц, на частоту включень до 1200 вкл / год. Пристрій їх покажемо на прикладі контакторів серії КТ12Р (рис. 1).

Контактор виконаний блокової конструкції і складається з пластмасового корпусу 2, на якому закріплені блок котушок електромагнітного приводу 1, блоки вакуумних дугогасильних камер 3 (розміщені за котушками) і блоки допоміжних контактів. У положенні «Відключено» (контакти розімкнені, зазор контактів 1,2-1,5 мм) рухомі частини контактора фіксуються пружиною. Включення здійснюється, як і у інших контакторів, подачею напруги на приводний електромагніт, який за допомогою свого якоря і валу стискає пружину і «звільняє» контакти, дозволяючи їм замкнутися під дією різниці тисків зовнішнього середовища і вакууму в камері. Переміщення рухомого контакту в камері забезпечується сильфоном, на якому він укріплений.

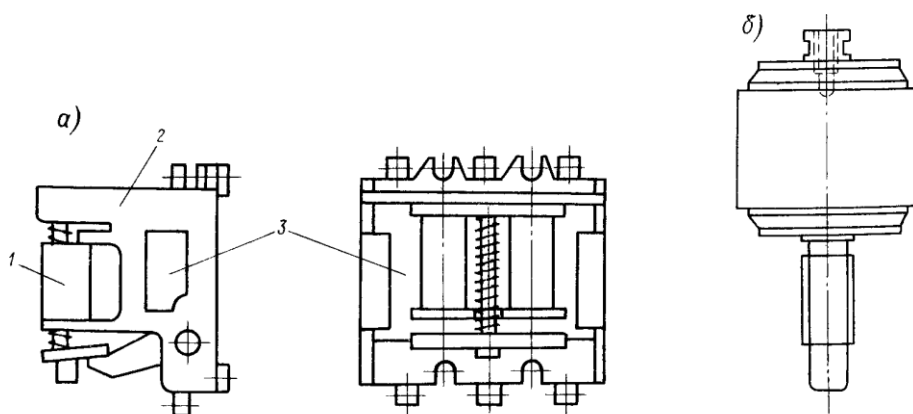


Рис. 1. Вакуумний контактор: а - загальний вигляд, б - загальний вид вакуумної камери

Контактори випускаються для роботи в трифазних мережах 380 В при частотах 400 і 500 Гц і в однофазних мережах 800 і 1600 В при частотах 2500 і 8000 - 10000 Гц.

Для частот 400 і 500 Гц можуть бути застосовані контактори змінного струму промислової частоти. Через більш високих втрат у струмопроводах при зазначених частотах доводиться знижувати номінальний струм на 10-15%. Втягуючі котушки виконуються для підключення до мережі змінного струму промислової частоти або до мережі постійного струму. У разі потреби живлення котушок від мережі підвищеної частоти, вони підключаються через випрямні пристрої .

Для частоти понад 2000 Гц необхідно конструювати спеціальні контактори . При 2000 Гц і вище дуга не втягується в дугогасильні грати. Гасіння з послідовною дугогасильною котушкою також не може бути тут застосовано , тому що при зазначених частотах котушка являє собою велике індуктивний опір і падіння напруги на ній може досягти 50-100 В. Контактна система виявляється в сильному магнітному полі змінної частоти , внаслідок чого вона буде сильно нагріватися . Таким чином , основне завдання конструювання контакторів на підвищену частоту - це створення відповідних дугогасильних пристроїв і струмопроводів . Зважаючи обмеженого випуску контакторів на підвищену частоту їх конструювання доцільно виконувати на базі контакторів на 50 Гц з максимальним застосуванням уніфікованих вузлів і деталей.

Враховуючи, що високочастотні установки, куди поставляються контактори, мають системи водяного охолодження, доцільно і контактори виконувати з водяним охолодженням. Приклад такого контактора наведено на рис. 2.



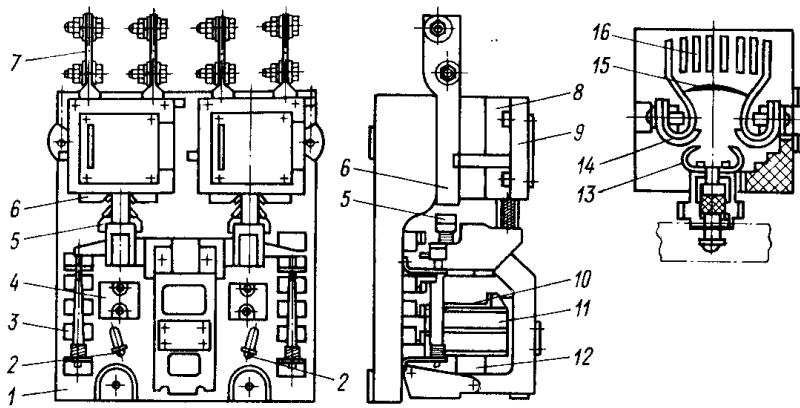


Рис. 2. Водоохолоджуваний контактор на підвищену частоту

Контактор двополюсний, має основні (5 - рухливий і 6 - нерухомий) контакти, розташовані відкрито, і дугогасильні (13 - рухливий і 14 - нерухомий) контакти, розташовані в камері 8 дугогасильного пристрою. Нерухомі основні контакти охолоджуються водою, яка підводиться через штуцера 2. Охолодження нерухомих контактів відбувається настільки інтенсивно, що рухливі контакти не вимагають водяного охолодження. Ця обставина спрощує конструкцію. Струмopідвід виконаний шинами 7 (широкими і тонкими для зниження впливу поверхневого ефекту).

Дугогасильний пристрій поєднує в собі магнітне дуття із дугогасильними гратами. Латунні пластини решітки 16 вбудовані в вузьку щілину замкнутої асбоцементної камери 8. Щілина має форму сопла. Послідовна котушка 9 з шіхтованногомагнітопровода створює магнітне поле тільки в області контактів і входу в грати.

Магнітне поле підводить виникаючу при розбіжності контактів дугу 15 до дугогасильної решітки, але її недостатньо, щоб загнати дугу в грати. Опинившись біля краю пластин, дуга закриває вихід нагрітим газам з камери. Тиск усередині обмеженого обсягу камери швидко зростає. Спільною дією цього тиску і магнітного поля дугогасильної котушки дуга вганяється у грати, де гасне при першому проходженні струму через нуль. Мале значення енергії, що виділяється дугою в решітці, дозволяє застосовувати тонкі і вузькі пластини. Тим самим обмежується значення вихрових струмів і знижується їх протидія

входженню дуги в ґрати . Таким чином , поєднання дугогасильної решітки з магнітним дугтям і газовим тиском дозволяє створити ефективний малогабаритний пристрій . Водяне охолодження основних контактів і розглянутий дугогасильний пристрій дають можливість виготовляти високочастотні контактори малих розмірів.

Магнітна система - змінного струму ( сердечник 10 , якір 12 ) , з котушкою постійного струму 11 , який живиться через випрямляч 4 .

Контактор монтується на ізоляційній підставі 1 і забезпечується допоміжними контактами 3 .

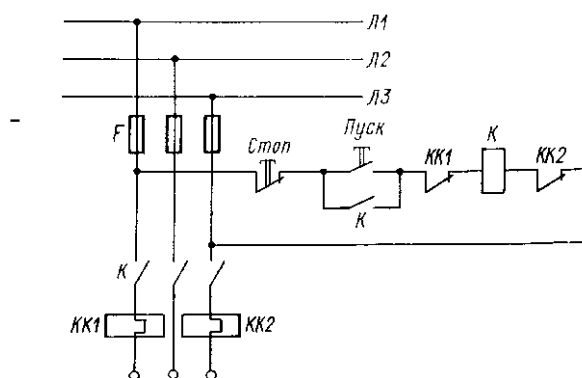
### 3 Пускачі магнітні

Магнітні пускачі призначені для прямого пуску , зупинки і захисту короткозамкнутих асинхронних електродвигунів (прямий пуск - пуск без введення в ланцюг двигуна резисторів ). Магнітний пускач (рис. 16.12 ) - відносно просте комплектний пристрій, що містить один (нереверсивний пускач) або два (реверсивний пускач) контактора К, електротеплові реле КК1, КК2 (два або три) і кнопки управління (« Пуск » , «Стоп »). Контакторами проводиться комутація силового ланцюга. Теплові реле здійснюють захист від перевантажень і «втрати фази ». Апарати встановлюються на плиті або рамі (відкрите виконання) або розміщуються в ящику (закрите виконання).

У пускачах використовуються контактори категорій застосування АС -2 і АС- 3 . У технічних даних вказується не тільки номінальний струм пускача, але і потужність електродвигуна, з яким він може працювати при різних напругах.

Рис.16.12

Принципова схема магнітного пускача



## Самостійна робота №16

**Тема:** Апарати з рідинно-металевими контактами.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії апаратів з рідинно-металевими контактами.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

1 Реостат з плавною зміною опору. Роз'єднувач багатоамперний.

2 Електромагнітний ртутний контактор.

3 Рідко-металевий самовідновлювальний запобіжник. Комутаційний пристрій «різального» типу.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

1 Які є різновиди апаратів з рідинно-металевими контактами?

2 Яка будова та принцип дії реостата з плавною зміною опору?

3 Яка будова та принцип дії роз'єднувача багатоамперного?

4 Яке призначення електромагнітного ртутного контактора?

5 Який принцип дії рідко-металевого самовідновлювального запобіжника?

6 Який принцип дії комутаційного пристрою «різального» типу?

## 1 Реостат з плавною зміною опору. Роз'єднувач багатоамперний

**Реостат з плавною зміною опору (рис. 19-1).** На ізоляційній осі 3 закріплені резистори 2, виконані у вигляді розімкнутих кілець, які з'єднані між собою електрично за допомогою перемички 1. Нижні частини кілець занурені у ванни 5 і 8 з ртуттю, до ванн приєднані струмопідведення 6 і 7. При повороті осі (штурвалом 4) змінюється довжина шляху струму по кільцях, а отже, змінюється і опір реостата. Резистори можуть бути виконані у вигляді труб і охолоджуватися водою. Ванни можуть охолоджуватися і водою. Таким чином, ці реостати можуть виконуватися на струми в тисячі ампер. Весь реостат розміщується в герметичному корпусі, заповненому інертним газом (азотом).

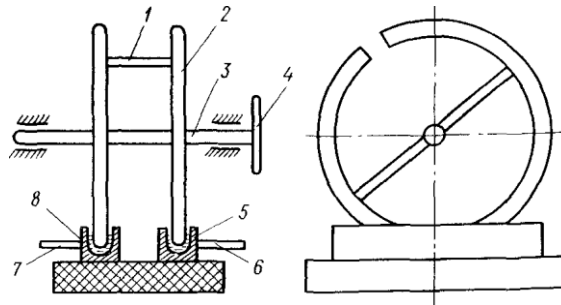


Рисунок- Реостат з плавною зміною опору

**Роз'єднувач багатоамперний** . Конструкція цього роз'єднувача розроблена в МЕІ і наведена на рис. 19-2 . У якості рідкого металу в ньому використовується потрібна евтектика гелію , індію та олова. Апарат складається з співвісно розташованих струмопідводів 1 і 7. У середині струмопідвода 1 є порожнина , в якій розташований рухливий контакт , що складається з феромагнітного плунжера 2 , на якому закріплені концентричні трубки 4 . У зазорах між трубками і в зазорі між рухомим контактом і струмопідведення 1 розміщений рідкий метал 3. У струмопідводів 7 закріплений нерухомий контакт 6 , який також виконаний у вигляді концентричних трубок з рідким металом між ними. В якості ізолятора застосована скляна трубка 5 . Комутація здійснюється впливом зовнішнього магнітного поля на феромагнітний плунжер . Слід зазначити , що конструкція апарату дозволяє використовувати гідності

твердометалевого контакту : трубки 4 можуть бути виконані з тугоплавкого матеріалу , а наявність рідкого металу забезпечує перевагу ЖМК - композиційний контакт. Апарат має необмежені можливості по значенню комутованих струмів за рахунок того , що його контактна система може бути виконана як завгодно великий .

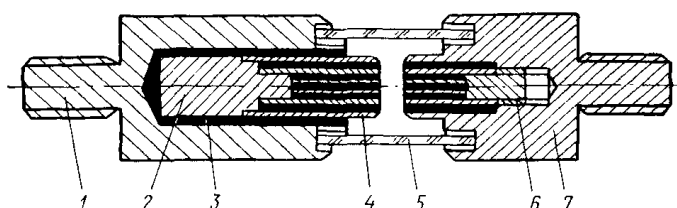


Рис. - Роз'єднувач багатоамперний

**Роз'єднувач для підведення струму до деталей, що не допускає якої б то небуло механічної дії.** Він складається з корпусу 2 з внутрішньою порожниною 4. Деталь 11, до якої підводиться струм, може мати як циліндричну, такі прямокутну форму. Ущільнення 12 виконано з еластичного матеріалу з внутрішньою порожниною 13. Шина 3 призначена для підведення струму.

Сильфон 9 з'єднаний через канал 10 з внутрішньою порожниною ущільнення 12 . Рідкий метал 6 заливається в сильфон 7 і покривається захисною рідиною 5 . На сильфоні 7 закріплений регулювальний гвинт 8 , службовець для забезпечення черговості операцій - герметизації деталі 11 до електричного її приєднання . Сильфон 1 служить для компенсації тиску в порожнині 4 .

Після введення деталі 11 через ущільнення 12 в порожнину 4 стискається сильфон 7 . При цьому відбувається герметизація деталі 11 , а потім здійснюється електричний контакт через рідкий метал . Привідний пристрій ставиться на засувку . Ланцюг готова для включення струму , відключення ланцюга відбувається в зворотному порядку. Ланцюг знеструмлюється, знімається клямка, сильфони 7 л 9 приходять у вихідне положення, деталь 11 може бути відведена.

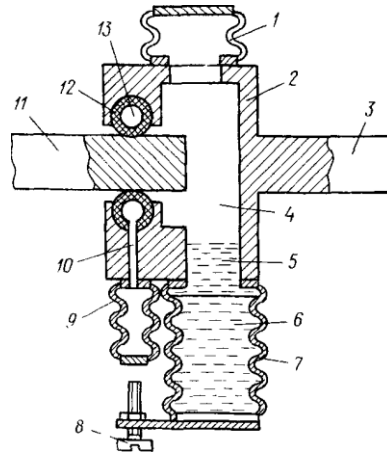


Рис.-Роз'єднувач спеціальний

## 2 Електромагнітний ртутний контактор

**Електромагнітний ртутний контактор**. У корпус 1, розділений ізоляційною перегородкою 2, заливається рідкий метал 3, на поверхні якого плавають порожнисті феромагнітні плунжери 4. При подачі напруги на котушку 5 плунжери 4 занурюються в рідкий метал, який через отвір 6 замикає електричний ланцюг. Розрив ланцюга відбувається при знятті напруги з котушки. Оскільки розрив відбувається по рідкому металу, то забезпечується висока ерозійна стійкість контакту.

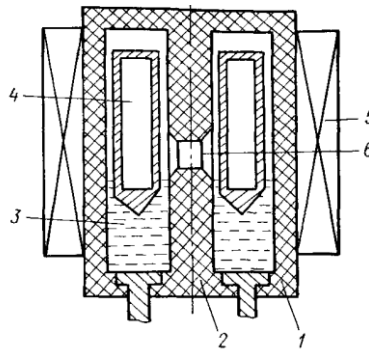


Рис. - Електромагнітний ртутний контактор

3 Рідко-металевий самовідновлювальний запобіжник. Комутаційний пристрій «різального» типу

**Рідко-металевий самовідновлювальний запобіжник.** Це пристрій, який складається з електроізоляційної трубки з капілярним отвором,

заповнений рідким металом. Капіляр з рідким металом закритий герметично і має спеціальний демпфуючий пристрій. При протіканні через капіляр струму певного значення метал в ньому випаровується, утворюється парова пробка і електричний ланцюг розмикається. Через деякий час пар металу конденсується і ланцюг відновлюється.

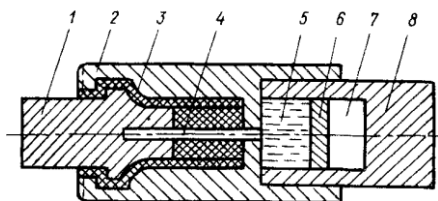


Рис. - Запобіжник рідкометалевий самовідновлювальний. 1, 8- приєднувальні затискачі; 2- металевий корпус; 3- керамічний шар електричної ізоляції; 4- втулка капілярна мотвором; 5- рідкий метал; 6, 7- демпфер: поршень і обсяг стисненого газу

**Магнітогідродинамічним реле.** Реле є два сполучених через магнітогідродинамічний насос 3 і трубки 2 і 4 посудини 1 і 5 з електропровідною рідиною. Продуктивність насоса є функцією вхідних електричних величин. Якщо при певному значенні вхідних величин рідина переміщається вліво, то через деякий час, визначений вхідними величинами, контакти 9 і 10 розмикаються, а контакти 6 і 7 замикаються, здійснюючи тим самим функції управління процесом. Трубка 8 призначена для вирівнювання тиску в судинах 1 і 5.

Останнім часом в рідиннометалічних комутаційних апаратах стали застосовувати феромагнітну рідина як в якості елемента, що переміщує рідкий метал в просторі, так і в якості струмопровідного елемента.

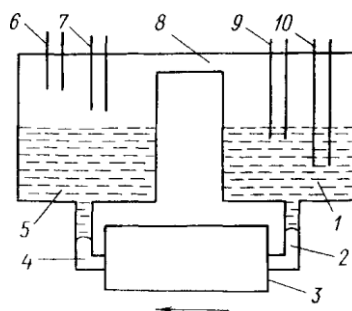


Рис.- Магнітогідродинамічним реле

**Комутаційний пристрій «різального» типу.**

Електроди 1 розміщені в поглибленнях ізоляційних пластин 3 і 5, між якими розташована ізоляційна пластина 4 з отвором 2. Рідкий метал заповнює поглиблення в пластинах 3 і 5 і отвір 2. Коли отвір 2 розташоване між заглибленнями пластин 3 і 5, ланцюг електродів замкнута. При переміщенні пластини 4 в крайнє праве (ліве) становище отвір 2 заповнюється його металом і знаходиться між ізоляційними пластинами, електричний ланцюг розривається.

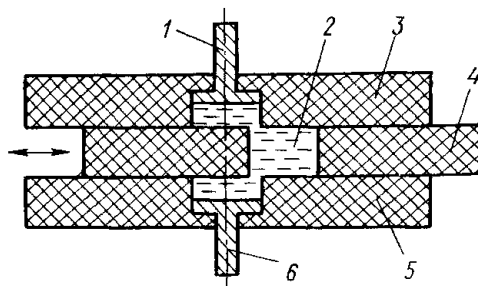


Рис.- Комутаційний пристрій «різального» типу



## Самостійна робота №17

**Тема:** Реле електротеплові та реле часу електродвигунні.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії реле електротеплових та реле часу електродвигунних.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Реле електротеплові.
- 2 Реле часу електродвигунні.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Яке призначення та будова електротеплових реле?
- 2 Яке призначення та будова реле часу електродвигунних?
- 3 Який принцип дії біметалевих електротеплових реле?
- 4 Які є способи нагріву біметалевих пластин електротеплових реле?
- 5 Зарисуйте будову термомагнітного реле.

## 1 Реле електротеплові

Електротеплові реле виконуються на наступних принципах: на перетворенні теплових впливів в механічні переміщення, які і використовуються для приведення в дію виконавчих елементів;

на безпосередньому перетворенні теплових впливів у зміну електричних або магнітних характеристик.

**Біметалічні реле.** Їх дія заснована на різниці лінійного подовження (рис. 1, а) двох пластин з металів з різними коефіцієнтами лінійного розширення. Якщо пластини з двох таких різних металів жорстко з'єднати один з одним і нагріти, то це призведе до того, що складова пластина зігнеться в сторону матеріалу з меншим температурним коефіцієнтом  $\alpha$ . Механічне зусилля, що розвивається пластиною при згинанні, використовується для приведення в дію виконавчого елемента реле - контактів.

Конструктивні форми біметалевих пластин різноманітні. Нагрівання може здійснюватися безпосередньо струмом ланцюга, який проходить по пластині 1 (рис. 1,б); при непрямому нагріванні струм ланцюга проходить по нагрівальному елементу 2, теплота від нагрівального елемента передається пластині; при комбінованому способі нагріву струм ланцюга проходить по пластині і нагрівального елемента.

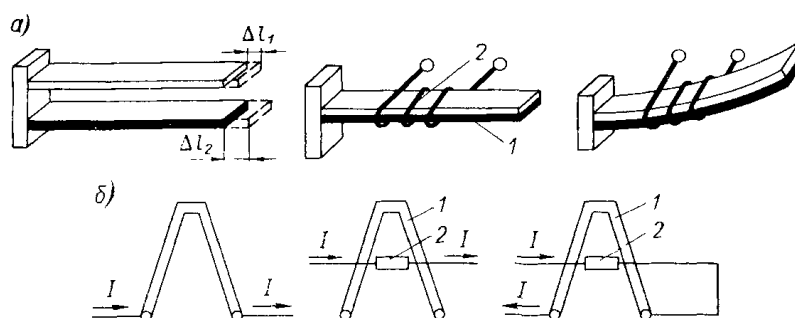


Рис. 1. Принцип роботи біметалічних електротеплових реле (а) і способи нагріву пластин (б)

Деякі схеми пристрою біметалевих електротеплових реле наведено на рис. 2 . Найпростіша схема представлена на рис. 2 , а : при нагріванні пластина 1 зігнеться і, впливаючи через ізоляційний штифт 3 на пружинний контактний

важіль 2 , розімкне контакти 4 . Уставка (за часом , по струму ) спрацьовування регулюється висотою нерухомого контакту . Повернення реле відбувається автоматично при зниженні нагріву . Недоліками конструкції є повільне розмикання контактів , незначна швидкість їх руху і мінливість контактного натискання при замкнутих контактах. Все це призводить до швидкого зносу контактів.

Система по рис. 20 , б позбавлена зазначених недоліків. У замкнутому положенні контакту контактне натискання створюється невеликим магнітом 5 , притягає пов'язаний з біметалічною пластиною яркір 6 . При нагріванні біметалічна пластина прагне відірвати яркір від магніту . Коли температура пластини досягне деякого значення , відповідного уставці спрацьовування , зусилля пластини подолає тяжіння магніту і пластина стрибком перейде в нижнє положення , розмикаючи одні контакти і замикаючи інші . Повернення реле відбувається автоматично після охолодження пластини.

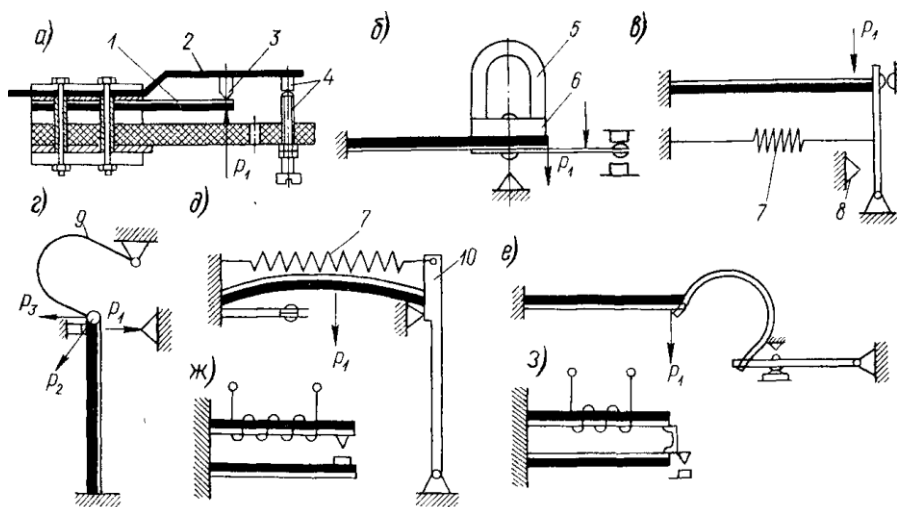


Рис. 2. Деякі схеми пристрою біметалевих електротеплових реле

В системі по рис. 2, в. біметалічна пластина служить засувкою. Вона ж створює контактне натискання за рахунок пружних властивостей контактної важеля. При нагріванні кінець пластини зігнеться і звільнить контактний важіль. Під дією пружини 7 контакти розімкнуться. Рух контакту обмежується упором 8. Ця система не має самоповороту, так як після охолодження пластина не може

повернути контакти у вихідне положення. Повернення реле тут примусовий - зазвичай ручний.

В системі по рис. 2, м. пластинчаста пружина 9 перешкоджає розмиканню контактів доти, поки зусилля  $P_1$ , що розвивається пластиною, не стане більше зусилля  $P_3$  ( $P_2$  - сила, що розвивається пружиною;  $P_3$  - складова цієї сили, що перешкоджає розмиканню контактів). При температурі, коли  $P_1$  стане більше  $P_3$ , пластина стрибком вигнеться і розімкне контакти. Повернення системи відбудеться автоматично після охолодження.

В системі по рис. 2, д. біметалічна пластина, раніше вигнута в бік, протилежний тому, в яку вона вигинається при нагріванні, утримується в цьому положенні за допомогою пружини 7 і рухомого важеля 10. При нагріванні пластина стрибком перегне в інший бік і перемкне контакти. Ця система не має самоповороту. В системі по рис. 2, тобто одночасно відбувається стрибкоподібне перегинання біметалічної пластини і перемикавання контактів. Система має також стрибкоподібний самовозврат.

Недоліком всіх електротеплових реле є зміна уставки спрацьовування залежно від навколишньої температури. Для того щоб зменшити вплив навколишнього температури на струм спрацьовування, слід робочу температуру біметалу вибирати як можна більш високою. Для цих же цілей застосовують другу компенсаційну біметалічну пластину, досягаючи з її допомогою якої компенсації прогину (рис. 2, ж), або компенсації зусилля (рис. 2, з).

Біметалічні електротеплові реле отримали дуже широке поширення як реле захисту електродвигунів (головним чином змінного струму) від неприпустимого перегріву при тривалих перевантаженнях. Надійність і ефективність цього захисту досягаються при збігу тимчасових характеристик по нагріванню у реле і у двигуна. Біметалева пластина повинна при даному струмі перевантаження двигуна досягти температури спрацьовування за такий час, протягом якого двигун може витримувати дану перевантаження. Тому однією з основних характеристик електротеплового реле є времятоковая характеристика (

рис. 3 ) , що виражає залежність часу спрацювання реле від струму, що протікає через нього.

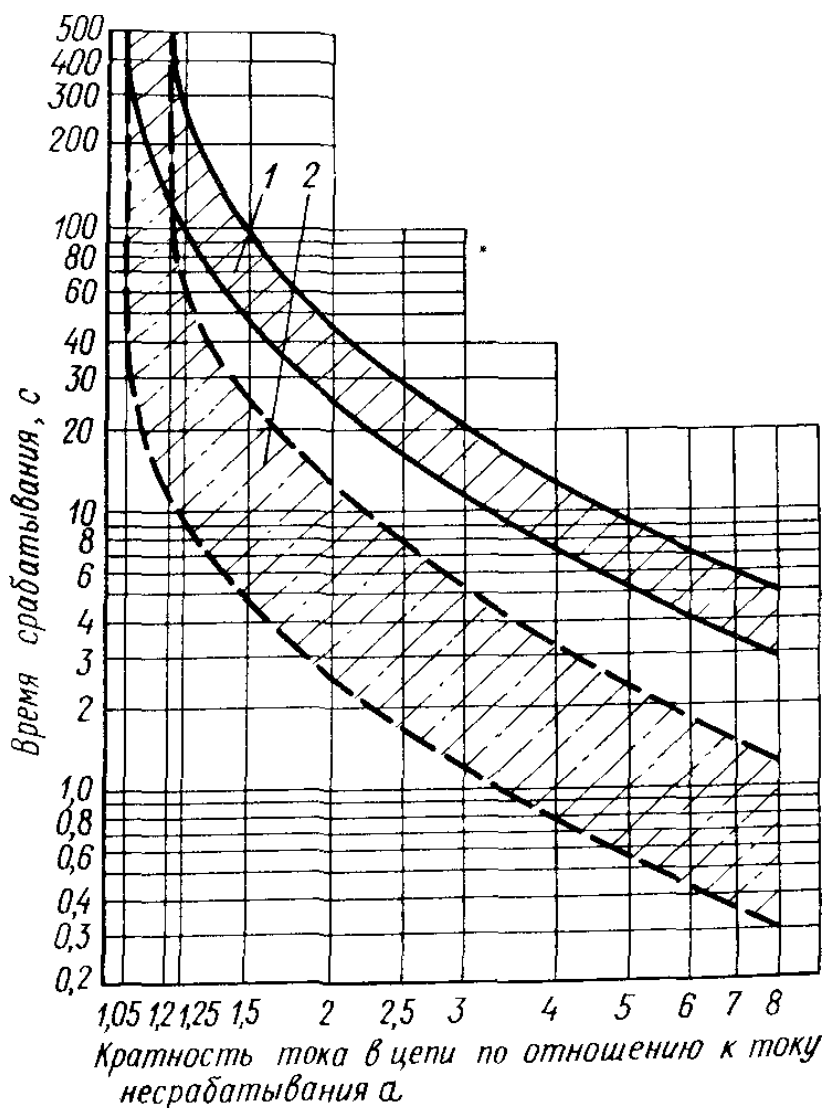


Рис. 3. Времятоковая характеристика спрацювання електротеплового реле з холодного (1) і нагрітого (2) стану

**Термомагнітне реле (рис. 4, а).**

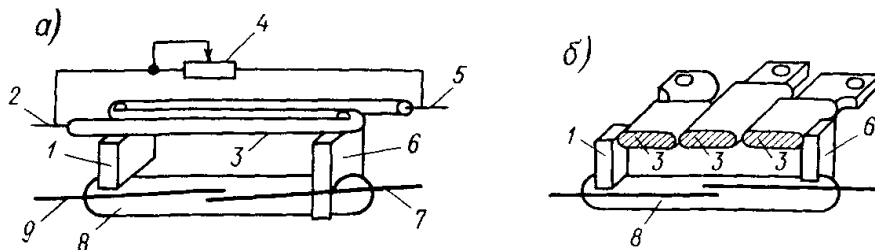


Рис.4 Схема пристрою термомагнітного реле: а однофазного; б – трифазного

Реле виконано на принципі зміни магнітної проникності в залежності від температури. Реле містить послідовну магнітну ланцюг , утворену постійним магнітом 1 , провідником 3 з термомагнітного матеріалу , полюсом ( магнітопроводом ) 6 і герконом 8 . Контрольована ланцюг (струм ) підключається до затискачів 2 і 5 , ланцюг управління - до затискачів 7 і 9. Резистор 4 служить для регулювання значення струму (настройки реле) по провіднику 3 .

Реле працює таким чином. Магнітний потік постійного магніту замикається через провідник 3 , полюс 6 та електроди геркона . Коли струм в контрольованому колі збільшується настільки , що температура провідника 3 досягає точки Кюрі , магнітна проникність провідника різко знижується. Відповідно зменшується потік в магнітного ланцюга , і контакти геркона розмикаються .

На рис. 4 , б показано трифазне термомагнітним реле на великі струми . Ізольовані фазні провідники 3 розташовані тут перпендикулярно до напрямку магнітного потоку і примикають один до іншого своїми бічними поверхнями , так що магнітний потік проходить послідовно по всіх провідникам . Для спрацьовування реле достатньо, щоб один з провідників досяг температури точки Кюрі.

Перевагами термомагнітних реле є стабільність характеристик ( через відсутність тертя, люфтів і теплових залишкових деформацій ) і повний пило-та вологозахист . Вони допускають встройку в двигун , забезпечуючи тим самим більш близький збіг теплового стану реле та двигуна що захищають.

## 2 Реле часу електродвигунні

Реле часу електродвигунні призначені для створення витримки часу при передачі електричних сигналів в системах автоматики і телемеханіки, коли потрібні витримки часу понад 10 с і треба забезпечити строго послідовне комутування (програмування ) кількох кіл. Реле виконуються на витримки часу

від 10 до 900 с з числом керованих ланцюгів до 16 для роботи як при змінному так і при постійному струмі.

Реле складається з наступних основних вузлів:

1) Електродвигуна синхронного трифазного змінного струму або постійного струму з насадженим на його вал черв'яком;

2) Редуктора, уповільнення ( передаточне число) яке відповідає максимальній витримці часу, створеної реле;

3) Контактного пристрою, в який входить контактний набір –відповідний даному виконанню реле число замикаючих , розмикаючих або перемикаючих контактів і відповідне йому число перемикаючих кулачків з пристроями їх установки і регулювання;

4) Електромагнітів ( електромагнітних реле) з відповідними пристроями для управління двигуном і муфтами для зчеплення і розчеплення двигуна з редуктором і редуктора з контактним пристроєм;

5) Зворотних пружин .

Робочий цикл реле при ввімкненому електродвигуні починається з подачі сигналу на зчеплення двигуна з редуктором. Обертання двигуна через редуктор передається на робоче зубчасте колесо і далі на привід кулачків (через загальний вал або інший пристрій ). Кулачки виробляють перемикання контактів в установленій послідовності і з заданою витримкою часу. Одночасно зводиться поворотна пружина.

Після повного обороту робочого зубчастого колеса ( вала з кулачками ) відповідні контакти відключають двигун або муфту зчеплення двигуна з редуктором. Кулачки залишаються в досягнутому положенні. Потім , після зняття команди на роботу реле, робоче зубчасте колесо розчіплюється з редуктором і поворотна пружина повертає кулачки і контакти у вихідне положення. Реле готове до нового циклу роботи.

Реле збирається на металевій підставці і закривається кожухом ( в відповідності з виконанням по захисту ). У кожусі є вікна для спостереження шкал витримок часу.

Зносостійкість реле залежно від витримки часу становить від декількох тисяч до декількох десятків тисяч циклів.

Недоліками реле є складність конструкції і мала зносостійкість. Переваги – великі витримки часу і висока точність послідовності перемикання контактів, що не досягається іншими способами.



## Самостійна робота №18

**Тема:** Тиристори. Логічні операції та логічні елементи.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії тиристорів і логічних елементів.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Тиристори.
- 2 Логічні операції та логічні елементи.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Яке призначення та принцип дії тиристорів?
- 2 Побудуйте вольт-амперну характеристику тиристора. Поясніть її ділянки.
- 3 На що впливає струм управління тиристора?
- 4 Що собою представляють логічні елементи?

## 1 Тиристри

Тиристри - керовані напівпровідникові прилади - призначені для безконтактної комутації електричних кіл. Принцип дії тиристорів, як і транзисторів, заснований на фізичних явищах в кристалі напівпровідника (кремнію), що складається з шарів з різними типами провідності. Конструктивно тиристор складається з чотиришарового кристала кремнію, поміщеного в герметичний металевий корпус. Зовнішні виводи від крайніх шарів кристала служать анодом і катодом, а вивід від середнього шару є керуючим електродом.

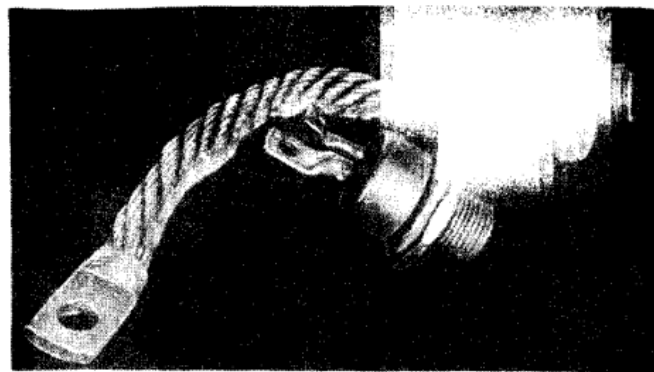
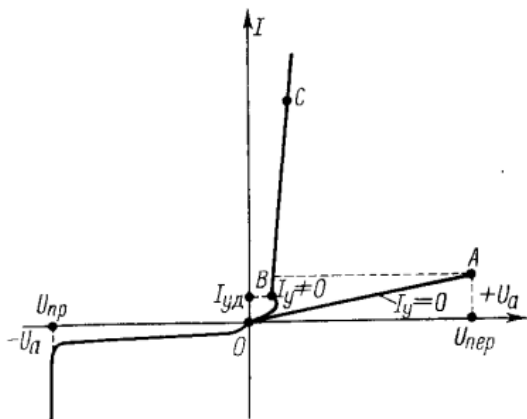


Рис 22-17 ВАХ тиристора

Рис 22-18 тиристор на струм 63 і 50 А

На відміну від транзистора тиристор може знаходитися тільки в двох крайніх станах провідності. Або він повністю проводить, тобто при будь-якому струмі падіння напруги на тиристорі не перевищує 1 - 1,5 В, або тиристор замкнений, тоді при будь-якій напрузі струм через тиристор дуже малий. Перехід в ці стани забезпечується відповідними струмами управління. Якщо струм управління відсутній або занадто малий, то тиристор замкнений; якщо струм управління хоча б короткочасно перевищить деяке критичне значення, то тиристор відкриється.

Залежність стану провідності тиристора від струму управління зручно аналізувати, користуючись вольт-амперною характеристикою тиристора (рис. 22-17). При струмі управління  $I_y = 0$  тиристор замкнений, тобто його провідність мізерно мала і не змінюється з ростом прямої анодної напруги  $U_a$  аж до напруги перемикавання  $U_{пер}$  (точка А на рис. 22-17). Якщо пряма анодна напруга перевищить напругу перемикавання, то тиристор перейде в стан провідності. Це супроводжується лавиноподібним збільшенням струму, який обмежується тільки зовнішнім опором ланцюга, так як падіння напруги на тиристорі стає дуже малим. Режиму провідності на рис. 22-17 відповідає точка С. При зниженні струму  $I$  через тиристор останній залишається в стані провідності аж до точки В, що характеризується струмом утримання тиристора  $I_{ут}$ . Якщо струм  $I$  стає менше  $I_{ут}$ , то електрична міцність тиристора відновлюється і він знову замикається.

Роль струму управління полягає в тому, що він зменшує напругу перемикавання тиристора. Якщо  $I_y$  стає досить великим, то напруга перемикавання знижується до декількох вольт. Тому при подачі імпульсу струму управління тиристор, що знаходиться під анодною напругою, миттєво переключується, тобто

із замкненого стану переходить в стан повної провідності і залишається в ньому і після зняття імпульсу струму управління.

Якщо до тиристорів докласти зворотну напругу, то він залишиться в замкненому стані до тих пір, поки прикладена напруга не перевищить напругу пробію  $U_{п}$ . Струм управління в звичайних тиристорах не впливає на значення  $U_{п}$ . Однак існують спеціальні тиристори, керовані в обох напрямках, які називаються симетричні тиристори. У них зворотна гілка вольт-амперної характеристики подібна до прямої гілки.

Зі сказаного вище випливає, що тиристор є приладом, керованим не повністю, так як подачею імпульсу струму управління можна тільки відкрити тиристор, а замкнути його струмом управління не можна. Для замикання тиристора потрібно знизити анодний струм до значення, меншого струму утримання, тобто впливати не на управління, а на силове коло. У цьому відношенні властивості тиристора подібні властивостям іонних приладів, наприклад тиратронів. Це обставина трохи знижує можливості застосування тиристорів в схемах комутації ланцюгів.

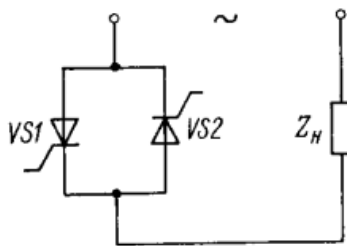


Рис 22-19 Схема безконтактного регулятора змінного струму

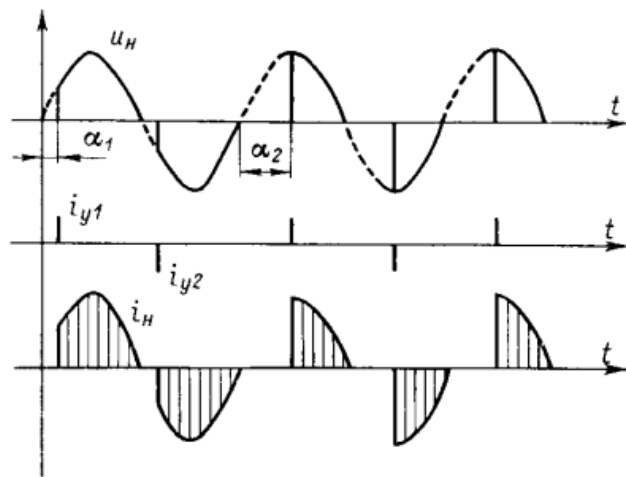


Рис 22-20 Криві напруги і струму тиристорного регулятора змінного струму при активному навантаженні

Тому ведуться розробки повністю керованих тиристорів, які могли б замикатися шляхом впливу на коло управління. Вже створені зразки повністю керованих кремнієвих тиристорів на струми до 300 А і напруги сотні вольт. Вітчизняна промисловість випускає силові тиристори особистих серій на струми до 2000 А і напруги до 4000 В, які можуть використовуватися для комутації кіл великої потужності. На рис. 22-18 показані тиристори на струми 63 і 50 А. Добре видно аноди з різьбленням, катодний і управляючий електроди.

Переваги тиристорів: малі габарити, простота конструкції, відсутність рухомих частин, необмежене число допустимих включень та ін - роблять вельми перспективним використання їх як безконтактних апаратів. Особливо доцільне застосування їх як комутаційних апаратів змінного струму. Включення в

однофазне коло показано на рис. 22-19. Два тиристора включаються зустрічно-паралельно, один проводить першу половину періоду, а другий - другу. Включення кола виробляється подачею імпульсів управління, синхронних з анодною напругою і поступаючої безперервно протягом усього часу, поки коло включено. При знятті керуючих імпульсів тиристори закриваються при переході змінного струму через нуль. Отже, при частоті 50 Гц максимальний час запізнювання відключення становить 0,01 с, тобто півперіоду, тоді як повний час відключення, наприклад, масляних вимикачів дорівнює приблизно 0,2 с. Скорочення часу відключення в 20 раз дуже вигідно оскільки різко зменшується ступінь шкідливих наслідків аварійних коротких замикань.

Замість двох зустрічно-паралельно включених тиристорів можна включити один симетричний тиристор. У цьому випадку спроститься схема управління.

Розглянута схема може бути використана також для плавного регулювання струму навантаження. Для цього потрібно зміщувати імпульси струму управління  $I_y$  по фазі щодо змінної анодної напруги. На рис. 22-20 показано, що збільшення цього фазового зсуву від  $a_1$  до  $a_2$  змінює тривалість напівхвилі напруги  $U_n$  та струму  $I_n$  на навантаженні, зменшуючи тим самим їх середні значення за половину періоду. Якщо один тиристор відключити, то інший буде проводити струм тільки в одному напрямку, тобто перетвориться на керований випрямляч. Керовані випрямлячі, особливо багатofазні, знаходять дуже широке використання в електроприводі, електротехнології, автоматичності і т. д.

## 2 Логічні операції та логічні елементи

При автоматизації виробничих процесів для блокування, сигналізації, автоматичного і програмного керування застосовуються пристрої дискретної дії, призначення яких - вироблення правильної команди виконуваної тількими органами залежно від поєднання сигналів, що надходять на входи. Ці пристрої складаються з так званих логічних елементів, кожен з яких реалізує елементарну логічну операцію. Вся ж сукупність логічних елементів, що входять в автоматичну систему, виробляє складну логічну дію, в результаті якої на виході системи з'являється потрібний сигнал.

У результаті операції, виконуваної логічним елементом, на його виході з'являється сигнал «так» чи «ні» без проміжних значень. Ця дія може бути виражене двійковим кодом, в якому використовуються тільки дві цифри: нуль (немає) і одиниця (так). У електромеханічних реле, набором яких раніше здійснювалися логічні операції, цим цифрам відповідають два протилежних положення контактів - розімкнене і замкнуте, а в статичних елементів - відсутність напруги (струму) або його наявність. Відповідно і вхідні сигнали, що приводять логічний елемент в той чи інший стан, теж можуть бути лише двох видів - нуль або одиниця.

Будь, як завгодно складна логічна операція може бути розкладена на елементарні логічні функції «Ні», «АБО» і «І». Позначимо через  $X_1$ ,  $X_2$  і  $X_3$  вхідні величини, а через  $Y$  - вихідну величину і розглянемо докладно елементарні функції для трьох входів.

Функція «Ні», звана запереченням (інверсією), означає, що вихідна величина завжди протилежна вхідній.

Наприклад якщо  $X_1 = 1$  то  $Y = 0$ , і навпаки якщо  $X_1 = 0$ ,  $Y = 1$ . Ця функція позначається:

$$Y = \bar{X}_1$$

Логічний елемент, який реалізує функцію заперечення, називається інвертором.

Функція «АБО» називається логічним складанням і позначається наступним чином:

$$Y = X_1 + X_2 + X_3$$

Вихід функції «АБО» дорівнює 1, якщо хоча б на одному вході є 1, і дорівнює 0 тільки у випадку, якщо на всіх входах нулі.

Функція «І» називається логічним множенням і позначається так:

$$Y = X_1 X_2 X_3.$$

Вихід функції «І» дорівнює 1 тільки в тому випадку, якщо всі входи рівні 1. В інших випадках вихід дорівнює 0.

Ці елементарні логічні функції реалізуються відповідними логічними елементами, що носять ті ж назви. Будь-яка складна логічна функція може бути принципово реалізована набором тільки цих трьох елементів у різних поєднаннях.

Крім перерахованих елементарних логічних функцій, велике значення в побудові програмних пристроїв має більш складна логічна функція «пам'ять». Сутність цієї функції полягає в тому, що логічний елемент повинен «запам'ятати» поданий на його вхід сигнал і зберегти відповідний йому вихід після зняття сигналу. Скидання пам'яті має відбуватися після подачі сигналу на інший вхід. Функція пам'яті може бути складена з трьох елементарних функцій наступним чином:

$$Y = (X_1 + Y) \bar{X}_2$$

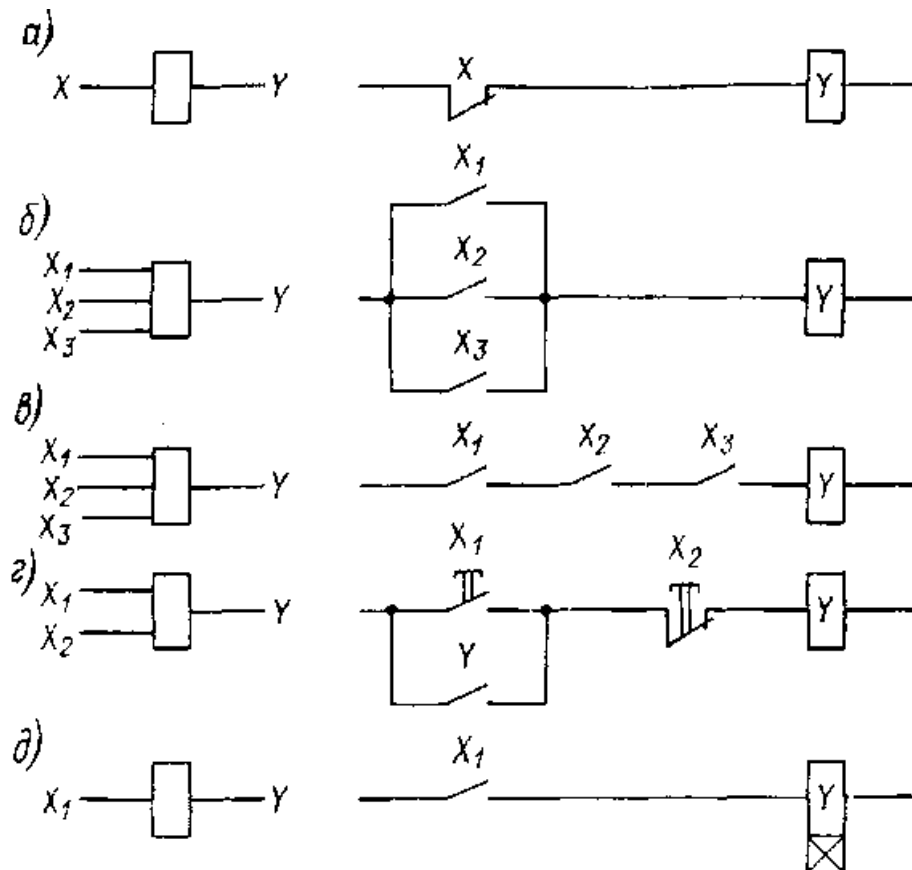


Рис 23-8 основні логічні елементи і їх еквіваленти

Якщо  $Y = 0$ , то після приходу сигналу  $X_1 = 1$  ( $X_2$  залишається рівним 0)  $Y$  приймає значення, рівне 1. За рахунок зворотного зв'язку ( $Y$  в правій частині рівності) права частина рівності залишається рівною одиниці і після зняття сигналу  $X_1$ . Подача ж сигналу  $X_2 = 1$  робить  $Y = 0$ , тобто знімає сигнал з виходу. Таким чином, функція «пам'ять» може бути реалізована елементарними логічними елементами.

Однак, зважаючи на те що функція «пам'ять» застосовується дуже часто, потрібно мати в наборі спеціальний елемент «пам'ять».

І, нарешті, для здійснення певної послідовності операцій, крім зазначених елементів, що виконують логічні функції, необхідно мати елемент, що дозволяє здійснити затримку передачі сигналу. Такий елемент називається «затримкою» або елементом «витримка часу». Таким чином, повний набір логічних елементів містить п'ять елементів: «Ні», «АБО», «І», «пам'ять» і «затримка».

На рис. 23-8 зображені ці основні п'ять елементів і відповідні їм еквіваленти, побудовані на контактних реле. Ці контактні схеми більш звичні і тому використані для пояснення роботи логічних елементів.

Входами контактних еквівалентів є контакти  $X_1$ ,  $X_2$  і  $X_3$ , які вмикають реле  $Y$ , а виходом - контакт реле  $Y$ . Якщо контакт на вході реле  $Y$  розмикається, схема (рис. 23-8, а) реалізує функцію «Ні», так як спрацьовування контакту  $X$  ( $X = 1$ ) означає розмикання кола реле ( $Y = 0$ ).

При паралельному з'єднанні замикаючих контактів  $X_2$  і  $X_3$  (рис. 23-8,б) досить спрацьовування будь-якого контакту для того, щоб включилося реле ( $Y = 1$ ). Тому дана схема відповідає функції «АБО».

Послідовне з'єднання замикаючих контактів  $X_1$ ,  $X_2$  і  $X_3$  (рис. 23-8, в) реалізує функцію «І»: тільки при спрацьовуванні всіх контактів включається реле і на виході з'являється сигнал ( $Y = 1$ ). Схема реле з блокуванням (рис. 23-8, г) є еквівалентом пам'яті. Тут вхідні контакти  $X_1$  і  $X_2$  позначені кнопками, щоб підкреслити короткочасність дії керуючих сигналів. Після натискання на кнопку  $X_1$  реле вступає на самоблокування до тих пір, поки коло реле не буде розімкнута кнопкою  $X_2$ .

Контактним еквівалентом затримки є реле з витримкою часу на спрацьовування. Ця схема зображена на рис. 23-8, д.

## Самостійна робота №19

**Тема:** Напівпровідникові логічні елементи. Вимикачі тиристорні.

**Мета:** ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії напівпровідникових логічних елементів і вимикачів тиристорних.

**Питання, що виносяться на самостійне вивчення:**

- 1 Напівпровідникові логічні елементи.
- 2 Вимикачі тиристорні.

**Література:** Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.

**Питання для самоконтролю:**

- 1 Яке призначення напівпровідникових логічних елементів?
- 2 Для чого призначені вимикачі тиристорні?
- 3 Які переваги та недоліки вимикачів тиристорних?



## 1 Напівпровідникові логічні елементи

Протягом тривалого періоду часу в системах промислової електроніки і пристроях логічного управління широко застосовувалися діодно- транзисторні елементи керування серії « Логіка -Т». Проте в даний час елементи цієї серії вже не цілком відповідають вимогам, що пред'являються до сучасної електронної техніки. У зв'язку з цим розроблена і впроваджена в промисловість нова серія елементів управління «Логіка - І». Ця серія побудована на базі цифрових інтегральних мікросхем (ІС) серії К511, герконових реле, опто-парах, тиристорах і симісторах. За допомогою ІС серії К511 здійснюється реалізація необхідних логічних операцій - одноступінчатих «НІ», «І », «АБО», двоступеневих «І - НІ», «І - АБО», триступінчатих «І - АБО - НІ», зберігання інформації - пам'яті. Всі ІС виконані на базі біполярних транзисторів типу РН і NP методом інтегральної технології. Як приклад на рис. 1 наведена схема реалізації подвійної функції « 4И - НЕ ».

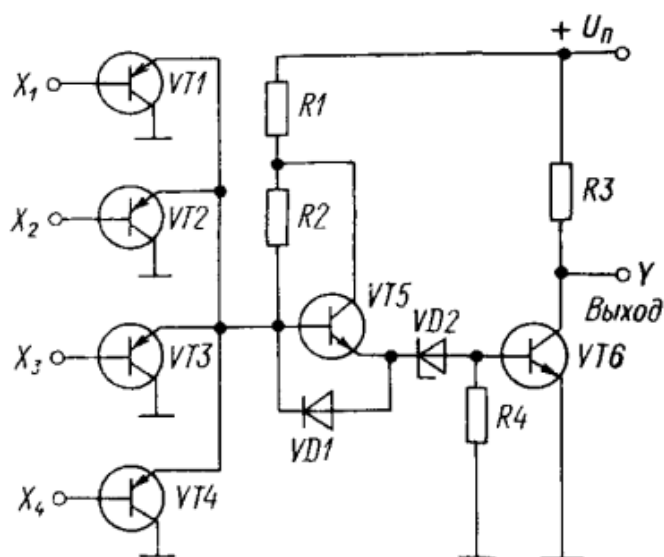


Рис 1

Вхідні сигнали подаються на бази транзисторів VT1 - VT4. Якщо хоча б на одне з них подається нульовий потенціал, то цей транзистор відкривається, на базу VT5 надходить також нульовий потенціал і транзистор VT5 закривається. Транзистор VT6 виявляється також замкненим і на його колекторі, тобто на виході, є високий потенціал ( $Y = 1$ ). Тільки у випадку появи на всіх чотирьох входах високого потенціалу ( $X_1 = 1, X_2 = 1, X_3 = 1, X_4 = 1$ ) транзистори VT1 - VT4 закриються, VT5 і VT6 відкриються. На виході з'явиться нульовий потенціал ( $Y = 0$ ).

Перераховані вище логічні функції, а також інші операції, такі, як рахунок імпульсів, дешифрація сигналів, перетворення кодів та ін, реалізуються в серії «Логіка - І» елементами І - 101 - І - 121.

Інша група функціональних елементів І - 201 - І - 208 забезпечує прийом сигналів від зовнішніх джерел інформації ( контактні і безконтактні датчики, вимикачі, кнопки, реле, командоапарати і т. п.) і перетворення їх до вигляду, придатного для передачі на логічні елементи. Наприклад, елемент І - 206 гальванічно поділяє і перетворює сигнали змінного струму, поступаючі від різних джерел в логічні

схеми. На схемі (рис. 2 вхідний сигнал змінного струму надходить на затискачі 5 - 9. Після випрямлення мостовою схемою VD1 і згладжування RC -фільтром на елементах C1, R1, C2 сигнал надходить на обмотку герконового реле К, контакт якого комутує ланцюг управління подальшого логічного елемента.

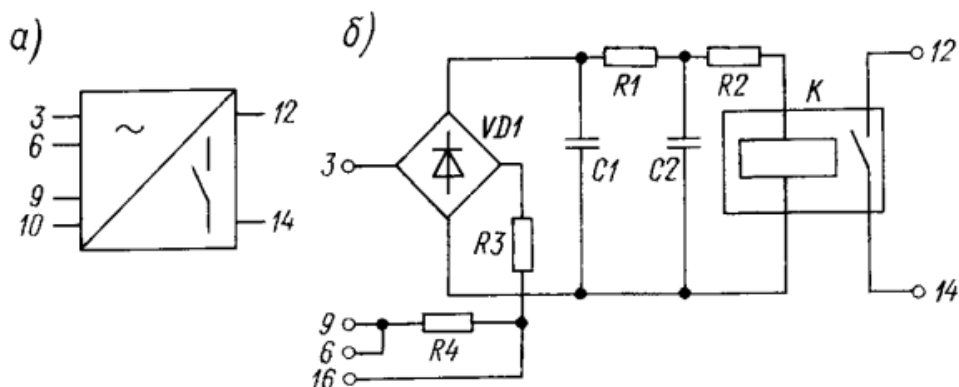


Рис 2 а) елемент I-20, умовне позначення; б) функціональна схема

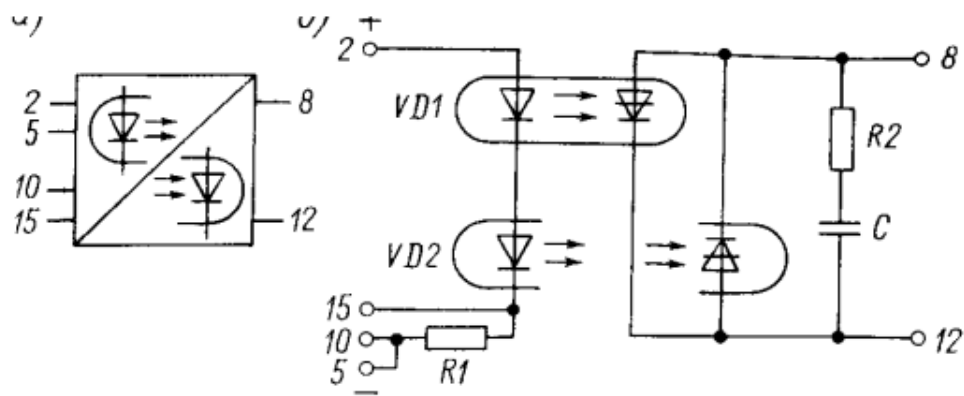


Рис 3

Схема елемента (рис. 3 ) містить два оптрона VD1 і VD2, фототиристри яких з'єднані зустрічно - паралельно, забезпечуючи протікання через них і навантаження змінного струму. Світловипромінюючі діоди оптопар включені послідовно один з одним і струмообмежувальним резистором R1, що дозволяє керувати за допомогою сигналу напруги постійного струму. Ланцюг R2 - Собмежує перенапруги, що виникають при перемиканні індуктивного навантаження.

Конструктивно елементи «Логіка - I » складаються з однієї або двох друкованих плат з навісними радіокомпонентами, поміщеними в пластмасовий корпус , який складається з двох деталей, з'єднаних один з одним шляхом замикання. До плати прикріплені пелюстки, які виходять за межі корпусу і служать для приєднання зовнішніх проводів.

## 2 Вимикачі тиристорні

Для комутації силових кіл змінного струму використовуються тиристри. Вони здатні пропускати великі струми при малому падінні напруги, включаються порівняно просто подачею на керуючий електрод малопотужного імпульсу управління. При цьому їх основний недолік - складність вимикання - в колах

змінного струму не грає ролі, так як змінний струм обов'язково два рази за період проходить через нуль, що забезпечує автоматичні вимикання тиристора.

Схема однофазного тиристорного комутуючого елемента наведена на рис. 23-14. Імпульси управління формуються в анодних напруг тиристорів. Якщо на аноді тиристора VS1 позитивна напівхвиля напруги, то при замиканні контакту К через діод VD1 і резистор R пройде імпульс струму управління тиристором VS1. В результаті тиристор VS1 включиться, анодна напруга впаде майже до нуля, сигнал управління зникне, але тиристор залишиться в провідниковому стані до кінця напівперіоду, поки анодний струм не пройде через нуль. В інший напівперіод, при протилежній полярності напруги мережі, аналогічно включається тиристор VS2. Поки контакт К буде замкнутий, тиристори будуть автоматично по черзі включатися, забезпечуючи проходження струму від джерела до навантаження.

Контактори (пускачі). Тиристорні елементи (рис. 23-14) є основою однофазних і трифазних контакторів. На рис. 23-15 як приклад зображена схема реверсивного пускача для асинхронних двигунів. Силowymi комутуючими елементами є тиристори VS1 – VS10, які відкриваються контактами K11, K12, K13 реле K1 (вперед) або контактами K21, K22, K23 реле K2 (назад). Трансформатори струму ТА1 і ТА2 подають сигнал перевантаження в блок захисту БЗ, який, впливаючи на базу транзистора VT, знімає живляче реле K1 і K2 і тим самим відключає пускач.

Аналогічно влаштовані тиристорні станції управління асинхронними нерегульованими електроприводами потужністю до 100 кВт типу ТСУ. Станції виконують операції пуску, зупинки, динамічного гальмування і реверсу двигуна.

Використання тиристорів в якості безконтактних апаратів на постійному струмі важко через проблеми відключення. Якщо в колах змінного струму тиристори включаються автоматично при проходженні струму через нуль, то в колах постійного струму доводиться застосовувати спеціальні заходи по примусовому зниженню струму тиристора до нуля, тобто виробляти так звану примусову комутацію струму тиристора. Існує багато різноманітних схем примусової комутації. Більшість з них містить комутуючий конденсатор, який в потрібний момент за допомогою допоміжних тиристорів вводиться в ланцюг основного тиристора і включає його.

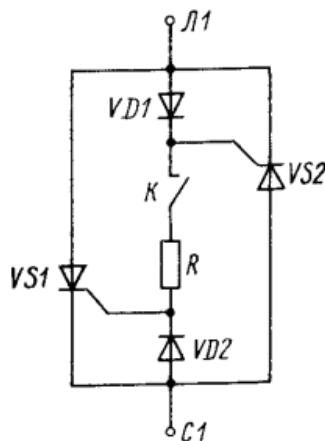


Рис 23-14 Схема однофазного тиристорного комутуючого елемента

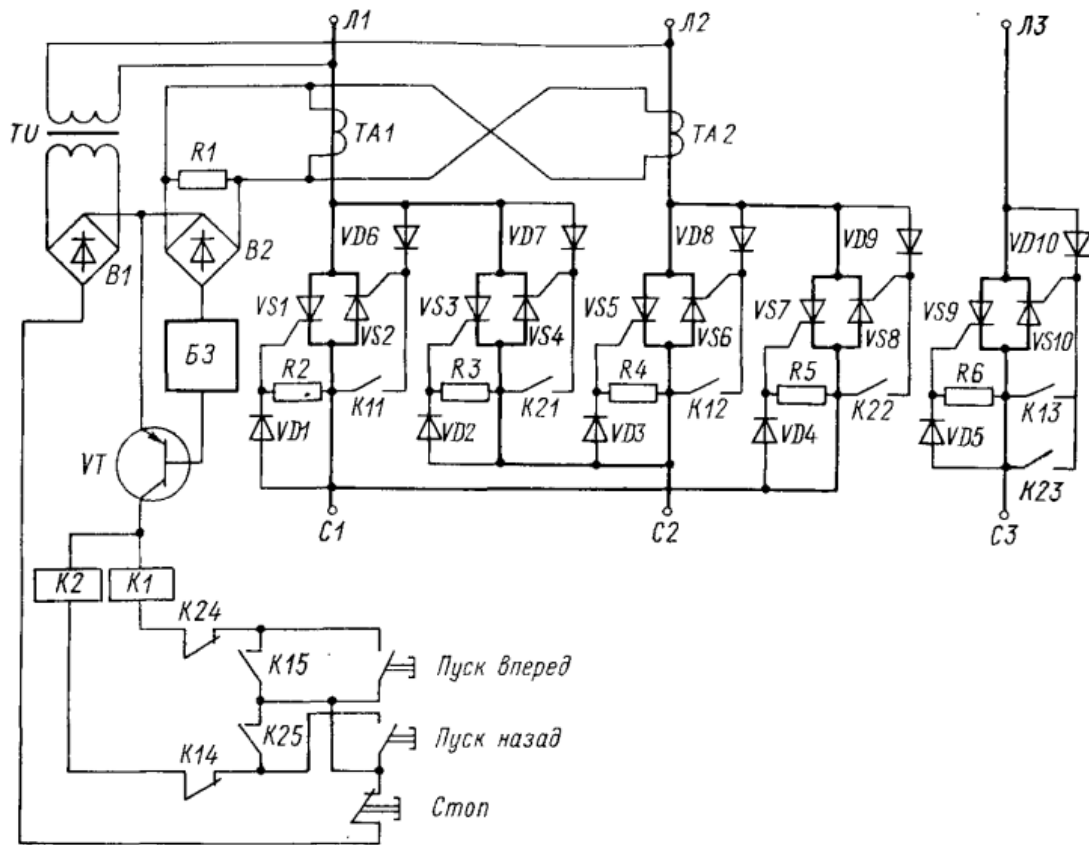


Рис 23-15 схема нереверсивного пускателя

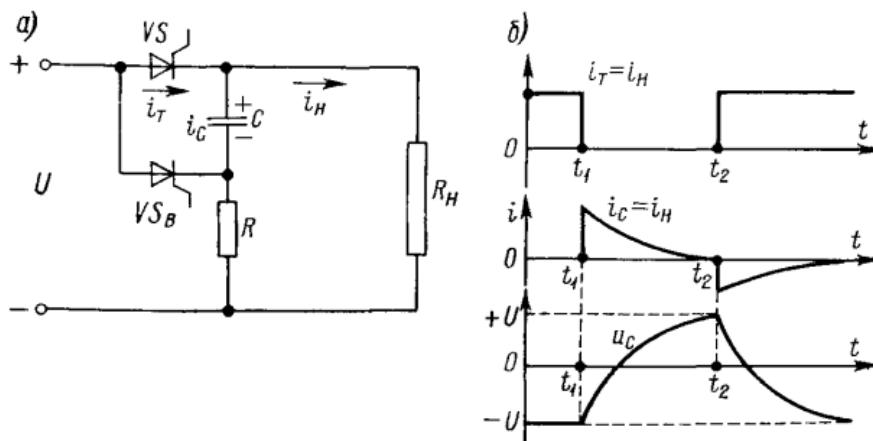


Рис 23-16 Схема тиристорного вимикача постійного струму і діаграма його роботи

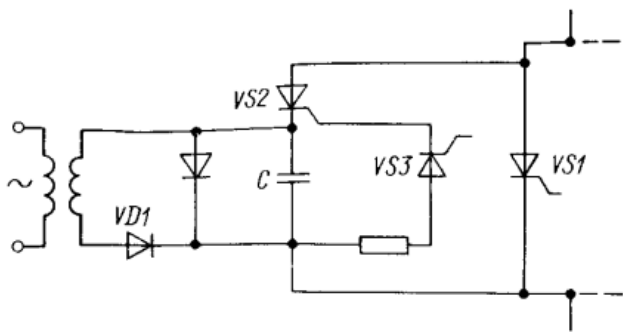


Рис 23-17 схема безконтактного вимикача

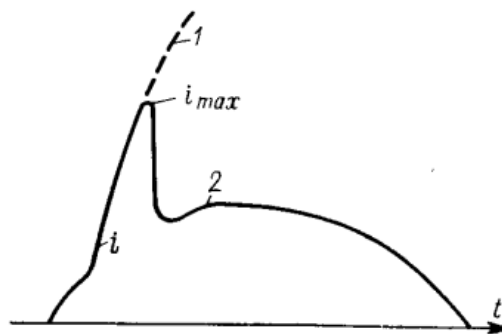


Рис 23-18 осцилограма відключення струму к.з.

На рис. 23-16 зображена одна зі схем примусової комутації. При подачі керуючого імпульсу на силовий тиристор VS включається коло навантаження  $R_n$ , а комутуючий конденсатор C заряджається до напруги джерела U.

Вимикачі автоматичні. На базі тиристорних елементів (див. рис. 23-14) виконуються автоматичні безконтактні вимикачі серії ВА81 на струми до 1000 А. Вони призначені для захисту електричних установок в мережах напруги 380/660 В змінного струму частотою 50 - 60 Гц при перевантаженнях і коротких замиканнях, а також для комутацій з різною частотою включення. У цих вимикачах застосовується примусове вимикання тиристорів за допомогою схеми примусової комутації (рис. 23-17). Основний тиристор VS1 серії Т-160 управляється імпульсами від генератора підвищеної частоти (на малюнку не показаний). Вимкнення тиристора VS1 проводиться розрядом конденсатора C черезкомутуючий тиристор VS2. Останній включається від напруги комутує конденсатора C через малопотужний тиристор VS2, що забезпечує зниження потужності схеми управління. Конденсатор C заряджається від напруги мережі через трансформатор і діод VD1. Кожен вимикач складається з трьох силових блоків з зустрічно-паралельно включеними основними тиристорами.

Завдяки використанню примусової комутації тиристорів захист від коротких замикань здійснюється з обмеженням струму в процесі відключення. На рис. 23-18 зображена осцилограма відключення струму короткого замикання тиристорним вимикачем. Крива 1 показує наростання струму короткого замикавання при відсутності захисту, а крива 2 - при відключенні тиристорного вимикача схемою примусової комутації. Як видно з малюнка, в цьому випадку наростання струму короткого замикання переривається і максимальний струм становить не більше 0,02 - 0,05 ударного струму короткого замикання.

Пристрої вихідні (проміжні реле). Схеми на рис. 23-14 широко використовуються в якості комутуючих пристроїв ланцюгів управління апаратів (пускатчі, контактори, електромагніти, муфти і т. п.). Прикладом можуть служити пристрої вихідні безконтактні типу УВБ-11, які призначені для посилення вихідних командних сигналів логічних пристроїв і комутації кіл навантаження змінного і постійного струму. Вони розраховані на комутацію кіл змінного струму до 6 А і напругою до 380 В, кіл постійного струму до 4 А і 220 В.

На рис. 23-19 наведена схема підсилювача УВБ-11-19-3721, призначена для комутації ланцюгів змінного струму. В якості комутуючого елемента використовується симістор VS типу ТС2-25, зашунтований варистором R для захисту від перенапруг. Включення симістора здійснюється шляхом з'єднання його керуючого електрода з одним із силових висновків за допомогою контакту Герконового реле K. Це реле одночасно здійснює і гальванічну розв'язку вхідних і вихідних кіл. Вимкнення симістора при розімкнутому контакті K відбувається мимовільно при першому переході струму навантаження через нуль. Для того щоб схема управлялася логічними сигналами від інших елементів, передбачений узгоджувальний каскад на ІС типу К511ЛП1, вихід якого підключений до обмотки герконового реле K.

У підсилювачах, призначених для комутації кіл навантаження постійного струму, ця комутація здійснюється тиристором, який вимикається за допомогою схеми примусової комутації, тобто шляхом розряду на тиристор зарядженого заздалегідь конденсатора.

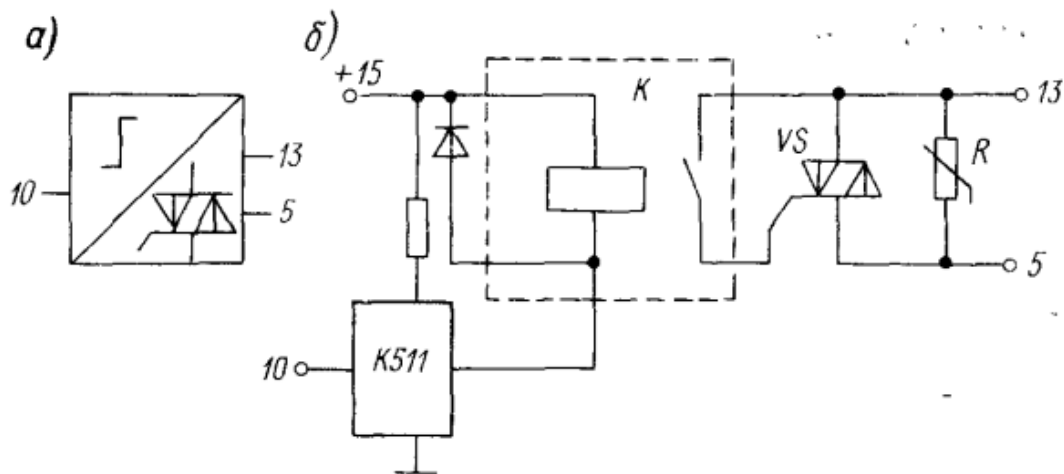


Рис 23-19 Підсилювач УВБ-11-19-3721; а – умовне позначення, б – функціональна схема.