

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.

**Методичне забезпечення
лекційного курсу з дисципліни
«Електричні апарати»
для студентів 3 курсу
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

Лекція №1

Тема: Вступ. Основні поняття. Основи теплових розрахунків та розрахунок електродинамічних сил.

Мета: Ознайомитися з класифікацією електричних апаратів, вимогами до них; з основами теплових та електродинамічних розрахунків.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Класифікація електричних апаратів та вимоги до них.
- 2 Основи теплових розрахунків.
- 3 Розрахунок електродинамічних сил.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Класифікація електричних апаратів та вимоги до них

Електричні апарати – це пристрої, що служать для керування потоком електроенергії від генератора (джерела) до споживача. Більш детальне визначення таке:

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.

Класифікація електричних апаратів може проводитись по-різному. Це зв'язано з різноманітністю апаратів та функцій, які вони виконують, із суміщенням в одному апараті декількох функцій. По одній ознаці їх класифікувати дуже важко, бо ознак по яких можна розділяти або об'єднати апарати є багато: габарити, призначення, допустимі струми і напруги, температурні режими експлуатації, кліматичні умови та багато інших. Найбільш прийнятною є класифікація електричних апаратів по призначенню, що передбачає їх поділ на наступні великі групи:

1) *комутаційні апарати* – призначені для вмикання, вимикання та перемикавання електричних кіл. Це рубильники, пакетні вимикачі, вимикачі навантаження, автоматичні вимикачі, перемикачі, роз'єднувачі.

2) *захисні* – для захисту електричних кіл від короткого замикання (запобіжники високої та низької напруги);

3) *обмежуючі* – для обмеження струмів короткого замикання (реактори) і перенапруги (розрядники);

4) *пускорегулюючі* – для пуску, регулювання частоти обертання, струму, напруги електричних машин та інших споживачів електроенергії (контактори, пускачі, силові і командні контролери, реостати);

5) *контролюючі* – це апарати для контролю заданих електричних і неелектричних параметрів (реле, датчики);

6) *електричні апарати для вимірювань шляхом ізолювання первинних кіл від вторинних* (трансформатори струму і напруги);

7) *регулюючі електричні апарати* – для автоматичного неперервного регулювання заданого параметра електричної сітки або автоматичного підтримування неперервної стабілізації.

- В границях однієї групи апарати поділяються на апарати низької напруги, як правило 660 В, і високої (вище 1000 В або 3000 В).

- По виду струму розрізняють апарати:

- змінного струму;
- постійного струму;
- промислової частоти;
- високої частоти(відбійні молотки).

- По роду захисту від оточуючого середовища апарати ділять на ті, що працюють у відкритому середовищі, закритому, водозахисному, вибухонебезпечному, на повітрі.

- По способу дії (електромагнітні, магнітоелектричні, електродинамічні, індукційні, теплові і т.п.).

- По принципу роботи апарати розділяють на контактні і безконтактні. Контактні мають рухомі контакти; безконтактні діють на принципі зміни їх параметрів: індуктивності, ємності, електричного опору.

- Апарати можна поділити на автоматичні, що діють в залежності від заданого режиму, і ручного перемикавання, що працюють від волі оператора

1.1 Вимоги до електричних апаратів

1.1.1 Загальні поняття про вимоги до електричних апаратів

В залежності від призначення, умов експлуатації, необхідної надійності і т.д. вимоги до електричних апаратів дуже різноманітні. Однак можна сформулювати загальні вимоги до всіх апаратів:

1. При номінальному режимі роботи температура струмоведучих елементів апарата не повинна перевищувати значень, що відповідають Державному стандарту України (ДСТУ) або іншим нормативним документам. Номінальний режим – це той режим, при якому електричний апарат функціонує у відповідності до його паспортних даних.

2. В кожному електричному колі може бути *ненормальний* (перевантаження) або *аварійний* (коротке замикання) *режим*. В цих випадках струм в 50 і більше раз перевищує номінальний.

3. Апарат при цьому на протязі певного часу знаходиться під великим термічним та електродинамічним навантаженням. Однак ці *навантаження не повинні викликати остаточних явищ*, що *порушують працездатність* апарату після усунення перевантажень, або короткого замикання.

4. *Ізоляція* електричних апаратів повинна витримувати *перенапруги* і мати запас, що враховує погіршення властивостей ізоляції внаслідок старіння, осадження, пилу, бруду, вологи.

5. *Контакти* апаратів, призначених для відключення, повинні бути розраховані на струми короткого замикання.

6. До кожного апарату пред'являються *специфічні вимоги, обумовлені його призначенням*.

1.1.2. Основні вимоги до електричних апаратів

Розглянемо конкретніше основні вимоги до електричних апаратів. Ці вимоги визначаються державними стандартами, або поки апарат знаходиться в стадії проектування і не накопичено достатньо інформації про його можливості, технічними умовами (ТУ).

ТУ діють тоді, коли ще не накопичено достатнього досвіду проектування, експлуатації апарату і його виготовлення.

Кожен апарат повинен мати *незмінні технічні параметри*.

Електричні апарати оцінюються за:

1. Величиною номінальної напруги. Вона відрізняється для змінного (36 В, 127 В, 220 В, 380 В, 660 В) і постійного струму (24 В, 48 В, 110 В, 220 В, 440 В, 780 В);

2. Режимом роботи – тривалий або короткочасний. При тривалому режимі роботи струм повинен протікати не менше часу, необхідного для досягнення сталої температури всіма частинами апарату при незмінних нормальних умовах охолодження.

3. Електричною та механічною зносостійкістю. Вони визначають кількість спрацювань апарату, поки він не стане непридатним.

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

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

Електрична зносостійкість, як правило, менше механічної, відповідно електрична зносостійкість менша механічної.

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

Ізоляційна стійкість як в холодному, так і в нагрітому стані (при струмі $1.05 I_{ном}$) повинна витримувати випробувальну напругу струму з $f = 50$ Гц на протязі 1-ї хвилини (випробувальні напруги залежать від номінальних і становлять від 500 В (при $U_{ном} = 24$ В) до 3 кВ (при $U_{ном} = 750$ В)) і мати запас, що враховує погіршення ізоляції внаслідок старіння матеріалу або осадження пилу, бруду, вологи.

4. *Термостійкість* – визначається діючим значенням струму, протікання якого на протязі всієї роботи апарату не викликає його нагрівання вище допустимих температур (іноді вводять як характеристику величини $I_{терм.стійк} \cdot t_{терм.стійк}$).

5. *Електродинамічна стійкість* визначається максимально допустимим струмом, який може витримувати апарат не руйнуючись ні електрично, ні механічно і не відключаючись самовільно. Електродинамічні зусилля досягають *десятків тисяч Ньютон*, внаслідок малих відстаней між струмоведучими частинами і струмів до сотень кА. Апарат повинен витримувати ці струми і зусилля. У нього не повинно бути зварювання контактів або механічного руйнування деталей.

6. *Допустимі температури* нагрівання елементів найбільш важливих і відповідальних видів апаратів визначаються ДСТУ на ці апарати, якщо на них

немає ГОСТів, то керуються по допустимій температурі наступним: температура контактів із міді – при $t_{окр.середов.} = +40^{\circ}C$, $\Delta T = 55^{\circ}C$ із накладками з срібла $\Delta T = 80^{\circ}C$.

7. Крім того:

- До кожного апарата пред'являються специфічні вимоги, обумовлені його призначенням (наприклад, вимикач повинен вимикати струм на протязі 0,04 – 0,06 с., а трансформатор струму повинен давати похибку не більше заданого значення).

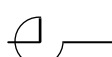
- Будь-який електричний апарат повинен по можливості мати найменші габарити, масу і вартість.

- Апарат повинен бути простим по обслуговуванню, технологічним при виробництві, тобто дозволяти автоматизацію у процесі всього виробництва.

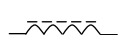
- Електричні апарати, у зв'язку з тим, що вони використовуються в складних системах енергопостачання, повинні мати високу надійність, бо від їх роботи залежить надійність роботи складної і дорогої системи.


1.2 Основні позначення апаратів та елементів в електричних системах

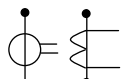
 або *л* - обмотка трансформатора

 - реактор (апарат для обмеження струмів короткого замикання)

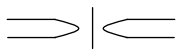
 - котушка з виводом

 - котушка з магніто-діелектричним магніто проводом

 - котушка індуктивності з магнітопроводом (реактор або дросель)

 - трансформатор струму

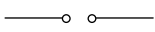
 - трансформатор струму в каскадному з'єднанні



- елемент пам'яті



- електричний розрядник (трубчастий)



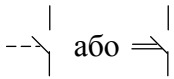
- електричний розрядник (кульовий)



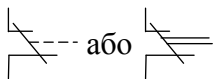
- розімкнутий контакт (ключ)



- контакт автоматичного вимикача



- контакт із механічним зв'язком (замикаючий)



- контакт із механічним зв'язком (розмикаючий)



- кнопочний нажимочний замикаючий контакт



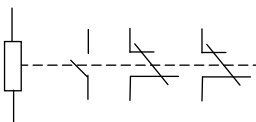
- термоконтакт (нормально розмикаючий) (замикаючий)



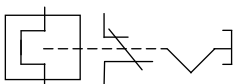
- кнопочний розмикаючий контакт (вимикач)



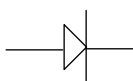
- вимикач-запобіжник



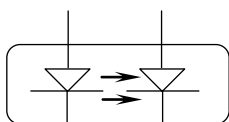
- реле електричне із замикаючим і розмикаючим контактами



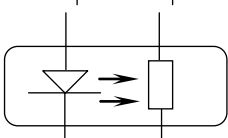
- теплове реле з повертанням шляхом натискання кнопки



- діод



- оптронна пара (діод – діод)



- оптронна пара (діод – резистор)

2 Основи теплових розрахунків

2.1 Втрати в електричних апаратах

Потужність та кількість теплоти, що виділяється при проходженні через провідник електричного струму визначається за законом Джоуля – Ленца:

$$P = i^2 \cdot R \rightarrow W = \int_0^t i^2(t) \cdot R \cdot dt.$$

Електричний опір провідника що ввімкнений в коло змінного і такого самого постійного струму, відрізняються між собою.

При постійному струмі опір легко знайти за відомою формулою:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (4.2)$$

де ρ – питомий опір;

l – довжина провідника;

S – площа поперечного перерізу.

При змінному струмі на активний опір провідника впливають поверхневий ефект і ефект близькості.

Тому вводиться коефіцієнт, що додатково враховує ці два ефекти – $K_{\partial в}$ – коефіцієнт додаткових втрат.

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.

Поверхневий ефект зумовлений тим, що змінний струм збуджує в провіднику неоднорідне по його перерізу магнітне поле, що викликає різну величину вихрового струму, напрямленого проти основного струму. Це призводить до того, що опір провідника збільшується, оскільки струм виштовхується до поверхні. З підвищенням температури провідність матеріалу зменшується, значить, поверхневий ефект спадає.

Ефект близькості полягає в тому, що магнітне поле одного провідника впливає на магнітне поле іншого провідника, розташованого поруч. Взаємовплив полів струмів цих провідників теж призводить до змін електричного опору провідника. Тому при змінному струмі:

$$R_{зм} = K_{\partial\sigma} \cdot R_{пост}, (4.3)$$

$$K_{\partial\sigma} = K_n + K_{\sigma},$$

де $K_{\partial\sigma}$ – коефіцієнт додаткових втрат;

K_n – поверхневого ефекту (росте із ростом частоти і провідності);

K_{σ} – коефіцієнт близькості (росте в провідниках із феромагнетика).

2.2 Втрати в феромагнетиках, які не несуть струм

В струмоведучих елементах феромагнетик приводить до значних величин $K_{\partial\sigma}$ і великих енерговтрат. Так, наприклад, втрати зростають в 4 – 6 раз, якщо провідник робити із сталі.

В неструмонесучих феромагнітних деталях апаратів значну величину дістають втрати, викликані вихровими струмами, що індукуються при перетині змінним магнітним полем феромагнетика, із якого зроблені деталі апарату.

Струми, що при цьому виникають, сильно розігрівають феромагнетик. Втрати в неструмонесучому феромагнетичу зумовлені як вихровими струмами, так і втратами, що зв'язані з процесами перемагнічування.

Площа петлі відповідає втратам на гістерезис (рис.4.2.).

Повні втрати магнітопроводу із сталі визначаються за формулою:

$$P_{см} = P_{\sigma} + P_r = \left[\sigma_{\sigma} \left(\frac{f}{100} \right)^2 + \sigma_r \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] B^2 \cdot 10^{-8},$$

де P_{σ} – втрати на вихрові струми;

P_r – втрати потужності на гістерезис;

f – частота, Гц;

B – магнітна індукція, Тл;

σ_{σ} , σ_r – коефіцієнти втрат, що залежать від конструкції;

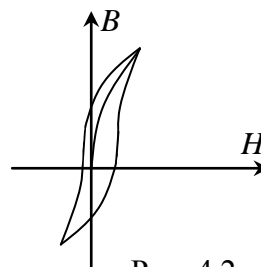


Рис. 4.2

Для зменшення втрат в магніто проводах їх роблять у вигляді тонких листів, ізольованих між собою.

2.3 Способи передачі тепла в середині та з поверхні нагрітих тіл.

Коефіцієнт тепловіддачі

В загальному, тепла енергія витрачається на збільшення температури електричного апарату та частково передається оточуючому середовищу.

Розрізняють три види передачі теплоти:

- 1) теплопровідність;
- 2) конвекція;
- 3) теплове випромінювання, m^2/c .

Явище теплопровідності описується за формулою:

$$\Delta Q = -\lambda \frac{\Delta \theta}{\Delta x} \Delta t \cdot \Delta S, \quad (4.4)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності;

ΔQ – кількість теплоти, що проходить за час Δt крізь площадку ΔS в напрямку x .

Важливою характеристикою процесу теплопровідності є температуропровідність, що характеризує здатність речовини вирівнювати температуру (позначається буквою a , має розмірність m^2/c):

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c},$$

де ρ – густина;

c – питома теплоємність;

a – температуропровідність.

Конвекція – це спосіб передачі теплоти при контакті нагрітого твердого тіла з газом або рідиною. При цьому молекулярний шар газу або рідини отримує енергію від твердого тіла шляхом теплопровідності, а далі перенос теплоти здійснюється більш нагрітими шарами газу або рідини (їх рухом і переміщенням внаслідок їх меншої густини, ніж у холодних). Розрізняють *вільну* або *природну* конвекцію та *вимушену* (штучну). При штучній конвекції охолоджуюче середовище рухається за допомогою насосів або вентиляторів. Кількість теплоти, що віддається тілом за рахунок конвекції описується законом Ньютона-Ріхмана:

$$Q = \alpha(\theta_2 - \theta_1), \quad (4.5)$$

де θ_2 – температура поверхні тіла від якого передається теплота;

θ_1 – температура тіла, до якого передається теплота;

α – коефіцієнт тепловіддачі.

Коефіцієнт α – залежить від температури, в'язкості, густини охолоджуючого середовища, температури поверхні, а також від форми поверхні тіла, що охолоджується, і його розташування відносно середовища і поля сил тяжіння. В більшості випадків він визначається емпіричним шляхом. Деякі з емпіричних формул для визначення коефіцієнта α приведені нижче.

Для горизонтальних круглих провідників діаметром 10 – 80 мм:

$$\alpha = 3.5 \left(\frac{10}{d} \right)^{\frac{1}{4}} (\theta_2 - \theta_1)^{0.25}.$$

Для вертикальних площин в трансформаторному маслі:

$$\alpha = 43(\theta_2 - \theta_1)^{0.25}.$$

Для горизонтального циліндра в трансформаторному маслі:

$$\alpha = 160(\theta_2 - \theta_1)^{0.3}.$$

Теплопередача сильно нагрітих тіл здійснюється шляхом випромінювання енергії. За законом Стефана Больцмана для абсолютно чорного тіла кількість теплоти, що віддається тілом:

$$\Delta Q = \sigma \cdot T^4 \cdot S \quad (4.6)$$

де σ – стала Стефана Больцмана,

$$\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{B}{m^2 \cdot K^4}.$$

Сумарна кількість теплоти, яка передається всіма видами теплообміну найбільше залежить від температури. Для розрахунків теплоти, що віддається в оточуюче середовище всіма видами теплопередачі застосовують формулу:

$$q = K_m \cdot s \cdot \Delta\theta, \quad (4.7)$$

де K_m – коефіцієнт теплообміну (теплопередачі), що враховує всі види теплопередачі.

3 Розрахунок електродинамічних сил

3.1 Загальні відомості про електродинамічну стійкість

Електродинамічна стійкість апарату – це його здатність протистояти електродинамічним зусиллям, що виникають при проходженні струмів короткого замикання (КЗ). Ця величина може вимірюватись або амплітудним значення струму КЗ (i_d) – струмом динамічним, або коефіцієнтом:

$$K_{дин} = \frac{i_d}{\sqrt{2} \cdot I_{ном}}$$

де $K_{дин}$ – динамічний коефіцієнт;

$I_{ном}$ – номінальний струм.

При взаємодії струмів короткого замикання з магнітним полем інших струмоведучих частин апарату виникають електродинамічні зусилля, які намагаються деформувати як провідники струмоведучих частин, так і ізолятори, на яких вони кріпляться. Тому при оцінці електродинамічної стійкості аналізують стійкість не тільки електричних, але й ізоляційних матеріалів. Властивості їх вивчені ще не до кінця. Тому розрахунки міцності конструкції апаратів проводять на максимальне значення електродинамічних зусиль, хоч вони і діють тільки деякий час.

3.2 Основні фізичні поняття, формули, закони, необхідні для розрахунку електродинамічних зусиль електричних апаратів

Нагадаємо деякі фізичні поняття, формули, закони, що зустрічаються при розрахунку електричних апаратів.

Магнітний потік через довільну поверхню S визначається формулою:

$$\Phi = \int_s B_n \cdot ds. \quad (2.1)$$

Для площини s (рис.2.1):

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha = B_n \cdot S.$$

Для елементарних площадок ds , які

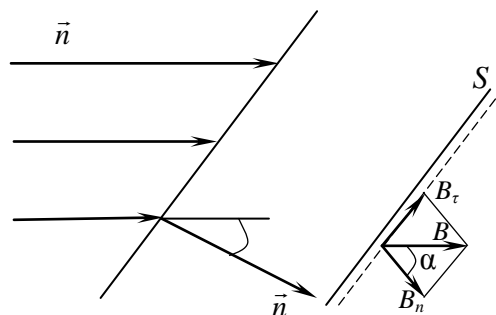


Рис. 2.1

перетинають силові лінії магнітної індукції \vec{B} потік магнітної індукції.

$$d\Phi = B_n \cdot ds,$$

де B_n – нормальна складова вектора \vec{B} ;

n – нормаль до площини в даній точці.

$$[\Phi] = 1 \text{ Вб}; [B] = 1 \text{ Тл}.$$

Магнітна індукція поля провідника із струмом визначається законом Біо-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{[I \cdot d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3} \rightarrow$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \beta}{r^2}, \quad (2.2)$$

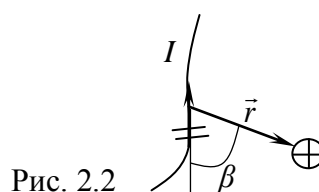


Рис. 2.2

де I – сила струму;

dl – довжина елемента провідника;

μ_0 – магнітна стала;

r – радіус-вектор, проведений від елемента dl даного провідника до точки простору, в якій розглядається поле (рис. 2.2).

Вектор магнітної індукції направлений по дотичній до силової лінії, його напрямок визначається правилом правого свердлика (рис. 2.3).

Для нескінченно довгого провідника із струмом:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi \cdot R} I. \quad (2.3)$$

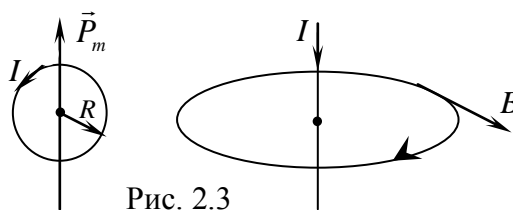


Рис. 2.3

Для кругового витка, в його

центрі:

$$B = \frac{\mu_0}{2 \cdot R} I, \quad (2.3.a)$$

або поскільки \vec{P}_m – магнітний момент,

$$P_m = I \cdot S,$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot P_m}{2\pi \cdot R^3}, \quad (2.3.6)$$

де S – площа поперечного перерізу контуру (витка).

Напруженість магнітного поля H – це характеристика магнітного поля, яка визначається макрострумами і не залежить від середовища, в якому струм проходить. На відміну від напруженості магнітна індукція залежить від середовища, і вона визначається не тільки макро-, але і мікро струмами.

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H,$$

де μ – відносна магнітна проникність;

μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.;

H – напруженість магнітного поля, А/м;

B – магнітна індукція, Тл.

Закон повного струму через поверхню, натягнуту на контур l можна записати так

$$\oint B_l \cdot dl = \mu_0 \sum i.$$

Або, коли для кожної ділянки магнітного кола $B = \text{const}$ і $H = \text{const}$, його зручно виразити у вигляді:

$$\sum H_i \cdot l_i = \sum i \cdot w_i,$$

де w – кількість витків, по яких проходить струм i , що створює в колі заданий робочий магнітний потік;

$i \cdot w$ – магніторушійна сила, А.

Поскілки закон Біо-Савара-Лапласа записується у вигляді:

$$dB = 10^{-7} \frac{I \cdot dl \cdot \sin \beta}{r^2};$$

де, $B = \mu_0 \cdot H$ (повітря),

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{B}{4\pi \cdot 10^{-7}},$$

то часто користуються формулою:

$$dH = \frac{I \cdot dl \cdot \sin \beta}{r^2}.$$

Закон Ампера для елемента провідника dl , що знаходиться в магнітному полі з індукцією B у векторній формі виражається так:

$$d\vec{F} = [I \cdot d\vec{l} * \vec{B}].$$

Звідси модуль сили: $d\vec{F} = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin \alpha$,

де dF – сила, що діє на провідник в магнітному полі. Часто ми говоримо про провідник, що створює поле в якому знаходиться інший провідник із струмом. При цьому виникають електродинамічні сили.

3.3 Електродинамічні сили, що діють між провідниками із струмом. Метод розрахунку електродинамічних зусиль на основі законів Ампера і Біо-Савара-Лапласа

Існують два методи розрахунку електродинамічних зусиль:

I. Метод розрахунку на основі законів Ампера і Біо-Савара-Лапласа.

II. Метод розрахунку на основі енергетичного балансу провідників із струмом. Візьмемо провідники, в яких протікають струми i_1 та i_2 (рис. 2.4). Елемент довжини першого провідника – dy , а другого – dx . Тоді на основі закону Біо-Савара-Лапласа:

$$dB = \frac{\mu_0 i_1 \cdot dl \cdot \sin \beta}{4\pi r^2}.$$

Звідси – магнітна індукція створена першим струмом:

$$B_{i_1} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i_1 \cdot dy \cdot \sin \beta}{r^2}.$$

Сила dF_{12} , що діє на елемент dx другого провідника

$$dF_{12} = i_2 \cdot dx \left(\int \frac{i_1 \cdot dy}{r^2} \sin \beta \right) \frac{\mu_0}{4\pi}.$$

Відповідно сила, що діє на другий провідник з боку першого провідника:

$$F_{12} = \int d \cdot F_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} i_1 \cdot i_2 \int_{i_2} dx \int_{i_1} \frac{dy}{r^2} \sin \beta. \quad (2.4)$$

Прийнявши, що $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$, а $K = \int_{i_2} dx \int_{i_1} \frac{dy}{r^2} \sin \beta$, запишемо:

$$F_{12} = 10^{-7} k \cdot i_1 \cdot i_2. \quad (2.5)$$

Для нескінченно довгих провідників

$$K = \frac{2l}{a}.$$

$K = \int_{i_2} dx \int_{i_1} \frac{dy}{r^2} \sin \beta$ – коефіцієнт, що залежить від форми, розмірів,

розташування провідників.

Правило лівої руки визначає напрямок дії сили на провідник в магнітному полі.

3.4 Метод енергетичного балансу провідників із струмом

Цей метод базується на тому, що при незмінних значеннях струму при деформації струмоведучих контурів сила F визначається частковою похідною від електромагнітної енергії W даної системи по координаті:

$$F = \frac{dw}{dx}. \quad (2.6)$$

Ця формула називається енергетичною.

Електромагнітна енергія системи обумовлена декількома складовими:

$$w_1 = \frac{L_1 \cdot i_1^2}{2} \text{ – енергія ізольованого провідника (I-го провідника),}$$

$$w_2 = \frac{L_2 \cdot i_2^2}{2} \text{ – енергія ізольованого провідника (II-го провідника),}$$

$w_{12} = M \cdot i_1 \cdot i_2$ – енергія, що визначається магнітним зв'язком між провідниками (контурами), де L – індуктивність.

Індуктивність – це величина, яка дорівнює відношенню магнітного потоку (потокозчеплення) до струму, що проходить по провіднику (катушці):

$$L = \frac{\Phi}{I} \rightarrow L = \frac{\Psi}{i}.$$

де M – коефіцієнт взаємоіндукції (взаємоіндуктивність);

Ψ – магнітний потік (потокочеплення), Вб.

При будь-якому деформуванні системи буде змінюватись її енергія. Для зміни енергії треба виконати роботу.

За означенням $dA = F \cdot dx$;

$$F = \frac{dA}{dx} = \frac{dw}{dx};$$

Поскільки
$$\frac{dw}{dx} = \frac{d(L \frac{i^2}{2})}{dx} = i^2 \frac{dL}{dx}; \quad \frac{dw}{dx} = i^2 \frac{dL}{dx}.$$

Отримаємо
$$F_1 = \frac{i_1^2 \cdot dL_1}{2 \cdot dx};$$

$$F_2 = \frac{i_2^2 \cdot dL_2}{2 \cdot dx};$$

$$F_{12} = i_1 \cdot i_2 \left(\frac{dM}{dx} \right).$$

Загальна сила взаємодії між двома провідниками (контурами) буде визначена як сума всіх цих сил (провідник (контур) уже не ізольований).

$$F_{рез} = F_1 + F_2 + F_3.$$

Для провідників (контурів) довжиною l маємо:

$$F_{рез} = \frac{i_1^2}{2} \left(\frac{dL_1}{dl} \right) + \frac{i_2^2}{2} \left(\frac{dL_2}{dl} \right) + \frac{i_2 \cdot i_1}{2} \left(\frac{dM}{dl} \right). \quad (2.6.a)$$

Енергетичний метод є зручним, коли відома аналітична залежність індуктивності або взаємо індуктивності від геометричних розмірів.

3.5 Електродинамічні зусилля при різних формах провідників

Два провідники, струм в яких тече в однакових напрямках, будуть притягуватись. Коли струм тече в різних

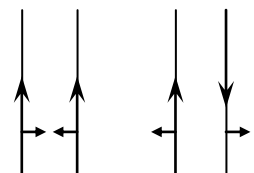


Рис. 2.6

напрямах, провідники – відштовхуються (рис. 2.6). Напрямок сили взаємодії провідників із струмом залежить від того, як відбувається потокозчеплення цих провідників.

Електродинамічні зусилля напрямлені так, щоб збільшувати потокозчеплення, тобто зусилля, що діють на струмоведучі частини системи напрямлені так, щоб електромагнітна енергія системи зростала, тобто в бік, де поле послаблено. Дійсно: $dw = F \cdot dx$.

Значить, при $\frac{dw}{dx} > 0$; $F > 0$, поле послаблене там, де густина силових ліній є меншою.

Сили напрямлені так, щоб збільшувати енергію. Тому контур розтягується (рис. 2.7), коли по ньому протікає струм:

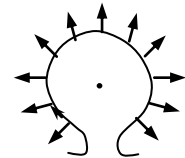


Рис. 2.7

$$F = \frac{dw}{dl} = \frac{i^2}{2} \left(\frac{dL}{dl} \right).$$

Візьмемо два витки із струмом (більший і менший). Струм у витках має протилежний напрямок. Провідники відштовхуються (рис.2.8). При неоднакових розмірах витків з’являються дві складові сили: одна складова прагне розтягнути менший виток і стиснути більший, а друга складова прагне їх розвести, якщо струм протилежного напрямку, або наблизити один до другого, якщо витки зі струмом одного напрямку.

Якщо провідники мають різну довжину і паралельні між собою, то сила взаємодії між провідниками знаходиться за формулою:

$$F_{12} = k \cdot i_1 \cdot i_2, \quad (2.7)$$

де k – величина, що визначається як: $k = 10^{-7} \frac{\sum D - \sum S}{a}$;

$$\sum D = D_1 + D_2;$$

$$\sum S = S_1 + S_2;$$

де a – відстань між провідниками (див. рис. 2.9);

D – сума довжин діагоналей “трапеції”, основи якої –

провідники із струмом;

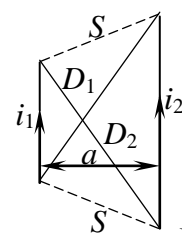


Рис. 2.9

S – сума бічних сторін цієї трапеції.

3.6 Зусилля та моменти, що діють на взаємоперпендикулярні провідники

За законом Ампера, оскільки провідники взаємоперпендикулярні:

$$dF = i \cdot B_x \cdot dx,$$

де B_x – магнітна індукція поля на відстані x від провідника;

i – струм в провіднику;

$$B_\infty = \frac{\mu_0 I}{4\pi x} \text{ (для напівскінченного провідника);}$$

$$B_\infty = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \text{ (для нескінченно довгого провідника);}$$

Звідси (згідно з рис. 2.10):

$$dF = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \frac{dx}{x}.$$

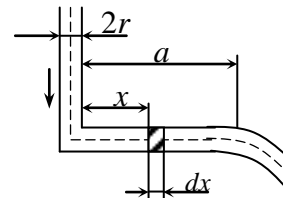


Рис. 2.10

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \int_r^a \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0}{4\pi} i^2 \cdot \ln \frac{a}{r} = 10^{-7} \cdot i^2 \cdot \ln \frac{a}{r}. \quad (2.8)$$

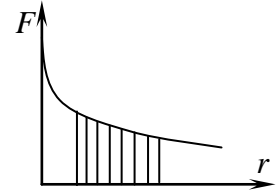


Рис. 2.11

Як видно із рисунка 2.11, із віддаленням від осі вертикального провідника електродинамічне зусилля спадає.

В ряді апаратів струмоведуча частина має форму петлі. Тоді величина сили є в два рази більшою, чим в попередньому випадку. Це впливає із принципу суперпозиції, коли дану систему розглядати, як суму двох попередніх. Якщо довжина перемички $a \gg r$, то

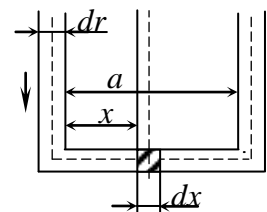


Рис. 2.12

$$F = 2 \cdot i^2 \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{a}{r}. \quad (2.9)$$

3.7 Практичне застосування метода енергетичного балансу

В якості прикладу практичного застосування методу енергетичного балансу розглянемо таку задачу:

Знайдено, що індуктивність L петлі визначається за формулою:

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} l \left(\ln \frac{a}{r} + 0.25 \right). \quad (3.1)$$

Знайти вираз для зусилля, що діє в петлі, користуючись методом енергетичного балансу.

Продиференціюємо вираз (3.1):

$$\frac{dL}{dl} = \frac{\mu_0}{\pi} \left(\ln \frac{a}{r} + 0.25 \right).$$

Поскільки $F = i^2 \frac{dL}{dx}$, то зусилля, що діє в петлі

$$F = \frac{i^2}{\pi} \mu_0 \left(\ln \frac{a}{r} + 0.25 \right). \quad (3.2)$$

Формула (3.2) відрізняється від формули (2.9) коефіцієнтом 0.25, що враховує те, що в нашому випадку елементарні провідники являють собою замкнену петлю.

3.8 Електродинамічні сили в місці контакту двох провідників з різними діаметрами або в місці зміни перерізу провідника

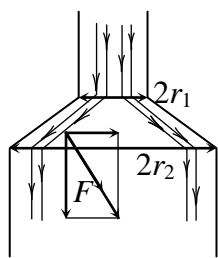
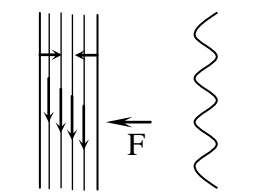


Рис. 3.2



Сила стискування

Рис. 3.1

Коли провідник має постійний поперечний переріз, то сила не має осьової складової, направленої вздовж провідника, поскільки лінії струму паралельні між собою.

Лінії струму викривляються при зміні перерізу провідника (рис. 3.1, 3.2).

Тому при зміні перерізу провідника, в місці перерізу, крім поперечної з'являється повздовжня складова сили. Вона є малою при номінальних струмах і великою (до десятків кілоньютон) в режимі КЗ. Її величина:

$$F = 10^{-7} \cdot i^2 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (3.2)$$

3.9 Зусилля при наявності феромагнетика (сили взаємодії між провідником із струмом та феромагнетичною масою)

При наближенні провідника із струмом до феромагнітної стінки магнітний потік збільшується. Провідник притягується до стінки. Відкинемо феромагнетик і поставимо другий провідник в лінії магнітного поля.

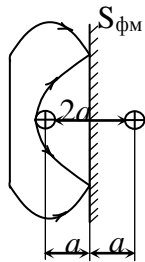
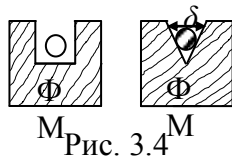


Рис. 3.3

При заміні дії феромагнетика другим провідником, що розташований на такій же відстані a від стінки, картина поля не зміниться, якщо магнітна проникність $\mu \rightarrow \infty$. Тоді сила взаємодії провідника і стінки може бути представлена як сила взаємодії двох провідників, що знаходяться на відстані $2a$ (див. рис. 3.3).

$$\text{Тому: } F = \frac{\mu_0 i^2 \cdot l \cdot 2}{4\pi \cdot 2a} = \frac{\mu_0 i^2 \cdot l}{4\pi \cdot a} = 10^{-7} \frac{i^2 \cdot l}{a}, \quad (3.3)$$



де a – відстань від феромагнітної стінки до провідника.

При наявності щілини в феромагнетику, провідник зі струмом буде втягуватись у щілину (рис.3.4). Причому, якщо щілина має змінний переріз, то сила буде зростати по мірі зменшення перерізу. Решітка із набору феромагнітних пластин із пазом – приклад практичного застосування цього ефекту для гасіння дуги в апаратах низької напруги.

Лекція №2

Тема: Фізичні явища в електричному контакті, перехідний опір та температура ділянки контактування.

Мета: Ознайомитися з фізичними явищами в електричних контактах, з температурою площадки контактування та з роботою контактів в режимі проходження тривалого струму.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Загальні відомості про електричні контакти.
- 2 Фізичні явища в електричних контактах.
- 3 Перехідний опір та температура площадки контактування. Контакти в режимі проходження тривалого струму.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Загальні відомості про електричні контакти

Електричним контактом називається місце переходу струму із однієї струмоведучої деталі в іншу. Деталь, що здійснює контакт називається контакт-деталлю. Існування електричного контакту називається контактуванням. Контакти поділяються на три основні групи:

- а) розбірні;
- б) комутуючі;
- в) ковзаючі.

Розбірні контакти – це такі контакти, що в процесі роботи не переміщуються, а лишаються надійно скріпленими. Наприклад, болтове з'єднання шин, приєднання провідників зажимами („крокодил”).

Комутуючі контакти – ті, що в процесі роботи замикають, розмикають, перемикають коло. Наприклад, контакти вимикачів, контакторів, рубильників.

Ковзаючі контакти – це різновидність комутуючих контактів. При переміщенні однієї деталі контакту відносно другої, контакт не порушується. Наприклад, контакт в реостаті, шарнірні контакти, щіточні контакти (електродвигуни). Контакти поділяються по своїх конструкціях, призначенню, допустимих напругах і струмах, а також по матеріалу, з якого вони виготовлені. Контакти поділяються в залежності від розмірів і характеру контактування об'єктів (див. рисунок 2.1-2.3).

- 1) точкові

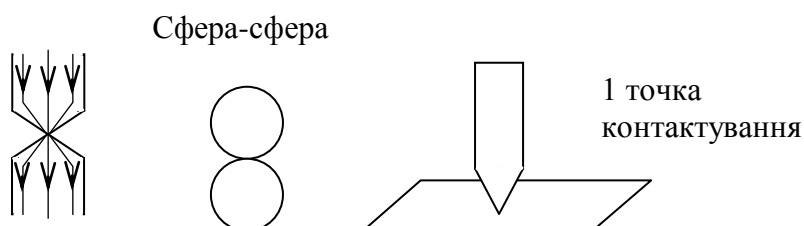
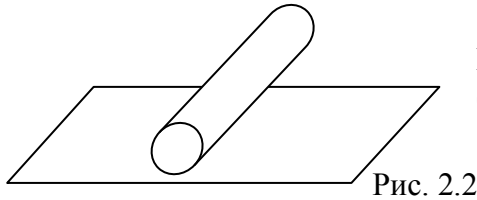


Рис. 2.1



Циліндр-циліндр,виток-виток.
(мінімум 2 точки контактування)

Рис. 2.2

- 2) лінійні;
- 3) поверхневі.



Мінімум 3 точки контактування.

Рис. 2.3

Точкові контакти застосовують для малих струмів (до 20 А).

Розміри площадок контактування пропорційні силі, що стискає деталі і залежать від опору змінання матеріалу деталей. Це впливає із наступного: сила контактного натискання F і σ – напруження тимчасового опору змінанню при пластичній деформації, зв'язані між собою співвідношенням

$$F = \sigma \cdot S,$$

де S – площа, то

$$d^2 = \frac{F}{\sigma\pi} \rightarrow d = \left(\frac{F}{\sigma\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 2. \quad (2.1)$$

В зоні переходу струму із 1-го провідника в інший має місце більший електричний опір, що називається перехідним. По природі – це звичайний опір металічного провідника, тільки цей провідник – мікроскопічний „бугорок”, в якому і відбувається контактування.

Перехідний опір ($R_{пер}$) можна уявити собі як місце звуження перерізу матеріалу і різкого підвищення густини струму, в порівнянні з густиною струму в тілі контакту (див. рис. 2.1).

Експериментально встановлено, що існує зв'язок:

$$R_{пер} = \frac{\varepsilon}{F^n},$$

де ε – деяка величина, що залежить від матеріалу обробки і стану контактної поверхні.

F – сила натискання;

n – показник, що характеризує кількість точок контактування.

Із збільшенням їх кількості контактний опір зменшується. Встановлено, що $n=0.5$ для одноточкового контакту, $n=0.7\div 1$ для лінійного контакту, $n=1$ для поверхневого контакту.

ε дуже сильно залежить від степені окислення. Для неокислених ε має такі значення (в Ом/Н): мідь – $1.0 \cdot 10^{-3}$ латунь – $6.7 \cdot 10^{-3}$ алюміній – $1.6 \cdot 10^{-3}$ сталь – $7.6 \cdot 10^{-3}$.

2 Фізичні явища в електричних контактах

Контакт складається із об'ємної частини і поверхневої, яка безпосередньо знаходиться між поверхнями, що контактують. Опір контакту зумовлений двома основними причинами:

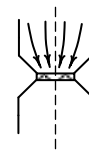


Рис. 2.4

- 1) звуження ліній струму в місці контакту;
- 2) покриття його поверхні оксидною плівкою (або іншими хімічними сполуками).

Для контакту є важливим визначення умов нагрівання місця контакту і поява електродинамічних зусиль. Контакти мають певну шорховатість поверхні, що зв'язане з характером їх обробки, а місця, в яких контактують поверхні під дією сили натискання, можуть змінюватись. Існує ряд залежностей, що виражають R_k як багатофункціональний параметр, що залежить від механічних, теплофізичних, електричних властивостей матеріалу контактів, температури контактів, прикладеної сили натискання, кількості контактуючих площадок. В результаті можуть виникнути декілька місць контакту, для яких діаметр:

$$d^2 = \frac{F_k}{\sigma_{зм}} \cdot 4,$$

де $\sigma_{зм}$ – напруження зминання.

$$\sigma_{зм} = 10^4 \text{ Н/см}^2 \div 10^5 \text{ Н/см}^2.$$

Для W – вольфраму $\sigma_{зм} \sim 2.9 \cdot 10^5 \text{ Н/см}^2$ є найвищим, для срібла (Ag) $\sigma_{зм}$ – на порядок менший.

У випадку двох одно точкових електродів опір контакту:

$$R_k = \frac{\rho}{d} = \frac{\rho}{2a}, \quad (2.2)$$

де ρ – питомий опір;

d – діаметр контакту;

a – радіус контакту.

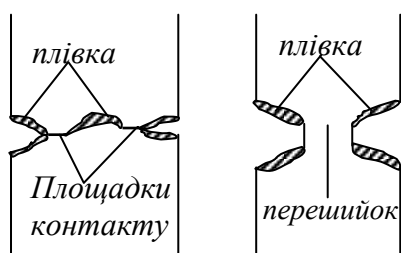
Підставивши формулу (2.1) в (2.2) можна виразити опір наступним чином:

$$R_k = \frac{\rho \sqrt{\sigma_{зм}}}{2\sqrt{F_k}} \text{ – для квадратного контакту. (2.3)}$$

Для круглого контакту:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{F_k}{\sigma_{зм}}, \quad R_k = \frac{\rho \sqrt{\pi \sigma_{зм}}}{2\sqrt{F_k}} \quad (2.4)$$

Якщо подивитись в мікроскоп на профіль двох контактуючих металічних поверхонь, то побачимо картину такого виду (рис.6.6):



(а) (б)
Рис. 2.6

Як видно із рисунку, металічний контакт здійснюється не по всій поверхні, а тільки в місцях або продавлення плівки тих чи інших хімічних з'єднань, або, в іншому випадку, в місцях пробою під дією різниці потенціалів (перешийок).

В окремих точках шорховатості, де є виступи, вони дотикаються між собою. Збільшення сили контактного нажиму веде до збільшення кількості таких місць. Фактично розміри місць дотикання виступів

порядка 2 – 3 мкм. Плівка має товщину $\sim 10^{-8}$ м, і $\rho \sim 10^5$ Ом·см. Вона займає основну площу поверхні контакту.

При замиканні контактів виникає явище, що називається *фритинг*. Якщо на контактах із ізолюючою плівкою підвищувати напругу, то перехідний опір, що вимірюється МЕГАОМАМИ буде зменшуватись. Вольт-амперна характеристика контакту в цьому стані нагадує характеристику напівпровідникових приладів.

При досягненні напругою деякого значення, що називається напруга фритинга, перехідний опір різко зменшується. Відбувається електричний пробій плівки, що завершується утворенням тонкого металічного провідника в ній. Цей металічний провідник може лишитись і після зняття напруги.

Як уже відмічалось, перехідний опір контактів – це опір, що визначається опором звужених ділянок, по яких проходить струм до площадок стискування, а також опором плівок на поверхні контактів або опором вузьких металічних перешийків, що виникли від фритинга.

Повний опір областей зтягування ліній струму для двох контактуючих одноточкових електродів, як відмічалось, виражається формулою (2.2).

Для багатоточкового контакту (n – точок):

$$R_k = \frac{\rho}{2a \cdot n} \quad (\text{II включено } n \text{ опорів}). \quad (2.2.a)$$

Для опору зтягування (а це – опір двох контактуючих електродів)

$$R_{k.ct} = \frac{\rho \sqrt{\pi \cdot \sigma_{зм}}}{2 \sqrt{n \cdot F_k}}. \quad (2.5)$$

Формула впливає із залежностей (2.1), (2.2.a),

де $\sigma_{зм}$ – опір контактного матеріалу зім'яттю.

$n=2$ – для лінійного контакту; $n=3$ – для площинного контакту;

F_k – сила натискання в контактах;

$R_k \sim 10 \div 10^4$ мкОм ($F=40$ Н); $2 \div 2 \cdot 10^2$ мкОм ($F=240$ Н).

3 Перехідний опір та температура площадки контактування.

Контакти в режимі проходження тривалого струму

При проходженні струму в площадці контактування внаслідок наявності перехідного опору буде виділятися енергія $i^2 \cdot R_{пер.} dt$, що набагато більше енергії, що виділяється в об'ємі контакту. Температура, яку має площадка контактування є більшою внаслідок того, що перехідний опір $R_{пер.} > R_{матер}$ (опір об'єму матеріала контакту) і того, що тепловіддача є гіршою від $R_{пер.}$ (бо площадка знаходиться далі від оточуючого середовища, чим контакт).

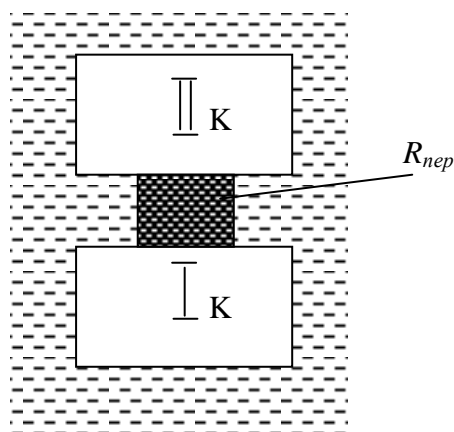


Рис. 2.7

$$\text{Якщо } R_{пер.} = \frac{\rho}{2a}, \text{ то різниця температур } \theta_k - \theta_{серед.} = \frac{1}{8} \cdot \frac{U_{пер.}^2}{\rho \lambda}.$$

$U_{пер.}$ – спад напруги на перехідному опорі контакту. Ця величина при природному охолодженні $\sim 10 - 20$ мВ.

Розрахунок контактів в режимі тривалого струму зводиться до визначення сили натискання в контактах, при якій температура в контакті підвищується.

Для одноточкових контактів на великі струми для підрахунку сили контактного натискання рекомендується формула:

$$F_{\text{конт.}} = I_{\text{ном.}}^2 \cdot \frac{2.4 \cdot 10^8 \cdot H_V}{16\lambda^2 \left(\arccos \frac{T_{\text{обєма.конт.}}}{T_{\text{конт.}}} \right)^2}, \quad (2.6)$$

де H_V – твердість по Вікерсу.

Ця формула близька до експерименту.

Формула (2.6) дозволяє знайти силу контактної натискання для заданого номінального струму, знаючи відношення температур

$$\frac{T_{\text{обєма.конт. (контакт-деталі)}}}{T_{\text{конт.}}}$$

Температуру об'єму легко знайти із формули:

$$T_{0(\text{контакт-деталі})} = \frac{I^2 \cdot \rho}{K_m \cdot p \cdot S_{\text{конт.}}} + T_{\text{середовища}} + 273, \quad \text{відома для нагрівання}$$

провідника площею перерізу S і периметром перерізу p (формула 5.7).

Тоді, оскільки $T_{\text{конт.}} = T_0 + 5 \div 10^\circ \text{C}$, можна знайти $T_{\text{конт.}}$. Це – перший спосіб оцінки $T_{\text{конт.}}$ (по $T_{\text{обємн.конт.деталі}}$).

Температура нагрівання $T_{\text{конт.}}$ контактної точки при нехтуванні тепловідведенням з контакт-деталі в оточуюче середовище описується формулою Хольма:

$$T_{\text{конт.}} = T_{\text{кд.}} + \frac{I^2 \cdot R_k^2}{8 \cdot \rho \cdot \lambda} \quad (2.7)$$

Допустима напруга $U_{\text{конт}}$ на контакті звичайно приймається в межах $(0.1 \div 0.3) U_1$, де U_1 – напруга, при якій матеріал контакту розм'якшується (рекристалізується). Важливою є також інша форма запису формули (6.6.), що

враховує механічні властивості матеріалу ($\sigma_{зімяття}$) та кількість точок контактування і дає можливість визначити силу контактного натискання.

$$F_{\kappa} = \frac{\pi \cdot \sigma_{зім.} \cdot \rho \cdot I^2}{[32 \cdot \lambda \cdot n (T_{доп.} - T_{кд.})]}, \quad (2.8)$$

де F_{κ} – сила контактного натискання; $n=1\div 3$.

Дані розрахунки відносяться до випадку, при якому через контакти проходить номінальний струм, який і є тривалим струмом, або стаціонарним.

Лекція №3

Тема: Основні закони комутації електричних кіл. Умови гасіння дуги постійного та змінного струму.

Мета: Ознайомитися з основними законами комутації електричних кіл та з умовами гасіння дуги постійного та змінного струму.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Загальна характеристика комутації електричних кіл. Основні закони.
- 2 Умови гасіння дуги постійного струму.
- 3 Умови гасіння дуги змінного струму.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Загальна характеристика комутації електричних кіл. Основні закони

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

Комутація може відбуватися під впливом зовнішніх або внутрішніх для даного пристрою джерел напруги або струму.

При аналізі й розрахунку процесів комутації необхідно враховувати загальний закон комутації:

- при комутації індуктивних електричних ланцюгів не можуть змінюватися стрибком струму кола й магнітного потоку ($di/dt \neq \infty, d\Phi/dt \neq \infty$);
- при комутації ємнісних кіл не можуть змінюватися стрибком напруга й електричний заряд ($dU/dt \neq \infty, dQ/dt \neq \infty$).

Під *глибиною комутації* розуміють відношення опору $R_{отк}$ комутуючого засобу у відключеному стані до опору $R_{вкл}$ у включеному стані

$$h_k = \frac{R_{отк}}{R_{вкл}}$$

Контактні електричні апарати, у яких опір міжконтактного проміжку у відключеному стані вимірюється мегомами, а опір замкнутих контактів – мікроомами, забезпечують глибину комутації

$$h_k = 10^6 \div 10^{14}$$

Для безконтактних апаратів, які по глибині комутації уступають контактним апаратам, зазвичай $h_k = 10^4 \div 10^7$.

Характер процесів при відключенні електричного кола змінного і постійного струму показано на рисунках 3.1, 3.2.

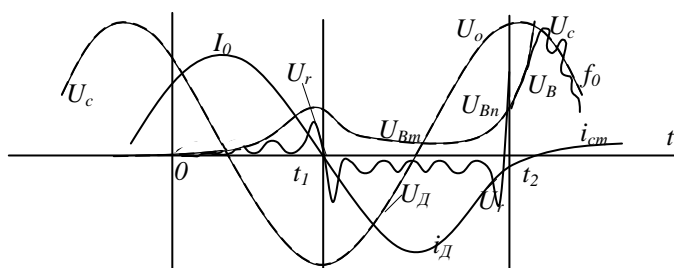


Рисунок 3.1 – Характер процесів відключення електричного кола змінного струму

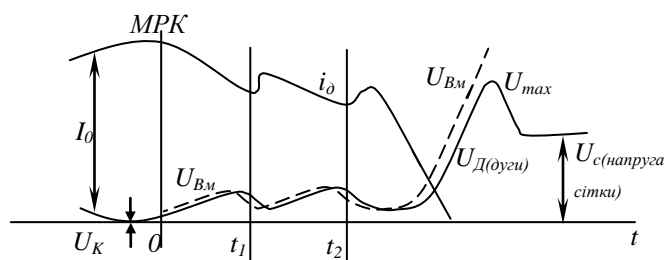


Рисунок 3.2 – Характер процесів відключення електричного кола постійного струму

По осі абсцис відкладено час t , а по осі ординат значення напруги та струму в різні моменти часу:

U_c – напруга сітки;

I_0 – струм в колі;

U_{BM} – відновлювана міцність;

МРК – момент розмикання контакту.

U_K – спад напруги на контакті (рисунок 3.2);

Електричний розряд в контактних апаратах, що виникає при розмиканні контактів, приводить до зношення контактів, і в значній мірі це визначає надійність і тривалість роботи апарату. Розряд зв'язаний із електромагнітною енергією, що запасається в індуктивності при вимиканні кола. В контактних апаратах комутуючим елементом є електрична дуга або інший вид газового розряду, що виникає при вимиканні. Електромагнітна енергія кола перетворюється в цих комутуючих елементах в теплову енергію, яка розсіюється в просторі. В цьому полягає позитивна роль дуги. Якби дуга не виникала, то електромагнітна енергія поля перетворювалася би в електростатичну енергію і виникала область перенапруги недопустимої величини, а коло неможливо було б відключити. Коли апарат ввімкнений, то спад напруги на комутуючих елементах складає долі вольта – в контактних апаратах і вольти в безконтактних.

Якщо апарат розірве коло, напруга на його комутуючому елементі стане рівною напрузі джерела живлення. Таким чином, в процесі вимикання апарату

напруга на комутуючому елементі буде різко зростати від дуже малих до дуже великих значень.

Напруга на комутуючому органі, що наростає в процесі вимикання апарату називається *відновлюваною напругою*.

При вимиканні кола комутуючий орган переходить із стану провідника електричного струму в стан діелектрика. Характерна комутуючому органу зростаюча в часі при вимиканні електрична міцність називається *відновлюваною міцністю* (визначається в даний момент часу максимальною напругою, що може витримати без пробою комутуючий орган). Щоб успішно відключити електричне коло, необхідно створити в вимикаючому апараті такі умови, при яких його відновлювана міцність була б вищою за наростаючу на ньому відновлювану напругу.

$$U_{\text{вм}} > U_{\text{відн}} - \text{умова вимикання кола.}$$

Розглянемо трифазне коло. Припустимо, що наше коло має індуктивний характер.

Поскілки коло – чисто індуктивне, то $\varphi = \frac{\pi}{2}$, і при проходженні струму фази А через 0 миттєве значення е.р.с. в цій фазі дорівнює амплітуді, а е.р.с. фаз В і С – 0.5 амплітуди.

Тоді миттєве значення напруги промислової частоти на розриві А дорівнює:

$$U_A = \frac{U_{\text{ном.}}}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} - \left(0.5 \frac{U_{\text{ном.}}}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} \right) = 1.5 \frac{U_{\text{ном.}}}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2}$$

Частоти коливань у верхньому та нижньому контурі однакові:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_\phi C_\phi}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{0.5L_\phi 2C_\phi}}$$

Індуктивність:

$$L = \frac{X_K}{\omega} = \frac{U_{\text{ном.}}}{\omega \sqrt{3} I_K} = \frac{U_{\text{ном.}} \cdot e_K \%}{\omega \sqrt{3} I_{\text{ном.}} \cdot 100}$$

Якщо виразити струм $I_{\text{ном.}}$ через $P_{\text{ном.}}$ і напругу $U_{\text{ном.}}$, то матимемо:

$$L = \frac{U_{\text{ном.}} \cdot e_K \% \cdot I_0 \cdot U_{\text{ном.}} \cdot \sqrt{3}}{\omega \sqrt{3} P_{\text{ном.}} \cdot 100} = \frac{U_{\text{ном.}}^2 \cdot e_K \%}{2\pi f P_{\text{ном.}} \cdot 100}$$

Підставимо у формулу такі числові значення величин і знайдемо індуктивність.

$$L = \frac{110^2 \cdot 10^6 \cdot 10.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 32 \cdot 10^5 \cdot 100} = 0.126 \text{ Гн}$$

Відомо, що при підвищеній частоті індуктивність зменшується на 30%, тоді $L = 0.7 \cdot 0.126 = 0.088 \text{ Гн}$.

А загальна ємність фази $C_\phi = C_{e.z} + C_m = 1750 + 4000 = 5750 \text{ пФ}$.

Частота:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_\phi C_\phi}} = \frac{1}{6.28\sqrt{0.88 \cdot 5.75 \cdot 10^{-9}}} \approx 7.07 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

Середня швидкість відновлення напруги:

$$\frac{dU}{dt_{cp}} = 4f_0 \cdot 1.5\sqrt{2} \frac{U_{ном.}}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 7.07 \cdot 10^3 \cdot 1.5 \cdot 1.4 \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-6} = 3800 \text{ В/мкс}$$

Після вимикання фази А в наступний нуль струму гаситься дуга у фазах В і С. В фазах В і С прийmemo, що напруга поділяється порівну. Тоді:

$$\frac{dU}{dt_{cp}} = 4f_0 \cdot \sqrt{2} \frac{U_{ном.}}{2} \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 7.07 \cdot 10^3 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 110 \cdot 10^3}{2} \cdot 10^{-6} = 2200 \text{ В/мкс}$$

Порівняння швидкостей відновлення напруги у фазах А, В і С показує, що вимикання фаз В і С іде в більш легких умовах, ніж у фазі А: швидкість наростання напруги в $\frac{3800}{2200} = \frac{19}{11} \approx 1.8$ рази менша.

2 Умови гасіння дуги постійного струму

Щоб погасити електричну дугу постійного струму, необхідно створити такі умови, щоб у дуговому проміжку при всіх значеннях струму процеси деіонізації протікали б інтенсивніше, ніж процеси іонізації.

Розглянемо електричний ланцюг, що містить опір R , індуктивність L і дуговий проміжок зі спаданням напруги U_D , до якої прикладена напруга U (рисунок 3.3, а).

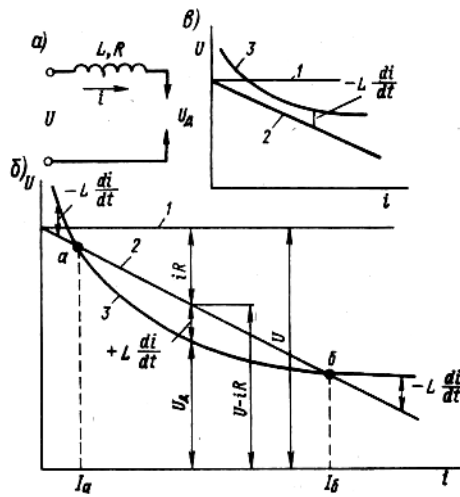


Рисунок 3.3 – Баланс напруг у ланцюзі з електричною дугою

При дузі, що має незмінну довжину, для будь-якого моменту часу буде справедливо рівняння балансу напруг у цьому ланцюзі:

$$U = iR + L \frac{di}{dt} + U_d,$$

де $L \frac{di}{dt}$ – спадання напруги на індуктивності при зміні струму.

Стаціонарним режимом буде такий, при якому токовище в ланцюзі не міняється, тобто $\frac{di}{dt} = 0$, а рівняння балансу напруг прийме вид:

$$U = iR + U_d.$$

Для загасання електричної дуги необхідно, щоб струм в ній увесь час зменшувався, тобто $\frac{di}{dt} < 0$, а $U_d > U - iR$.

Графічне рішення рівняння балансу напруг представлено на рисунку 3.3, б. Тут пряма 1 являє собою напругу джерела U ; похила пряма 2 – спадання напруги на опорі R (реостатна характеристика ланцюга), від'ємник з напруги U , тобто $U - i$; крива 3 – вольтамперну характеристику дугового проміжку U_d .

3 Умови гасіння дуги змінного струму

Якщо для гасіння дуги постійного струму необхідно створити такі умови, при яких струм впав би до нуля, то при змінному струмі струм в дузі незалежно від ступеня іонізації дугового проміжку переходить через нуль кожен напівперіод, тобто кожен напівперіод дуга гасне і запалюється знову. Завдання гасіння дуги істотно полегшується. Тут необхідно створити умови, при яких струм не відновився б після проходження через нуль.

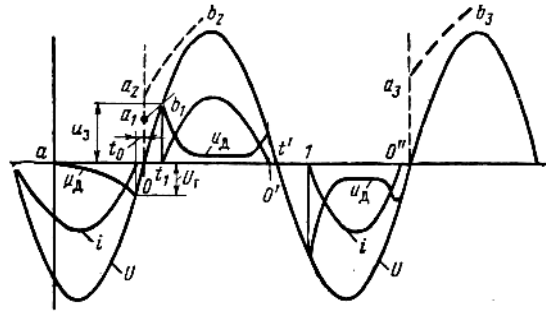


Рисунок 3.4 – Процес відключення кола змінного струму

Вольтамперна характеристика дуги змінного струму за один період наведений на рисунку 3.4. Оскільки, навіть при промисловій частоті 50 Гц, струм в дузі міняється досить швидко, то представлена характеристика є динамічною. При синусоїдальному струму напруга на дузі спочатку збільшується на ділянці 1, а потім, у зв'язку з ростом струму, падає на ділянці 2 (ділянки 1 й 2 ставляться до першої половини напівперіоду). Після проходження струму через максимум динамічна ВАХ зростає по кривій 3 у зв'язку зі зменшенням струму, а потім зменшується на ділянці 4 у зв'язку з наближенням напруги до нуля (ділянки 3 й 4 ставляться до другої половини цього ж напівперіоду).

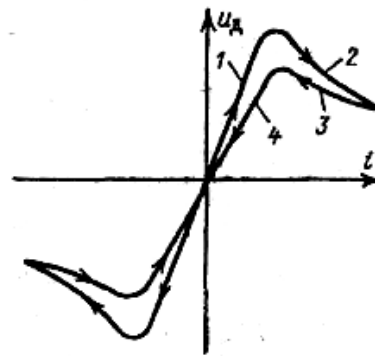


Рисунок 3.5 – Вольтамперна характеристика дуги змінного струму

При змінному струму температура дуги є величиною змінною. Однак теплова інерція газу виявляється досить значною, і до моменту переходу струму через нуль температура дуги хоча й зменшується, але залишається досить високою. Отже, має місце зниження температури при переході струму через нуль, що сприяє деіонізації проміжку й полегшує гасіння електричної дуги змінного струму.

Лекція №4

Тема: Полум'я дуги та боротьба з ним. Гасіння дуги.

Мета: Ознайомитися зі стадіями горіння дуги, із загальними принципами та основними методами гасіння дуги.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Полум'я дуги та боротьба з ним.
- 2 Загальні принципи гасіння дуги.
- 3 Гасіння відкритої дуги в магнітному полі. Швидкість руху дуги на різних ділянках.
- 4 Гасіння дуги в повздовжній щілині, магнітним дугтям.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Полум'я дуги та боротьба з ним

Відкрита електрична дуга супроводжується виділенням великої кількості світящихся газів, що представляють собою полум'я дуги. Ці гази займають великий об'єм. Причина виникнення полум'я полягає у високій температурі газів, що оточують дугу або проходять через неї. Ця температура викликає теплову іонізацію й світіння всього об'єму, зайнятого іонізованим газом. У ньому має місце однакова концентрація позитивних і негативних часток, і тому просторовий заряд полум'я практично дорівнює нулю. Більша концентрація заряджених часток приводить до великої провідності полум'я, що наближає його по властивостях до провідника. Присутність парів міді в полум'ї сильно сприяє його підтримці протягом сотих і навіть десятих часток секунди після загасання дуги. Боротьба з полум'ям саме цього роду представляє собою важливе завдання при побудові дугогасильних пристроїв.

Висока провідність полум'я дуги приводить до того, що це полум'я може викликати при напрузі кілька десятків вольт перекриття таких проміжків, які в нормальних умовах не пробиваються при десятках тисяч вольт. У цьому і полягає головна небезпека полум'я. Друга небезпека пов'язана з високою температурою. Хоча температура полум'я дуги й нижче, ніж у самій дузі, однак вона все-таки достатня для запалення легкогорючих матеріалів або газів, наявних у пожежонебезпечних виробництвах.

У полум'ї дуги відбуваються небезпечні для апаратів хімічні процеси. Пари міді контактів, потрапляючи в полум'я дуги, окисляються там при високій температурі й поглинають кисень повітря. Азот, що залишився після цього, з'єднується з парами води й киснем, утворюючи азотну кислоту. Краплі цієї кислоти можуть утворити провідні контактні перешийки й привести до небезпечних перекриттів між струмоведучими частинами в таких місцях, куди ні дуга, ні її полум'я не можуть потрапити.

У дугогасильних пристроях із широкими поздовжніми щілинами дуга і її полум'я займають надзвичайно великий об'єм за межами камер. В об'ємі, зайнятому полум'ям, не можуть перебувати інші апарати або струмопровідні частини – це викликає збільшення розмірів комплектних пристроїв (головним чином закритих) в

2 - 2,5 рази стосовно тих, які вимагають геометричні розміри апаратів і монтажні схеми їхніх сполук.

Досить ефективним способом гасіння електричної дуги є застосування вузьких поздовжніх щілин. У цих щілинах досягається й деяке обмеження розмірів полум'я дуги. Розміри полум'я дуги істотно менше в камері з вузькою зигзагоподібною щілиною. Однак погасити полум'я в об'ємі камери за допомогою вузьких щілин неможливо. Висота полум'я практично не залежить від шляху, прохідного дугою по щілині, а залежить головним чином від ширини щілини. Дуже вузькі щілини робити неможливо, тому що для того щоб запобігти зупинці дуги з усіма пагубними наслідками, що випливають, необхідно створити більші напруженості магнітного поля, що вимагає досить громіздких пристроїв.

Ефективним способом боротьби з полум'ям електричної дуги є установка решітки з теплопровідних металевих пластин над вузькою щілиною камери. Одержувана при цьому комбінована система дугогасіння, що складається з камери з вузькою щілиною й дугогасильної решітки невеликих розмірів (до $= 5...20$ мм), дозволяє досягти повної деонізації дуги і її полум'я в об'ємі дугогасильних пристроїв при відключенні досить більших струмів як у контакторах, так й в автоматичних вимикачах.

Рекомбінація іонів полум'я дуги тут відбувається під час їхнього зіткнення з металевими пластинами решітки. Висока теплоємність і теплопровідність цих пластин, досить сильно розвинена поверхня їхнього зіткнення з полум'ям, нарешті, досить значний шлях, що полум'я доводиться проходити уздовж пластин, сприяють повної деонізації полум'я. Рекомбінація іонів у поверхні холодних металевих пластин відбувається набагато інтенсивніше, ніж у поверхні діелектрика. Крім рекомбінації в поверхонь, тут підсилюється рекомбінація іонів в об'ємі в результаті сильного зниження температури полум'я під час його руху уздовж пластин решітки. Важливо відзначити, що більше істотної є довжина пластин (шляхи газів уздовж пластин), ніж їхня ширина.

У розглянутій системі гасіння дуги здійснюється у вузькій щілині, а деонізації полум'я дуги – у металевій решітці. Ні дуга, ні її полум'я не виступають

за межі камери. Розмір камер апаратів практично не збільшується. Розміри ж закритих комплектних пристроїв істотно скорочуються.

Слід зазначити, що для камер з вузькими щілинами й закритих дугогасильних пристроїв потрібні більше дугостійкі матеріали (азбестоцемент, кераміка). Зношування таких камер вище, ніж камер із широкими щілинами. Більше ефективне гасіння супроводжується більшими перенапругами в момент загасання дуги.

2 Загальні принципи гасіння дуги

На рисунку 4.1 показано ВАХ дуги, в послідовно з'єднаному R, L колі, та характер розподілу потенціалу вздовж дуги від аноду до катоду. Відомо, що умова

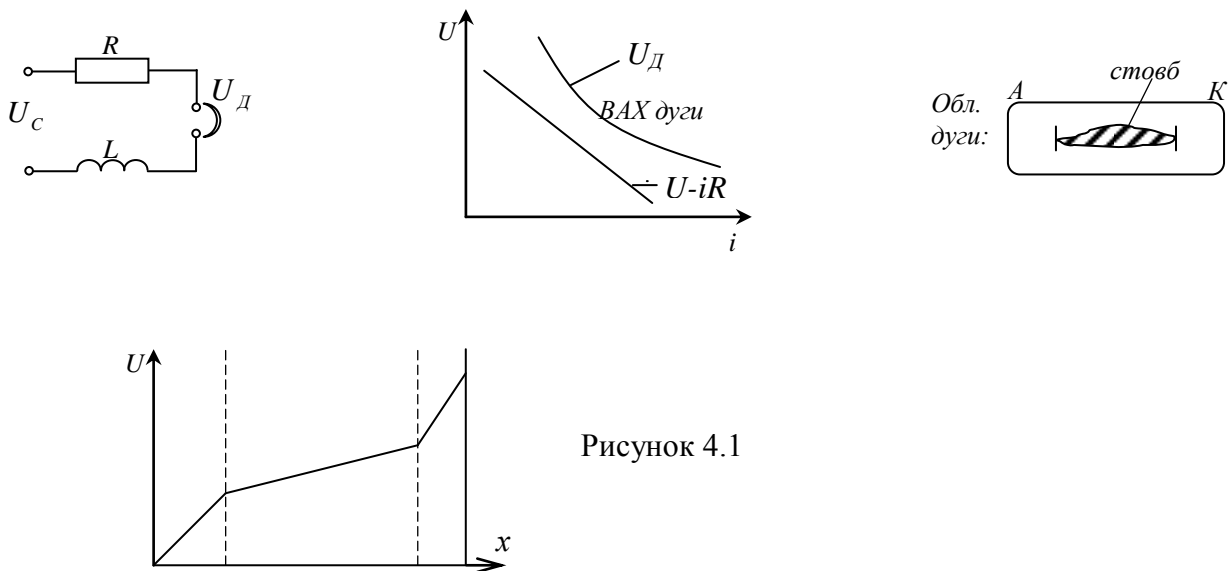


Рисунок 4.1

$$\boxed{U_{\text{дуги}} > U_c - iR} \text{ — умова гасіння дуги.}$$

$$U_{\text{дуги}} = U_{\kappa} + U_a + El_{\text{Д}}$$

Тобто, для гасіння дуги необхідно створювати такі умови, щоб спад напруги на дузі був більшим за напругу сітки. Гасити дугу можна кількома шляхами; використовуючи особливості розподілу напруги в областях між анодом і катодом. Для цього можна:

- 1) збільшити довжину дуги, розтягувати її;
- 2) діяти на повздовжній градієнт напруги на дуговому проміжку;

3) використовувати приелектродний спад напруги.

Головним іонізуючим фактором, що підтримує горіння дуги є термічна іонізація. Звідси випливає ідея гасіння дуги за рахунок її охолодження, бо при охолодженні знижується іонізація, а значить, дуговий стовп руйнується, бо існування стовпа зв'язане з термоелектронною емісією, іонізацією, рекомбінацією та дифузією частинок в стовпі дуги.

Дугу можна обдувати газом або рідиною. Можна переміщати через нерухомий газ чи рідину. Ефект охолодження буде тим самим. Переміщують дугу за допомогою магнітного поля. Гасити дугу можна також шляхом підвищення тиску в об'ємі, де розвивається (існує) дуга. Тоді енергія дуги витрачається на розігрів цього газу і відповідно до цього вона гасне.

Гасіння дуги високим тиском, що створюється дугою в щільно закритих камерах, застосовується в плавких запобіжниках.

$$pV = W_g \rightarrow p = \frac{W_g}{V}$$

Для використання приелектродного спаду напруги потрібно створити дугогасящі пристрої із багатьма електродами. Це – дугогасящі решітки.

3 Гасіння відкритої дуги в магнітному полі. Швидкість руху дуги на різних ділянках

На дугу діють електродинамічні сили, і дуга рухається (рисунок 4.2).

Сила Ампера, коли магнітне поле є перпендикулярним до осі дуги, визначається формулою:

$$F = I \cdot l \cdot B \left(\alpha = \frac{\pi}{2} \right).$$

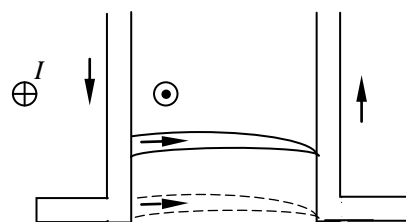


Рисунок 4.2

Сила тертя, що діє при русі дуги, пропорційна квадрату швидкості:

$$F_{\text{тертя}} = K \mathcal{G}^2,$$

де K – коефіцієнт пропорційності.

$$\text{Звідси } \mathcal{G} = \sqrt{\frac{I \cdot l \cdot B}{K}} \text{ – швидкість руху дуги. (4.1)}$$

В радіальному магнітному полі (рисунок 4.3) дуга буде рухатись по спіралі, дуга не стабільна.

Чим швидше рухається дуга, тим більший градієнт напруги в стволі дуги.

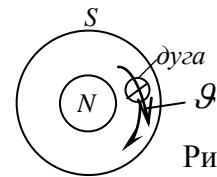


Рис.4.3

Для забезпечення переміщення дуги магнітне поле повинне бути перпендикулярним до осі дуги. Рівняння (4.1) дає якісну картину швидкості руху дуги, як функцію сили струму і магнітного поля. Як видно із 4.1, швидкість руху дуги прямопропорційна кореню квадратному із добутку сили струму на магнітну індукцію.

Розглянемо залежність швидкості руху від довжини дуги. Вона поділяється на три ділянки (рис. 4.4):

I ділянка: *прикатодна* (її довжина від 0.5 до 2 мм.) тут існує не дуга, а перешийок із розплавленого металу; $l_l \geq 0.5$ мм. Залежить від типу електродів. Для мідних ~ 1 мм, для сталевих – 2 мм;

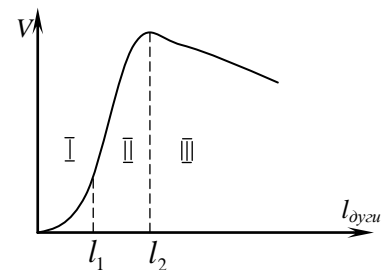


Рис 4.4

II ділянка: *перехідна*. На ній існує крапельно-рідкий стан і плюс дуга. Якщо на першій ділянці швидкість дуже мала, то на другій швидкість різко зростає, що сприяє умовам гасіння дуги і зменшує руйнування контактів;

ділянка: „*власне дуга*”. Під дією власного магнітного поля дуга намагається звернутись в спіраль, а зустрічний потік повітря намагається її розщепити. Гальмуюча дія цих факторів впливає на швидкість руху дуги.

4 Гасіння дуги в повздовжній щілині, маслі та дуттям

Повздовжня щілина. Щілина з декількома перегородками

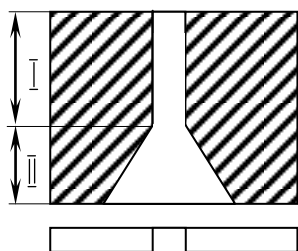


Рис 4.5

Дугу потрібно не просто гасити, а гасити в малому об'ємі, за короткий час, при малому зношуванні апарату.

На рисунку 4.5 представлена схематично повздовжня щілина, яка широко застосовується в сучасних апаратах.

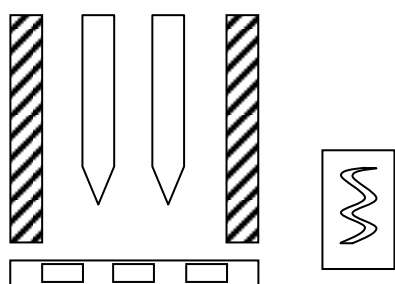
I – зона охолодження дуги.

II – зона розширення.

Вісь щілини співпадає по напрямку із віссю дуги.

Щілина являє собою камеру між двома теплоізоляційними стінками. У вузькій верхній частині камери на ділянці I дуга віддає свою енергію ізоляційним стінкам і охолоджується.

II ділянка більш широка – служить для втягування дуги в щілину. Якщо зробити декілька щілин, то отримаємо гребінку. Щілина з декількома перегородками більш ефективна при великих струмах.



а)

Рис 4.6

б)

Форма щілин може бути різною (рисунок 4.6. а,б).

Для гасіння найбільш ефективною є щілина лабіринт (хвилястої форми) (рисунок 4.6.б). Лабіринтні камери, наприклад, застосовують в дугових пристроях контакторів постійного струму.

Системи магнітного дуття

Магнітне дуття, тобто переміщення електричної дуги, може бути отримане декількома шляхами:

1) за допомогою котушки, що вмикається послідовно з контактами, між якими виникає дуга (рисунок 4.7);

2) за допомогою котушки, що вмикається паралельно до напруги (рисунок 4.8);

3) за допомогою постійних магнітів (рисунок 4.9).

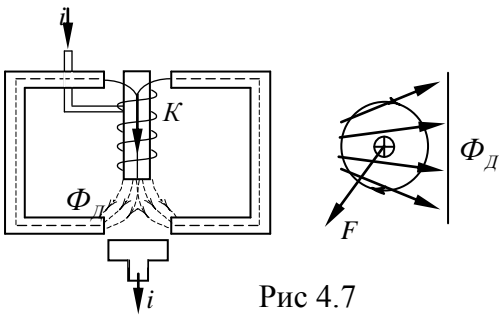


Рис 4.7

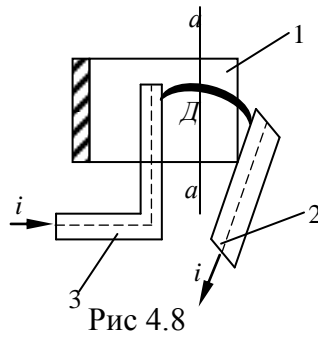


Рис 4.8

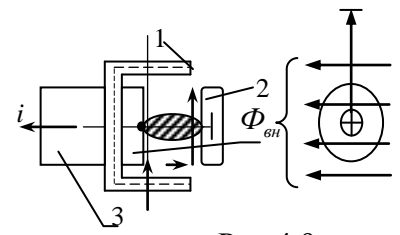


Рис 4.9

- 1 – сталый магнітопровід;
- 2,3 – рухомий і нерухомий контакт.

Лекція №5

Тема: Розрахунок магнітних кіл.

Мета: Ознайомитися з основними поняттями та законами магнітних кіл.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Основні поняття магнітного кола
- 2 Основні закони магнітних кіл постійного струму
- 3 Розгалужене магнітне коло постійного струму
- 4 Магнітні кола змінного струму з феромагнітними елементами

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник.

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.

1 Основні поняття магнітного кола

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

Магнітні кола наявні в електричних машинах, електромагнітних апаратах, елементах автоматики та релейного захисту, вимірювальних системах. Магнітний потік, який замикається вздовж магнітного кола, утворюється струмами витків. У загальному випадку такі кола нелінійні.

Подібно до електричного поля магнітне поле є носієм енергії і діє на інші магніти чи рухомі заряди. Однойменні полюси магнітів відштовхуються, а різнойменні – притягуються. Відомо, що електричний струм породжує магнітне поле, а змінне магнітне поле, у свою чергу, породжує електричний струм у контурі.

Сила Лоренца – сила дії магнітного поля на заряд, що рухається, пропорційна величині заряду, швидкості його руху, магнітній індукції та залежить від напрямку руху заряду. $q \mathbf{v}$

Ця сила визначається за формулою:

$$\overrightarrow{F} = q \cdot [\overrightarrow{v} \cdot \overrightarrow{B}].$$

Сила Лоренца максимальна, якщо напрям руху частинки перпендикулярний до вектора магнітної індукції.

Магнітна індукція (B) – це фізична величина, яка чисельно дорівнює силі, з якою магнітне поле діє на одиничний електричний заряд, що рухається з одиничною швидкістю в деякому середовищі перпендикулярно до силових ліній.

Одиниця вимірювання магнітної індукції в системі СІ має назву тесла (коротко позначається – Тл).

2 Основні закони магнітних кіл постійного струму

За аналогією з електричними колами для аналізу магнітних кіл застосовують схеми заміщення, а для складання рівнянь стану – закони Ома та Кірхгофа для магнітних кіл.

Одним із основних законів, що використовуються при розрахунку магнітних кіл, є закон повного струму:

$$\oint H dl = \sum I. \quad (5.3)$$

Він формулюється таким чином:

Інтеграл за замкнутим контуром вектора напруженості магнітного поля H дорівнює алгебраїчній сумі струмів I , що охоплюють цей контур; знак струму визначається за правилом правого гвинта.

Якщо довжина l змінюється в метрах, струм I – в амперах, то напруженість H має розмірність ампер на метр. У випадку, коли контур інтегрування охоплює w витків котушки, через яку проходить струм I , закон повного струму (5.3) набуде вигляду:

$$\oint H dl = Iw = F, \quad (5.4)$$

де F – магніторушійна сила (МРС), що вимірюється в амперах чи ампер-витках.

Під магніторушійною силою (МРС) розуміють повний струм, який створює магнітне поле в магнітопроводі. На схемі заміщення джерело МРС умовно позначають аналогічно джерелу ЕРС кружечком зі стрілкою всередині й літерою F праворуч. Пасивні елементи – це магнітні опори R_M , які моделюють ділянки магнітопроводу без обвиток. Значення магнітного опору визначається довжиною і площею перерізу ділянки магнітопроводу, матеріалом осердя. Магнітопроводи можуть мати розгалужену структуру, тоді на схемі заміщення місця розгалуження позначають як вузли.

Для практичних розрахунків інтеграл замінюють сумою добутків $H_k l_k$, де індекс k вказує ділянку, вздовж якої H будуть незмінними. В результаті формула (5.4) записується у вигляді закону магнітного кола:

$$\sum_{k=1}^{k=n} H_k l_k = \sum_{k=1}^{k=n} \frac{B_k}{\mu_{ak}} l_k = F, \quad (5.5)$$

де n - число ділянок.

Добуток $H_k l_k$ за відсутності обвитки зі струмом на k -й ділянці носить назву різниці скалярних магнітних потенціалів двох точок або спадання магнітної

напруги вздовж ділянки шляху і позначається U_{mn} , де m та n – початок та кінець ділянки.

Оскільки лінії магнітної індукції неперервні та замкнені, то потік вектора магнітної індукції крізь замкнену поверхню дорівнює нулю:

$$\Phi = \oint \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0. \quad (5.6)$$

З рівняння (5.6) випливає таке важливе положення: у нерозгалуженому магнітному колі потік на всіх ділянках однаковий, а у розгалуженому колі потік на ділянці, що підходить до місця розгалуження, дорівнює сумі магнітних потоків на ділянках, що виходять від місця розгалуження. У розгалуженому магнітному колі потік Φ підпорядковується першому закону Кірхгофа.

Якщо прийняти, що вектор індукції \mathbf{B} однаковий у всіх точках поперечного перерізу S нерозгалуженого магнітного кола та направлений перпендикулярно до цього перерізу, то його потік можна записати як

$$\Phi = B_k S_k,$$

де індекс k вказує ділянку, вздовж якої \mathbf{B} та S можуть бути взяті незмінними.

В результаті підстановки в рівняння (5.6) одержуємо залежність між магнітним потоком та МРС, яку називають законом Ома для магнітного кола:

$$\Phi = \frac{F}{\sum \frac{l_k}{\mu_{ak} S_k}} = \frac{F}{\sum R_{mk}} = \frac{F}{R_M}, \quad (5.7)$$

де R_M – магнітний опір кола, що має розмірність $1/\text{Гн}$.

За аналогією з електричним колом запишемо закон Ома для ділянки магнітного кола:

$$\Phi = \frac{U_M}{R_M}, \quad (5.8)$$

Магнітна напруга ділянки магнітного кола визначається за формулою:

$$U_M = \int_a^b \vec{H} \cdot d\vec{l}. \quad (5.9)$$

Якщо магнітне поле та вектори збігаються за напрямом, то одиниця вимірювання МРС та магнітної напруги однакові й тотожні з одиницею вимірювання струму, тобто ампер.

Закон Ома для магнітного кола у більшості випадків не може бути застосований для розрахунку внаслідок того, що зв'язок між B та H нелінійний. Приблизна графічна залежність $B=f(H)$ для феромагнітних матеріалів показана на рис. 5.10; така двозначна залежність називається петлею гістерезиса. Індукція B_r при $H=0$ називається залишковою. Ширина петлі дорівнює подвоєному значенню коерцитивної сили H_c .

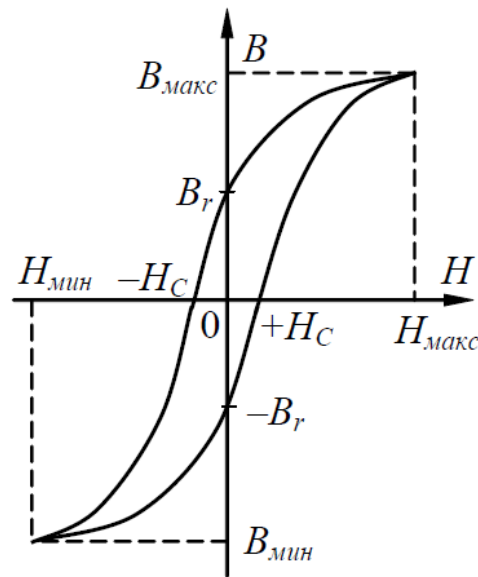


Рисунок 5.10 - Петля гістерезиса

Розглянемо нерозгалужене магнітне коло, що зображене на рис. 5.11, через яке проходить постійний струм I .

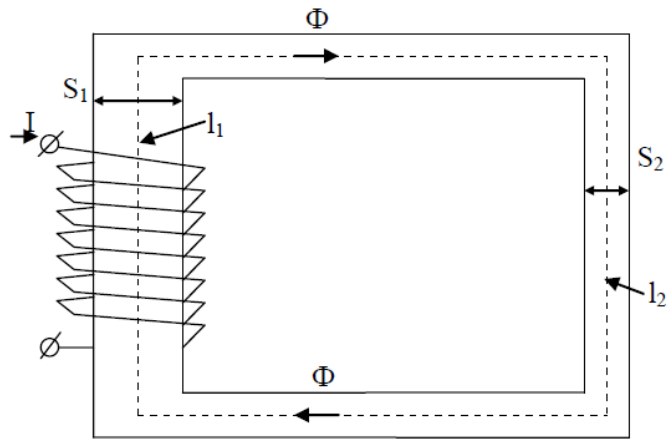


Рисунок 5.11

Схема заміщення нерозгалуженого магнітного кола є замкненим нерозгалуженим контуром (рис. 5.12). Джерело МРС F моделює обвитку з постійним струмом I . Ділянки магнітопроводу мають різні площі перерізів – відповідно. Тому схема заміщення містить два магнітні опори.

Магнітний потік Φ на кожній нерозгалуженій ділянці пасивної ділянки магнітопроводу залишається незмінним і визначається як

$$\Phi = B \cdot S .$$

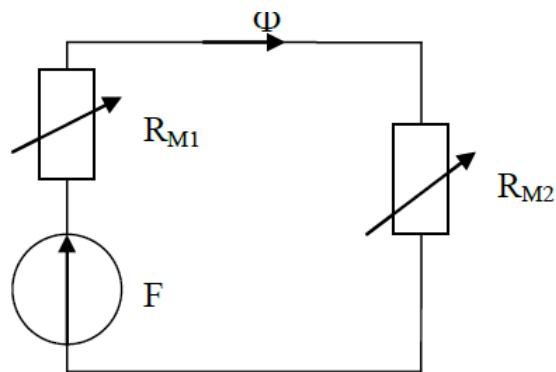


Рисунок 5.12

Магнітні кола з постійними магнітами завжди розімкнені, тобто мають корисний (робочий) повітряний проміжок (рис. 5.13).

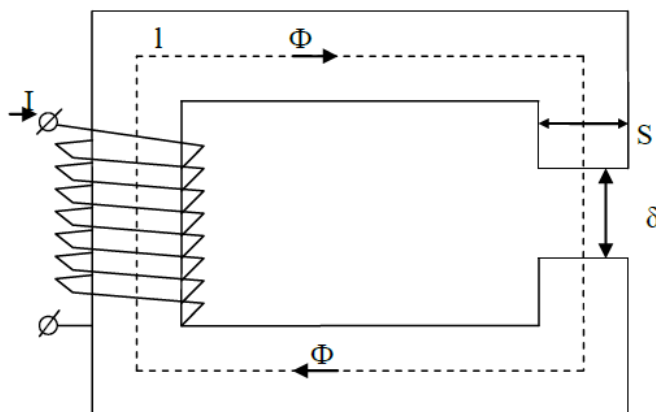


Рисунок 5.13

5.14. Схема заміщення магнітного кола з постійним магнітом наведена на рис.

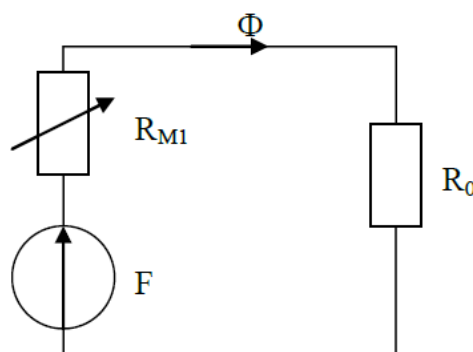


Рисунок 5.14

3 Розгалужене магнітне коло постійного струму

У розгалуженому магнітному колі можуть існувати декілька магнітних потоків, які додаються чи віднімаються на певних ділянках.

На рис. 5.16 показано розгалужене магнітне коло та еквівалентне йому електричне коло. У розгалуженому колі діють перший та другий закони Кірхгофа.

Перший закон Кірхгофа

Алгебраїчна сума магнітних потоків у вузлі дорівнює нулю.

Математична форма запису першого закону Кірхгофа

$$\sum \Phi_k = 0. \quad (5.10)$$

При цьому магнітні потоки, що направлені до вузла, мають один знак (наприклад, додатний), а магнітні потоки, що спрямовані від вузла, – протилежний знак (рис. 5.15).

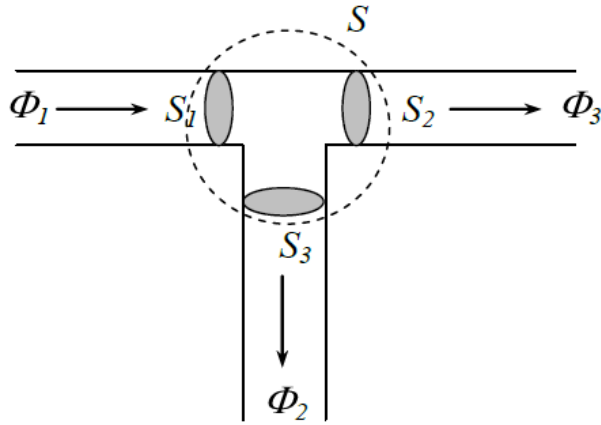


Рисунок 5.15

Другий закон Кірхгофа

Алгебраїчна сума намагнічувальних сил в будь-якому контурі дорівнює алгебраїчній сумі добутків потоків на відповідні магнітні опори даного контура.

При цьому необхідно задатися додатним напрямом обходу контура. Розгалужені магнітні кола є нелінійними і їх розрахунок здійснюють за допомогою магнітних характеристик.

Наприклад, для вузла 1 розгалуженого магнітного кола (рис. 5.16) перший закон Кірхгофа запишеться так

$$\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 = 0.$$

Рівняння за другим законом Кірхгофа:

$$\begin{aligned} R_{M1} \cdot \Phi_1 + R_{M3} \cdot \Phi_3 &= F_1, \\ R_{M3} \cdot \Phi_3 + R_{M2} \cdot \Phi_2 &= F_2. \end{aligned}$$

Розрахунки магнітних кіл подібні до розрахунків електричних кіл із нелінійними елементами.

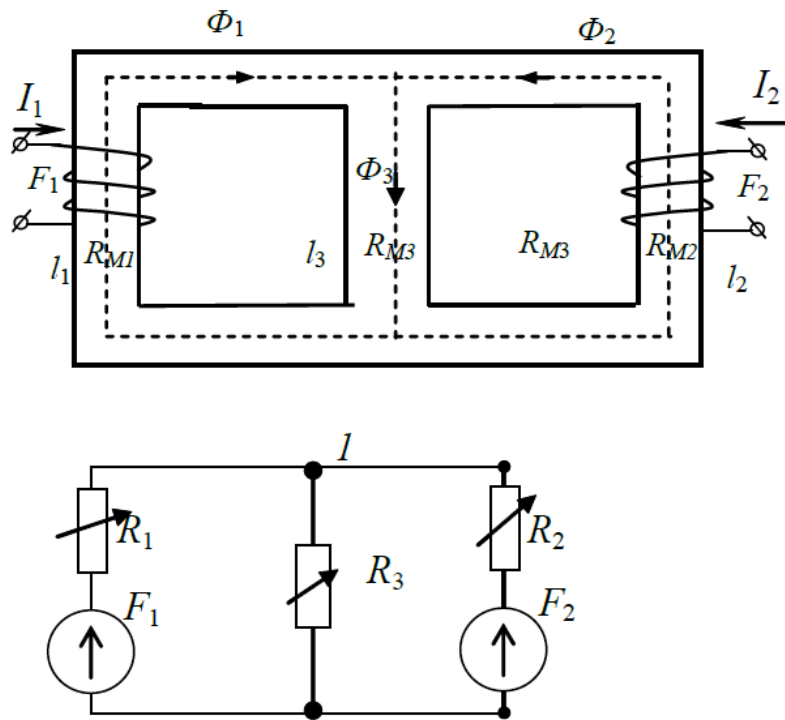


Рисунок 5.16

4 Магнітні кола змінного струму з феромагнітними елементами

Нелінійна залежність напруги від струму $u(i)$ в пристроях із феромагнітними елементами призводить до появи явищ, яких неможливо досягти в лінійних колах. У деяких випадках ці явища небажані (наприклад, поява несинусоїдальних струмів, вищих гармонічних складових), в інших випадках на їх основі розробляють спеціальні пристрої.

У технічній літературі нелінійні електромагнітні кола називають колами зі сталлю.

1. При розрахунках кіл зі сталлю в більшості випадків неможливо брати індуктивність L та взаємну індуктивність M постійними і тому доводиться користуватися безпосередньо залежностями між ЕРС та магнітним потоком чи потокозчепленням. Для косинусоїдального магнітного потоку $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$ такий зв'язок має вигляд (за відсутності розсіювання)

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} = \omega w \Phi_m \sin \omega t = E_m \sin \omega t,$$

звідки діюче значення ЕРС

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega \cdot w \Phi_m = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f \cdot w \Phi_m \approx 4,44 f \cdot w \Phi_m, \quad (5.11)$$

де w – кількість витків обмотки,

f – частота.

Потрібно звернути увагу на те, що ЕРС E відстає за фазою від потоку Φ на кут $\pi/2$.

2. У багатьох випадках у колах із феромагнітними осердям падіння напруги на активному опорі суттєво менше від величини ЕРС і в цих випадках говорять, що прикладена напруга урівнюється в основному за рахунок ЕРС, тобто

$$U \approx E = 4,44 f \cdot w \Phi_m.$$

З цього рівняння також випливає і інша особливість – магнітний потік у феромагнітному осерді при змінних струмах в основному визначається прикладеною напругою, тобто

$$\Phi_m \approx \frac{U}{4,44 f \cdot w}. \quad (5.12)$$

Зазначимо, що при постійних струмах магнітний потік визначається в основному струмом – точніше, магнітною індукцією, яка пов'язана нелінійною залежністю з напруженістю магнітного поля, яка визначається струмом, тобто

$$\Phi = BS, \quad B = f(H), \quad Hl + H_\delta \delta = Iw.$$

3. У колах зі сталлю виникають несинусоїдальні напруги та струми. У ряді випадків такі напруги та струми зручно замінити еквівалентними синусоїдами. Амплітуда еквівалентної синусоїди дорівнює діючому значенню відповідної несинусоїдальної величини, що помножена на зсув фаз між еквівалентними синусоїдами напруги та струму визначається за формулою

$$\varphi = \arccos \frac{P}{UI}, \quad (5.13)$$

де U – діюче значення напруги, I – діюче значення струму, P – активна потужність несинусоїдального струму.

Якщо одна з величин синусоїдальна, то еквівалентна синусоїда, одержана для другої величини, орієнтується за фазою щодо першої. У випадку, якщо несинусоїдальні, за початкову фазу еквівалентної синусоїди напруги може бути обрана початкова фаза основної гармоніки напруги.

Подання несинусоїдальних величин у вигляді еквівалентних синусоїд дозволяє проводити аналіз їх за допомогою векторних діаграм.

4. При зміні магнітного поля у феромагнітному матеріалі частина енергії магнітного поля перетворюється на тепло. Потужність, що відповідає цій частині енергії, називається втратами у сталі та позначається $P_{ст}$; у розрахунках, як правило, користуються питомими втратами у сталі $P_{ст}$, що вимірюються у ватах на кілограм.

Втрати у сталі складаються із втрат від гістерезису (втрати від перемагнічування) та динамічних втрат. Питомі втрати від гістерезису, позначають p_H , викликаються незворотними процесами у сталі при зміні орієнтації ділянок довільного намагнічування та пропорційні частоті. Для обчислення питомих втрат від гістерезису застосовується наближена формула:

$$p_H = \sigma_H B_m^2 f, \quad (5.14)$$

де σ_H – коефіцієнт, що залежить від сорту матеріалу,

f – частота,

B_m – амплітуда магнітної індукції.

Динамічні втрати викликаються вихровими струмами, що індукуються у масі магнітного матеріалу, а також магнітною в'язкістю, яка особливо помітно проявляється на крутих ділянках петлі гістерезису при малих змінах поля. У великій кількості практичних випадків динамічні втрати можна порівнювати зі втратами від вихрових струмів.

Питомі втрати від вихрових струмів

$$P_B = \frac{P_B}{alb\gamma} = \frac{\pi^2}{6\rho\gamma} b^2 f^2 B_m^2 = \sigma_B f^2 B_m^2, \quad (5.15)$$

де ρ – густина сталі;

γ – коефіцієнт, що залежить від сорту сталі;

b – товщина листа.

З виразу (5.15) бачимо, що r_v пропорційне квадрату частоти та квадрату товщини листа. Відповідно, одним зі способів зменшення r_v є зменшення товщини листа. Однак листи не можна виготовляти дуже тонкими. Зменшенню товщини листів заважає та обставина, що при цьому збільшуються питомі втрати від гістерезису r_H . Для різних частот існують різні оптимальні товщини листів. Наприклад, при частоті 400 Гц застосовуються листи товщиною 0,1–0,35 мм, а при частоті 50 Гц листи товщиною 0,35–0,5 мм.

5. При частотах порядку тисяч герців та вище виявляється поверхневий ефект, у результаті якого магнітна індукція не однаково розподілена у перерізі магнітопроводу (вона більша на периферії та менша у центрі перерізу).

Через поверхневий ефект і збільшення втрат сталі викори- стання осердь, що зібрані зі сталених листів, при високих частотах недоцільне. На високих частотах застосовуються осердя із феритів, що мають великий питомий електричний опір.

Феритами називають магнітні матеріали напівпровідникового типу. Феритові осердя виготовляються із порошків пресуванням з подальшим відпалюванням. Інші напівпровідникові матеріали чутливі до змін температури, зберігають свої магнітні властивості приблизно до $+70 - +120$ С.

Лекція №6

Тема: Електромагнітні механізми апаратів.

Мета: Ознайомитися з електромагнітними механізмами електричних апаратів.

Методи: словесні, наочні.

План:

1 Сила тяги електромагніта постійного струму

2 Сила тяги електромагніта змінного струму

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Сила тяги електромагніта постійного струму

Електромагнітні механізми застосовуються для приведення в дію багатьох електричних апаратів. Конструкції електромагнітів різноманітні. Деякі з них представлені на рисунку 6.1.

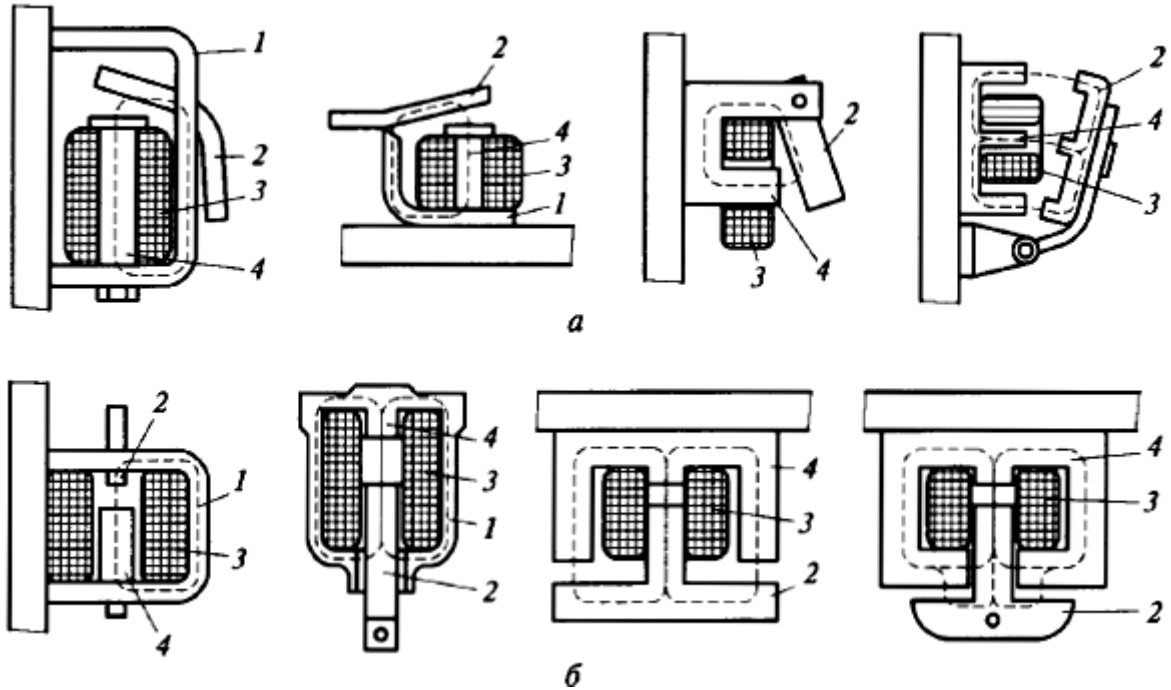


Рисунок 6.1 – Схеми електромагнітів:

а - з поворотним якорем; б - із прямоходним якорем; 1 - скоба ; 2 - якір; 3 - котушка ; 4 – сердечник

При включенні електромагніта його якір переміщається. Середня сила , що діє на якір на ділянці його ходу Δx :

$$F_{\text{ср}} = \frac{\Delta A}{\Delta x} = -\frac{\Delta A}{\Delta \delta} = -\frac{\Delta A}{\delta_2 - \delta_1},$$

де ΔA - механічна робота, виконана електромагнітом при переміщенні якоря Δx ; $\Delta \delta$ - зменшення зазору, $\Delta \delta = -\Delta x$; δ_2, δ_1 - кінцевий і початковий зазори між якорем і сердечником.

Для розрахунку сили, що розвивається електромагнітом, необхідно визначити виконану їм механічну роботу при невеликому переміщенні якоря dx , після чого розділити отримане значення на зміну зазору $d\delta = -dx$:

$$F_{\text{cp}} = -\frac{dA}{d\delta}. \quad (7.1)$$

Сила F діє убік зменшення зазору. Очевидно, що для кожного елементарного переміщення якоря можна визначити своє значення dA і знайти середню силу, що розвивається на даній ділянці ходу якоря.

Ряд електромагнітів працює при незмінному струмі в обмотці, рівному сталому значенню I_y . У цьому випадку має місце процес, відображуваний кривими, показаними на рисунку 6.2.

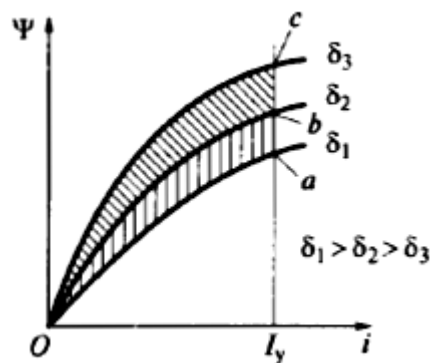


Рисунок 6.2 – Залежності потокозчеплення від струму, що дозволяють визначити статичну тягову характеристику електромагніта

Залежність тягової сили електромагніта F від величини роботи зазору δ при незмінному значенні струму в його обмотці, називається статичною тяговою характеристикою електромагніта.

Для зазору $\delta_{1\text{cp}} = (\delta_1 + \delta_2)/2$ силу можна знайти по формулі:

$$F_1 = -\frac{m_i m_\Psi S_{Oab}}{\delta_2 - \delta_1},$$

де m_i - масштаб по осі струму, А/мм;

m_Ψ - масштаб по осі потокозчеплення, Вб/мм;

S_{Oab} - площа фігури OaB , мм².

Аналогічно визначається сила:

$$F_2 = -\frac{m_i m_\Psi S_{Obc}}{\delta_3 - \delta_2},$$

яка розвивається при середньому зазорі $\delta_{2\text{cp}} = (\delta_2 + \delta_3)/2$

Для готового електромагніта статистична характеристика може бути легко знята. У повітряному зазорі електромагніта ставлять немагнітну прокладку, після чого до електромагніта підводять напругу. За допомогою динамометра постійно збільшують силу, протидіючи тяговій силі електромагніта, доти, поки якір не відірветься від сердечника. Ця сила в момент відриву дорівнює статичному зусиллю при зазорі, рівному товщині прокладки. Далі змінюють товщину прокладки й дослід повторюють при новому значенні зазору.

Сила, що розвиває електромагнітом, може бути розрахована з допомогою формули Максвелла на підставі аналізу магнітного поля, що діє на поверхні полюсів. Якщо поле в робочому зазорі рівномірне й полюси не насичені, то формула Максвелла для сили в одному зазорі має вигляд

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B_{\delta} S = \frac{\Phi_{\delta}^2}{2\mu_0 S}, \quad (7.2)$$

де μ_0 - магнітна постійна, рівна $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

B_{δ} – магнітна індукція в зазорі;

S - площа поперечного переріза зазору;

Φ_{δ} - магнітний потік у зазорі.

Виходячи із закону збереження енергії можна показати, що енергія, отримана магнітним полем при елементарному переміщенні якоря, дорівнює сумі механічної роботи, зробленої якорем, і збільшення запасу магнітної енергії:

$$i d\Psi = F dx + dW_m, \quad (7.3)$$

де $i d\Psi$ - елементарна енергія, отримана полем при переміщенні якоря;

$F dx$ - елементарна механічна робота, зроблена якорем;

$d W_m$ - збільшення магнітної енергії.

З рівняння (7.3) бачимо, що

$$F = i \frac{d\Psi}{dx} - \frac{dW_m}{dx}.$$

З врахуванням того, що $dx = -d'\delta$ й $W_m = i\Psi/2$ (для лінійного магнітного кола) отримаємо:

$$F = -i \frac{d\Psi}{d\delta} + i \frac{d\Psi}{2d\delta} + \Psi \frac{di}{2d\delta}. \quad (7.4)$$

Для статичної тягової характеристики $di/d\delta = 0$, так як струм в колі не мінється, то

$$F = i \frac{d\Psi}{2d\delta}. \quad (7.5)$$

Для клапанного електромагніта (рисунок 6.1) потোকосцеплення залежить від робочого потоку й потоку розсіювання: $\Psi = \Psi_{\delta} + \Psi_{\sigma}$.

Оскільки коло лінійне (насиченням сталі нехтуємо), то потোকосцеплення Ψ_{δ} , обумовлене робочим потоком Φ_{δ} , визначається по формулі:

$$\Psi_{\delta} = \Phi_{\delta} w = I w^2 G_{\delta},$$

де w - число витків у котушці;

G_{δ} - провідність робочого зазору.

Потокосцеплення Ψ_{σ} обумовлене потоком розсіювання, визначається по формулі:

$$\Psi_{\sigma} = F \int_0^l \frac{w}{l} \frac{I w}{l} x^2 g dx = I w^2 \frac{g l}{3},$$

де l - довжина сердечника електромагніта;

x - відстань від ярма до точки, у якій визначається потোকосцеплення Ψ_{σ} ;

g - питома магнітна провідність.

Підставивши вираз для суми Ψ_{σ} і Ψ_{δ} у формулу (7.5), одержимо

$$F = -\frac{1}{2} (I w)^2 \left[\frac{dG_{\delta}}{d\delta} + \frac{d(g l)}{d\delta} \right].$$

Оскільки провідність розсіювання від зазору δ не залежить, то

$d(g l)/d\delta = 0$ і сила, що розвивається електромагнітом:

$$F = -\frac{1}{2} (I w)^2 \frac{dG_{\delta}}{d\delta}. \quad (7.6)$$

Якщо відомо аналітичну залежність $G_{\delta} = f(\delta)$, то $dG_{\delta}/d\delta$ знаходять диференціюванням. У рівняння (7.6) підставляють значення $dG_{\delta}/d\delta$ для значення, що цікавить, зазору δ . Якщо G_{δ} визначають в результаті графічної побудови ліній магнітного поля, то спочатку роблять розрахунок G_{δ} для ряду положень ярма, після чого будують графік залежності $G_{\delta} = f(\delta)$ і виконують графічне диференціювання.

При досить малому зазорі для клапанного електромагніта

$$G_{\delta} = \frac{\mu_0 S}{2\delta},$$

$$F = \frac{1}{4}(Iw)^2 \frac{\mu_0 S}{\delta^2} = \pi(Iw)^2 \frac{S}{\delta^2} 10^{-7}. \quad (7.7)$$

Як бачимо з рівняння (7.7), розвиваєма електромагнітом сила пропорційна квадрату МРС обмотки, площі полюса й обернено пропорційна квадрату величини зазору. Отриманий розрахунковим шляхом графік залежності $F=f(\delta)$ при незмінній МРС, представлений на рисунку 6.3 (крива 1). Як бачимо, у міру зменшення δ сила F різко зростає, а при $\delta = 0$ приймає нескінченно велике значення. У дійсності ж при δ , що наближається до нуля, у магнітному колі зростає магнітний потік і збільшується падіння магнітного потенціалу в магнітопроводі, причому тільки частина МРС виявляється прикладеною до повітряного зазору. При виведенні формули (7.7) ми вважали, що вся МРС прикладена до повітряного зазору.

Крива 2 на рисунку 6.3 представляє собою графік залежності $F=f(\delta)$, отриманий експериментально. Порівняння кривих 1 й 2 показує, що при більших зазорах, коли потік у системі малий й падінням магнітного потенціалу в сердечнику можна зневажити, розрахункова й експериментальна криві майже збігаються. При малих зазорах сила, що розвивається електромагнітом, має кінцеве значення F_k .

Розбіжність кривих 1 й 2 можна пояснити, скориставшись формулою Максвелла (7.2). При $\delta = 0$ вся МРС витрачається на проведення магнітного потоку по колу, причому потік визначається її магнітним опором. Якщо зневажити потоком розсіювання й прийняти, що магнітне коло має всюди незмінний перетин, то напруженість поля:

$$H = Iw l_{cm},$$

де l_{cm} - довжина стержня магнітопровода.

Індукцію поля знаходять по кривій намагнічування, а силу – по формулі (7.2). Тому що потік має кінцеве значення, то й сила досягає кінцевого значення F_k .

Численні дослідження показали, що для розрахунку сили в насичених електромагнітах можна користуватися формулою (7.6), але тільки замість Iw

підставляють падіння магнітного потенціалу в робочому зазорі $(lw)_\delta$. Формула при цьому прийме вигляд:

$$F = -\frac{1}{2}(Iw)_\delta^2 \frac{dG_\delta}{d\delta}. \quad (7.8)$$

Значення $(lw)_\delta$ знаходять у результаті розрахунку магнітного кола .



Рисунок 6.3 – Статична тягова характеристика електромагніта :

1 - крива, отримана розрахунковим шляхом; 2 - експериментальна крива

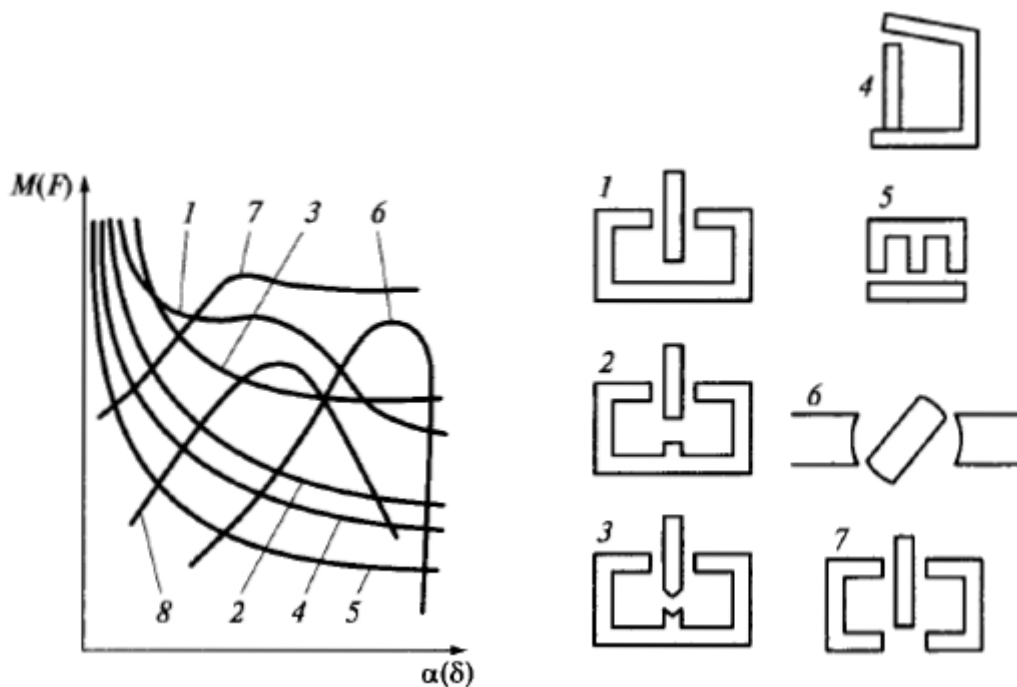


Рисунок 6.4 – Статичні тягові характеристики різних магнітних систем

Оскільки формула Максвелла (7.2) враховує реальну індукцію між полюсами, то вона також може бути використана при малому δ , якщо поле в зазорі рівномірне й вектор індукції перпендикулярний поверхні полюса.

Залежності сили від зазору $F(\delta)$ або моменту від кута повороту $M(\alpha)$ можна міняти в широких межах шляхом зміни форми полюсів і конструктивного виконання (рисунок 6.4). Вибір типу електромагніта диктується залежністю протидіючих сил або протидіючого моменту.

У броньовому електромагніті при переміщенні якоря міняється потік розсіювання, що викликає появу додаткової складової сили за рахунок похідної потোকосцеплення розсіювання по зазору. Скориставшись формулою (7.5), одержимо:

$$F = -\frac{1}{2}(Iw)^2 \left[\frac{dG_{\delta}}{d\delta} + \frac{d \frac{gz^2}{3l^2}}{dz} \frac{dz}{d\delta} + \frac{d \frac{gm^3}{3l^2}}{dz} \frac{dz}{d\delta} \right], \quad (7.9)$$

де $z = l - m - \delta$; m - довжина ярма сердечника.

Так як при зміні зазору значення m залишається постійним, сила, що розвивається електромагнітом броньового типу, без врахування магнітного опору сталі визначається по формулі:

$$F = -\frac{1}{2}(Iw)^2 \left[\frac{dG_{\delta}}{d\delta} + g \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right]. \quad (7.10)$$

Якщо порівняти формулу (7.10) з формулою (7.5) для клапанного електромагніта, то можна побачити, що в броньовому електромагніті створюється додаткова сила за рахунок потоків розсіювання. У довгоходових електромагнітах потоки розсіювання можуть створювати до половини загального зусилля. Завдяки цій особливості броньові електромагніти використовуються в тих випадках, коли потрібно розвинути велике зусилля й коли якір електромагніта повинен мати великий хід. При великому ході початкове зусилля створюється в основному тільки за рахунок потоків розсіювання. Якщо падінням потенціалу в магнітопроводі знехтувати не можна, так само як й у формулі (7.8), необхідно враховувати не всю МРС, а тільки ту її частину, що доводиться на робочий зазор. Для точного розрахунку сили необхідно графічно побудувати силові лінії поля електромагніта для різних зазорів при різних струмах й побудувати криві $\psi(i)$, після чого скористатися розглянутим раніше методом.

2 Сила тяги електромагніта змінного струму

Розглянемо завдання визначення сили тяги клапанного електромагніта з двома робочими зазорами (рисунок 6.5), зробивши наступні допущення: магнітний опір сталі, активний опір обмотки й втрати в сталі дорівнюють нулю; напруга, струм і потік міняються за синусоїдальним законом. У цьому випадку потік, а отже, потікосцеплення не залежать від зазору: $d\psi/d\delta = 0$. Тоді миттєве значення сили по (7.4):

$$F = \Psi \frac{di_{\delta}}{2d\delta}. \quad (7.11)$$

$$i = I_m \sin(\omega t); \quad (7.12)$$

$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t); \quad (7.13)$$

$$\Psi = \Psi_m \sin(\omega t). \quad (7.14)$$

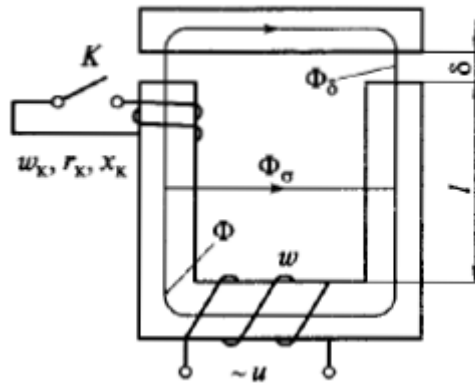


Рисунок 6.5 – Магнітне коло електромагніта змінного струму з короткозамкненою обмоткою

Підставивши вираз (7.12) і (7.14) у формулу (7.11), одержимо

$$F = \Psi_m \frac{dI_m}{2d\delta} \sin^2(\omega t). \quad (7.15)$$

Оскільки Ψ_m й $dI_m/d\delta$ при заданому зазорі δ не залежать від часу, можна записати:

$$F = F_m \sin^2(\omega t); \quad (7.16)$$

$$F_m = \Psi_m \frac{dI_m}{2d\delta}.$$

Похідна $dl_m/d\delta$ може бути знайдена графічним диференціюванням залежності $l_m(\delta)$, що виходить із розрахунку кола. Амплітуда потягосцеплення $\psi_m = \Phi_m$ визначається прикладеною напругою, оскільки $\Phi_m = U/(4,44fw)$.

Силу F_m можна знайти за допомогою формули Максвелла (7.2). Для системи із двома зазорами (рисунок 6.5):

$$F_m = 2 \frac{B_m^2}{2\mu_0} S = \frac{B_m^2 S}{\mu_0} = \frac{\Phi_m^2}{\mu_0 S}. \quad (7.17)$$

Миттєве значення сили:

$$F = \frac{\Phi_m^2 \sin^2(\omega t)}{\mu_0 S}.$$

Оскільки при зміні зазору амплітуди потоку Φ_m й індукції B_m не змінюються, амплітуда сили від зазору не залежить. Однак через наявність активного опору обмотки потік у системі з ростом зазору зменшується, що приводить до зменшення амплітуди сили.

Як ми вже відзначали раніше, сила змінюється в часі по наступному закону: $F = F_m \sin^2(\omega t)$.

Так як

$$\sin^2(\omega t) = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2},$$

$$F = \frac{F_m}{2} - \frac{F_m}{2} \cos(2\omega t). \quad (7.18)$$

Миттєве значення сили пульсує з подвійною частотою по відношенню до частоти струму. Середнє значення сили дорівнює половині амплітудного значення :

$$F_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T F dt = \frac{F_m}{2}.$$

Для притягання якоря необхідно, щоб середнє значення сили було більше протидіючого зусилля .

Зміна сили в часі негативно позначається на роботі електромагніта. У певні моменти сила протидії пружини стає більше сили електромагніта, при цьому

відбувається відрив якоря від сердечника. При наступному наростанні сили електромагніта знову відбувається притягання якоря. У результаті якір електромагніта безупинно вібрає, створюючи шум й ненормальні умови для роботи механізму й контактів. У зв'язку з цим застосовуються заходи щодо усунення вібрацій.

В однофазних магнітах найбільшого поширення одержало використання короткозамкненого витка. Ескіз полюса такого електромагніта представлений на рисунку 6.6, а. Наконечник полюса розщеплений, і на більшу його частину накладений короткозамкнений виток, виконаний з міді або алюмінію. Для простоти приймемо, що магнітний опір сталі дорівнює нулю й існує тільки один робочий зазор.

Завдяки наявності короткозамкненого витка потік Φ_2 відстає по фазі відносно Φ_1 на кут φ (рисунок 6.6, б, г). Кожний з потоків під своєю частиною полюса створює свою силу. У верхній частині полюса виникає сила:

$$F_1 = F_{m1} \sin^2(\omega t) = F_{cp1} - F_{cp1} \cos(2\omega t).$$

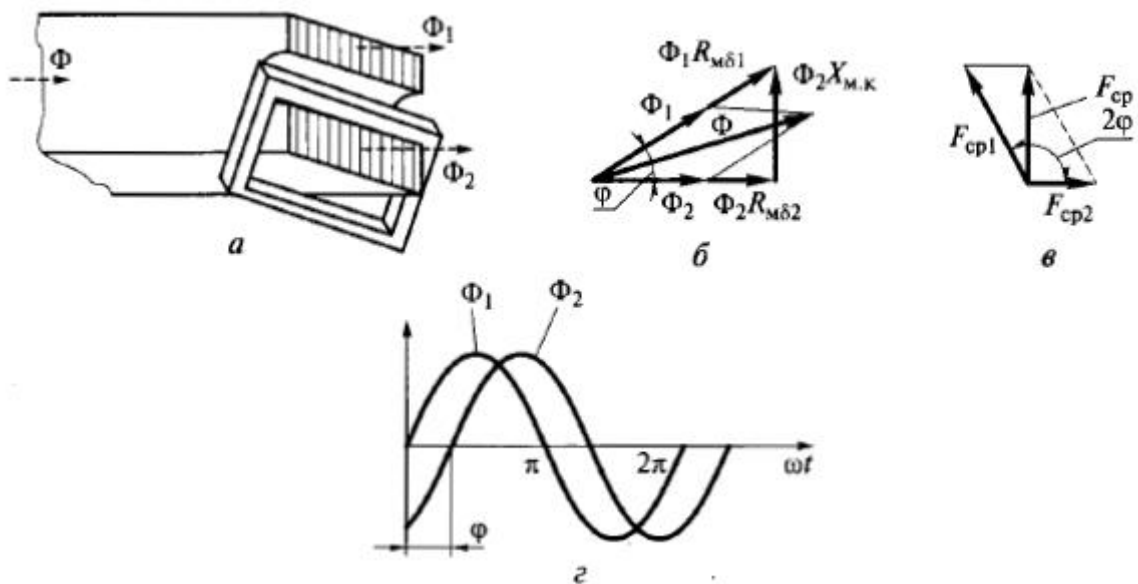


Рисунок 6.6 – Ескіз полюса електромагніта змінного струму з короткозамкненим витком (а), векторні діаграми магнітних потоків (б) і сил (в), часові діаграми магнітних потоків (г)

У нижній частині полюса виникає сила:

$$F_2 = F_{m2} \sin^2(\omega t - \varphi) = F_{cp2} - F_{cp2} \cos(2\omega t - 2\varphi).$$

Результуюча сила, що діє на якір, дорівнює сумі сил F_1 і F_2 . Якщо зобразити F_{cp1} й F_{cp2} відповідними векторами (рисунок 6.6, в), то амплітуда змінної складової може бути знайдена з векторної діаграми:

$$F_{m-} = \sqrt{F_{cp1}^2 + F_{cp2}^2 + 2F_{cp1}F_{cp2}\cos(2\varphi)}. \quad (7.19)$$

Звичайно електромагніт проектують таким чином, щоб розвиваюча їм мінімальна сила, була більше протидіючої сили:

$$F_{min} = F_{cp} - F_{m-} > F_{прот.}$$

Отже, що чим менше F_{m-} , тим менше буде пульсація сили F . З рівняння (7.19) бачимо, що F_m дорівнює нулю при $F_{cp1} = F_{cp2}$ й $\varphi = 90^\circ$.

Кут зміщення фаз φ залежить від магнітного опору зазору під витком $R_{m\delta 2}$ і параметрів короткозамкненого витка:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\omega}{r_k R_{m\delta 2}}. \quad (7.20)$$

Відповідно до формули (7.20) кут $\varphi = 90^\circ$ тільки при $r_k = 0$ ($R_{m\delta 2} = 0$). Це значить, що реактивний магнітний опір кола з короткозамкненим витком $X_{m.k} = \omega / r_k = \infty$ й потік $\Phi_2 = 0$, що приводить до збільшення вібрації якоря. Умови $F_{cp1} = F_{cp2}$ й $\varphi = 90^\circ$ виконати неможливо. Для ненасичених систем найменше значення змінної складової має місце при $\Phi_1 = \Phi_2$ і куті зміщення фаз $\varphi = 60 \dots 65^\circ$. При цьому $F_{cp1} \neq F_{cp2}$. Оскільки короткозамкнений виток зменшує потік під нижньою частиною полюса, то з метою вирівнювання потоків Φ_1 і Φ_2 його роблять охоплюючим більшу частину полюса (звичайно 2/3).

З формули (7.20) також бачимо, що чим більше робочий зазор, а отже й $R_{m\delta 2}$, тим менше кут φ . У зв'язку із цим короткозамкнений виток робить позитивний ефект тільки при малих зазорах. При більших зазорах $R_{m\delta 2} \gg \omega / r_k$ і кут $\varphi = 0$. Отже, ніякого зміщення фаз між потоками Φ_1 і Φ_2 не буде. Індуктивний опір витка $X_{m.k}$ також зменшує кут φ , оскільки при цьому зменшується $X_{m.k}$. Зазвичай $\varphi = 50 \dots 60^\circ$.

При наявності трифазного джерела живлення для зменшення вібрації можна використати природне зміщення потоків у магнітній системі. Якщо прийняти, що в магнітному відношенні всі три фази магніту симетричні й насичення відсутнє, то сили, що розвиваються під полюсами А, В, С:

$$\begin{aligned}
 F_A &= F_m \sin^2(\omega t); \\
 F_B &= F_m \sin^2(\omega t - 2\pi/3); \\
 F_C &= F_m \sin^2(\omega t - 4\pi/3).
 \end{aligned}$$

Результуюча сила, що діє на якір, дорівнює сумі цих сил:

$$F = F_A + F_B + F_C = (2/3)F_m. \quad (7.21)$$

Таким чином, у трифазному електромагніті результуюча сила, що діє на якір, у часі не міняється. Однак й в цьому випадку вібрація якоря повністю не усувається. При проходженні потоку в кожній фазі через нуль сила, що розвивається цією фазою, також дорівнює нулю. У результаті точка додатка електромагнітної сили переміщається. Оскільки точка додатка протидіючої сили незмінна, виникає перекочування якоря, тобто вібрація.

Для електромагнітів постійного й змінного струму із двома робочими зазорами сила може бути розрахована по формулі Максвелла:

$$F_A = B_g^2 S / \mu_0 \text{ или } F_m = B_m^2 S / \mu_0.$$

Якщо у електромагнітів постійного й змінного струму площі полюсів і максимальні значення індукції в робочих зазорах однакові, то максимальне значення сили в електромагніті змінного струму дорівнює силі, що розвивається електромагнітом постійного струму. Оскільки середнє значення сили при змінному струмі $F_{\text{ср}} = F_m/2$, то середня сила, що розвивається електромагнітом змінного струму, в 2 рази менше сили, що розвивається електромагнітом постійного струму.

Таким чином, при тій же витраті сталі електромагніт постійного струму розвиває в 2 рази більше зусилля, чим електромагніт змінного струму.

Тепер порівнюємо характеристики $F = f(\delta)$ для електромагнітів клапанного типу постійного й змінного струму. Як бачимо з формули (7.7), з ростом зазору сила змінюється обернено пропорційно квадрату величини зазору. У зв'язку із цим клапанний електромагніт постійного струму або має малий робочий хід якоря, або обмотка цього електромагніта повинна мати велику МРС, щоб створити необхідний потік при великому опорі повітряного зазору.

В електромагніті змінного струму середня сила в 2 рази менше, чим в електромагніті постійного струму при тому ж значенні індукції. Однак з ростом

зазору, з одного боку, росте магнітний опір робочого зазору, а з іншого боку, збільшується струм в обмотці, тому потік у робочому зазорі зменшується лише за рахунок активного спаду напруги в обмотці. Таким чином, електромагніт змінного струму як би має автоматичне регулювання. При більшому зазорі створюється більша МРС обмотки, яка забезпечує необхідний потік у робочому зазорі. У зв'язку із цим електромагніти змінного струму можуть працювати при відносно більшому ході якоря.

Лекція №7

Тема: Вимикачі високовольтні.

Мета: Ознайомитися з видами високовольтних вимикачів та їх будовою.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Загальні відомості
- 2 Вимикачі масляні
- 3 Вимикачі повітряні
- 4 Вимикачі елегазові

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник.

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.

1 Загальні відомості

Апарати високої напруги, будучи в основному апаратами розподільних пристроїв, служать для розподілу потужних потоків електроенергії й керування ними, забезпечення надійної роботи енергоустановок і систем при аварійних режимах. ДЕРЖСТАНДАРТ 687-78 регламентує для них напруги від 3 кВ і вище. Насьогодні широко використовується напруга до 750 кВ.

У сучасних потужних енергосистемах номінальні струми на шинах ($U_{\text{ном}} > 110 \text{ кВ}$) досягають 8-12 кА, а на відгалудженнях – до 4-5 кА. На шинах генераторної напруги ($U_{\text{ном}} = 16 \dots 27 \text{ кВ}$) номінальні струми досягають 7-50 кА залежно від потужності генератора. Для забезпечення найбільш відповідального режиму роботи – режиму короткого замикання (КЗ) найбільший струм КЗ, на який створювалися апарати високої напруги, досягає більше 63 кА. У системах напругою до 420 кВ очікується зростання струмів КЗ до 80 кА, а при генераторних напругах струми КЗ досягають 180 кА.

Швидкий ріст номінальних напруг енергосистем, зростання струмів короткого замикання й номінальних струмів ставлять завдання по створенню апаратів високої напруги, що задовольняють підвищеним вимогам.

До основних апаратів розподільних пристроїв (не тільки високої напруги) відносяться вимикачі, роз'єднувачі й побудовані на їхній базі реактори й розрядники, а також вимірювальні трансформатори струму й напруги, запобіжники. Головними є вимикачі, що визначають розвиток всієї цієї області апаратів.

Вимикачі здійснюють оперативні включення й відключення, а головне – захист від струмів КЗ. Крім номінальних значень струму й напруги основними показниками для них є номінальні струми відключення, включення й електродинамічної стійкості, тобто найбільші струми КЗ, які вимикач здатний відключити, включити й пропустити через себе не руйнуючись.

Відключення великих струмів короткого замикання — найскладніше завдання. По способу гасіння дуги високовольтні вимикачі можуть бути *масляні, повітряні, елегазові, вакуумні, електромагнітні* й ін. Окремі типи вимикачів з обмеженою відключаючою здатністю, називають вимикачами навантаження.

По конструкції вимикачі кожного типу в залежності, від виконуваних функцій (призначення) у схемах розподільних пристроїв підрозділяються на *генераторні, мережні* або *підстанційні*. Генераторні вимикачі характеризуються великими значеннями номінальних струмів і більших струмів відключення при менших напругах, мережні – меншими номінальними струмами й більш високими напругами, підстанційні – найвищими номінальними напругами, найбільш високою відключаючою здатністю, швидкодією й наявністю автоматичного повторного включення (АПВ). Апарати розрізняються ще по інших характеристиках – швидкодії, наявності АПВ, виконанню – для зовнішньої або внутрішньої установки, по числу фаз, по роду привода й т.п..

2 Вимикачі масляні

Масляні вимикачі – одні з перших комутаційних апаратів в електроустановках високої напруги.

Розрізняють вимикачі *масляні бакові* — з більшим об'ємом масла, масло служить й як дугогасяще середовище, і як ізоляція, і вимикачі *маломасляні* — з малим об'ємом масла, масло служить тільки дугогасящим середовищем.

На напруги 35-220 кВ застосовуються в основному бакові вимикачі. Маломасляні вимикачі є основними на напругу до 10 кВ. Починають все більш широко застосовуватися маломасляні вимикачі в зовнішніх установках на 110 та 220 кВ за умови їх достатньої відключаючої здатності (серія ВМТ).

Переваги масляних вимикачів – відносна простота конструкції, більша відключаюча здатність і незалежність від атмосферних явищ. Недоліком, особливо бакових вимикачів, є наявність великої кількості масла, що приводить до більших габаритів і мас як самих вимикачів, так і розподільних пристроїв, підвищеної пожехо- і вибухонебезпечності, необхідності спеціального масляного господарства.

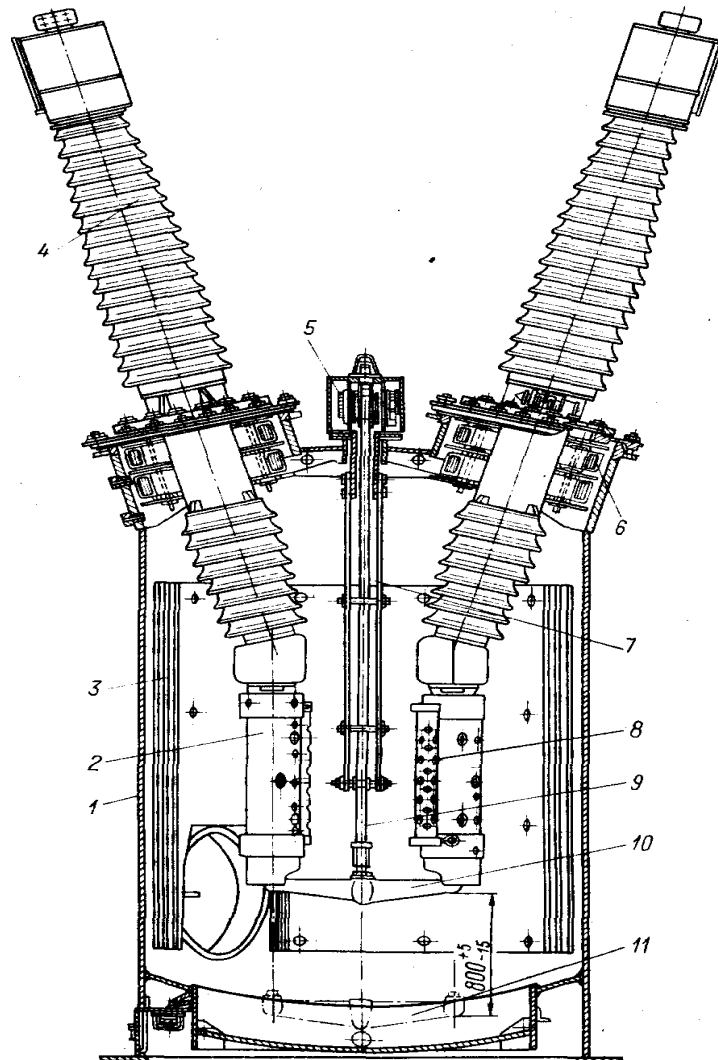


Рисунок 1-1 – Поліс масляного бакового вимикача на напругу 220 кВ

1 - бак; 2 - дугогасна камера з нерухомими контактами й шунтувальним резистором; 3 - ізоляція бака; 4 - вводи; 5 - приводний механізм; 6 - трансформатор струму; 7 - напрямний пристрій; 8 - шунтувальний резистор; 9 - ізоляційна тяга; 10-траверса з рухливими контактами; 11 - положення траверси після відключення

Вимикачі масляні бакові. Це вимикачі на напругу до 20 кВ і відносно малі струми відключення виконуються здебільшого однобаковими (три полюси в одному баці), на напругу 35 кВ і вище - трибаковими (кожна фаза в окремому баці) із загальним або індивідуальним приводами. Вимикачі можуть забезпечуватися електромагнітними або пневматичними приводами й працюють із автоматичним повторним включенням (АПВ).

Основою конструкції вимикача (рисунок 1-1) є бак циліндричної або еліпсоїдальної форми, всередині якого й на ньому монтується контактна й дугогасна системи, вводи й привод. Бак заливається до певного рівня трансформаторним маслом. Між поверхнею масла й кришкою бака повинен залишитися деякий вільний об'єм (звичайно 20-30 % об'єму бака) — повітряна буферна подушка, що взаємодіє з навколишнім простором через газовідвідну трубку. Повітряна подушка знижує тиск, переданий на стінки бака при відключенні, виключає викид масла з бака й охороняє вимикач від вибуху при надмірному тиску.

Висота рівня масла над місцем розриву контактів повинна бути такою, щоб виключити викид у повітряну подушку гарячих газів, що виділяються при відключенні внаслідок розкладання масла. Прорив цих газів може при певних їхніх співвідношеннях привести до утворення вибухової суміші (гримучого газу) і вибуху вимикача. Висота рівня масла над місцем розриву контактів визначається номінальними напругами й струмом відключення й може становити від 300-600 мм у вимикачах на напругу 6-10 кВ і до 2500 мм у вимикачах на напругу 220 кВ.

При напругах 3-6 кВ і малих відключаючих струмах, застосовується простий розрив у маслі. При напругах 10, 35 кВ і вище залежно від значень напруги й відключаючих струмах, використовуються як прості, так і більш складні дугогасні пристрої з поздовжнім, поперечним, повздовжньо-поперечним дуттям, з одно- і багаторазовим розривом.

Приклад дугогасної камери із проміжним контактом і поздовжнім дуттям, застосовуваної у вимикачах на 110 й 220 кВ, наведений на рисунку 1-2. При відключенні спочатку розмикаються контакти 2 й 1, а потім контакти 1 й 8. Дуга між контактами 2 й 1 (генеруюча) створює підвищений тиск у верхній напівкамері. Газопарова суміш і часточки масла спрямовуються в сполучений з об'ємом бака порожній контакт 8, створюючи інтенсивне повздовжнє дуття й гасячи дугу. При відключенні більших струмів тиск у камері до моменту розбіжності контактів 1 й 8 досягає 4-5 МПа. Після відключення камера заповнюється свіжим маслом через нижній отвір напівкамери 7.

Масляні бакові вимикачі на напругу 35 кВ і вище мають вбудовані трансформатори струму. На внутрішню частину прохідного ізолятора надягнуті, і укріплені під кришкою вимикача сердечники із вторинними обмотками (один або два на ізолятор). Струмоведучий стрижень прохідного ізолятора служить первинною обмоткою. Вимикачі на напругу 110 кВ і вище можуть мати ємнісні трансформатори напруги, для виконання яких використовуються обкладки маслonaповнених вводів конденсаторного типу, і трансформатори напруги з індуктивною котушкою.

Вимикачі маломасляні. На відміну від масляних бакових вимикачів масло служить тут тільки дугогасним середовищем, а ізоляція струмоведучих частин і дугогасного пристрою відносно землі здійснюється за допомогою твердих

ізоляційних матеріалів (кераміка, текстоліт, епоксидні смоли й т.п.). Діаметри циліндрів у цих вимикачів значно менше в порівнянні з діаметрами баків масляних бакових вимикачів, відповідно набагато менше об'єм і маса масла, що заливається в циліндри. Менша, чим у бакового вимикача, міцність корпусу відносно тиску, створюваним при відключенні граничних струмів короткого замикання, обмежує відключаючу здатність маломасляного вимикача.

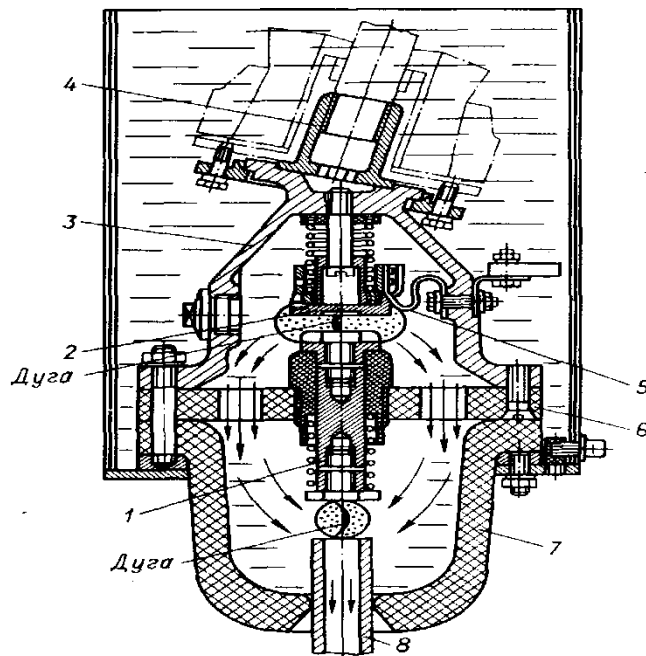


Рисунок 1-2 – Дугогасна камера із проміжним контактом і повздовжнім дуттям.

1-проміжний контакт із пружиною; 2- нерухомий контакт із пружиною; 3 - верхня напівкамера, металева; 4 - деталі з'єднання зі струмопровідним стрижнем; 5 - гнучкий зв'язок; 6 - перегородка; 7 - нижня напівкамера, ізоляційна; 8 - рухливий контакт.

Маломасляні вимикачі мають істотно менші габарити й масу, меншу вибухо- і пожежонебезпеку й вимагають менших і більш дешевих розподільних пристроїв у порівнянні з масляними баковими вимикачами. Наявність у маломасляних вимикачах вбудованих трансформаторів струму і ємнісних трансформаторів напруги значно ускладнює конструкцію вимикачів і збільшує їхні габарити, тому маломасляні вимикачі виконуються без органічного зв'язку з такими трансформаторами.

Вимикачі по компонованню виконуються з дугогасними камерами внизу (хід рухливого контакту зверху вниз) і з камерами, розташованими зверху (хід рухливого контакту знизу вгору). Останні більше перспективні відносно підвищення відключаючої здатності. Застосовуються вимикачі для внутрішньої установки як розподільні й генераторні й для зовнішньої установки як розподільні й підстанційні.

На рисунку 1-3 наведений загальний вид *вимикача типу ВМПЭ-10* на 10 кВ і струми 630, 1000, 1600 А (залежно від перетину струмопроводу й контактів), номінальний струм відключення 20 й 31,5 кА, час відключення вимикача із приводом 0,12 с, час горіння дуги при номінальних струмах відключення не більше, 0,02 с. Вимикач змонтований на звареній рамі 3. Всередині рами розташований приводний механізм, що передає рух від привода до рухливих

контактів і складається із приводного вала 5 з важелями, ізоляційної тяги 4, що відключають пружин, масляного 6 і пружинного демпферів. До рами за допомогою ізоляторів 2 підвішені три полюси 1 вимикача.

Кажен полюс (рисунок 1-4) складається з міцного вологостійкого ізоляційного циліндра 5, армованого на кінцях металевими фланцями 3 й 6. На верхньому фланці укріплений корпус 9 з алюмінієвого сплаву. Всередині корпуса розташований приводний механізм 13 і рухлива контакт-деталь 14 з роликовим струмоз'ємним пристроєм 8 і маслоуловлювачем 12. Корпус закривається кришкою 10, що має отвір для виходу газів і пробку 11 маслоналивного отвору.

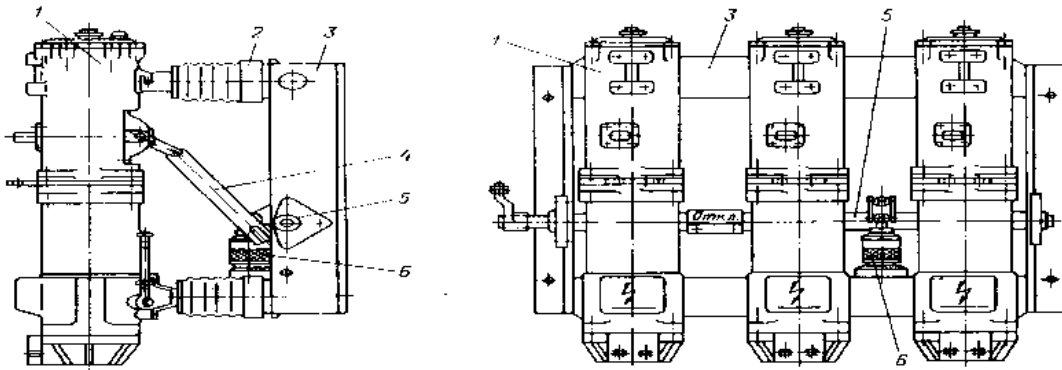


Рисунок 1-3 – Вимикач маломасляний на 10 кВ для внутрішньої установки (тип ВМПЭ-10) – загальний вид.

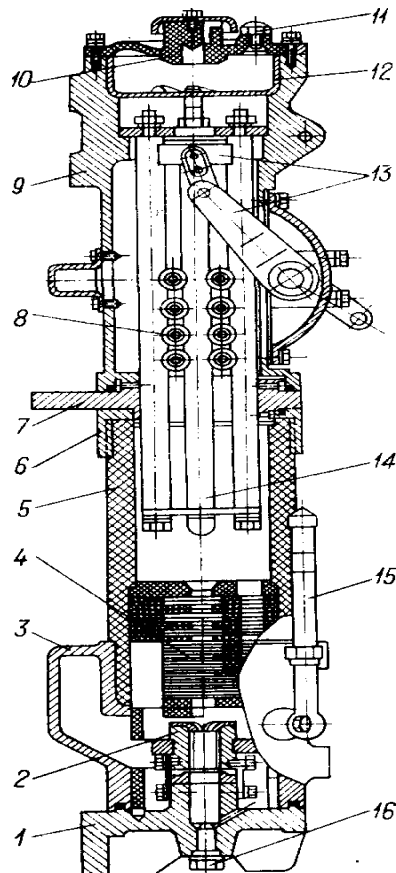


Рисунок 1-4 – Поліс вимикача, зображеного на рисунку 1-3.

Нижній фланець закривається кришкою 1, всередині якої розташована нерухома розеткова контакт-деталь 2, над якою встановлена дугогасна камера 4 поперечного масляного дуття. Знизу кришки розміщена маслоспускова пробка 16, на фланці встановлений маслопоказчик 15.

Для підвищення стійкості контактів до дії електричної дуги й збільшення строку їхньої служби знімний наконечник рухливої контакт-деталі й верхніх торців ламелей розеткового контакту облицьовані дугостійкою металокерамікою. Струмопровід приєднаний до нижньої кришки й до верхньої кришки або середнього виводу 7. Вимикач може мати вбудовані елементи захисту й керування, такі, як реле максимального струму миттєвої дії й з витримкою часу, реле мінімальної напруги, що відключають електромагніти, допоміжні контакти й т.п.

Загальний вид *маломасляного генераторного вимикача* наведений на рисунку 1-5. Особливістю конструкцій цих вимикачів є струмопровід, що має два паралельних контури: основний, контакти якого розташовані відкрито, і дугогасний, контакти якого перебувають у дугогасних камерах всередині бака. На рисунку 1-6 представлена функціональна електрична схема вимикача, зображеного на рисунку 1-5. Основний контур утворюють струмопровід 11, струмоведуча шина 7, основні контакти 9, основна шина траверси 8 і відповідні позиції 9, 10 і 11 другого бака. Дугогасний контур — основна шина 10, мідні скоби 12, що з'єднують основну шину з баком, стінки бака 3, нерухомий дугогасний контакт 13, дуга (у момент відключення) 14, рухливий дугогасний контакт 15 і відповідні позиції 15, 14, 13, 3, 12, 10 другого бака. При включеному положенні вимикача обидва контури працюють паралельно. Переважна частина струму проходить через основний контур, що має в порівнянні з дугогасним значно менший опір. При відключенні спочатку розмикаються основні контакти, дуга на них не виникає, весь струм переходить у дугогасний контур. Потім розмикаються дугогасні контакти, відключаючи коло. Вимикачі виконуються із дворазовим розривом на фазу, з камерами різної конструкції.

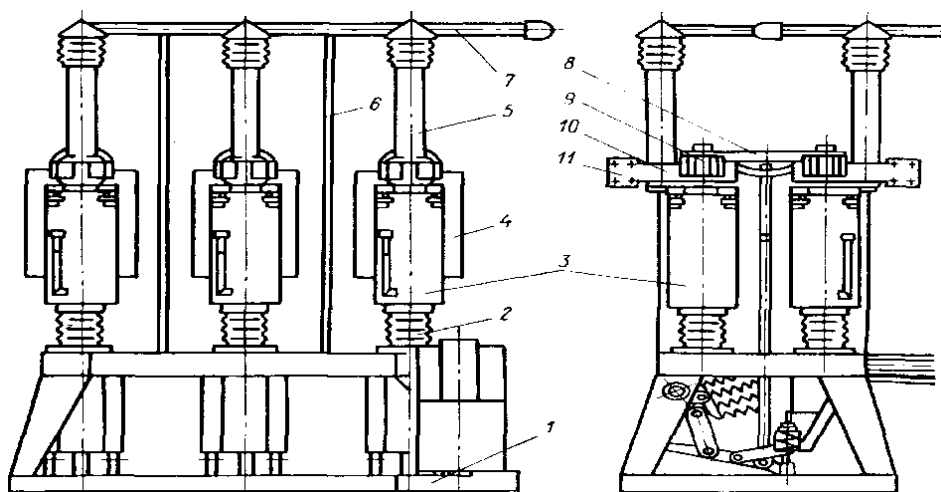


Рисунок 1-5 – Вимикач маломасляний генераторний (тип МГУ-20)

1-підстава; 2 - опорний ізолятор; 3, 5-бак; 4 - внутрішньополюсна перегородка; 6 - міжполюсна перегородка; 7 - газовідвід; 8 - траверса із шинами основного й дугогасного контурів; 9-основні контакти; 10 - струмоведуча шина; 11 - струмопровід

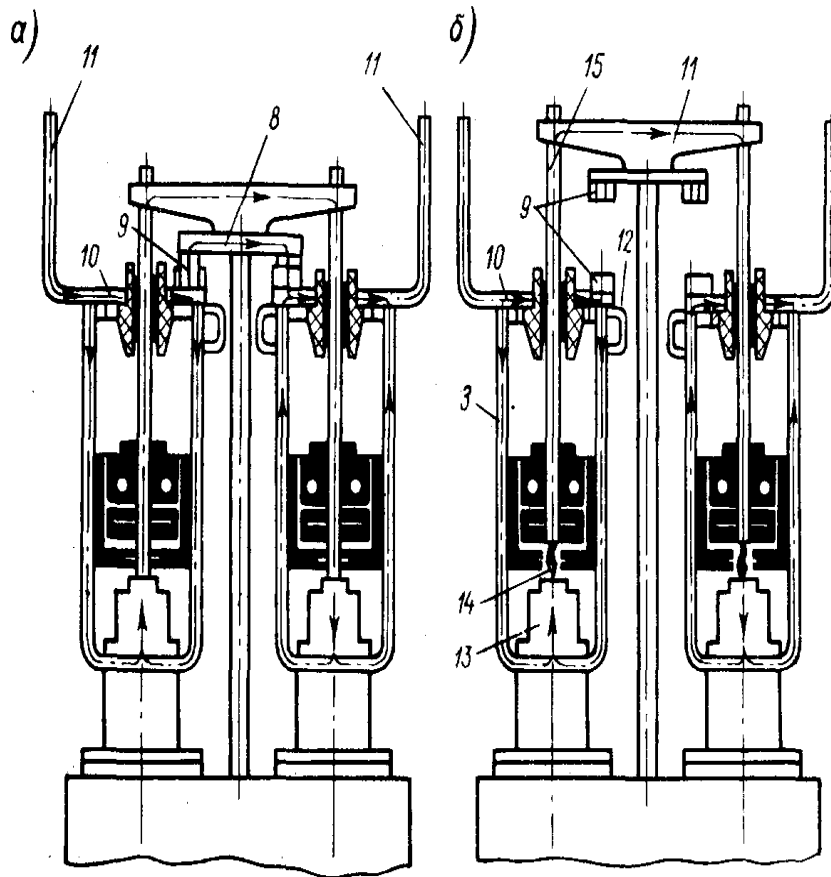


Рисунок 1-6 – Функціональна електрична схема вимикача, зображеного на рисунку 1-5:
а- включене положення; б-момент відключення

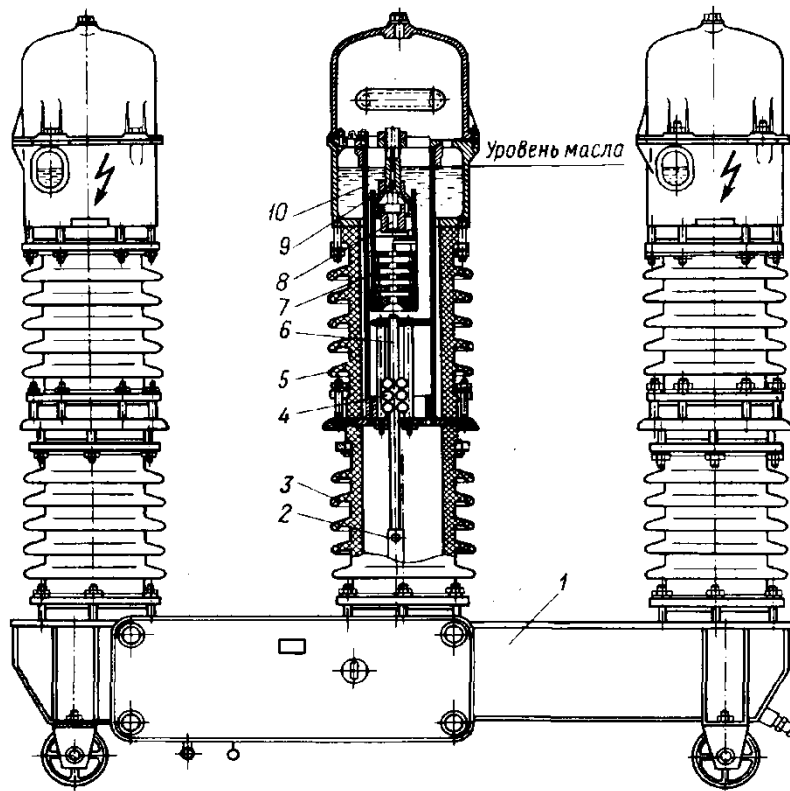


Рисунок 1-7 – Вимикач маломасляний колонковий для зовнішньої установки
1 - підстава; 2 й 9 - нерухомі контакти; 3 - опорна ізоляційна колодка; 4 - роликівий струмопровід; 5 - порцелянова сорочка; 6 - рухливий контакт; 7 - дугогасний пристрій; 8 - проміжний контакт; 10 - ізоляційний циліндр

Для збільшення номінального струму застосовується штучний обдув контактної системи й підвідних шин. В останні роки знаходять застосування рідинне (водяне) охолодження контактів і шин.

Вимикач маломасляний для зовнішньої установки (розподільний, підстанційний) показаний на рисунку 1-7. Вимикач складається із трьох основних частин: гасячих пристроїв, поміщених у порцелянові сорочки; порцелянових опорних стовпчиків і опори (рами). Ізоляційний циліндр, що охоплює дугогасний пристрій, захищає порцелянову сорочку від великих тисків, що виникають при відключенні. Число розривів на фазу може бути один, два й більше. Розташування камери зверху більш перспективне для підвищення відключаючої здатності.

3 Вимикачі повітряні

Повітряні вимикачі, у яких гасіння дуги здійснюється потоком стисненого повітря, одержали досить широке поширення й у багатьох випадках витиснули масляні. Вони дозволили перейти до класів напруги 750 й 1150 кВ й в основному застосовуються:

як *мережні* на напругу 6-1150 кВ із номінальними струмами до 4000 А та струмами відключення до 63 кА;

як *генераторні* на напругу 6-20 кВ із номінальними струмами до 20 кА й струмами відключення до 160 кА;

як *вимикачі навантаження* на 6-220 кВ й 110-500 кВ і вимикачі комплектних розподільних пристроїв на напругу до 35 кВ.

Вимикачі випускаються різного кліматичного виконання, для різних категорій розміщення й різного виду установки (опорні, підвісні, настінні, викатні й ін.).

Незалежно від типу й конструкції повітряний вимикач складається із трьох основних частин: дугогасного пристрою з віддільником або без нього, системи постачання стисненим повітрям і системи керування. Система керування виконується з одним пневматичним приводом з механічною передачею, з індивідуальною пневматичною передачею, із пневмомеханічною передачею, із пневмогідролічною передачею й пневмосвітловою передачею.

Гасіння дуги у вимикачах здійснюється стисненим повітрям номінальним тиском 0,6-5 МПа в різних камерах поздовжнього й поперечного, однобічного й двостороннього дугтя, при відповідній напрузі числом послідовно включених розривів.

У *вимикачах з віддільником* розмикання дугогасних контактів і гасіння дуги здійснюються тим самим потоком стисненого повітря, що надходить із окремого резервуара. Контакти (один або два) виконані у вигляді контакт-поршневих механізмів. У включеному положенні вимикача в дугогасному пристрої й у віддільнику всі контакти замкнуті. При подачі команди на відключення стиснене повітря з резервуара подається в дугогасну камеру, розмикає контакти й гасить дугу. Звичайно паралельно контактам включається шунтувальний резистор, що полегшує гасіння дуги. Після загасання дуги на основних дугогасних контактах розмикається віддільник, що відключає струм, що залишився. Віддільник може виконуватися відкритим (до 35 В) або у вигляді повітренаповнених камер. Після загасання дуги на віддільнику подача повітря в дугогасні камери припиняється й контакти під дією пружин замикаються. Контакти ж віддільника залишаються розімкнутими, забезпечуючи необхідну ізоляційну відстань для розімкнутого кола.

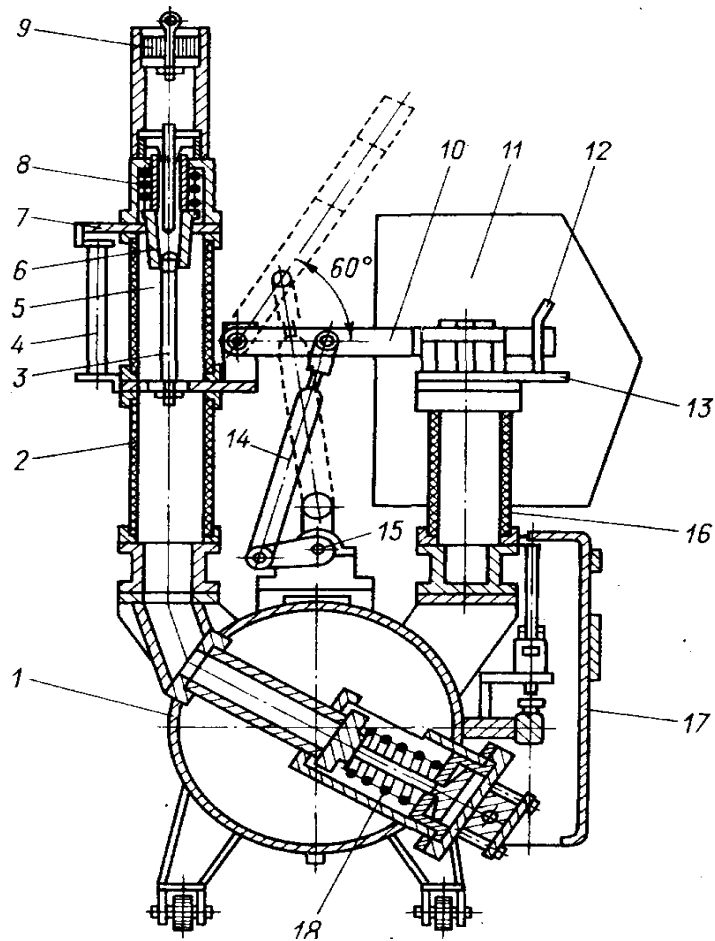


Рисунок 1-8 – Конструктивна схема повітряного вимикача ВВП-35.

У вимикачах без віддільника широко застосовуються воздухонаповнювальні металеві камери (резервуари), у яких розміщені дугогасні пристрої. Привід контактів відділений від гасильного середовища. При розмиканні контактів відкриваються вихлопні клапани камер і стиснене повітря, випливаючи з камер через відповідні сопла контактів, гасить дугу. Контакти можуть виконуватися одно- і двоступінчастими. Число послідовно включених дугогасних пристроїв визначається номінальною напругою вимикача. Ізоляційний проміжок у відключеному положенні забезпечується розбіжністю цих же контактів на відповідну відстань. Нижче наведені приклади виконання вимикачів.

Конструктивна схема повітряного вимикача (ВВП-35) з контактено-поршневым механізмом і відкритим віддільником наведена на рисунку 1-8. Вимикач складається із трьох механічно зв'язаних полюсів (на рисунку наведений розріз одного полюса), змонтованих на гасильній підставі (резервуарі 1), і розподільної шафи (на рисунку не показана). На резервуарі встановлені: дугогасні пристрої 5 на опорних ізоляторах 2, нерухомі контакти 12 віддільника 10 на ізоляторах 16, електропневматичний пристрій 17 (одне на три полюси) для керування вбудованим у резервуар диференціальним клапаном 18 і привід (на рисунку не показаний), керуючий віддільником через вал 15 й ізоляційні штанги 14. Полюси вимикача (віддільника) розділені між собою ізоляційними перегородками 11 і мають виводи 7 й 13.

При відкритті диференціального клапана стиснене повітря з резервуара через порожнину опорного ізолятора надходить у дугогасну камеру, давить на

контактно-поршневий механізм 8, розмикає контакти (нерухомий 3, рухливий 6) і через сопло рухливого контакту видуває й гасить дугу. Полум'я дуги охолоджується в дугогасній решітці 9. Для полегшення гасіння дуги контакти шунтовані резистором 4. Після загасання дуги віддільник 10 розмикається й відключає струм, що залишився.

Тривалість часу подачі дугтя в дугогасну камеру регулюється механізмом пневматичного відсічення електропневматичного пристрою. Після того як диференціальний клапан закриється, подача повітря в камеру припиниться, тиск у ній впаде й рухливий контакт під дією пружини контактно-поршневого механізму повернеться на місце, контакти замкнуться. Однак коло залишиться розімкнутим віддільником.

Генераторні вимикачі. Функціональна електрична схема полюса й загальний вид вимикача ВВГ-20 ($U_{\text{ном}} = 20 \text{ кВ}$, $I_{\text{ном}} = 20 \text{ кА}$, $I_{\text{оном}} = 160 \text{ кА}$, наскрізний струм 410 кА) з повітренаповненим віддільником наведені на рисунку 1-9. Полюс вимикача складається з основного струмоведучого контуру — виводів 1 й 4 і роз'єднувача (основного контакту) 2, основних дугогасних контактів 7 і 10, які шунтуються резисторами 8 й 11 відповідно, допоміжних дугогасних контактів 6, віддільника 9 і розрядника 3 з нелінійним резистором 5.

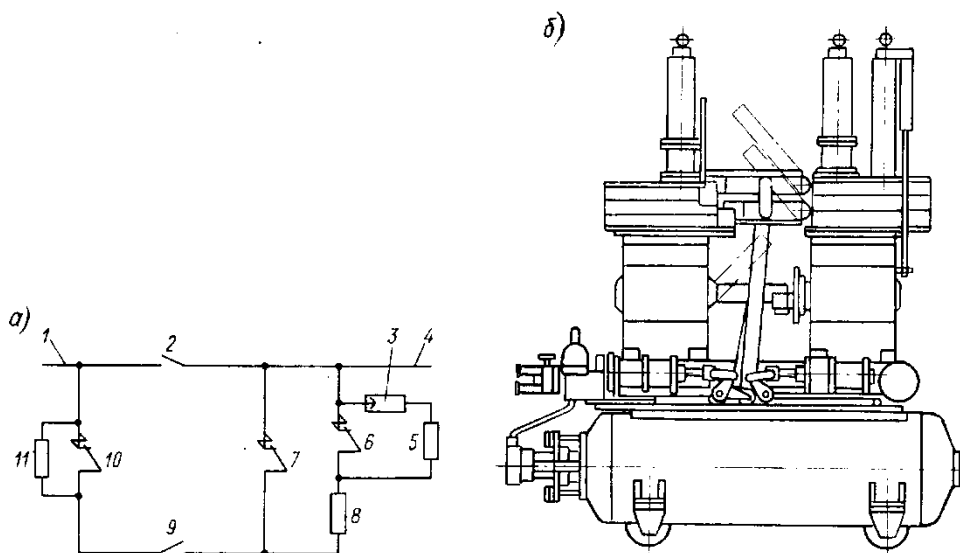


Рисунок 1-9 – Функціональна електрична схема полюса (а) і загальний вид (б) генераторного повітряного вимикача ВВГ з повітренаповненим віддільником.

Всі пристрої монтуються на баці й забезпечуються відповідними електропневматичними приводами. Вимикач складається із трьох однакових полюсів, зв'язаних між собою воздухопроводами, і розподільної шафи.

У включеному положенні більша частина струму протікає через основний струмоведучий контур. При відключенні спочатку розмикається основний контакт 2 і весь струм переходить у дугогасний контур. Потім розмикаються основні дугогасні контакти 7 й 10; обмежений резисторами 8 й 11 струм протікає через допоміжні дугогасні контакти 6. Після їхнього розмикання й загасання дуги струм у колі припиняється й розмикається віддільник 9, забезпечуючи необхідний ізоляційний проміжок. Розрядник служить для обмеження перенапруг при

відключенні (у випадку їхнього виникнення). Після припинення подачі стисненого повітря контакти 6, 7 й 10 під дією пружин повертаються у включене положення.

Вимикачі серії ВВБ. Загальний вид і функціональна схема дугогасного пристрою без віддільника наведені на рисунку 1-10. У металевому резервуарі (камері) 6, заповненому повітрям під високим тиском (1,6—2,4 МПа), розміщується дугогасний пристрій із двома розривами (контакти — рухомі 8, нерухомі 9) однобічного дуття (сопло 4). Резервуар перебуває під високим потенціалом. Напруга підводиться через виводи 13 з епоксидної ізоляцією 14, захищені зовні порцеляновими сорочками 12. Основні розриви (контакти 8 й 9) шунтовані лінійними резисторами 10, що полегшує гасіння дуги на них. Струм, що залишився, відключається допоміжними дугогасними розривами (нерухомий контакт 15, рухомий, порожній, він же сопло 17 — закриті кожухом 1). Камери можуть виконуватися й без допоміжних контактів, а отже, і без шунтувальних резисторів. Повне гасіння здійснюється на основних розривах. Конденсатори (ділильні) 11 служать для вирівнювання напруги по розривах у відключеному положенні вимикача.

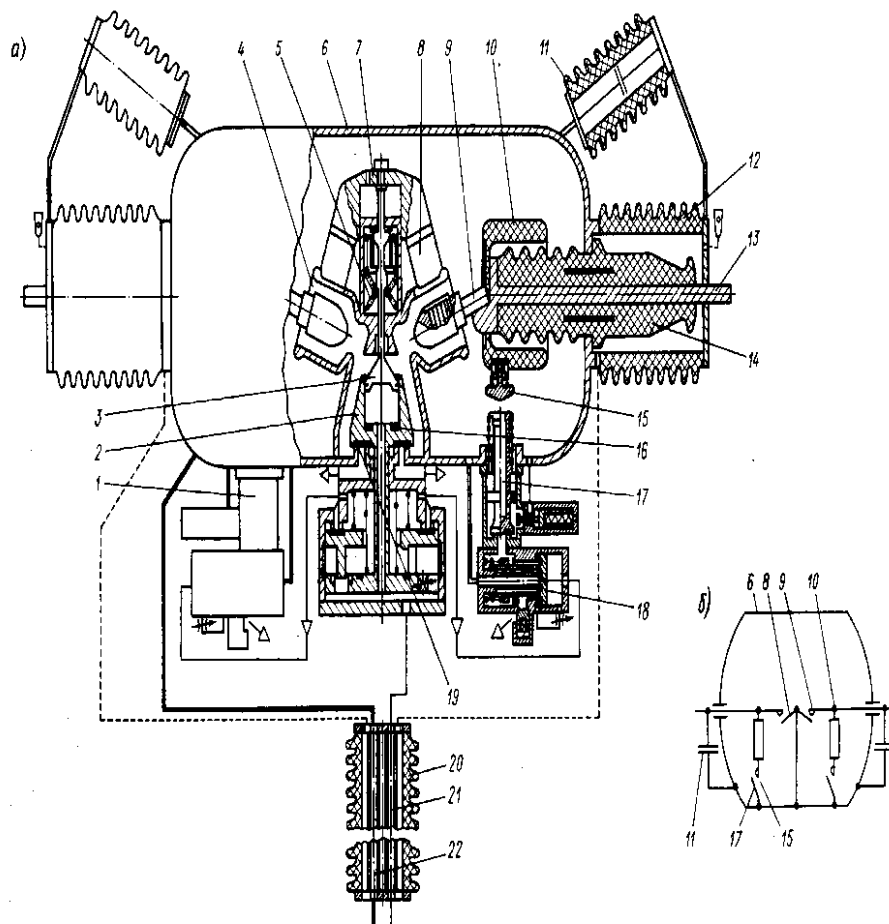


Рисунок 1-10 – Загальний вид (а) і функціональна схема (б) дугогасного пристрою без відділення вимикачів серії ВВБ.

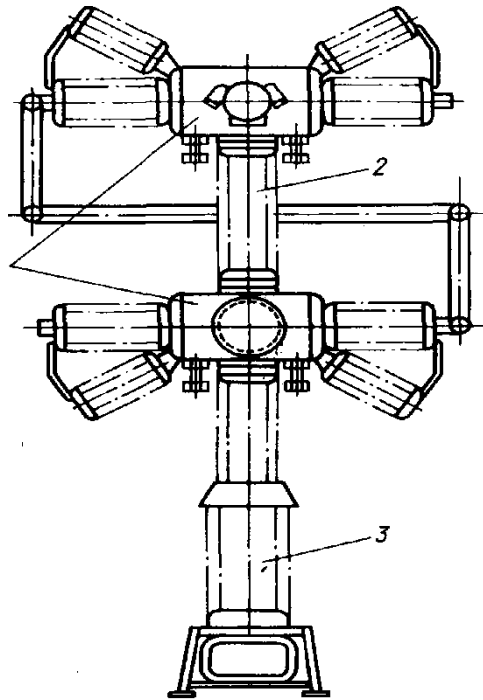


Рисунок 1-11 – Полюс вимикача серії ВВБ на 220 кВ.

Контакти камери управляються пневмоелектричними механізмами 18. При подачі повітря в циліндр 2 поршень 3, зв'язаний із траверсою 7, розмикає основні контакти. Одночасно відкриваються клапани 19 вихлопних каналів сопел. Стиснене повітря спрямовується назовні (показано стрілками), гасить дугу в соплах. Аналогічно гаситься дуга на допоміжному розриві. Після загасання дуги вихлопні клапани сопел закриваються. Тиск всередині резервуара трохи знижується. Об'єм резервуара й тиск у ньому розраховані так, що камера здатна виконати кілька відключень. При цьому тиск у резервуарі не впаде нижче припустимого для надійного гасіння дуги.

У відключеному положенні контакти втримуються тиском у циліндрі 2. Для включення вимикача повітря із циліндра випускається через клапан 16. Поворотний механізм 5 замикає контакти. Відповідно управляються й допоміжні розриви.

Камера встановлюється на ізоляційну опору 20, через яку проходять повітревідводи — основний 22 (високого тиску) і керування 21.

Наведений дугогасний пристрій прийнятий як модуль на 110-150 кВ для вимикачів до 750 кВ без віддільників. Кожен вимикач складається із трьох полюсів, що не мають між собою механічного зв'язку, і одного (35, 110, 220 кВ) або чотирьох (330, 500 й 750 кВ) розподільних шаф. Відсутність механічного зв'язку між полюсами дозволяє виконувати трифазне або пополюсне відключення.

Полюси вимикачів на 35, 110 кВ складаються з однієї дугогасної камери-модуля (одного резервуара 6 - рисунок 1-10), розташованої на ізоляційній опорі. Полюс вимикачів на 220 кВ (рисунок 1-11) складається із двох металевих дугогасних камер 1, розділених проміжним ізолятором 2 і розташованих на відповідній ізоляційній опорі 3. Полюси вимикачів на 330, 500 й 750 кВ складаються відповідно із двох, трьох і чотирьох однотипних елементів (чотирьох, шести й восьми модулів), кожний з яких представляє собою полюс вимикача на 220 кВ на відповідній ізоляційній опорі, (показано штрихпунктирними лініями).

Вимикачі повітряні серії ВВБК випускаються на напругу 110-1150 кВ, номінальний струм 3200 й 4000 А, номінальний струм відключення 50-40 кА, номінальний тиск стисненого повітря 4 МПа, час відключення 0,04 с.

Ці вимикачі є подальшим кроком у розвитку конструктивних принципів, закладених у серії ВВБ. Відмітними їхніми особливостями є підвищений робочий тиск повітря й вдосконалений дугогасний пристрій з несиметричним дуттям, що дозволило підвищити напругу модуля (220 й 330 кВ - два модулі, 500 й 750 кВ - чотири модулі, 1150 кВ - шість модулів). Вимикачі оснащені новою швидкодіючою системою керування.

Тенденції в розвитку сучасних повітряних вимикачів:

1. *Модульний принцип побудови серій.* Цей принцип дозволяє будувати серії в досить великому діапазоні напруг (35-1150 кВ) з однакових модулів, робити по модульні випробування й мати максимально вигідні умови виробництва, експлуатації й монтажу.

2. *Розміщення дугогасних пристроїв безпосередньо в стисненому повітрі.* При цьому забезпечуються максимальна комутаційна здатність, швидкодія, ізоляційна міцність міжконтактних проміжків і пропускна здатність по номінальному струму. Найбільше застосовуваний зараз тиск досягає 6-8,5 Мпа.

3. *Застосування швидкодіючих систем керування з малим розкидом часу оперування.* Основним призначенням таких систем є забезпечення роботи вимикачів на дуже високі напруги із часом відключень до одного напівперіоду, а також вимикачів із синхронним відключенням або включенням.

4. *Обмеження комутаційних перенапруг,* що особливо важливо для вимикачів вищих класів напруги.

5. *Підвищення надійності й збільшення міжремонтних термінів до 15-20 років.*

6. *Введення примусового охолодження для генераторних вимикачів.*

4 Вимикачі елегазові

Конструкції елегазових вимикачів виконуються в основному з автокомпресорним дуттям або магнітним дуттям.

При першому способі електрична дуга охолоджується елегазом, що перетікає з резервуара високого тиску (близько 1 МПа) у резервуар низького тиску (0,3 МПа), тобто використовується той же принцип, що й у повітряному вимикачі. Схема дугогасного пристрою з автокомпресорним повздовжнім дуттям наведена на рисунку 1-12, а. Рухомий контакт 2 разом з ізоляційним соплом 3, перегородкою 4 і циліндром 5, відходячи від нерухомого контакту 1, насувається на поршень 6. Елегаз через отвори в перегородці й сопло обмиває дугу з великою швидкістю й гасить її через 0,02-0,03 с.

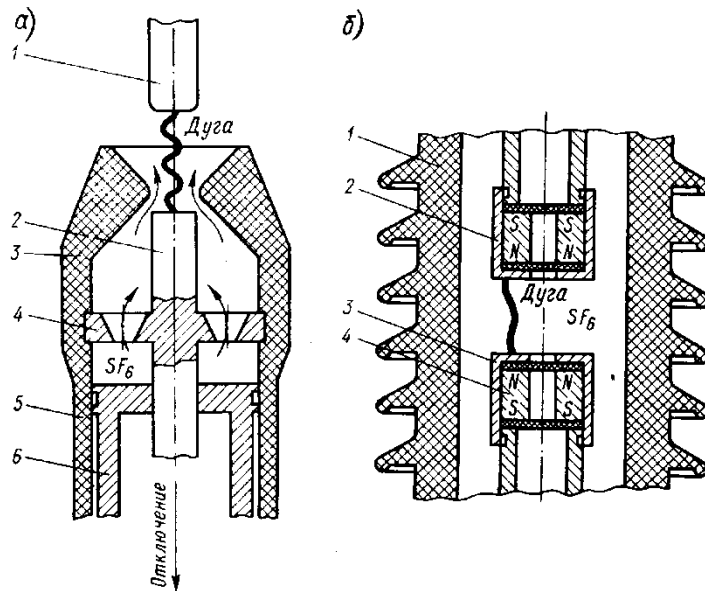


Рисунок 1-12 – Схемы дугогасних пристроїв элегазовых вимикачів:
а - з автокомпресорним дуттям; б - з магнітним дуттям.

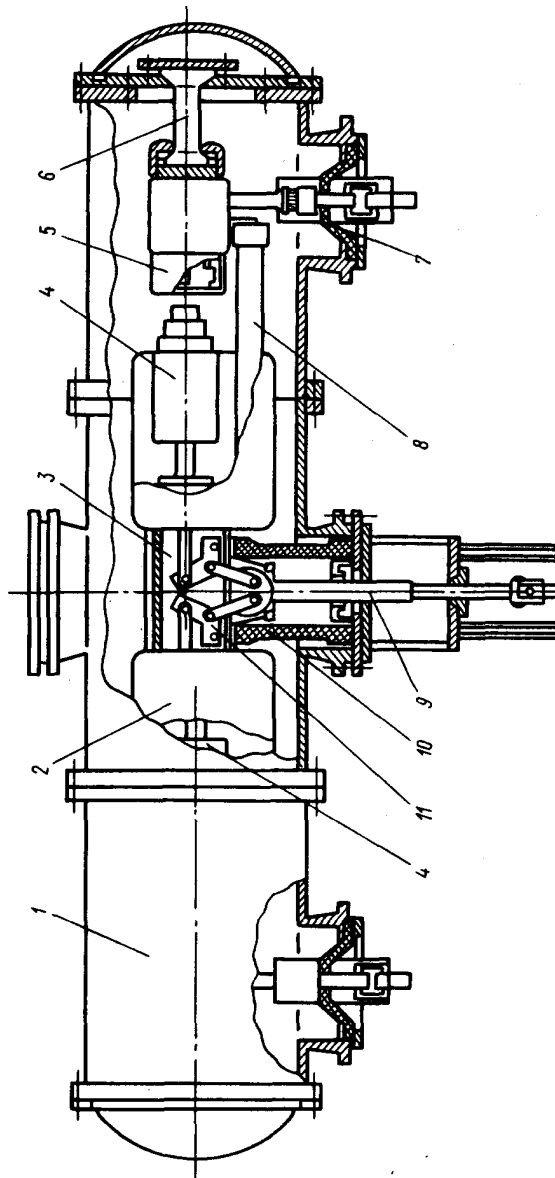


Рисунок 1-13 – Схема полюса элегазового вимикача для КРУЕ на 220 кВ

Надлишковий тиск у цих вимикачах виходить за рахунок енергії привода. Через це тут застосовується пневматичний привод. Оскільки тиск, необхідний для гасіння дуги, з'являється в процесі руху контактів, то зниження часу гасіння дуги (зокрема, до 0,01 с) такий дугогасний пристрій не може забезпечити.

Схема дугогасного пристрою з магнітним дуттям наведена на рисунку 1-12,б. Пристрій розміщується в ізоляційному циліндрі 1, наповненому елегазом. На дугу, що виникає між розбіжними контактами 2 й 3, діє радіальне магнітне поле, створюване постійними магнітами 4 (або послідовною котушкою). Дуга швидко переміщується по окружності, посилено охолоджується й гасне. Такі пристрої застосовуються у вимикачах навантаження.

Схема полюса елегазового вимикача для КРУЕ на 220 кВ наведена на рисунку 1-13. Нерухомий контакт 5 прикріплений до бака 1 на литому ізоляторі 6. Вимикач має два дугогасні пристрої 4 з автокомпресорним дуттям (рисунок 1-12, а), вони ж рухомі контакти. Дугогасні пристрої з'єднані послідовно перемичкою 3, рівномірний розподіл напруги між пристроями забезпечується керамічними конденсаторами 8. Рухомий контакт 4 приводиться в рух ізоляційною штангою 9 через важільний механізм 11. Рухомий контакт і конденсатори закриті екраном 2. Циліндр 10 ізолює контакти 4 від бака. Вимикач заповнений елегазом (при тиску 0,55 МПа). Нерухомі контакти 5 виведені з бака через виводи елегаз - елегаз. Ізоляційна перегородка 7 введення герметизує об'єм бака й дозволяє зберегти елегаз у вимикачі при від'єднанні його від КРУЕ.

Лекція №8

Тема: Роз'єднувачі, відокремлювачі, короткозамикачі та вимикачі навантаження.

Мета: Ознайомитися з будовою та принципом дії роз'єднувачів, відокремлювачів, короткозамикачів та вимикачів навантаження

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Роз'єднувачі
- 2 Відокремлювачі та короткозамикачі
- 3 Вимикачі навантаження

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Роз'єднувачі

Роз'єднувачі - апарати, призначені для включення й відключення ділянок електричних кіл під напругою при відсутності навантажувального струму. Вони застосовуються у всіх високовольних установках для забезпечення видимого розриву при відключенні якої-небудь ділянки кола, а також для виконання перемикання й виконання потрібної схеми. Всі операції з роз'єднувачами, як правило, виконуються при знеструмленних колах.

Крім того, роз'єднувачі зовнішньої установки розраховуються на можливість розриву за допомогою їхніх ножів зарядних струмів повітряних і кабельних ліній, а також струмів холостого ходу силових трансформаторів і струмів невеликих навантажень; тому їхні контакти часто забезпечуються дугогасними рогами.

Відмітною рисою роз'єднувачів, а також віддільників і короткозамикачів у порівнянні з вимикачами є відсутність дугогасних пристроїв.

Роз'єднувачі будуються для внутрішньої й для зовнішньої установки на всю шкалу струмів і напруг. Вони можуть виконуватися як триполюсними на загальній рамі (звичайно при напругах до 35 кВ), так й однополюсними при більш високих напругах. Останнє обумовлено тим, що при напругах понад 35 кВ необхідні відстані між фазами досить великі й загальна рама виходить надзвичайно громіздкою й важкою.

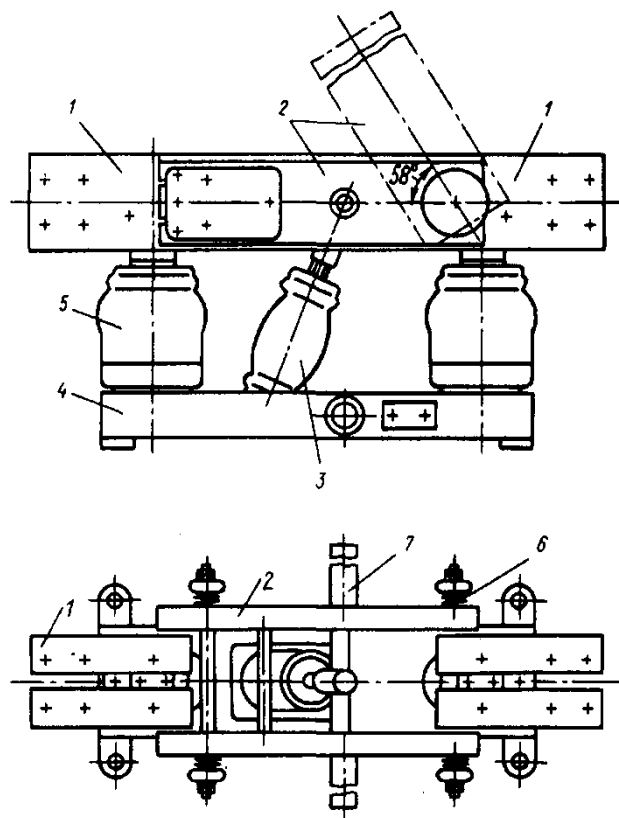


Рисунок 2-1 – Роз'єднувач внутрішньої установки

Полюс роз'єднувача незалежно від розмаїтості конструкцій складається з нерухомого й рухомого (ножа) контактів, укріплених на відповідних ізоляторах, опорної плити або рами й привода.

Основним елементом роз'єднувача є його контакти. Вони повинні надійно працювати при номінальному режимі, а також при перевантаженнях й наскрізних

струмах короткого замикання. У роз'єднувачах застосовують високі контактні натискання. При великих струмах контакти виконують із декількох (до восьми) паралельних пластин. Застосовують пластини прямокутного, швелерного й круглого перетинів. Для забезпечення високої електродинамічної стійкості широко використовують електромагнітні й електродинамічні компенсатори (так звані «замки»).

Роз'єднувачі можуть мати приводи: ручний - оперативну штангу, важільний або штурвальний і рухомий - електричний, пневматичний або гідравлічний.

Щоб уникнути помилкових дій, тобто розмикання під струмом, що може привести до великих аварій і нещасних випадків, роз'єднувач завжди блокується з вимикачем. Блокування допускає оперування роз'єднувачем тільки при відключеному вимикачі. По виконанню блокування може бути механічне, механічно-замкове, електромагнітно-замкове або інше. Конструктивне розходження між окремими типами роз'єднувачів полягає насамперед у характері руху рухливого контакту (ножа). За цією ознакою розрізняють роз'єднувачі:

- вертикально-поворотного (врубного) і горизонтально-поворотного типів з обертанням ножа в площині, паралельній або перпендикулярній осям підтримуючих ізоляторів даного полюса відповідно;

- хитного типу з обертанням ножа разом з підтримуючим його ізолятором у площині, паралельній осям підтримуючих ізоляторів даного полюса;

- з прямолінійним рухом вздовж проміжку, що розмикає, або тільки ножа, або ножа разом з ізолятором (котящого типу);

- складний ніж, зі складним рухом (поворот і складання) ножа;

- підвісного типу з переміщенням ножа разом з підтримуючими ізоляторами в площині, паралельній осям нерухомих підвісних ізоляторів.

Приклад виконання роз'єднувача внутрішньої установки наведено на рисунку 2-1. Полюс роз'єднувача складається з нерухомих контактів 1, укріплених на опорних ізоляторах 5. Нерухомі контакти охоплюються рухомих контактом 2, що складається із двох ножів. Контактне натискання створюється пружинами 6. Компенсація електродинамічних сил у контактах відбувається за рахунок однаково спрямованих струмів у рухомих ножах. Привод контактів здійснюється через приводний вал 7, за що відповідають важелі й тяговий ізолятор 3. Збирається роз'єднувач на рамі 4.

На рисунку 2-2 наведена схема провідного полюса роз'єднувача горизонтально-поворотного типу.

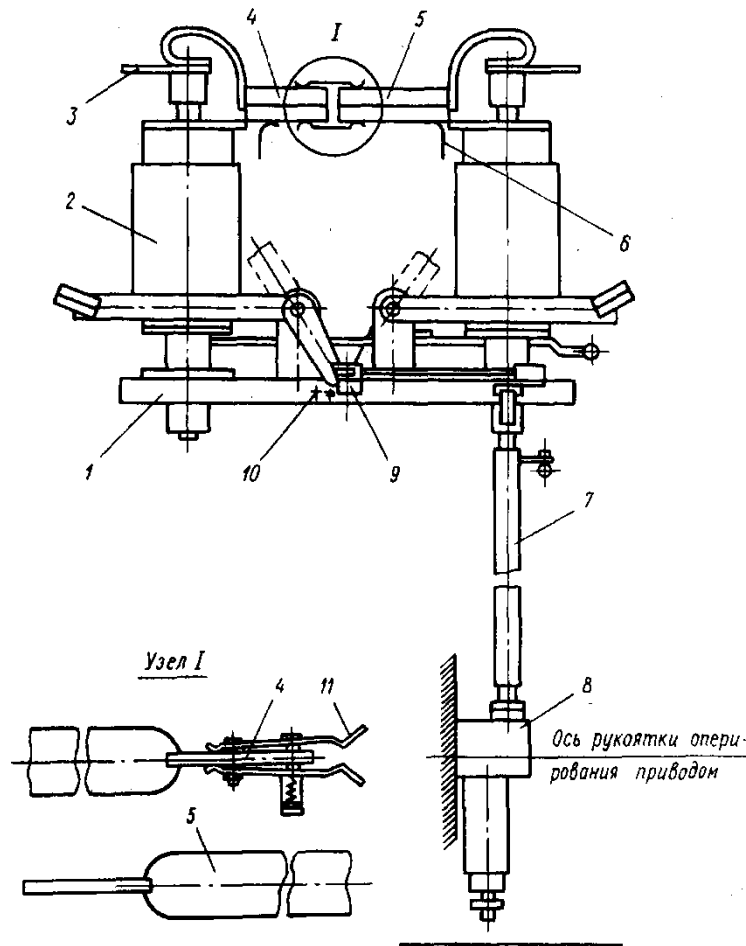


Рисунок 2-2. Провідний полюс роз'єднувача 35 кВ, 3200 А

1-підстава; 2-ізолятор; 3 - нерухомий контактний висновок; 4 - рухомий контактний ніж з ламелями 11; 5 - рухомий контактний ніж без ламелей; 6 - підвісний контакт ножів заземлення; 7 - приводний вал; 8 - привод; 9 - контактний вивод заземлюючого контуру; 10 - болт заземлення

2 Відокремлювачі та короткозамикачі

Насьогодні широко застосовуються високовольтні підстанції, на яких вхідний вимикач В2 (рисунок 2-3, а) замінюється віддільником О і короткозамикачем КЗ, що дозволяє спростити й здешевити установку, не погіршуючи її надійності. За схемою рисунок 2-3,а трансформатор Т при ушкодженні відключається вимикачем В2. За схемою рисунок 2-3,б від сигналу захисту замикається короткозамикач КЗ, створюючи коротке замикання на землю, що приводить до спрацьовування вимикача В1 на початку лінії. За час безструмової паузи циклу автоматичного повторного включення (АПВ) розмикається віддільник ПРО, відключаючи пошкоджений трансформатор. Вимикач В1 автоматично знову включається, відновлюючи живлення на інших трансформаторах.

Віддільник призначений для автоматичного відключення пошкодженої ділянки електричного кола в момент відсутності в ній струму, тобто в період безструмової паузи циклу АПВ вимикача на живильному кінці лінії.

Короткозамикач призначений для створення штучного короткого замикання з метою викликати відключення вимикача, встановленого на живильному кінці лінії.

Короткозамикач (рисунок 2-4) складається з підстави 3, на якій встановлений відповідно до напруги ізолятор 2 з верхнім нерухомим контактом 1 (закритий кожухом), оснащений виводом для приєднання до лінії електропередачі. Підстава 3

заземлена й за допомогою гнучкого зв'язку 6 з'єднана з рухомим контактом (ножем) 8. Рухомий контакт обертається на осі 7 і зв'язаний із приводом і замикаючою пружиною 4. Привод розмикає контакти (відводить ніж) і ставить ніж під засувку, зводячи при цьому пружину. По сигналу від захисту засувка звільняє ніж, і під дією пружини контакти замикаються, у такий спосіб досягається фіксована швидкодія. Буфер 5 служить для амортизації удару в контактах при включенні.

Принципова схема короткозамикача з віддільником наведена на рисунку 2-5.

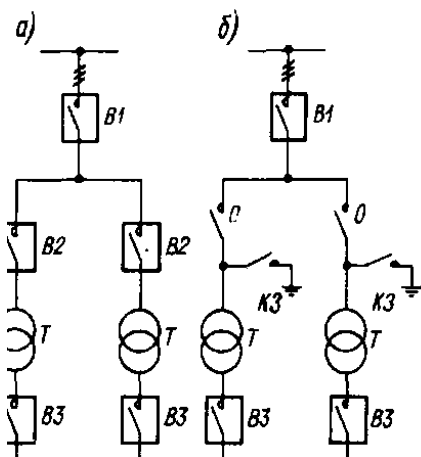


Рисунок 2-3 – Схема заміщення вимикача відокремлювачем і короткозамикачем

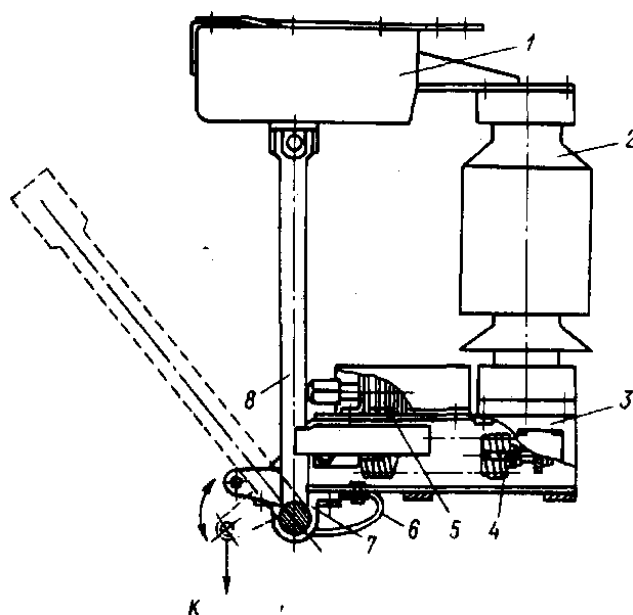


Рисунок 2-4 – Загальний вид (схема) короткозамикача

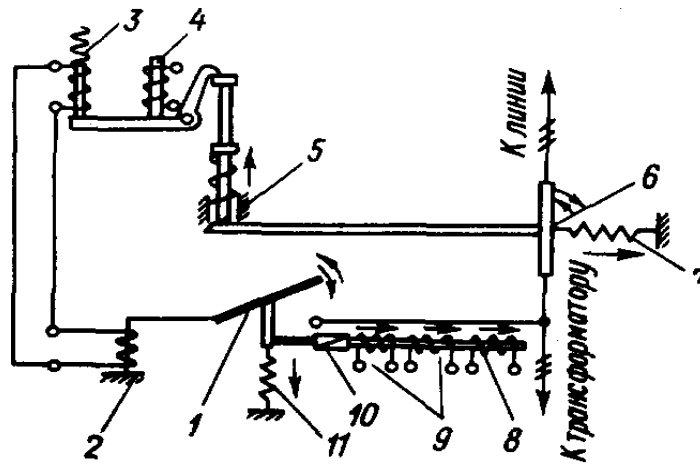


Рисунок 2-5 – Принципова схема короткозамикача з віддільником.

1 - короткозамикач; 2 - трансформатор струму; 3 - реле, що блокує (не роздільне) відключення віддільника до моменту припинення дії струму короткого замикання; 4 - електромагніт для оперативного відключення віддільника; 5 - засувка, що втримує віддільник у включеному положенні; 6 - віддільник; 7 - пружина, що відключає, віддільник; 8 й 9 - електромагніти керування засувкою короткозамикача; 10 - засувка, що втримує короткозамикач у відключеному положенні; 11 - пружина, що включає, короткозамикач

3 Вимикачі навантаження

Вимикачі навантаження призначені для керування високовольними синхронними й асинхронними двигунами великої потужності, а також іншими навантаженнями з малою індуктивністю. Вони повинні забезпечувати надійну комутацію струмів робочих режимів (пуск, реверс, гальмування, зупинка й т.п.) з великою частотою (300-600 об/год). Відповідно до цього вони повинні мати порівняно з вимикачами набагато більшу механічну й комутаційну зносостійкість. Захист кіл тут здійснюється відповідними вимикачами або запобіжниками.

Все ширше застосовуються для зазначених цілей вакуумні й електромагнітні контактори замість автогазових вимикачів, що раніше застосовувалися, які не задовольняють сучасним вимогам.

Загальний вид контактора наведений на рисунку 2-6. Контакттор складається із трьох полюсів високої напруги, корпусів 2 й 3 електромагнітних приводів 4, кіл керування 5. Камери кріпляться до верхньої опорної частини захисного ізоляційного корпусу 2. Всі інші вузли монтуються на корпусі 3. Нижній висновок 10 і рухомий контакт камери з'єднані гнучким зв'язком 9. Для додаткового підтискання рухомого контакту камери встановлена пружина 8. Привод і пружина, що відключає, 6 впливають на рухомий контакт через траверсу 7. Живлення електропривода може здійснюватися як змінним, так і постійним струмом.

Контакттор електромагнітний типу ДО2-6. Контакттор виконується на $I_{\text{НОМ}}=6$ кВ, частоту 50 й 60 Гц; $I_{\text{НОМ}}=40\text{...}400$ А (п'ять величин); $I_{\text{ОТКЛ}} = 1,5\text{...}4,2$ кА; $I_{\text{ВКЛ}}=4\text{...}8$ кА; $I_{\text{ТЕРМ}}=2\text{...}4,2$ кА (4 с); має зносостійкість механічну $1\text{-}10^6$ циклів, комутаційних $1\text{-}10^5$ циклів; частоту включень 300 вкл/ч.

Контакттор (рисунок 2-7) складається із трьох полюсів 3 (на рисунку камера середнього полюса знята), встановлених на чотирьох ізоляційних рейках 2. Рейки стягають сталеві щоки 1, між якими розташовані полюси, електромагнітний привод 4 і контакти допоміжного кола 5.

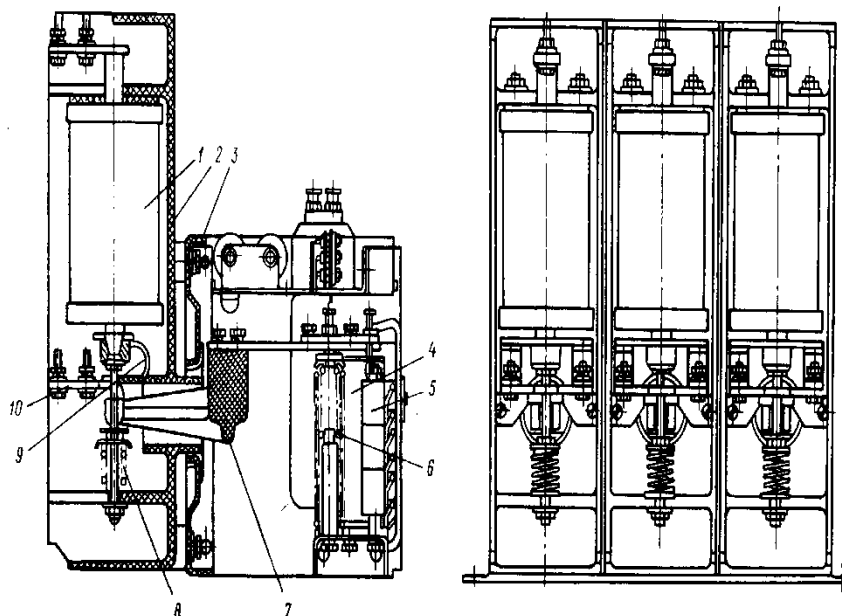


Рисунок 2-6 – Контактор вакуумний на напругу 10кВ

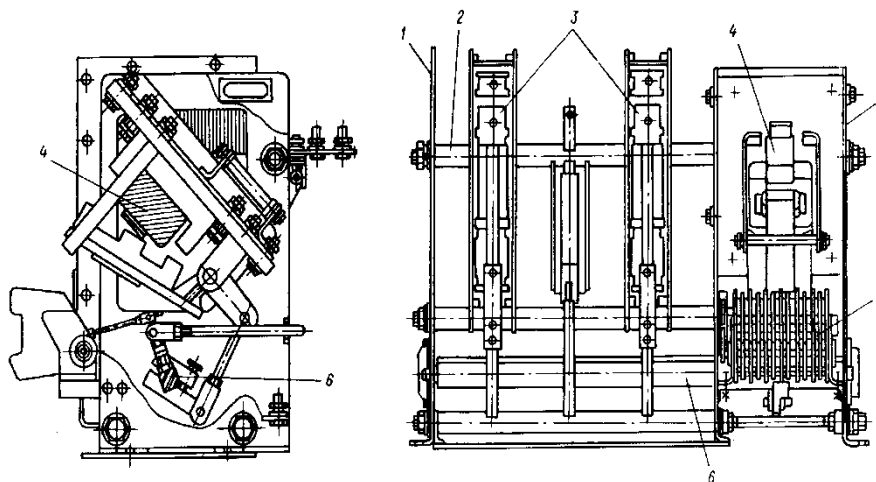


Рисунок 2-7 – Контактор електромагнітний на напругу 6кВ

Кожен полюс контактора складається із системи нерухомого контакту, що містить котушку магнітного дуття із сердечником і магнітопроводами й саму нерухому контакт-деталь; системи рухомого контакту, встановленої на рухомому ізоляційному валу 6 і зв'язаної з висновком полюса гнучким зв'язком; камери дугогасіння, що складає з набору керамічних плиток і керамічних щік, вкладених у каркас із пластмасових деталей.

Електромагнітний привод містить у собі сердечник, котушку і яркір, що повертається в підшипниках на осі й зв'язаний системою важелів з поворотним валом 6. Допоміжні контакти зібрані в блок і мають привод від того ж вала. Реверсор типу Р-6. Реверсор складається із трьох контакторів, з'єднаних за певною схемою й змонтованих в одній шафі.

Лекція №9

Тема: Струмообмежуючі реактори та розрядники.

Мета: Ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії струмообмежуючих реакторів та розрядників.

Методи: словесні, наочні.

План:

1 Струмообмежуючі реактори

2 Розрядники

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник.

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.

1 Струмообмежуючі реактори

Автоматичні вимикачі, здійснюючи відключення кіл при коротких замиканнях, не захищають ці кола від руйнуючої дії електродинамічних сил. У сучасних потужних мережах струми короткого замикання, а отже, і електродинамічні сили бувають настільки великі, що часто не представляється можливим виконати установки з необхідною електродинамічною й термічною стійкістю. З метою обмеження ударного струму короткого замикання (КЗ) у потужних мережах застосовуються струмообмежуючі реактори, які встановлюються на фідерах, що відходять (1 й 2) (рисунок 3-1) і між секціями збірних шин (3). Крім обмеження струму КЗ реактори одночасно під час короткого замикання підтримують напругу на живильних шинах на деякому певному рівні.

Реактор представляє собою котушку з постійним індуктивним опором $x = \omega L$. Одним з основних параметрів є його індуктивний опір X_p , рівний відношенню спадання напруги на реакторі U_p при протіканні по ньому номінального струму до фазної напруги U_ϕ . Індуктивний опір виражається у відсотках. Якщо знехтувати омичним опором реактора, то:

$$X_p = \frac{I_{ном} \omega L}{U_\phi} = \frac{U_p}{U_\phi} = \frac{U_p \sqrt{3}}{U_\phi} 100$$

Індуктивний опір фідерних реакторів вибирається звичайно 6 - 8 %, а секційних 8-12%.

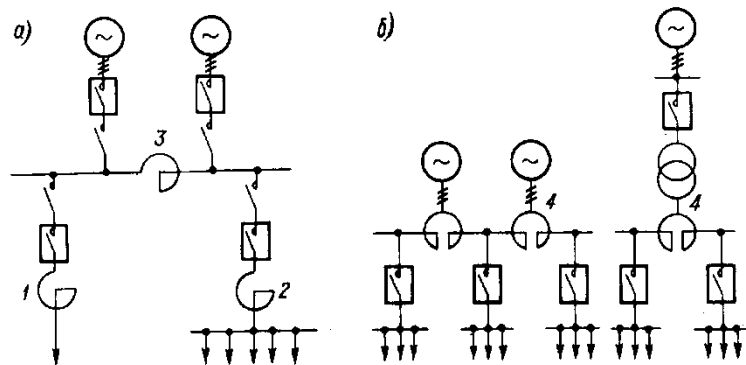


Рисунок 3-1 – Схема включення струмообмежуючих реакторів: а - одинарних; б - здвоєних.
1 – фідерний; 2 – фідерний груповий; 3 – міжсекційний; 4 – здвоєний.

Слід зазначити, що при номінальному режимі втрати напруги на реакторі ΔU_ϕ не рівні чисельно спаду напруги U_p на ньому (рисунок 3 -2, а й б) і істотно залежать від величини $\cos\phi$ ($\Delta U_\phi \rightarrow 0$ при $\cos\phi = 1$; $\Delta U_\phi = U_p$ при $\cos\phi = 0$; $\Delta U_\phi \approx 0,5U_p$ при $\cos\phi = 0,8$). Таким чином, при номінальному режимі забезпечується припустиме (3-4%) відхилення напруги в споживачів. При короткому замиканні $\cos\phi > 0$ і більша частина напруги припадає на реактор (рисунок 3-2,б), внаслідок чого на збірних шинах підтримується порівняно висока залишкова напруга, значення якої залежить від співвідношення опорів мережі до реактора й самого реактора. Якщо знехтувати активним опором мережі й реактора, то кратність сталого струму короткого замикання буде:

$$I_{к.з.} = I_{ном} 100 / X_{p\%}$$

Ударний струм короткого замикання при розрахунку реакторів береться рівним:

$$i_{уд. max} = 1,8\sqrt{2}I_{к.з.} = 2,54I_{ном} \frac{100}{X_{p\%}}$$

Для підтримки сталості індуктивного опору струмообмежуючі реактори виконуються без сталевих сердечників. При цьому вони виходять більших розмірів і маси. Реактори зі сталевими сердечниками при рівній індуктивності мали б менші розміри. Однак у них при більших струмах сердечники насичуються, індуктивний опір таких реакторів різко знижуються й реактори втрачають свої струмообмежуючі властивості саме в той момент, коли вони необхідні. Через це реактори зі сталевими сердечниками не одержали поширення.

Індуктивність L реакторів може бути розрахована по наступних формулах (розміри дані в сантиметрах, L - у мілігенрі):

1) для реактора зі співвідношенням геометричних розмірів подібно рисунку 3-3, а й числом витків w :

$$L \approx 10,5w^2 D \left[\frac{D}{2(h+b)} \right]^\alpha \cdot 10^{-6}$$

де $\alpha = 3/4$ при $0,3 \leq D/[2(h+b)] \leq 1$ й $\alpha = 1/2$ при $1 \leq D/[2(h+b)] \leq 3$;

2) для реактора, у якого $h/D \gg b/D$ (рисунок 3-3, б)

$$L \approx w^2 k_1 D \cdot 10^{-6}$$

де до $k_1 = f(h/D)$ (крива на рисунку 3-3);

3) для реактора, у якого $b/D \gg h/D$ (рисунок 3-3, в)

$$L \approx w^2 k_2 D \cdot 10^{-6}$$

де $k_2 = f(b/D)$ (крива на рисунку 3-3).

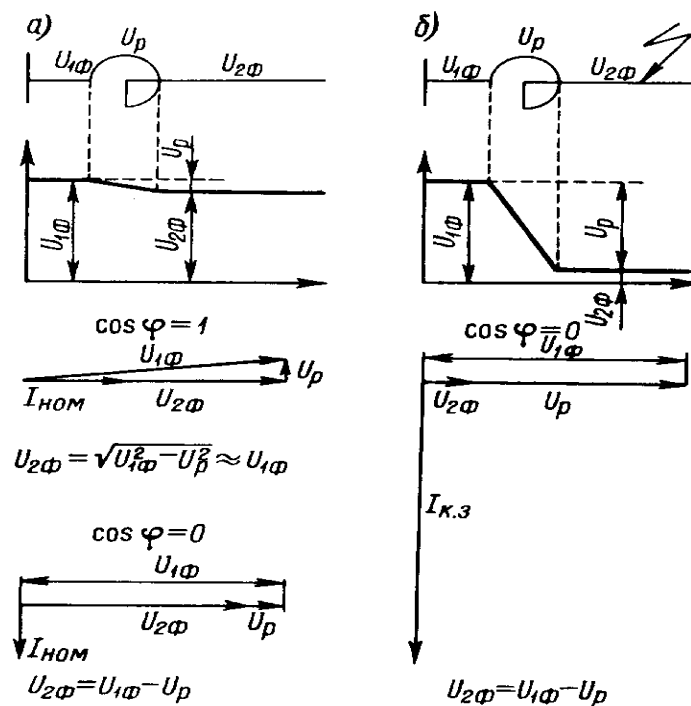


Рисунок 3-2 – Розподіл напруг у колі із сектором:
 а - при номінальному струмі; б - при короткому замиканні

Одержали поширення здвоєні реактори 4 (рисунок 3-1,б). Такий реактор живить два фідери. Котушки кожної фази включені так, що створювані ними потоки спрямовані зустрічно. При номінальному струмі індуктивність (a , отже, і втрати напруги) кожної з котушок знижується через розмагнічуючу дію іншої. При рівних струмах і коефіцієнті зв'язку, що наближається до одиниці, індуктивність реактора наближалася b до нуля. Звичайно коефіцієнт зв'язку дорівнює 0,4-0,6. Відповідно зменшуються й втрати напруги. При короткому замиканні на одному з фідерів розмагнічуючою дією, котушки іншого фідера, обтічної номінальним струмом, можна знехтувати. Індуктивність і струмообмежуюча дія здвоєного реактора виходять такими ж, як в одинарного.

На напруги до 35 кВ і для внутрішньої установки майже виняткове поширення одержали бетонні реактори. Бетонний реактор (рисунок 3-4, а) виконується у вигляді концентрично розташованих витків 1 зі спеціального круглого ізолюваного багатожильного проводу, залитих у радіально розташовані бетонні стовпчики 2. Завдяки своїй еластичності проводи демпферують термічні й динамічні зусилля й тим самим частково знімають напруги з бетону. Обмотки реактора на більші струми виконуються з декількох паралельних проводів із транспозицією цих паралелей, що забезпечує рівномірний розподіл струмів.

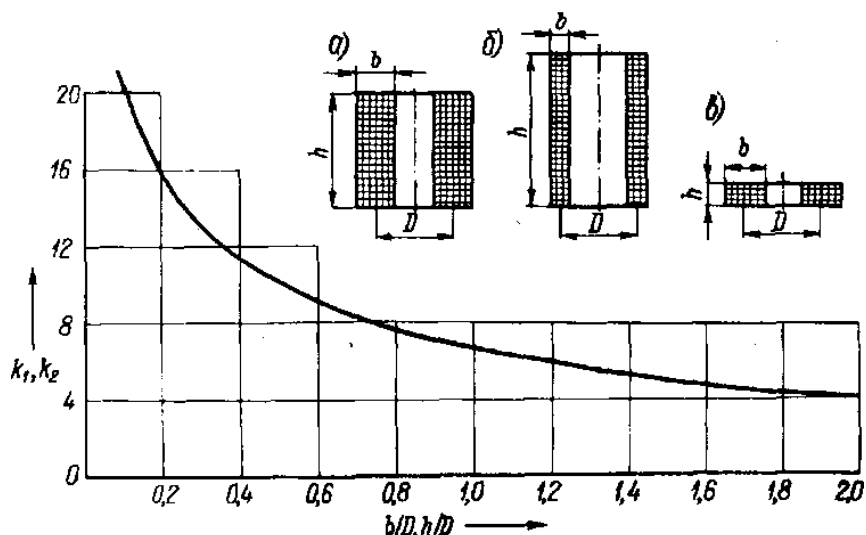


Рисунок 3-3 – До розрахунку індуктивності реактора

Число стовпчиків визначається діаметром намотування. Основна ізоляція реактора — бетон, що проходить спеціальний технологічний режим і випускається з високими механічними властивостями. Весь реактор після виготовлення піддається сушінню, просоченню й покриттю вологостійкими лаками. Кожен стовпчик реактора встановлюється на опорні ізолятори 3, які забезпечують ізоляцію від землі й між фазами. Фази можуть бути розташовані вертикально (рисунок 3-4,б), а також горизонтально або східчато. Всі металеві деталі реактора виконуються з немагнітних матеріалів. При великих струмах застосовується штучне охолодження.

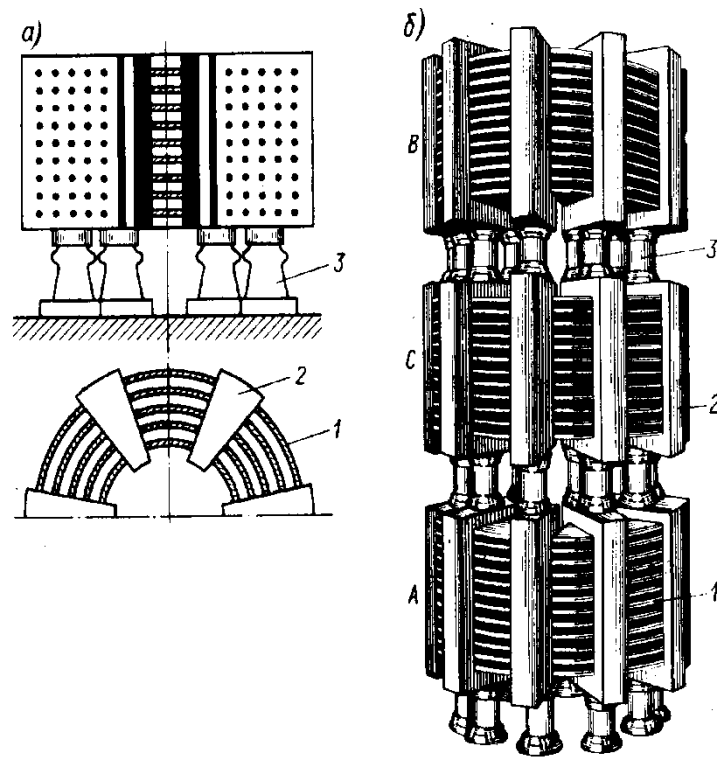


Рисунок 3-4 – Загальний вид фази бетонного реактора (а) і трифазний комплект реактора (б).

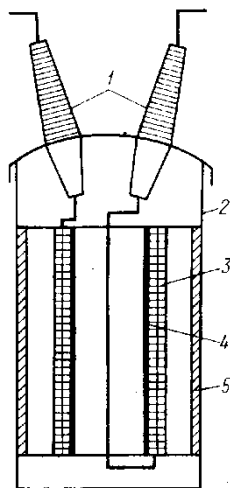


Рисунок 3-5 – Загальний вид фази масляного реактора

На напруги понад 35 кВ і для зовнішньої установки використовуються масляні реактори (рисунок 3-5). Обмотки 3 з мідних провідників, ізолюваних кабельним папером, укладаються на ізоляційні циліндри 4 і розміщуються в баках (баці) 2, що заливають маслом. Кінці обмотки кожної фази виводяться через прохідні ізолятори 1 назовні. Масло служить й як ізолююча, і як охолоджуюче середовище.

Змінне поле котушок реактора, що замикається через стінки бака, може привести до надмірного нагрівання цих стінок. Для зниження нагрівання стінок (і масла) необхідно обмежити магнітний потік, що замикається через них. Для цього служать електромагнітні екрани 5 або магнітні шунти. Електромагнітний екран представляє собою мідні (алюмінієві) короткозамкнені витки, розташовані концентрично відносно обмотки реактора біля стінок бака. Індукуємі у витках струми створюють у стінках бака поле, спрямоване зустрічно основному, і майже повністю його компенсують. Нагрівання стінок знижується. Магнітний шунт представляє собою пакети листової сталі, укріплені біля стінок бака із внутрішньої його сторони й створюють штучний магнітопровід з магнітним опором, значно меншим опору стінок бака. Магнітний потік реактора замикається по магнітному шунту, а не через стінки.

2 Розрядники

При комутаціях, а також внаслідок атмосферних розрядів в електротехнічних установках часто виникають імпульси напруги - перенапруги, істотно перевищуючі номінальні. Електрична ізоляція устаткування не повинна пошкоджуватися при цьому й вибирається з відповідним запасом. Однак виникаючі перенапруги найчастіше перевищують цей запас, і ізоляція тоді пошкоджується - пробивається, що може привести до важких аварій. Для обмеження виникаючих перенапруг, а отже, і зниження вимог до рівня електричної ізоляції (зниження вартості устаткування) застосовуються розрядники.

Розрядник - це електричний апарат, іскровий проміжок якого пробивається при певному значенні прикладеної напруги, обмежуючи тим самим перенапруги в установці.

Розрядник складається з електродів з іскровим проміжком між ними й дугогасного пристрою. Один з електродів приєднується до захищеного кола, інший - заземлюється.

Якщо крива 1 (рисунок 3-6) — номінальна напруга, а крива 3 — вольт-секундна характеристика ізоляції устаткування (тобто час, протягом якого ізоляція може витримати дану перенапругу не пошкоджуються), то вольт-секундна характеристика розрядника повинна визначатися кривою 2. При виникненні перенапруги (крива 4) іскровий проміжок розрядника пробивається раніше (точка O), чим ізоляція устаткування. Після пробую лінія (мережа) заземлюється через опір розрядника або накоротко. При цьому напруга на лінії визначається значенням струму через розрядник, опором розрядника й заземлення.

Падіння напруги на розряднику при протіканні імпульсного струму даного значення й форми називається напругою, що залишається. Чим менше ця напруга, тим краще якість розрядника.

Після пробую розрядника від імпульсу напруги його іскровий проміжок іонізований і легко пробивається фазною напругою. Виникає коротке замикання на землю, і через розрядник протікає струм промислової частоти, що називається супровідним. Щоб уникнути спрацьовування захисту й відключення устаткування, розрядник повинен відключити супровідний струм за найменший час (приблизно в напівперіод промислової частоти).

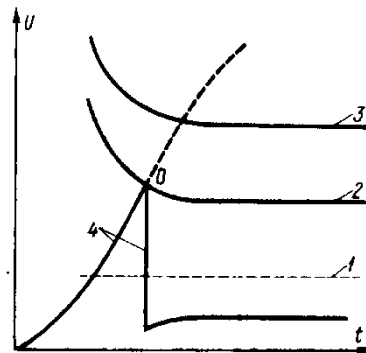


Рисунок 3-6 – Вольт-секундні характеристики

До розрядників пред'являються наступні вимоги:

1. Вольт-секундна характеристика розрядника повинна бути нижче, ніж в об'єкта, що захищається.
2. Іскровий проміжок розрядника повинен мати певну гарантовану електричну міцність при промисловій частоті.
3. Напруга, що залишається, на розряднику, і характеризує його обмежуючу здатність, не повинна перевищувати значень, які небезпечні для ізоляції устаткування.
4. Провідний струм повинен відключатися за короткий час.
5. Розрядник повинен допускати велику кількість спрацьовувань без огляду й ремонту.

Трубчасті розрядники. Розрядник (рисунок 3-7) представляє собою дугогасну трубку 3 з поліхлорвінілу марки «вініпласт», на кінцях якої закріплені металеві наконечники: верхній, закритий, 2 і нижній, відкритий, 7. В середині трубки міститься стрижневий електрод 4, що кріпиться у хвості 9 верхнього наконечника.

Другим електродом внутрішнього іскрового проміжку служить шайба 6, закріплена в нижньому наконечнику. За допомогою хомутів 5 нижній наконечник (розрядник) кріпиться до заземленої конструкції. До нижнього ж наконечника кріпиться стрічковий покажчик спрацьовування 8, вільний кінець якого згинається й заводиться всередину наконечника. При спрацьовуванні розрядника кінець покажчика викидається газовим дугтям, і стрічка випрямляється.

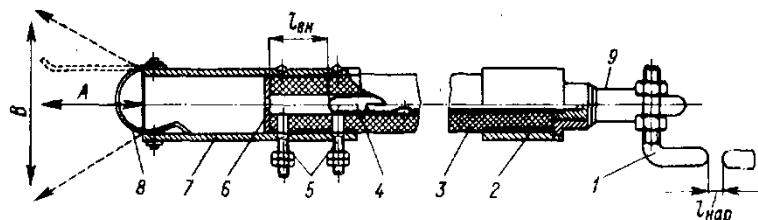


Рисунок 3-7 – Загальний вид трубчастого розрядника



РТВ-10 (трубчастий)

РВН-10 (вентельний)

Рисунок 3-8 – Зовнішній вид розрядників

З метою розвантаження ізоляційного матеріалу розрядника від електричного поля при номінальному режимі розрядник відокремлюється від лінії зовнішнім ($I_{нар}$) іскровим проміжком, для регулювання якого служить подовжувач (ріг) 1.

При виникненні перенапруги пробиваються обидва проміжки ($I_{вн}$ й $I_{нар}$). Виникаюча в трубці дуга викликає сильну газогенерацію зі стінок трубки. Гази спрямовуються через вихлопний отвір у шайбі 6 і відкритий наконечник, утворюючи інтенсивне поздовжнє дугтя, що гасить дугу при проходженні струму через нуль, одночасно гасне дуга й на проміжку $I_{нар}$. Відключення супроводжується великим викидом полум'я й газів (при $U=35\text{кВ}$: $A=3\text{м}$; $B=1,5\text{ м}$). В об'ємі, займаному полум'ям і газами, не повинні розташовуватися які-небудь струмоведучі частини. Граничний відключаючий струм, що, визначається міцністю трубки й, наприклад, для розрядників серії РТВ на 6-35 кВ становить 12 кА. Граничні струми відключення розрядників з фібробакелітовими трубками менше, ніж у розрядників з вініластовими трубками.

Вентильні розрядники. Вентильний розрядник (рисунок 3-8, а) складається із двох основних частин: блоку іскрових проміжків 4, у який входить декілька послідовно з'єднаних одиничних іскрових проміжків 3 (рисунок 3-8,б), шунтованих підковоподібними нелінійними резисторами 9, призначеними для вирівнювання

розподілу напруги, і роботи резистора, складеного з набору послідовно включених вилитових дисків 2. Іскрові проміжки укладені в порцелянові циліндри 5.

Блок іскрових проміжків з'єднаний послідовно з робочим резистором, закритий порцеляновим кожухом 1, стислий спіральною пружиною 6 і герметизований озоностійкою гумою 7. Необхідність герметизації обумовлена гігроскопічністю вилита, що міняє свої характеристики при зволоженні. Розрядник кріпиться за допомогою фланців 8 до чавунної підстави (на рисунку не вказано).

Проводи фази лінії високої напруги підключається до болта на кришці. Заземлюючий провідник приєднується до чавунної опори розрядника безпосередньо або через лічильник спрацьовувань.

Розрядник працює в такий спосіб. При виникненні перенапруги пробиваються іскрові проміжки й імпульсний струм через робочий резистор іде в землю. Супровідний струм обмежується робочим резистором до значення, при якому дуга може бути погашена іскровими проміжками. Одиничний проміжок здатний відключити струм з амплітудою 80-100 А при діючій напрузі, що відновлюється, 1-1,5 кВ. Число іскрових проміжків і число дисків резистора вибираються виходячи із зазначених умов. Дуга при цьому згасне за один напівперіод.

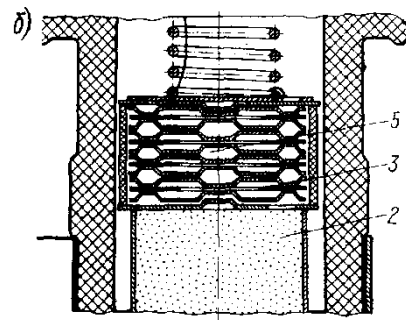
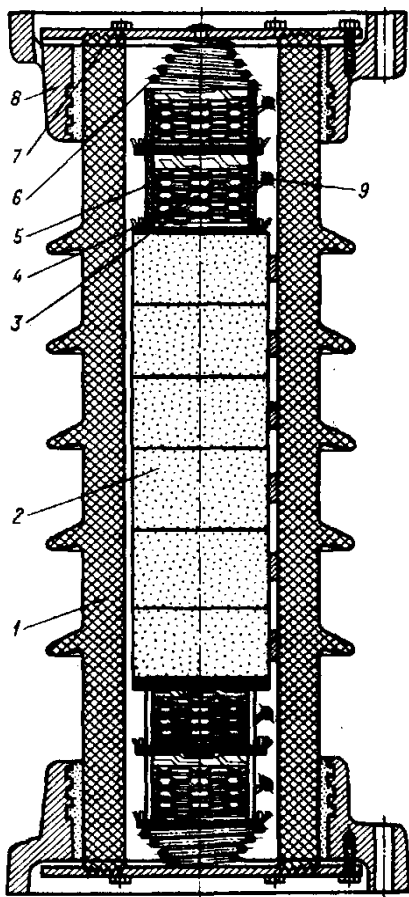


Рисунок 3-8 – Вентельний розрядник

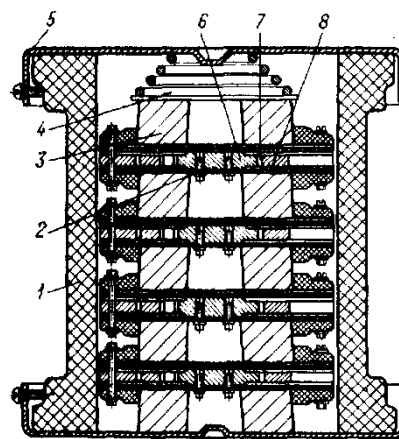


Рисунок 3-9 – Блок з магнітними іскровими проміжками

Резистор з вилита характеризується нелінійністю свого опору. З ростом струму значення опору падає. Це дозволяє пропустити через резистор великий струм при малому спаді напруги (через це розрядники одержали назву вентильних). Напруга на розряднику практично мало міняється в широкому діапазоні зміни струмів. У міру наближення струму до нуля опір різко зростає, знижуючи струм до нуля

раніше його природного переходу через нуль. Ця обставина полегшує гасіння дуги в одиничних іскрових проміжках.

Вентильні розрядники працюють безшумно й без якого-небудь викиду газів і полум'я. Для фіксації числа спрацьовувань встановлюються спеціальні (електромагнітні, електромеханічні й ін.) лічильники. Вентильні розрядники виконуються на напруги до 220 кВ і призначені для захисту ізоляції електроустаткування від атмосферних перенапруг. Вони застосовуються у відкритих і закритих електроустановках із частотою 50 Гц. Розрядники на 3, 6 й 10кВ відрізняються один від одного тільки числом іскрових проміжків і числом вилитових резисторів, а також габаритами. Розрядники на номінальні напруги 15, 20 й 35 кВ складаються з одного стандартного елемента, аналогічно зображеному на рисунку 3-8,а; розрядники на напругу 60 кВ і з трьох і більше з'єднаних послідовно стандартних елементів номінальною напругою 15, 20 або 35 кВ.

Розрядники магнітовентильні (РМВГ). Ці розрядники виконуються на номінальні напруги 150-500 кв. Вони комплектуються зі стандартних блоків (на 30 кв) з магнітними іскровими проміжками й відповідним числом дисків вилитових резисторів.

Блок магнітних іскрових проміжків (мал. 3-9) являє собою набір (тут чотири) одиничні іскрові проміжки 2, розташованих упереміж з постійними магнітами 3 кільцеві форми. Весь пристрій розміщений у порцеляновому циліндрі 1 і закритий сталевими кришками 5. Кріплення всіх елементів усередині циліндра здійснюється за рахунок тиску пружини 4. Кожен блок шунтується резисторами з високоомним нелінійним опором.

Одиничний магнітний іскровий проміжок складається із двох концентрично розташованих мідних електродів 6 й 8. Щілина 7 між ними утворить іскровий зазор. Кільцеві магніти 3 створюють у щілині магнітне поле (480—640 А/см).

Виникаюча в щілині дуга починає обертатися по кільцевій щілині з великою швидкістю. У порівнянні зі звичайними іскровими проміжками пропускна й дугогасна здатність магнітного іскрового проміжку набагато вище.

Розрядники постійного струму. Застосування розрядників зі звичайними іскровими проміжками для захисту електроустаткування постійного струму неможливо. Спадання напруги на іскровому проміжку після його пробією складе всього 20-30 В, і для гасіння дуги буде потрібно надзвичайно велика кількість проміжків; напруга пробією буде надмірно високою, і не буде забезпечений захист ізоляції.

Розрядники постійного струму виконуються із пристроями для гасіння дуги. Так, магнітні розрядники постійного струму серії РМБВ складаються з іскрових проміжків з дугогасною камерою (шунтованих або нешунтованих резисторами з високоомними нелінійними опорами), блоку робочого нелінійного вилитового резистора й дугогасного іскрового проміжку з постійними магнітами. Конструктивно вони виконуються аналогічно вентильним розрядникам.

Магнітний розрядник типу РАН-1 — розрядник багаторазової дії зі зниженим тиском усередині корпусу, призначений для захисту від перенапруг обмоток збудження синхронних машин. Розрядник має діапазон регулювання уставки по пробивній напрузі 1200-3500 В (амплітудне значення) і дозволяє пропускати струм до 5000 А (амплітудне значення) при середньому значенні струму протягом 1 с до 1000 А. Номінальна напруга розрядника 1000 В постійного струму.

Лекція №10

Тема: Трансформатори струму та напруги.

Мета: Ознайомитися з призначенням, основними параметрами та будовою трансформаторів струму та напруги.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1** Трансформатори струму
- 2** Трансформатори напруги

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник.

Література:

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

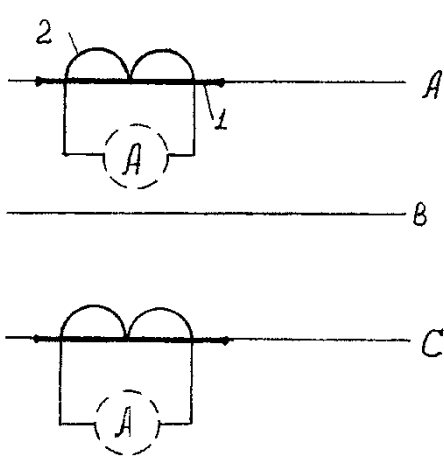
2 Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

1 Трансформатори струму

Для зручності вимірювання струму в установках високої напруги й ізоляції вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту від високої напруги служать трансформатори струму (ТТ). ТТ має замкнутий магнітопровід із двома обмотками. Вони (ТТ) виконуються як для внутрішньої, так і для зовнішньої установки на всю шкалу струмів і напруг. Через первинну обмотку пропускається вимірюваний струм, вторинна обмотка підключається до вимірювальних приладів і реле. Первинна обмотка ізольована від вторинної відповідно до класу ізоляції апарата.

Для безпеки роботи у випадку ушкодження ізоляції між первинною й вторинною обмотками вторинна обмотка повинна бути обов'язково заземлена.

Схема включення ТТ



Первинна обмотка 1 включена послідовно у вимірювану мережу. Струм у цій обмотці і є вимірюваний струм.

Основними параметрами ТТ є наступні:

— номінальна напруга – лінійна напруга енергосистеми, у якій ТТ повинен працювати. Ця напруга визначає ізоляцію між первинною обмоткою, що перебуває під високим потенціалом, і вторинної, один кінець якої заземлений;

— номінальний первинний і вторинний струми – це тривалі струми, які апарат може пропускати не перегріваючись. ТТ звичайно мають запас по нагріванню й дозволяють довгостроково пропускати струми, які приблизно на 20 % вище номінального значення. Номінальний струм вторинної обмотки стандартизований і може бути дорівнює 1 А або 5 А;

— номінальний коефіцієнт трансформації – відношення номінальних значень первинного й вторинного струмів

$$K_{ном} = I_{1ном} / I_{2ном}.$$

Реальний коефіцієнт трансформації не дорівнює номінальному внаслідок погрішності, викликуваної втратами в трансформаторі. Розрізняють струмову погрішність і куту.

— струмова погрішність у відсотках визначається вираженням:

$$\Delta I_{\%} = \frac{K_{нам} I_2 - I_1}{I_1} \times 100.$$

Залежно від значення струмової погрішності розрізняють класи точності: 0.2; 0.5; 1; 3; 5; 10.

Клас точності трансформатора визначається його погрішністю по струму у відсотках при первинному струмі, рівному $(100-120) \% I_{1ном}$.

Погрішність по куті вимірюється у хвилинах. В ідеальному трансформаторі вторинний струм зрушає по фазі щодо первинного на 180° . У реальному трансформаторі цей кут відрізняється від 180° . Якщо вторинний струм випереджає первинний, то погрішність по куті позитивна;

— номінальне навантаження ТТ – це опір навантаження в омах ($Z_{2ном}$), при якому він працює із заданим класом точності при номінальному значенні $\cos \varphi_{2ном} = 0,8$. Іноді застосовується поняття номінальної потужності:

$$P_{2ном} = I_{2ном}^2 \cdot Z_{2ном}.$$

Оскільки значення струму $I_{2ном}$ стандартизоване, той номінальний опір навантаження однозначно визначає й номінальну потужність трансформатора;

— номінальна гранична кратність первинного струму стосовно його номінального значення, при якій повна погрішність досягає 5 або 10 %. Відповідно ТТ мають клас точності 5Р и 10Р. Навантаження і її коефіцієнт потужності повинні бути номінальними (коефіцієнт потужності 0,8);

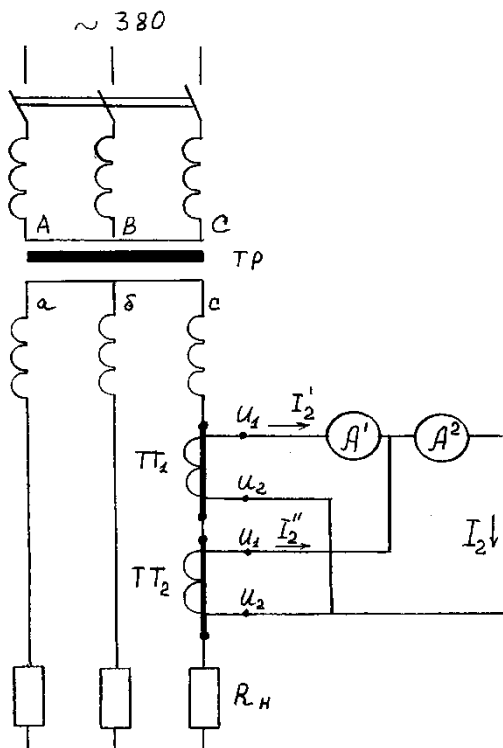
— максимальна кратність вторинного струму – відношення найбільшого вторинного струму до його номінального значення при номінальному вторинному навантаженні. Максимальна кратність вторинного струму визначається насиченням магнітопровода, коли подальше зростання первинного струму не веде до зростання потоку;

— динамічна стійкість ТТ (кратність) визначається відношенням припустимого наскрізного струму короткого замикання, що витримує трансформатором без механічних ушкоджень, до амплітуди номінального первинного струму;

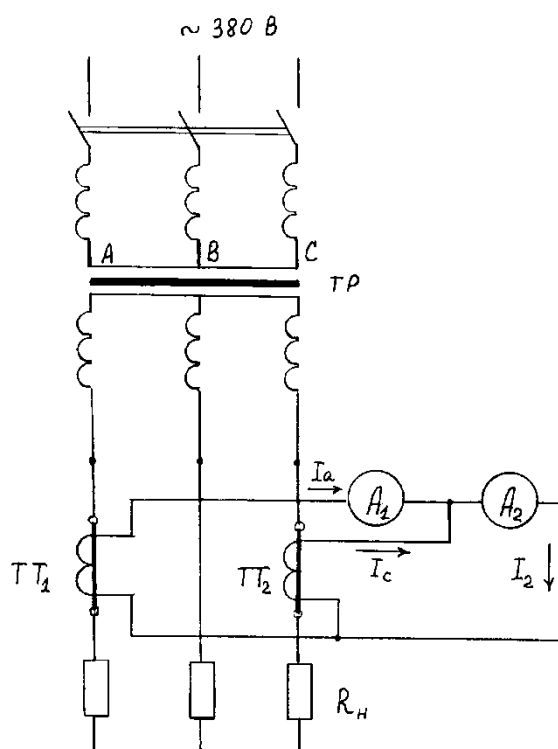
— термічна стійкість – відношення гранично припустимого струму, що трансформатор може витримувати без ушкоджень протягом 1 сек, до номінального первинного струму при номінальному вторинному навантаженні й температурі навколишнього повітря $+35^{\circ}\text{C}$.

Для зменшення значення коефіцієнта трансформації й збільшення потужності навантаження два ТТ можуть бути включені паралельно.

Перевірка правильності сполуки двох ТТ (згодн або зустрічне) здійснюється за допомогою амперметрів.



У більшості схем релейних захистів ТТ включаються на струми різних фаз у трифазній мережі.



Конструкції ТТ досить різноманітні. При цьому всі вони складаються із замкнутого магнітопровода з відповідними обмотками й корпусу. Магнітопровід може бути прямокутний шихтований або тороїдальний, навитий зі стрічки. Трансформатор може мати трохи магнітопроводов. Вторинні обмотки завжди багатовиткові. Первинна обмотка може бути багатовитковою звичайно на струми

до 400 А або одновиткової на струми від 600 А и вище. В останньому випадку витком служить шина або стрижень, що проходять через вікно магнітопровода.

Обмотки можуть виконуватися з ізолюваного або голого мідного проведення. Для напруг до 35кв широке поширення одержала ізоляція первинної обмотки від вторинної й від заземлених деталей литим компаундом на основі епоксидної смоли. Литий ізоляційний корпус захищає первинну й вторинну обмотки від можливих механічних ушкоджень і проникнення вологи. На напругу 35 кв і вище для відкритих установок застосовуються ТТ із масляною ізоляцією.

2 Трансформатори напруги

Трансформатори напруги (ТН) служать для перетворення високої напруги в низьку стандартну напругу, зручне для виміру. Звичайно за номінальну вторинну напругу приймається напруга $100V$ або $100/\sqrt{3}V$. Це дозволяє для виміру будь-якої високої напруги застосовувати ті самі вимірювальні прилади. Реле захисту також випускаються на ті ж стандартні напруги незалежно від номінальної напруги захищає установки, що.

Первинна обмотка ТН ізолюється від вторинної відповідно класу напруги установки. Для безпеки обслуговування один висновок вторинної обмотки заземлюється. Таким чином, ТН ізолює вимірювальні прилади й реле від ланцюга високої напруги й робить безпечним їхнє обслуговування.

Основними параметрами ТН є:

— номінальна напруга обмоток – робоча напруга, на яке розраховані обмотки (указується на щитку). При цьому номінальною напругою трансформатора вважається напруга первинної обмотки;

— номінальний коефіцієнт трансформації – відношення номінальної первинної напруги до номінального вторинного

$$K_{ном} = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}} ;$$

— погрішність по напрузі й по куті у відсотках і клас точності (аналогічно розглянутим вище для ТТ)

$$\Delta U\% = \frac{K_{ном} \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\% ;$$

— номінальна потужність – потужність, який трансформатор може бути навантажений у межах класу точності ($n_{при} \cdot \cos \varphi = 0,8$).

ТН мають одну обмотку високої напруги й одну або дві (основні й додаткову) обмотки низької напруги ТН можуть виконуватися сухими (на напругу до 10 кв і для внутрішньої установки) або масляними (на більше високі напруги й для зовнішньої установки).

Лекція №11

Тема: Вимикачі автоматичні.

Мета: Ознайомитися з видами, будовою та принципом дії вимикачів автоматичних.

Методи: словесні, наочні.

План:

1 Основні поняття

2 Вимикачі автоматичні загального призначення

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Основні поняття

Вимикачі автоматичні призначені для проведення струму в нормальних режимах й автоматичному відключенні що захищає кола, при коротких замиканнях (КЗ) і перевантаженнях, а також для оперативних нечастих відключень.

На відміну від високовольтних вимикачів, конструкція яких містить контактні, дугогасні й приводні системи й не містить пристрою вимірів і контролю захисних кіл, (ці пристрої виконуються на низькій напрузі у вигляді окремих апаратів), автоматичні вимикачі низької напруги, як правило, містять як вузли конструкції й пристрою вимірів і контролю заданих параметрів захисних кіл.

Конструкції, характеристики й захисні функції автоматичних вимикачів досить різноманітні. Однак по призначенню й принципам конструювання вони можуть бути розділені на вимикачі *загального призначення, швидкодіючі й спеціальні*.

Вимикачі автоматичні загального призначення. Ці вимикачі по роду струму головного кола виконуються на змінний, постійний струми.

За власним часом відключення вимикачі можуть бути струмообмежуючими й неструмообмежуючими.

Загальна тривалість короткого замикання $t_{к.з.}$, (рисунок 4-1, а й б) складається із трьох складових:

t_0 - часу від початку короткого замикання до моменту, коли струм досягає значення $I_{уст}$, при якому в стаціонарному режимі спрацьовує відключаючий пристрій;

$t_{откл}$ - власного часу відключення — часу від моменту досягнення струмом значення уставки до моменту початку розбіжності контактів;

t_f - тривалості процесу дугогасіння.

Час t_0 залежить в основному від постійності кола. Час $t_{откл}$ визначає швидкодію вимикача.

Струмообмежуючий вимикач — вимикач, у якого власний час відключення такий, що в даному колі за цей час струм не встигає досягти сталого значення $I_{к.з.}$ і відключає струм, що, $I_{откл}$ менше того, який був би в колі у випадку відсутності вимикача або при неструмообмежуючому вимикачі (рисунок 4-1, а). На рисунку 4-1, як приклад наведені струмообмежуючі характеристики деяких вимикачів серії А-3700. Тут $I_{к.з.}$ - можливий струм короткого замикання; $I_{откл}$ — відключаючий струм (обмежений) ; *пряма 1* - струм, що відключав би неструмообмежуючий вимикач.

Неструмообмежуючі вимикачі можуть бути з витримкою часу в зоні струмів короткого замикання або без неї. Перші призначені для здійснення селективного захисту, суть якого полягає в тому, що при струмі $I_{к.з.}$ (рисунок 4-2), що перевершує струм уставки $I_{уст}$ вимикачів всіх ступенів, відключається найближчий до місця аварійної ділянка, у якого вимикач має меншу витримку часу t_1 ($t_1 < t_2 < t_3$). Власний час розмикання вимикачів 0,02-0,08 с.

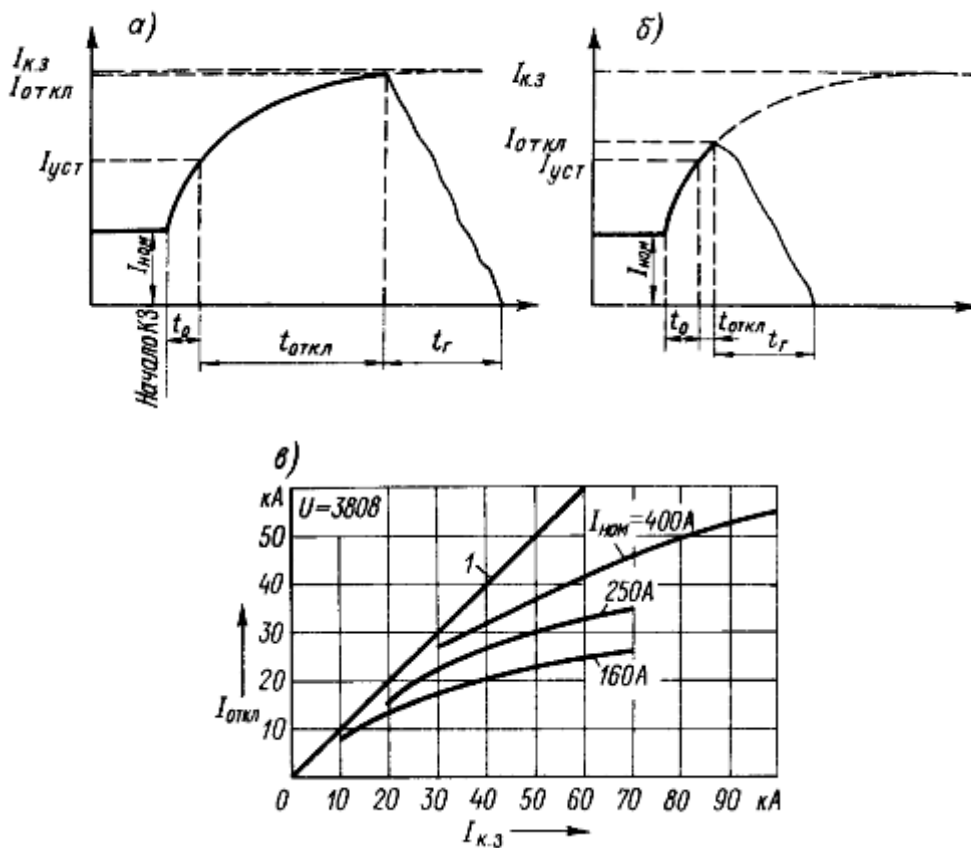


Рисунок 4-1 – Процес відключення при короткому замиканні: а – неструмообмежуючим вимикачем; б і в - струмообмежуючим вимикачем.

Вимикачі автоматичні швидкодіючі (вимикачі постійного струму). Вимикачі призначені для захисту напівпровідникових перетворювачів, електричних машин і ліній постійного струму при коротких замиканнях, перевантаженнях і зворотних струмах у промислових установках (наприклад, в електроприводах прокатних станків) і в установках магістрального, промислового й міського електрифікованого транспорту.

У зазначених сучасних установках, зокрема в установках з напівпровідниковими перетворювачами, струми КЗ досягають 200-300 кА. Напівпровідникові пристрої на відміну від електричних машин не допускають перевантажень. У силу їхньої природи інтеграл Джоуля в них набагато нижче, ніж в електричних машин й інших електромеханічних пристроїв. Все це вимагає прискореного відключення аварійної ділянки й обмеження струму в колі.

Варто врахувати ще одну досить важливу обставину — наявність величезних електродинамічних сил, що виникають при зазначених струмах. Наприклад, у колі, у якому струм КЗ може досягти сталого значення 300 кА, при початковій швидкості (крутості) наростання $4,5 \cdot 10^6$ А/з вимикачу із часом відключення $t_{откл}=0,08$ с доводиться відключати струм 280 кА, при $t_{откл} = 0,04$ с - струм 160 кА, а швидкодіючому вимикачу з $t_{откл} = 0,005$ с — струм близько 22 кА. Електродинамічні сили тут обмежуються в 50-150 разів.

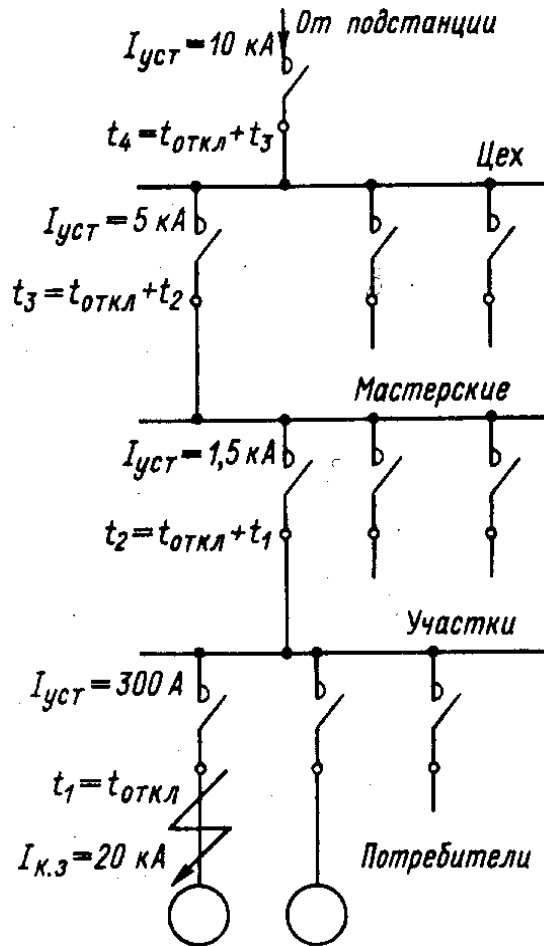


Рисунок 4-2 - Схема селективной захисту

2 Вимикачі автоматичні загального призначення

Вимикачі виготовляються в основному на струми від 6,3 до 6300 А и напруги до 1000 В змінного струму й 440 В постійного струму у відповідності зі стандартизованими шкалами струмів і напруг. Та або інша серія охоплює частину шкали. Окремі серії виконуються на більші струми. По числу полюсів вимикачі випускаються одное-, двох-, трьох- і чотирьохполюсними.

Вимикачі складаються з наступних основних елементів: головної контактної системи (головних контактів), дугогасної системи, привода, розчіплюючого пристрою, розчіплювачів і допоміжних контактів.

Головна контактна система. Це основний елемент вимикача. Система повинна задовольняти двом основним вимогам: 1) забезпечувати, не перегріваючись і не окисляючись, тривалий режим роботи при номінальному струмі; 2) бути здатною, не ушкоджуючись, включати й відключати великі струми короткого замикання, що досягають у сучасних промислових установках 75-100 кА, а в окремих енергоємних виробництвах з короткими мережами -150-200 кА. У зв'язку із цим у вимикачах на середні й великі струми з високою відключаючою здатністю застосовуються багатоступінчасті контактні системи, що складаються, наприклад, з основних і дугогасних контактів.

Використання металокераміки дозволяє в сучасних конструкціях вимикачів на великі струми застосовувати переважно двоступінчасті контактні системи, а у

вимикачах на малі й середні (до 630 А) струми - одноступінчасті (місткові, важільні).

Контактні системи на середні й великі струми виконуються з компенсацією електродинамічних сил. Найбільш ефективним варто вважати принцип електродинамічної компенсації, компенсуюче зусилля в цьому випадку (як й електродинамічні сили) росте пропорційно квадрату струму й систему можна виконати так, що компенсуюча сила, буде завжди переверщувати відключаючу силу. Електромагнітна компенсація стає неефективною при великих струмах, тому що при насиченні (при струмах 10-25 кА) компенсуюче зусилля мало зростає зі збільшенням струму, у той час як, що відкидаюча сила, продовжує зростати пропорційно квадрату струму.

Слід відзначити, що в окремих конструкціях електродинамічне зусилля, що відкидає, у контактах використовується для одержання струмообмежуючого ефекту (швидкодії) вимикача.

Підвищення номінальних струмів контактних систем можливо за рахунок застосування рідинного, зокрема водяного, охолодження, а підвищення номінальних струмів вимикачів - ще й за рахунок застосування паралельних контактних систем.

Дугогасна система. Ця система повинна забезпечувати відключення великих струмів короткого замикання в обмеженому об'ємі. Під впливом виникаючих електродинамічних сил дуга швидко розтягується й гасне, але її полум'я займає дуже великий простір. Завдання дугогасного пристрою полягає в тому, щоб обмежити розміри дуги й забезпечити її гасіння в малому об'ємі. Із цією метою широке поширення одержали камери з дугогасними решітками й камери з вузькими щілинами. У сучасних конструкціях все більшого застосування знаходять дугогасні решітки, утворюючи такі комбіновані пристрої, як камера з дугогасною решіткою плюс дугогасна решітка й т.п.

Як правило, магнітне поле дугогасіння у вимикачах створюється самим контуром струму. Система з послідовною дугогасною котушкою, не може застосовуватися у вимикачах — у колі головних контактів через великі струми, а в колі дугогасних контактів через велику індуктивність котушки. Контактна система може розглядатися як одновиткова дугогасна котушка. Електродинамічні сили контуру струму (особливо при коротких замиканнях) забезпечують швидке переміщення дуги по контактах, а також у камері.

Дугогасительные решітки із прямими й U-подібними сталевими пластинами створюють додаткові сили, що переміщують дугу в камері. Для створення додаткового магнітного поля дугогасіння може бути застосована система з послідовною дугогасною котушкою в розточенні рогів. Котушка (а отже, і нулі) включається самою дугою, як тільки остання досягне рогів і перемкне розточення. Котушка обтікається струмом тільки під час гасіння й може бути виконана малого перетину.

Підвищити відключаючу здатність вимикачів можна застосуванням ряду паралельних контактних систем з одночасним існуванням і штучною підтримкою горіння електричних дуг на їх дугогасних контактах. Розмикання паралельно включених контактів відбувається неодноразово, і дуга виникає на тих контактах, які розмикаються останніми. Можна створити такі умови, при яких дуга виникне й буде одночасно існувати на всіх паралельних контактах. У такому випадку

здатність, що відключає, вимикача підвищиться пропорційно числу паралельно включених дугогасительних контактів.

Привод. Привод служить для включення вимикача по команді (оператора, системи автоматичного керування й ін.). Виконуються вимикачі з ручним або руховим приводом або з тим й іншим. Під руховим розуміють привод, у якому сила створюється будь-яким видом енергії, крім мускульної енергії оператора, наприклад електромагнітом, електродвигуном, пневматикою, гідравлікою й т.п. Відключення вимикача здійснюється пружинами після роз'єднання пристрою, що розчіплює.

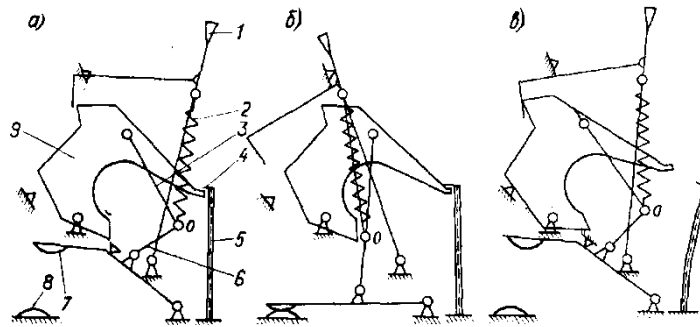


Рисунок 4-3 – Приклад виконання пристрою, що розчіплює, автоматичного вимикача

Розчіплюючий пристрій. Цей пристрій призначений:

- для виключення можливості втримувати контакти вимикача у включеному положенні (рукояткою, дистанційним приводом) при наявності ненормального режиму роботи в захищасемому колі;
- для забезпечення моментного відключення, тобто не залежної від оператора, роду й маси привода швидкості розбіжності контактів.

Розчіплюючий пристрій, представляє собою систему шарнірно-з'язаних важелів, що з'єднують привод включення із системою рухливих контактів, які з'єднані із пружиною, що відключає. Принцип роботи пристрою може бути пояснений схемою на рисунку 4-3.

Схема на рисунку 4-3, а відповідає положенню «Відключений вручну» й «Вимикач зведений». «Зведений» означає, що контакти 7 й 8 розімкнуті, а фігурний важіль 9 поставлений під зачеплення 4 валика, що відключає, 5; це здійснюється поворотом *рукоятки* 1 вправо. При повороті рукоятки вліво, що відключає пружина, 2 переведе «ламкі» важелі 3 і 6 через мертве положення до упору шарніра *O* в важіль 9 і замкне контакти. Положення «включене» показане на рисунку 4-3,б.

У випадку виникнення ненормальних умов роботи в захищасемому колі, відповідаючий розчеплювач поверне валик, що відключає, і виведе його із зачеплення з фігурним важелем. Під дією пружини, що відключає, фігурний важіль повернеться й іншим своїм кінцем переведе «ламкі» важелі вправо через мертве положення, відключаюча пружина, «зламає» важелі й розімкне контакти. Вимикач виявиться в положенні «Відключено автоматично» (рисунок 4-3, в). Для повторного включення необхідно відвести рукоятку вправо й увести в зачеплення фігурний важіль із валиком, що відключає.

Конструкції пристроїв, що розчіплюють, досить різноманітні, однак дія їх подібно описаному. Надалі, розчіплюючий пристрій, будемо зображувати схематично у вигляді двох зчеплених важелів.

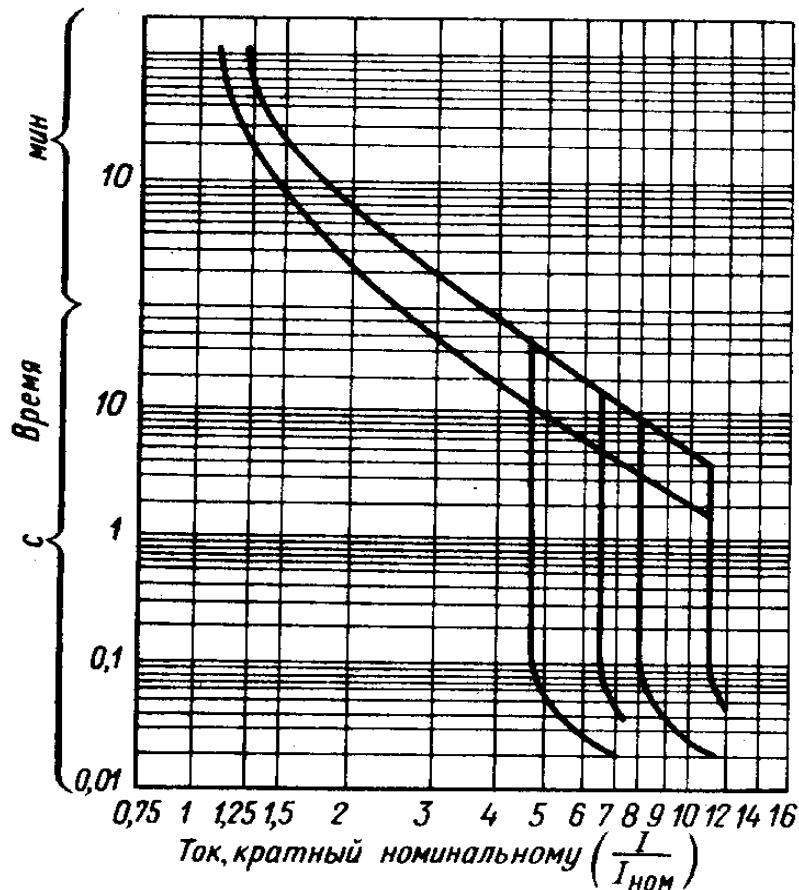


Рисунок 4-4 - Часострумова характеристика вимикача серії ВА51

Слід зазначити одну досить важливу обставину: відключаючі контактні пружини в автоматичних вимикачах розвивають сили в десятки й сотні ньютонів. Система важелів розчіплюючого пристрою, будується так, що для розчіплювання потрібні незначні зусилля. Це дозволяє отримати легкі й високочутливі розчеплювачі.

Розчеплювачі. Це елементи, які контролюють заданий параметр захищеного кола, і, впливаючи на механізм розчіплювання, відключають вимикач при відхиленні значення параметра від установленого. Вони являють собою реле або елементи реле, вбудовані у вимикач із використанням його елементів або пристосовані до його конструкції. Розчеплювачі виконуються на базі електромеханічних реле. Насьогодні більшого застосування знаходять розчеплювачі на принципах або на базі статичних реле і їхніх елементів. При цьому контролюючі й органи, що порівнюють, розчеплювача виконуються на напівпровідникових елементах з виходом на незалежний електромагнітний елемент (виконавчий орган), що впливає на механізм розчіплювання.

Автоматичні вимикачі, як правило, забезпечуються розчеплювачем максимального струму для захисту в зоні струмів перевантаження й струмів короткого замикання або тільки струмів короткого замикання. Електромеханічні розчеплювачі виконуються електромагнітними, електротепловими або комбінованими. Розчеплювачі максимального струму на базі статичних реле складається із блоку напівпровідникового (БПР), вимірювальних елементів, що вбудовують у кожен полюс вимикача, і вихідного електромагнітного елемента.

Вимірювальними елементами служать на змінному струмі трансформатори струму, на постійному струмі - шунти або трансформатори постійного струму. Незалежно від принципу пристрою розчеплювачі можуть виконуватися без витримки часу при спрацьовуванні, з незалежної від струму витримкою часу, з зворотньою залежною від струму витримкою часу. Типова часошумова характеристика сучасного вимикача наведена на рисунку 4-4. Напівпровідниковий розчеплювач, більш складний по пристрою, дозволяє одержати більш сприятливі часошумові характеристики.

Вимикачі можуть додатково забезпечуватися розчеплювачами:

незалежним - для дистанційного відключення вимикача при подачі на розчеплювач відповідної напруги;

мінімальної або нульової напруги - для автоматичного відключення вимикача при зниженні нижче певного рівня або зникненні напруги.

Можуть бути й іншого виду расцепители.

Схема вимикача з розчеплювачем максимального струму миттєвої дії показана на рисунку 4-5,а. Струмоведачу шину 1 полюса вимикача охоплює магнітопровід, що складається із сердечника 2 й якоря 3. Коли струм стане вище певного значення, тягове зусилля перевищить зусилля пружини 5, якір притягнеться й поверне валик, що відключає, 4. пристрій, що розчіплює, звільниться. Вимикач відключиться. Регулювання струму спрацьовування здійснюється натягом пружини 5.

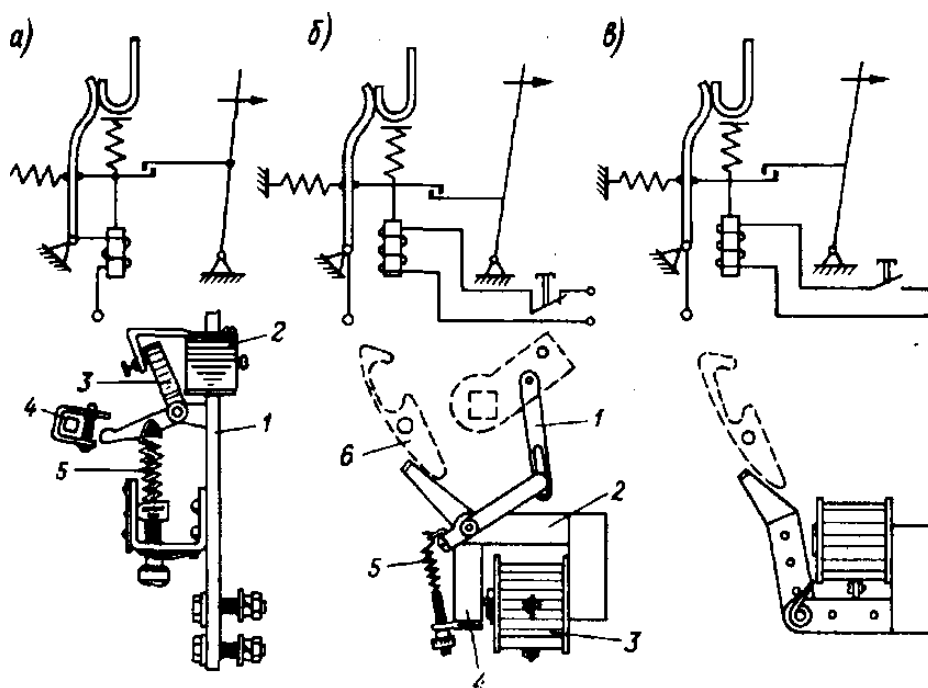


Рисунок 4-5 – Приклади схем деяких електромеханічних розчеплювачів

Розчеплювач мінімальної напруги (рисунок 4-5,б) складається з електромагніт-сердечника 2, якоря 4 і котушки 3, підключеної на контрольовану напругу. При нормальних режимах якір притягнутий. При зниженні контрольованої напруги нижче певного значення (уставки) якір під дією регульовальної (вона ж і що відключає) пружини 5 відпаде й, впливаючи на пристрій, що розчіплює, через засувку 6, відключить вимикач. Магнітна система розчеплювача виконується так, що МРС котушки при номінальній напрузі недостатня для притягання якоря, але

достатня для його втримання. Якір притягається при підготовці вимикача до включення за допомогою важелів 1 , пов'язаних з валом вимикача.

Розчеплювач напруги незалежний (рисунок 4-5, в) представляє собою електромагніт, що притягає свій якір при включенні котушки на відповідну напругу. Своім кінцем якір впливає на пристрій, що розчіплює, і відключає вимикач.

Лекція №12

Тема: Вимикачі неавтоматичні.

Мета: Ознайомитися з призначенням та будовою рубильників, перемикачів та вимикачів багатоамперних.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Рубильники та перемикачі
- 2 Вимикачі багатоамперні

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Рубильники та перемикачі

Рубильники й перемикачі призначені для неавтоматичної комутації електричних кіл з номінальною напругою до 660 В змінного струму частотою 50 й 60 Гц й 440 В постійного струму. При наявності відповідних пристроїв вони розраховані на відключення струму до 1 - 1,5 від номінального. Рубильники, не розраховані для комутації кіл під струмом, призначені для роботи як роз'єднувачі. Виконуються рубильники в основному на струми 80 - 1000 А, з комутаційною зносостійкістю 2500 - 5000 циклів, механічною зносостійкістю до 10000 операцій.

Рубильники (рисунок 14-1) і перемикачі виконуються одно-, двох- і трьохполюсними. Основними елементами їх є: нерухомі врубні контакти 4, рухливі контакти 5, закріплені шарнірно в інших нерухомих контактах 6, дугогасний пристрій і привод. Монтуються рубильники на ізоляційних деталях - плитах 7, каркасах, валах і т.п. Конструкція рубильника може виконуватися для приєднання проводів позаду або попереду.

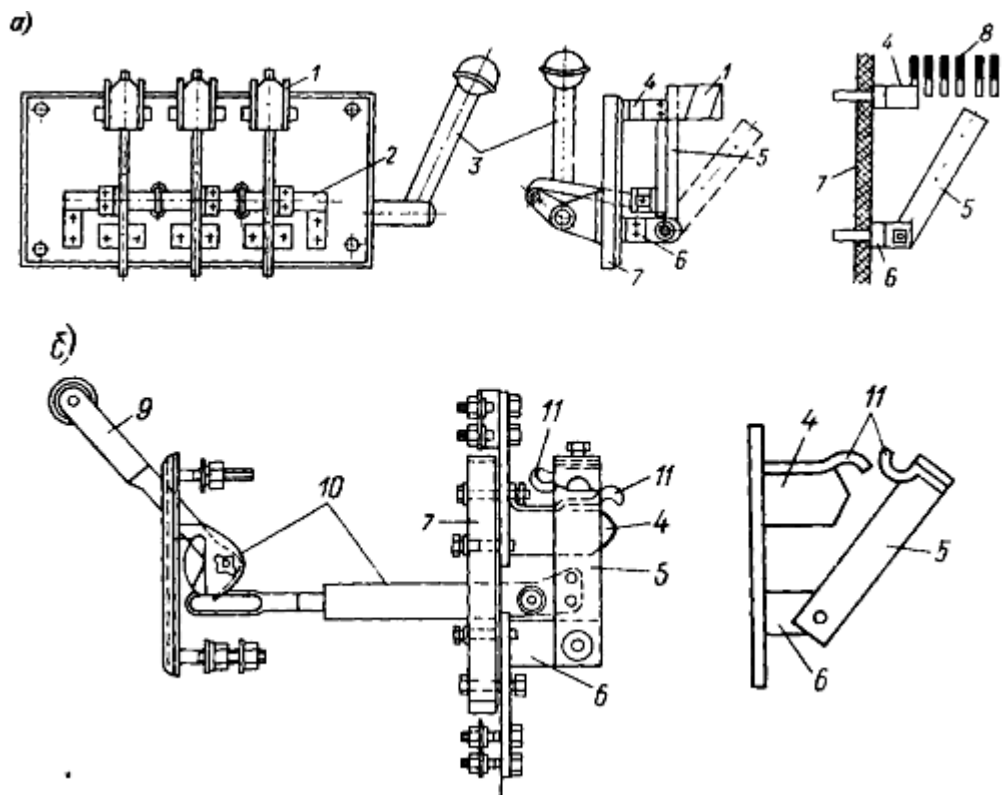


Рисунок 14-1 – Будова рубильників: а — рубильник з бічною рукояткою; б - рубильник з центральним важільним приводом

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

Найважливішою частиною рубильника є контакти. Майже виняткове застосування в цих апаратах знаходять врубні контакти. У рубильниках на малі струми контактне натискання забезпечується за рахунок пружних властивостей матеріалу губок, а на струми від 100 А і вище - сталевими пружинами. Зі збільшенням натискання падає перехідний опір, але збільшується зношування контактів через тертя, і це обмежує натискання.

Гасіння дуги постійного струму при малих струмах (до 75 А) відбувається за рахунок її механічного розтягування розбіжними ножами. При більших струмах

гасіння здійснюється в основному за рахунок переміщення дуги під дією електродинамічних сил контуру струму (деталі рубильника, дуга). Скорочення довжини ножа веде до зростання напруженості магнітного поля й електродинамічних сил, що підвищує здатність, що відключає, рубильника. Граничним значенням, до якого раціонально скорочувати довжину ножа, є така довжина, при якій забезпечується надійне гасіння струму до 75 А.

Гасіння електричної дуги при однофазному струмі напругою 220 В и при трифазному струмі напругою 380 й 500 В здійснюється в основному за рахунок білякатодних явищ, що мають місце при переході струму через нуль. Довжину ножа в рубильниках змінного струму через це варто вибирати не з умов гасіння дуги, а з механічних умов.

При монтажі рубильників у розподільних ящиках або в закритих розподільних пристроях малого об'єму досить актуальним стає обмеження розмірів дуги. Необхідно, щоб іонізовані гази, що залишилися після загасання дуги, не викликали перекриття на корпус або між струмоведучими частинами. У таких випадках рубильники забезпечуються різного роду дугогасними камерами 1. На змінному струмі широко застосовуються камери з дугогасними решітками 8.

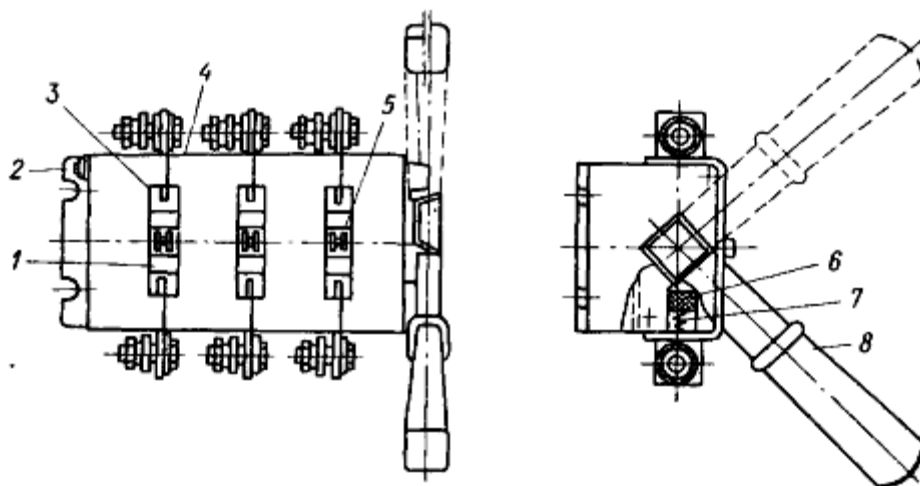


Рисунок 14-2 - Загальний вид трьохполюсного рубильника серії Р

Дослідження й досвід показали, що для створення малогабаритних рубильників і перемикачів, що володіють надійною комутаційною здатністю в межах своїх номінальних струмів, необхідне застосування дугогасних камер. Досить ефективною варто вважати камеру з дугогасною решіткою 8.

Дугогасительные контакти 11 можуть застосовуватися в рубильниках постійного струму при струмах понад 100 А й у всіх рубильниках змінного струму, де швидкість розбіжності контактів й їхній зазор не впливають помітно на умови гасіння дуги. Дугогасні контакти, вимикаючись останніми, служать тут для захисту головних ножів від обгорання.

На більші струми (понад 1000 А) рубильники виконуються з декількома паралельними ножами. Такий спосіб блокового конструювання володіє тією перевагою, що вимагає відпрацювання тільки одного блоку. Набором відповідного числа блоків компонуються рубильники на більші струми. При змінному струмі варто враховувати, що внаслідок ефекту близькості струм між окремими пластинами розподіляється нерівномірно. Номінальний струм

рубильника росте при цьому не пропорційно числу пластин, а повільніше. Наприклад, при трьох паралельних елементах кожний на 1000 А номінальний струм рубильника буде 2500 А.

Виконання сучасного рубильника наведено нижче.

Рубильники й рубильники-перемикачі серій Р і РП виконуються на напруги до 660 В частотою 50 й 60 Гц і струми 80-630 А. Електродинамічна зносостійкість становить 20 — 80 кА, термічна стійкість 50-512 А.

Рубильник (рисунок 14-2) збирається з уніфікованих вузлів. Корпус 4 являє собою набір пакетів (по числу полюсів) нерухомих контактів 5 плюс пакет, у якому розміщений механізм фіксації — штовхальники 6 і пружина 7. Пакети рухливих контактів 5 (по числу полюсів) збираються на пластмасовому валу 1. І ті, і інші пакети стягаються шпильками 2. Привод здійснюється рукояткою 8.

Рухливі контакти складені із двох паралельних пластин на кожен полюс. Пластини стислі спіральними пружинами, що здійснюють контактне натискання, і у включеному положенні охоплюють нерухомі контакти (ножі) 3. Гасіння дуги відбувається в камері.

2 Вимикачі багатоамперні

Застосування водяного охолодження дозволяє на базі серійних вимикачів на струми понад 1000 А побудувати вимикачі на більші струми, що показано на прикладі, наведеному нижче.

Вимикач шунтувальний В61-67 призначений для шунтування електролізерів при струмах до 63 кА. Робоча напруга 100 В, ізоляція розрахована на напругу 600 В, гранична комутаційна здатність 63 кА. Вимикач однополюсний, змонтований на електроізоляційній плиті й установлений у баці із трансформаторним маслом (експлуатація в хімічно агресивному середовищі). Контактна система має основні й дугогасні контакти, які повністю занурені в масло, що захищає їх від корозії й сприяє гасінню дуги. Вимикач має систему водяного охолодження. Вона утворена каналами й трубками у висновках і нерухомих головних контактах вимикача.

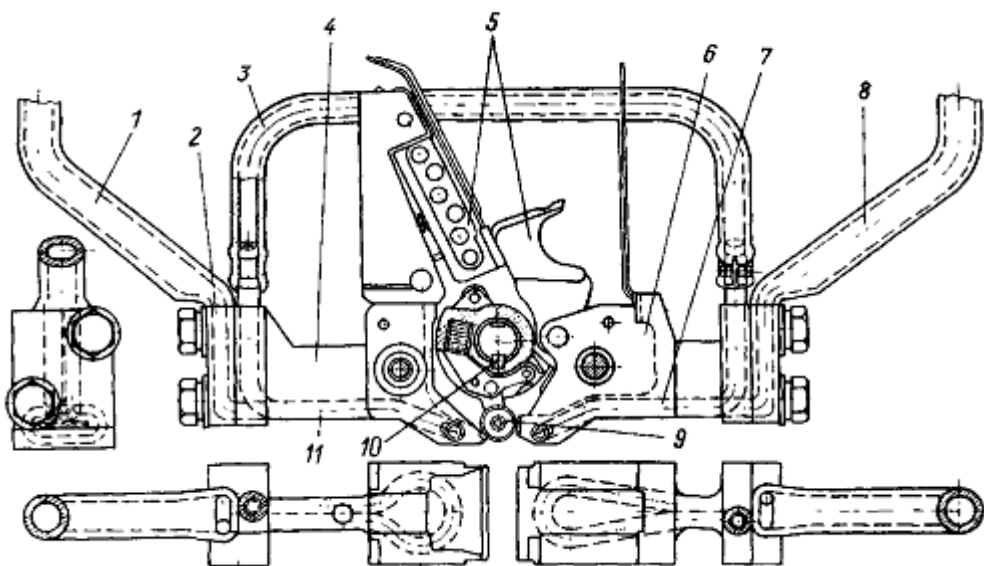


Рисунок 14-4 - Контактна система вимикача з водяним охолодженням

Система водяного охолодження подібного вимикача показана на рисунку 14-4. Вода по шинах-трубках 1 надходить у башмаки 2, а звідти в нерухомий контакт 4. Вона протікає по залитій у тіло контакту трубці 11, виходить в ізоляційну трубку 3 і по ній надходить у другий нерухомий контакт 6. Там вода протікає по трубці 7 і виходить у порожні шини 8, що відводять струм і воду. Тут 9 — рухливий (ролики) основний контакт, 5 — дугогасні контакти, 10 — поворотний вал з кулачками.

Лекція №13

Тема: Запобіжники плавкі.

Мета: Ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії запобіжників плавких; вивчити основні їх види.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Призначення та принцип дії
- 2 Конструкції запобіжників загального призначення
- 3 Запобіжники швидкодіючі
- 4 Запобіжники вібухові

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Призначення та принцип дії

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.

У більшій частині конструкцій відключення кола здійснюється шляхом розплавлення плавкої вставки, що нагрівається безпосередньо струмом захищеного кола. Після відключення кола необхідно замінити перегорілу вставку на справну. Ця операція виконується вручну або автоматично. В останньому випадку замінюється весь запобіжник.

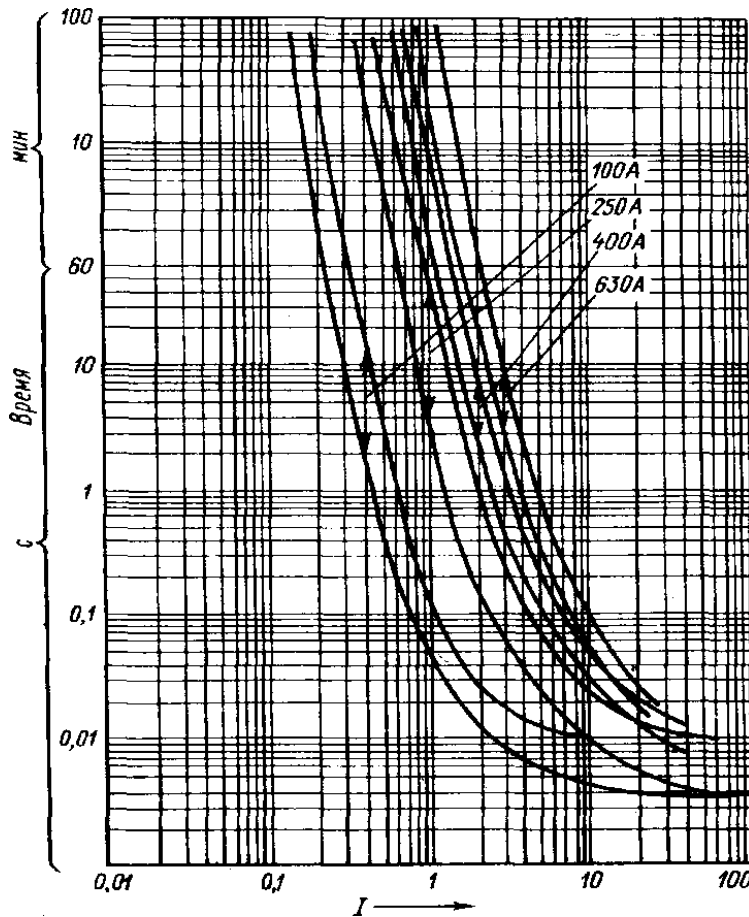


Рисунок 5-1 – Часо-струмова характеристика запобіжників серії ПН-2

Запобіжники з'явилися одночасно з електричними мережами. Простота пристрою й обслуговування, малі розміри, висока відключаюча здатність, невелика вартість забезпечили дуже широке їхнє застосування. Запобіжники низької напруги виготовляються на струми від міліамперів до тисяч амперів і на напругу до 660 В, а запобіжники високої напруги - до 35 кВ і вище.

Широке застосування запобіжників у всіляких областях народного господарства й у побуті привело до різноманіття їхніх конструкцій. Однак незважаючи на це, всі вони мають наступні основні елементи: корпус або несуча деталь, плавку вставку, контактний приєднувальний пристрій, дугогасний пристрій або дугогасне середовище.

Найважливішою характеристикою запобіжника є залежність часу перегорання плавкої вставки від струму *часо-струмова характеристика* (рисунок 5-1).

Запобіжник працює у двох різко відмінних режимах: у нормальних умовах, умовах перевантажень і коротких замикань. У першому випадку нагрівання вставки має характер сталого процесу, при якому вся виділена в ній теплота віддається в навколишнє середовище. При цьому крім вставки нагріваються до сталої температури й всі інші деталі запобіжника. Ця температура не повинна перевищувати припустимих значень. Струм, на який розрахована плавка вставка для тривалої роботи, називають *номінальним струмом плавкої вставки* $I_{ном}$. Він може бути відмінним від номінального струму самого запобіжника.

Звичайно в той самий запобіжник можна вставляти плавкі вставки на різні номінальні струми. *Номінальний струм запобіжника*, зазначений на ньому, дорівнює найбільшому з номінальних струмів плавких вставок, призначених для даної конструкції запобіжника.

Захисні властивості запобіжника при перевантаженнях нормуються. Для запобіжників звичайної швидкодії задаються *умовним струмом неплавлення* - струм, при протіканні якого протягом певного часу плавка вставка не повинна перегоріти, і *умовний струм плавлення* - струм, при протіканні якого протягом певного часу плавка вставка повинна перегоріти. Наприклад, для запобіжника із плавкими вставками на номінальні струми 63—100 А плавкі вставки не повинні перегоріти при протіканні струму $1,3I_{ном}$ протягом однієї години, а при струмі $1,6I_{ном}$ повинні перегоріти за час до однієї години.

Прі струмах, що перевищують умовний струм плавлення, запобіжник повинен спрацювати відповідно до часострумової характеристики. З ростом струму ступінь прискорення перегорання плавкої вставки повинна зростати набагато швидше струму. Для одержання такої характеристики надають вставці спеціальну форму або використовують металургійний ефект.

Вставку виконують у вигляді пластинки з вирізами (рисунк 5-2, а), що зменшують її перетин на окремих ділянках. На цих звужених ділянках виділяється більше теплоти, чим на широких. При номінальному струмі надлишкова теплота внаслідок теплопровідності матеріалу вставки встигає поширитися до більше широких частин, і вся вставка має практично одну температуру. При перевантаженнях ($I \approx I_{\infty max}$) нагрівання звужених ділянок іде швидше, так як тільки частина теплоти встигає приділятися до широких ділянок. Плавка вставка плавиться в одному самому гарячому місці (рисунк 5-2, б). При короткому замиканні ($I >> I_{\infty}$) нагрівання звужених ділянок іде настільки інтенсивно, що практично відводом теплоти від них можна знехтувати. Плавка вставка перегоряє одночасно у всіх або в декількох звужених місцях (рисунк 5-2, в).

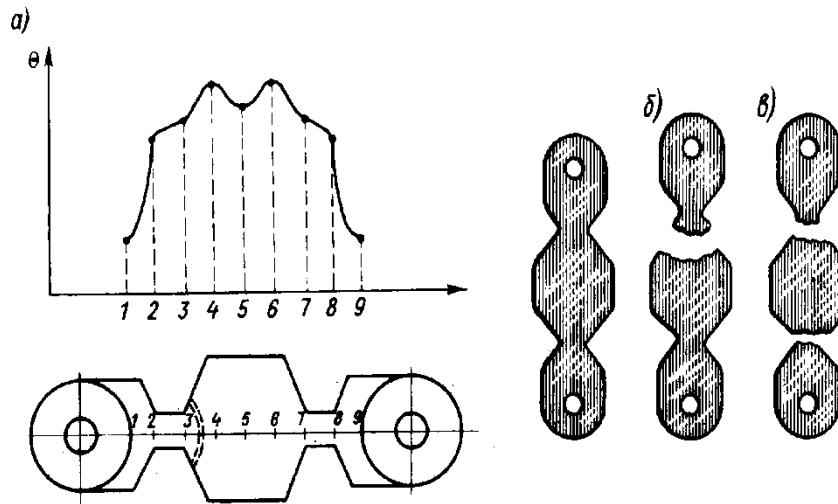


Рисунок 5-2 – Розподіл температур (а) і місця перегорання фігурних плавких вставок при перевантаженнях (б) і при коротких замиканнях (в).

У багатьох конструкціях плавких вставці 1 надається така форма (рисунок 5-3 а) при якій електродинамічні сили F , що виникають при струмах короткого замикання, розривають вставку ще до того, як вона встигає розплавитися. На малюнку місце розриву позначене кружком. Ця ділянка виконується меншого перетину. При струмах перевантаження електродинамічні сили малі й плавка вставка плавиться у звуженому місці. У конструкції, показаної на рисунку 5-3,б прискорення відключення кола при перевантаженнях і коротких замиканнях досягається за рахунок пружини 2, що розриває вставку; при розм'якшенні металу на звужених ділянках до того, як відбувається плавлення цих ділянок.

Металургійний ефект полягає в тому, що багато легкоплавких металів (олово, свинець й ін.) здатні в розплавленому стані розчиняти деякі тугоплавкі метали (мідь, срібло й ін.). Отриманий у такий спосіб розчин має інші характеристики, ніж вихідні матеріали (наприклад більшим електричним опором і зниженою температурою плавлення). Зазначене явище використовується в запобіжниках із вставками з ряду паралельних дротів.

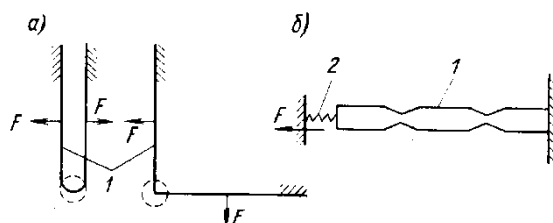


Рисунок 5-3 – Приклади форм плавких вставок із прискореним їхнім розривом

Для прискорення плавлення вставки при перевантаженнях і зниження загальної температури всієї вставки при її плавленні на дроти напаяють невеликі олов'яні шарики. При струмах перевантаження, коли температура вставки досягає температури плавлення олова, кулька, розплавляється й розчиняє частину металу, на якому він напаяний. Відбувається місцеве збільшення опору вставки й зниження температури плавлення металу, у цьому місці. Вставка перегоряє в тому місці, де була напаяна кулька. При цьому температура всієї вставки виявляється набагато

нижче температури плавлення металу, з якого вона виконана. У номінальному режимі кулька практично не впливає на температуру нагрівання вставки.

Цей спосіб одержання необхідної часошумової характеристики може застосовуватися при тонких вставках, наприклад при діаметрі кульки 1 мм для дротів діаметром 0,3 мм і діаметрі кульки до 2 мм при більш товстих дротах. При зростанні діаметра вставки вплив металургійного ефекту різко знижується й практично не позначається.

Розглянуті способи прискорення перегорання вставки при струмах перевантаження й коротких замикань обумовлюють одну досить істотну перевагу плавких запобіжників - їх *струмообмежуюча дія*. Плавка вставка перегоряє набагато раніше, ніж струм у колі при короткому замиканні встигає досягти сталого значення $i_{уст}$. Таким чином, струм короткого замикання обмежується в 2-5 разів і тим самим знижується руйнівна дія електродинамічних сил. Якщо при можливому сталому струмі короткого замикання 25 кА плавка вставка перегоріла при 8 кА, то значення електродинамічних сил у колі обмежено більш ніж в 9 разів. Струмообмежуюча дія плавких вставок з використанням металургійного ефекту нижче, ніж при інших способах струмообмеження.

Гасіння електричної дуги, що виникає після перегорання плавкої вставки, повинне бути здійснене в можливо короткий час. Час гасіння дуги залежить від конструкції запобіжника й прийнятого способу гасіння. Найбільший струм, що плавкий запобіжник може відключити без яких-небудь ушкоджень або деформацій, що перешкоджають його подальшій справній роботі після зміни плавкої вставки, називають *граничним струмом відключення* запобіжника.

У сучасних запобіжниках із закритими патронами без наповнювача дуга гаситься за рахунок високого тиску, що виникає в патроні внаслідок появи дуги, а при наявності наповнювача - за рахунок інтенсивного охолодження дуги наповнювачем і високим тиском, викликаного дугою у вузьких каналах наповнювача. При цьому гасіння дуги відбувається в обмеженому об'ємі патрона запобіжника. За межі патрона не викидаються ні полум'я дуги, ні іонізовані гази.

Досить добре зроблена система дугогасіння разом із струмообмежуючою дією вставки обумовлюють необмежену здатність, що відключає, плавких запобіжників. Це не означає, що запобіжники можуть відключати як завгодно великі струми короткого замикання. Необмежену здатність, що відключає, варто розуміти так: плавкі запобіжники можуть застосовуватися для захисту кіл, у яких сталий струм короткого замикання міг би досягти дуже великих значень (у сучасних великих енергоустановках можна припускати 200-500 кА). Плавкі вставки виготовляють зі свинцю, сплавів свинцю з оловом, цинку, міді, срібла й ін. Вставки з легкоплавких металів (свинець, цинк - температура плавлення 200-420 °С) дозволяють одержати невисоку температуру всього запобіжника, однак вони мають невисоку провідність і виходить значних перетинів, особливо при великих номінальних струмах. Широко поширені цинкові вставки. Пари цинку мають відносно високий потенціал іонізації, що сприяє гасінню дуги. Вставки з міді й срібла виконують меншого перетину, але недоліком їх є висока температура плавлення, що приводить при струмах перевантаження до сильного нагрівання й швидкого руйнування деталей запобіжника. Мідні плавкі вставки повинні обов'язково мати антикорозійне покриття. У противному випадку окислювання приведе до поступового зменшення перетину вставки й несвоєчасному перегоранню.

Застосування паралельних плавких вставок (при великих струмах) дозволяє при тому ж сумарному поперечному перерізі одержати більшу поверхню охолодження, тим самим поліпшити умови охолодження вставок і краще використати об'єм наповнювача (у запобіжниках з наповнювачем).

2 Конструкції запобіжників загального призначення

Приклад конструкції запобіжника зі змінними плавкими вставками загального призначення без наповнювача наведений на рисунку 5-4. Такі запобіжники виготовляються на напругу до 500 В і струми до 1000 А. Гасіння дуги в них відбувається за рахунок високого тиску (до 10 МПа й більше), що виникає внаслідок газогенерації зі стінок трубок при високій температурі електричної дуги. Інша характерна конструкція запобіжників - різьбова. Прикладом сучасної конструкції з наповнювачем є наведений на рисунку 5-5 запобіжник серії ПН-2.

Запобіжники серії ПН-2 призначені для захисту силових кіл до 500 В змінного струму й 440 В постійного струму, вони виконуються на номінальні струми 100, 250, 400 й 630 А, володіють струмообмежуючою дією й високою розривною здатністю.

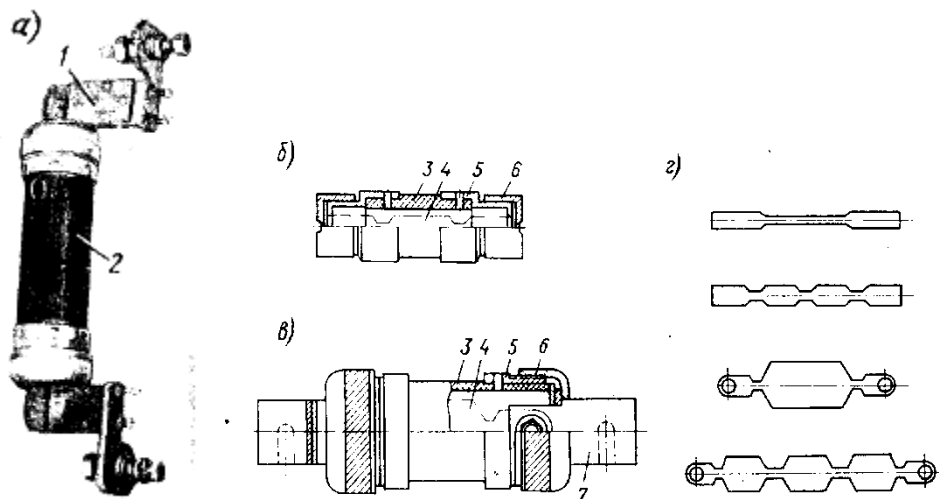


Рисунок 5-4 – Запобіжники серії ПР-2: а - загальний вид; б, в - патрони на номінальні струми 15-63 А и 100-1000 А; г - форми плавких вставок
1 - нерухомі контактні стійки; 2 - патрон; 3 - фіброва (газогенеруюча) трубка; 4 - плавка вставка; 5 - латунна втулка; б - латунні ковпачки (рухливий контакт); 7 - контактний ніж

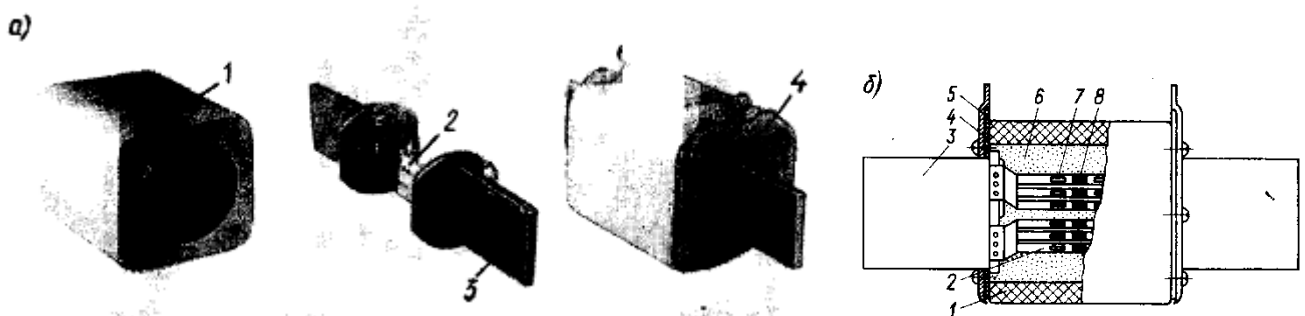


Рисунок 5-5 – Запобіжники серії ПН-2: а - загальний вид і деталі; б - розріз

Корпус 1 (рисунок 5-5) являє собою глазуровану квадратну зовні, круглу усередині порцелянову трубку із чотирма різьбовими отворами з кожного торця. У трубку уведений вузол із плавкою вставкою 2, привареної електроконтактним точковим зварюванням до шайб врубних контактних висновків 3. Контактний вузол з кожного торця трубки кріпиться до кришки 4 гвинтами. Кришки з азбестовими прокладками 5 пригвинчуються до корпусу й герметично закривають його.

Внутрішня порожнина трубки наповнюється чистим і сухим кварцовим піском 6, що повністю охоплює робочу довжину вставки. Застосовується пісок із вмістом кварцу не менш 98 %, з діаметром зерен 0,2 - 0,3 мм, оброблений двопрцентним розчином соляної кислоти, промитий і прожарений при температурі 120-180 °С. Герметизація корпусу охороняє пісок від зволоження.

Плавка вставка виконується з однієї або декількох мідних стрічков товщиною 0,15-0,35 мм і шириною до 4 мм із просічками 7, що зменшують на довжині не менш 6 мм перетин вставки у два рази. Застосування тонких паралельних стрічков дозволяє знизити перетин плавкої вставки для даного номінального струму, а отже, і кількість пар металу в дузі. Остання обставина полегшує гасіння дуги. Виникнення декількох дуг у паралельних каналах дозволяє брати участь у розсіюванні енергії дуги більшому об'єму наповнювача, чим також полегшується гасіння дуги.

Для зниження нагрівання запобіжника при малих перевантаженнях використовується металургійний ефект. На кожному стрічку вставки напаяють олов'яну кульку 8. Температура плавлення металу стрічки в місці, де напаяна олов'яна кулька, досягає 475 °С. Перевищення температури деталей запобіжника перебуває в межах норми відключаюча здатність - від 50 кА для запобіжника на 100 А до 100 кА для запобіжника на 630 А.

3 Запобіжники швидкодіючі

Для захисту напівпровідникових перетворювачів треба було створення спеціального класу запобіжників, так званих швидкодіючих (час до розплавлення плавкого елемента й початку обмеження струму 2-3 мс), на напругу до 2000 В і струми 2000-5000 А (у загальпромислових електротехнічних установках номінальні напруги не перевищують 660 В, а номінальні струми практично рівні 1000 А).

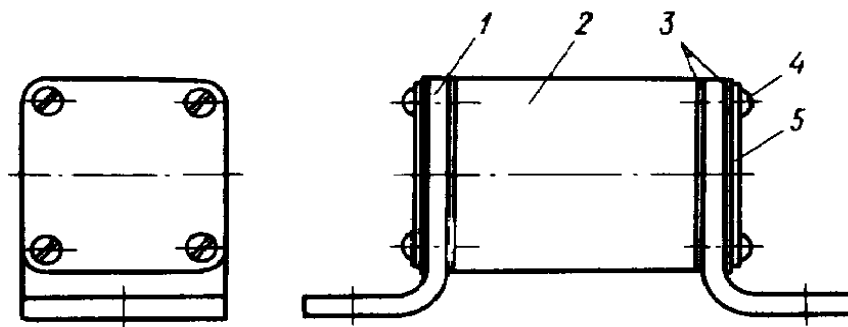


Рисунок 5-6 – Загальний вид швидкодіючого запобіжника

Термічна стійкість електротехнічного пристрою визначається, інтегралом Джоуля, а захисні властивості плавкого запобіжника при цьому оцінюються фактичним значенням I^2t запобіжника, що має місце від моменту настання короткого замикання (перевантаження) до моменту відключення кола і яке повинне бути менше припустимого для об'єкта, що захищається. Стосовно напівпровідникових приладів все навпаки: так, тиристор типу Т171-320 на 320 А має інтеграл Джоуля $2,5 \cdot 10^5 \text{ А}^2\text{с}$, а в запобіжників типу ПН2-400 на 400 А він дорівнює $3 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$.

Основними характеристиками швидкодіючих запобіжників є найбільші інтеграл Джоуля відключення, найбільший пропускаючий струм і переддуговий час.

Сучасні швидкодіючі запобіжники вітчизняного й закордонного виробництва виготовляються у вигляді закритих нерозбірних плавких вставок (рисунок 5-6), установлюваних, як правило, безпосередньо на провідниках комплектного пристрою. Плавка вставка розміщена в керамічному корпусі 2 призматичної форми, на якому гвинтами 4 із шурупним різьбленням зміцнюють висновки 1 плавкої вставки, герметичні прокладки 3 і торцеві кришки 5.

Плавкі елементи швидкодіючих запобіжників звичайно виготовляються з листових матеріалів товщиною 0,05-0,2 мм у вигляді стрічок, у яких за допомогою отворів тієї або іншої форми при штампуванні утворюються місця ослабленого поперечного перерізу - перешийки (рисунок 5-7, а), а кінці плавкого елемента з'єднуються з контактними висновками плавкої вставки звичайно точковим зварюванням. Чим більше перешийків, тим інтенсивніше гасіння дуги, тому що сумарний спад напруги на плавкій вставці в цей період пропорційний числу послідовно включених дуг і тим більше на кожній дузі, чим менше в ній струм, тобто більше паралельно включених перешийків (плавких вставок).

При роботі плавкого запобіжника в режимі циклічних навантажень перешийки плавкого елемента випробовують більші знакозмінні механічні впливи (подовження й вкорочення). Для підвищення терміну служби запобіжника його плавкі елементи виконують із вигинами, що приймають на себе температурні деформації (рисунок 5-7, б).

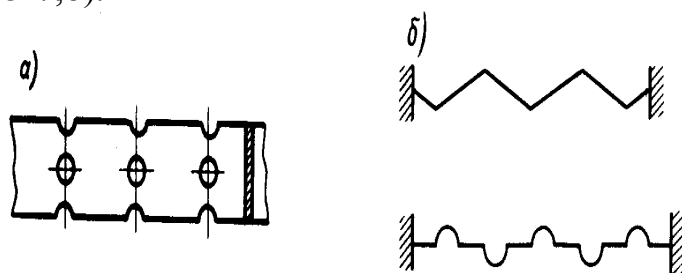


Рисунок 5-7 – Схеми форм плавких вставок швидкодіючих запобіжників.

Як матеріал плавкого елемента звичайно використовується технічно чисте срібло, що більш стійке до корозії під впливом температури й має кращу електропровідність, чим, наприклад, мідь. Сполука його з мідними висновками контактним зварюванням не викликає технологічних труднощів. Ведуться роботи з дослідження можливостей застосування інших матеріалів.

4 Запобіжники вібухові

Різновидом спеціальних запобіжників є пристрої, у яких струмоведуча вставка в аварійному режимі руйнується під дією вибухового заряду. Ці пристрої одержали назву вибухових запобіжників (комутаторів). Схема такого пристрою наведена на мал. 5-8. Контроль струму в колі здійснюється датчиком *Д*. При короткому замиканні датчик видає сигнал через перетворювач *Пр* на імпульсний трансформатор *Т*, що підвищує напругу сигналу до значення, достатнього для спрацьовування вибухового пристрою *ВУ*, розташованого в корпусі плавкої вставки *П*. У результаті вибуху струмопровідна вставка руйнується. Слід зазначити, що сигнал від датчика може бути не тільки за значенням струму, але й по швидкості його наростання, що істотно прискорює видачу сигналу.

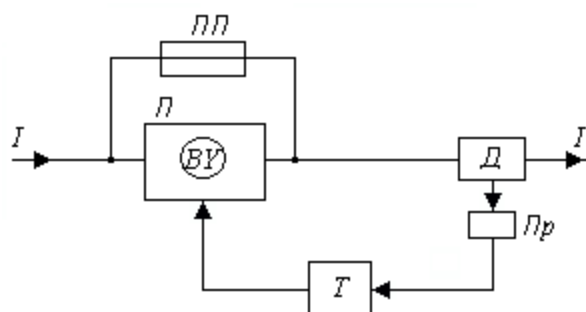


Рисунок 5-8 – Схема пристрою вибухового передохранителя.

Гасіння дуги, що виникає при руйнуванні вставки, може бути здійснено різними способами, наприклад у трансформаторному маслі, що оточує вставку, обдувом дуги струменем газу вибухової речовини, установкою «дугогасної» вставки *ПП* паралельно основній (на зразок дугогасного контакту). В останньому прикладі спершу відбувається обмеження струму за рахунок опору дугогасного контуру, а потім відключення кола вставкою *ПП*.

Час спрацьовування - інтервал часу від моменту досягнення аварійним струмом значення, рівного струму уставки, до початку струмообмеження запобіжником - у цих пристроях становить частки мілісекунди (0,2 - 0,7 мс).

Лекція №14

Тема: Контактори електромагнітні.

Мета: Ознайомитися з видами, будовою та принципом дії контакторів електромагнітних.

Методи: словесні, наочні.

План:

1 Основні поняття

2 Контактори постійного струму

3 Контактори змінного струму на напругу до 660 В

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Основні поняття

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

Залежно від роду привода контактної системи розрізняють контактори електромагнітні, пневматичні й гідравлічні. Пневматичні й гідравлічні контактори, де відкриття й закриття проходження повітря або рідини здійснюються електромагнітом або яким-небудь іншим дистанційним способом, тут не розглядаються. Загальні описи контактних систем, дугогасних пристроїв, кінематики механізмів й інших деталей, які наведені нижче стосовно до електромагнітних контакторів, справедливі також і для цих контакторів.

Електромагнітні контактори одержали широке поширення, вони є основними комутуючими апаратами схем автоматизованого електропривода.

Контактори розрізняються по роду струму: постійного, змінного (частотою 50 й 60 Гц), а також змінного струму підвищеної частоти (до 10 кГц). Вони можуть виконуватися з керуванням на постійному або на змінному струмі частотою 50 й 60 Гц незалежно від роду струму головного кола.

По найбільшій частоті включень у годину в повторно-короткочасному режимі роботи контактори діляться на класи 0,3; 1,3; 10; 30, що відповідає частоті 30, 120, 300, 1200, 3600 включень у годину. Нормована механічна зносостійкість досягає 30 млн. циклів, комутаційна зносостійкість повинна бути не менш 0,1 механічної. Контактори в основному виконуються по 10-му класу й на відповідну механічну зносостійкість.

Комутаційна здатність контакторів визначається й регламентується умовами роботи. Основними операціями при керуванні електроприводами є пуск, реверсування, гальмування, відключення. На змінному струмі це означає: 1) включення при номінальній напрузі й $\cos\varphi = 0,3 \dots 0,4$ шестиразових і рідше десятидванадцятикратних номінальних струмів при пуску й реверсі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором й 2) відключення номінальних струмів при напрузі до $0,2U_{\text{ном}}$ двигунів, що обертаються з повною (або близької до неї) частотою обертання, або шістдесятикратних струмів при $(1 \dots 1,1) U_{\text{ном}}$ й $\cos\varphi = 0,3 \dots 0,4$, якщо двигун не рушив або тільки рушив ($p < 0,2p_{\text{ном}}$). У цих режимах зношування контактів при замиканні може перевершувати зношування при розмиканні.

Аналогічна картина має місце при керуванні двигунами постійного струму, однак пускові й відключаючі струми, що, не розігналися двигунів тут перебувають у межах 2,5-4,0 номінального, а напруга, що відновлюється на контактах, при відключенні двигуна, що обертається з номінальною частотою обертання, становить $0,11U_{\text{ном}}$.

ДЕРЖСТАНДАРТ 11206-77 Е нормує комутаційну здатність контакторів загального призначення змінного струму по чотирьох категоріях застосування АС-1 - АС-4, а контакторів постійного струму - по п'ятьох категоріях застосування ДС-1 - ДС-5. Виготовляються контактори головним чином на струми до 630 А, напруги 220, 440 В постійного струму, 380, 660 В частотою 50 й 60 Гц змінного струму, частотою включень 600, 1200 вкл/год (10-й клас) і відповідною механічною й комутаційною зносостійкістю (10-15 й 1-5 млн. циклів).

Контактори складаються із системи головних контактів, дугогасної, електромагнітної систем і допоміжних контактів. У контакторах прискорення з витримкою часу є ще пристрій для створення цієї витримки.

Головні контакти. Головні контакти здійснюють замикання й розмикання силового кола. Вони повинні бути розраховані на тривале проведення номінального струму й на виробництво великої кількості включень і відключень при великій частоті. При невеликій частоті включень номінальний струм головних контактів визначається в основному з умов нагрівання при тривалому або переривчасто-тривалому режимах роботи. При великій частоті включень номінальний струм визначається ще з умов додаткового нагрівання контактів від виникаючої при відключеннях дуги.

Залежно від нормального положення головних контактів розрізняють контактори із замикаючими, розмикаючими й змішаними контактами. Нормальним вважають положення контактів, коли втягує котушка контактора не порушена й звільнені всі наявні механічні засувки. Головні контакти можуть виконуватися важільного або місткового типу. Важільні контакти припускають поворотну рухливу систему, місткові - прямоходову.

Дугогасительная система. Система забезпечує гасіння електричної дуги, що виникає при розмиканні головних контактів. Способи гасіння дуги й конструкції дугогасних систем визначаються родом струму головного кола й режимом роботи контактора.

Електромагнітна система. Система забезпечує дистанційне керування контактором, тобто включення й відключення. Конструкція системи визначається родом струму кола управління контактора і його кінематичною схемою. Електромагнітна система може розраховуватися на включення якоря й утримання його в замкнутому положенні або тільки на включення якоря. Утримання ж його в замкнутому положенні в останньому випадку здійснюється засувкою.

У першому випадку відключення контактора відбувається після знеструмлення котушки під дією пружини, що відключає, або власної ваги рухливої системи, або того й іншого. У всіх випадках на першому етапі відключення беруть участь і контактні пружини. Залежно від схеми включення й значення утримуючої сили електромагнітна система може здійснювати мінімальний або нульовий захист. Під мінімальним захистом розуміють автоматичне відключення контактора при зниженні напруги в колі котушки нижче певного рівня, під нульовий — автоматичне відключення контактора при напрузі, близькому до нуля (звичайно $U_{\text{откл}} < 0,1 U_{\text{ном}}$).

В контакторах із засувкою, крім електромагнітної системи включення й підведення рухливої системи під засувку, є друга електромагнітна система, що здійснює відключення контактора, тобто звільнення рухливої системи з-під засувки. Тому що електромагнітні системи працюють тут дуже короткочасно, вони можуть виконуватися малих розмірів, з більшими перевантаженнями по струму.

Допоміжні контакти. Допоміжні контакти роблять перемикання в колах управління контактора, блокування й сигналізації. Вони розраховуються на тривале проведення струму не більше 20 А і відключення струму не більше 5 А. Контакти виконуються як замикаючими, так і розмикальними, головним чином місткового типу, але можуть бути й важільного типу.

2 Контактори постійного струму

У міру розвитку напівпровідникової техніки й систем автоматизації усе ширше стає застосування електроприводів змінного струму. У самих системах електропривода контактори здебільшого виконують функції включення системи в роботу. Керування системою здійснюється статичними апаратами замість релейно-контакторних. Застосування контакторів постійного струму й відповідно нові їхні розробки скорочуються. У цей час варто говорити про контактори змінно-постійного струму, тобто єдиних конструкціях або модифікаціях на базі контакторів змінного струму.

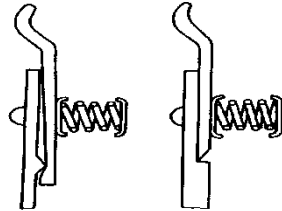


Рисунок 6-1 – Приклади кріплення рухливого контакту (обертання на призмі)

Контактори постійного струму випускаються в основному на напругу 220 й 440В, струми до 630 А, одно- і двухполюсні, а також багатопольсні зі змішаними (замикаючими й розмикальними) контактами.

Основні напрямки розвитку контакторів - підвищення комутаційної здатності, механічної й комутаційної зносостійкості.

Контактні системи контакторів одноступінчасті, важільного типу, з обертанням рухливого контакту на призмі (рисунок 6-1). Струмопровід до рухливого контакту здійснюється гнучким зв'язком. Відповідно до цього найбільше широко застосовується електромагнітна система клапанного типу з обертанням якоря на призмі. Обертання на призмі забезпечує самоустановку рухливих частин (якір, контакт) і необхідну високу зносостійкість системи. З метою уніфікації знаходять застосування єдині для контакторів постійний і змінний струми електромагнітні системи й місткові контактні системи.

Дугогасні системи побудовані на принципі гасіння електричної дуги поперечним магнітним полем у камерах з поздовжніми щілинами. Магнітне поле гасіння в переважній більшості конструкцій збуджується послідовною дугогасною котушкою. Були створені конструкції з постійними магнітами, але поширення вони не одержали. На рисунку 6-2 наведені схеми дугогасних пристроїв контакторів постійного струму, що характеризують шлях їхнього розвитку.

У камерах на рисунку 6-2, а, б, в, що мають широкі щілини, не застосовано ніяких додаткових заходів щодо обмеження розмірів дуги і її полум'я. У камері на рисунку 6-2, м для цього служать поперечні перегородки 8, які ділять щілину камери на ряд ділянок. Рухаючись під дією магнітного поля, дуга повинна обгинати ці перегородки й утворювати петлі, що приводить до значного подовження дуги усередині камери. Зіткнення дуги з перегородками викликає посилену її деіонізацію; здатність, що відключає, камери підвищується. Трохи знижуються розміри дуги і її полум'я при відключенні кіл з відносно невеликою індуктивністю. При відключенні кіл з більшими індуктивностями петлі дуги, вийшовши з камери, перемикаються й утворюють загальну петлю. Обмеження розмірів дуги і її полум'я за межами камери в цьому випадку не досягається.

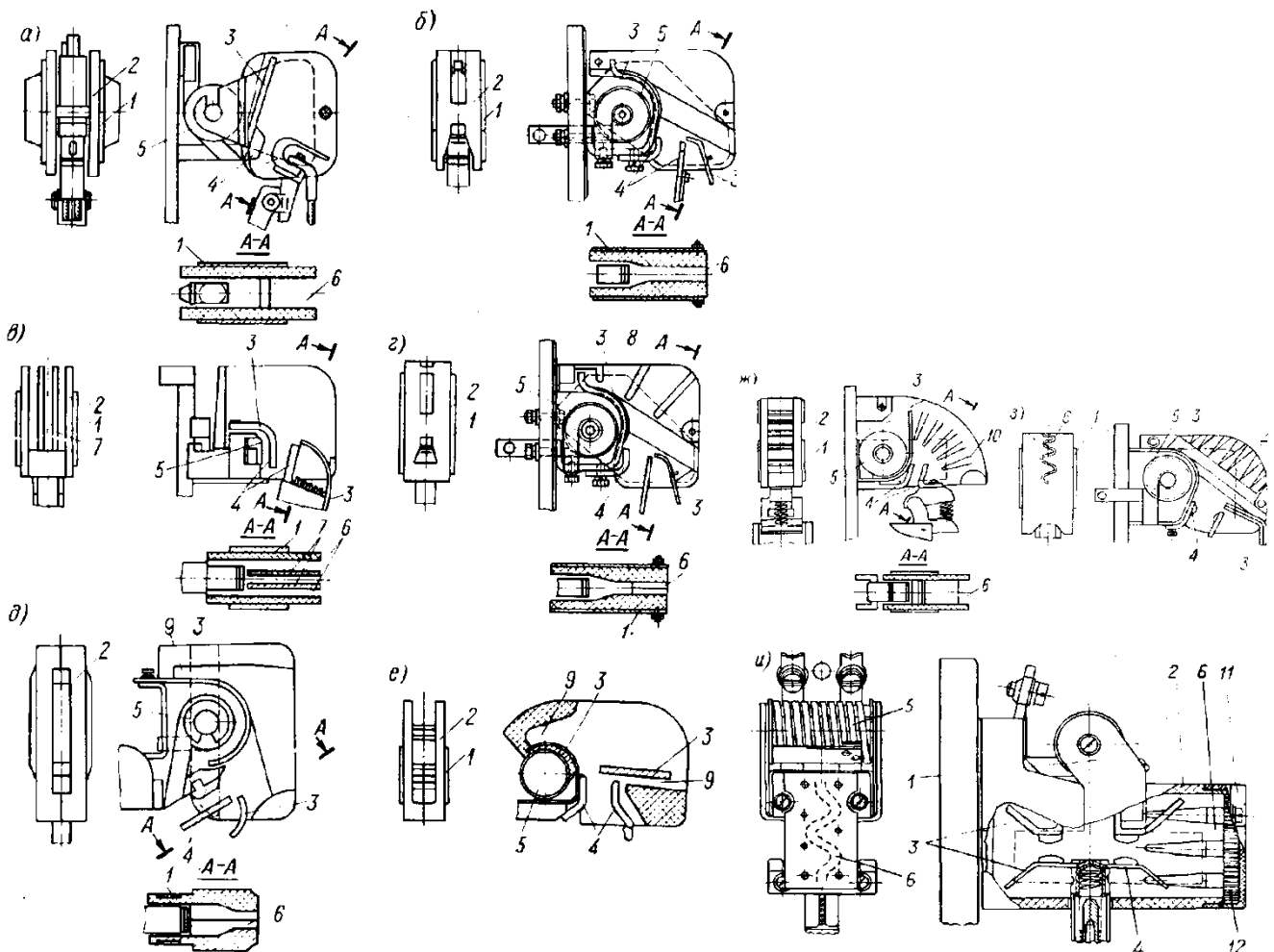


Рисунок 6-2 – Дугогасні пристрої контактів постійного струму з послідовною дугогасною котушкою; а - камера відкриття; б - камера із широкою щілиною; в - камера з поздовжніми перегородками; г - камера з поперечними перегородками; д - камера з «повітряним мішком»; е - камера із двома «повітряними мішками»; ж - камера з дугогасною решіткою; з - камера з вузькою зигзагоподібною щілиною; і - камера з вузькою зигзагоподібною щілиною й дугогасною решіткою
 1 - магнітопровід дугогасіння; 2 - стінка камери; 3 - роги дугогасні; 4 - контакти; 5 - котушка дугогасіння; 6 - щілина камери; 7 - перегородки поздовжні, 8 - перегородки поперечні; 9 - «повітряний мішок»; 10 - пластини дугогасної решітки; 11 - дугогасна решітка; 12 - пластини дугогасної решітки

«Повітряні мішки» 9 у пристроях, зображених на мал. 6-2, д і е, призначені для прискорення руху дуги. Магнітне дуття тут зосереджене на обмеженій ділянці камери. Опорні точки дуги дуже швидко загаяються у вузький простір - «повітряні мішки». Висока температура дуги повинна викликати розігрівання перебуваюче в «мішку» повітря й підвищення тиску в ньому. Розігріті газу, викидаючись із «мішка», обдувають дугу й змушують її рухатися з великою швидкістю, сприяючи її гасінню. Ефективність цього дуття, однак, різко падає, як тільки дуга виходить за межі камери. Тут дуга практично розтягується тільки за рахунок електродинамічних сил контуру струму. Розміри дуги і її полум'я за межами камери дуже великі, час гасіння великий. Повільне гасіння дуги після виходу її з камери приводить до невеликих перенапруг у момент загасання дуги, що є перевагою системи.

Дугогасна решітка з V-образних пластин (рисунок 6-2, ж) на додаток до магнітного дуття підвищує здатність, що відключає. Виникаючі в кожному з

контурів додаткові електродинамічні сили прискорюють рух дуги. Пристрій решітки, однак, досить складний.

Камери з вузькими щілинами, прямими і зигзагоподібними (рисунок 6-2,3), істотно підвищують здатність, що відключає, і обмежують розміри дуги і її полум'я за межами камер. Однак повного гасіння електричної дуги в об'ємі камери й тут не досягається.

Система дугогасіння контактора, у якій вперше було здійснене гасіння дуги постійного струму в об'ємі камери, наведена на рисунку 6-2, і. Камера має вузьку зигзагоподібну щілину, що закрита дугогасною решіткою з отворами для вихлопу деіонізованих газів. Контактна система тут місткового типу (але може бути інша), уніфікована для контакторів постійного і змінного струму. Задня стінка камери закрита. Висока ефективність вузької щілини дозволяє застосувати гасіння тільки на одному розриві. Система забезпечує високу здатність, що відключає, дуга і її полум'я за межі камери не викидаються, камера допускає високу частоту відключень.

У переважній більшості сучасних контакторів (апаратів) застосовуються аналогічні пристрої, які локалізують дугу об'ємом камери, знаходить поширення також бездугове відключення з використанням напівпровідникових пристроїв.

Бездугове гасіння за схемою рисунок 6-30,6 застосовано в контакторах серії КП81 на струми до 630 А и напруга 220 В. Контактори побудовані на базі серійних контакторів КТП6000 з напівпровідниковими блоками БПК51. При цьому допускається окреме від контактора розташування блоку на відстані до 1,5 м.

Контактори забезпечують бездугову комутацію струмів навантаження до $2,5I_{ном}$ при постійному часі до 10 мс, а в режимі рідких комутацій — до $10I_{ном}$. Комутаційна зносостійкість контакторів у режимі нормальних комутацій при частоті включень до 2000 вкл/год становить 5 млн. циклів (раніше при «дуговій» комутації 0,5-1 млн. циклів).

3 Контактори змінного струму на напругу до 660 В

Контактори змінного струму промислової частоти будуються, як правило, триполюсними із замикаючими головними контактами.

Електромагнітні системи. Системи виконуються шихтованими, тобто набираються з окремих ізольованих один від одного пластин товщиною 0,35; 0,5; 1мм. Котушки низькоомні, з малим числом витків. Основну частину опору котушки становить її індуктивний опір, що залежить від величини зазору. Через це струм у котушці при розімкнутій магнітній системі (пусковий струм) в 5-10 разів перевищує струм при замкнутій магнітній системі (робочого струм). Застосовуються магнітні системи як поворотного (Е-подібні, П- подібні, клапанні й ін.), так і прямоходні (Ш- подібні, Т- подібні, соленоїдні) типу, перші - у контакторах важкого режиму роботи, другі - у контакторах нормального режиму роботи.

Електромагнітна система незалежно від типу складається із сердечника, якоря, короткозамкненого витка, котушки й кріпильних деталей. Слабким місцем відносно зносостійкості є короткозамкнений виток. Удари якоря по сердечнику викликають вібрацію консольно виступаючих ділянок витка й поломку його після певного числа операцій. Високу зносостійкість витка забезпечує таке кріплення, при якому відсутні незакріплені консольні ділянки.

Для зменшення розклепування полюсів й «распушування» пластин магнітопровода застосовуються більш товсті пластини (до 1 мм для середніх і до 2-3 мм для крайніх сполучних). Однак це приводить до збільшення втрат і більше високому нагріванню системи. Тому застосування більше товстих пластин можливо за умови використання магнітних матеріалів з малими втратами.

При твердому кріпленні магнітної системи кінетична енергія рухливих частин гаситься при ударі якоря по сердечнику, що приводить до зношування як якоря, так і сердечника. Удар передається контактам і приводить до їх розсипання.

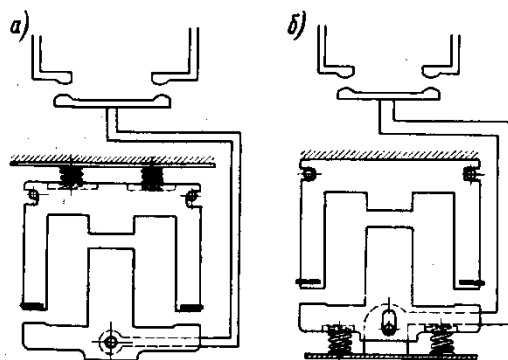


Рисунок 6-3 – Схема амортизації магнітної системи

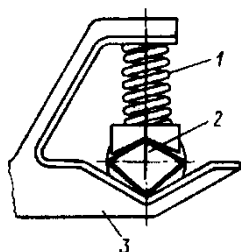


Рисунок 6-4 – Приклад виконання призматичного підшипника
1 - фіксуюча пружина; 2 - призма; 3 - підстава

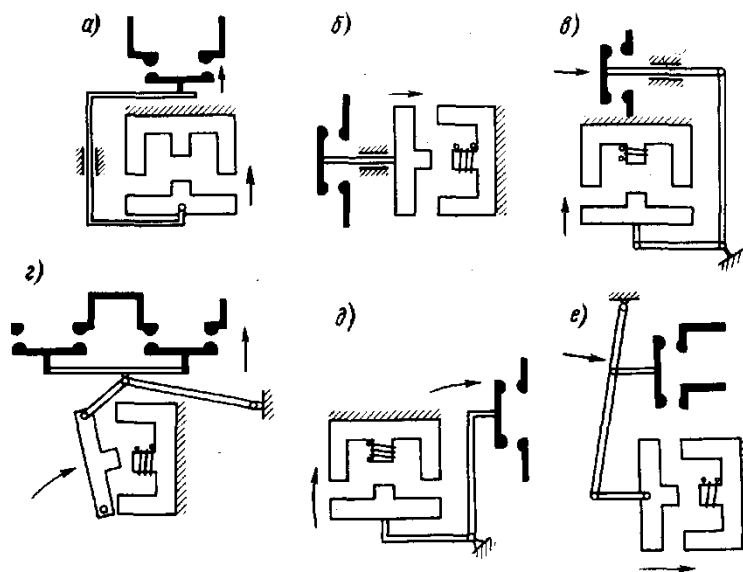


Рисунок 6-5 – Характерні механічні схеми контакторів змінного струму нормального режиму роботи.

Для підвищення механічної зносостійкості магнітну систему амортизують (рисунок 6-3). Амортизується або нерухома частина (рисунок 6-3, а), або рухлива (рисунок 6-3,б), або й та й інша. При амортизованому кріпленні кінетична енергія мас, що рухаються, витрачається на переміщення сердечника або якоря й гаситься пружинами, що амортизують. Механічна зносостійкість системи різко зростає. Усувається «вторинний» дребезг контактів, і підвищується їхня комутаційна зносостійкість.

Амортизовані кріплення, крім того, забезпечує самоустановку частин магнітної системи, їхнє гарне прилягання у включеному положенні й зниження «вторинного» дребезга.

Кінематичні схеми. Кінематичні схеми сучасних контакторів змінного струму характеризуються більшою розмаїтістю.

Поворотні схеми застосовуються переважно в контакторах важкого режиму роботи й спеціальних, наприклад у контакторах зі змішаними контактами. Обертання в підшипниках ковзання не забезпечує високий механічної зносостійкості. Для досягнення зносостійкості 10 млн. циклів і вище переходять на обертання вала контактора на цапфах або призматичних підшипниках (рисунок 6-4). Останнє також полегшує зборку контактора, тому що забезпечує самоустановку вала.

Широко застосовується прямоходона схема (рисунок 6-5, а). У ній виключаються проміжні ланки й шарнірні сполуки від якоря до контактів. Іноді контакти безпосередньо зв'язуються з якорем (рисунок 6-5,б). Якір переміщається в напрямних, де третьовою парою є метал - пластмаса.

Відсутність яких-небудь шарнірних сполук і підшипників дозволяє одержати високу механічну зносостійкість. Однак за рахунок ударів у магнітній системі, безпосередньо переданих контактам, тут відбувається додатковий «вторинний» дребезг контактів, для усунення якого необхідно застосовувати спеціальні міри. Тут важко одержати найкраще співвідношення між тяговою й механічною характеристиками.

Поряд із прямоходною досить широке поширення одержали схеми, у яких передача руху від електромагніта до контактів здійснюється через підоймові-шарнірно-важільні сполуки. Існуюча думка, що шарнірні сполуки (осі, втулки й т.п.) не забезпечують достатній механічної зносостійкості, практично спростовано. Висока зносостійкість (до 10 млн. циклів і вище) шарнірних сполук досягається правильним їхнім розрахунком і конструкцією, відсутністю ударів у них, правильним підбором третьової пари, наприклад застосуванням як третьові деталі пари метал - пластмаса й т.д.

Передача руху від електромагніта до контактів через важільну систему дозволяє підібрати бажане співвідношення плечей і досягти найбільш сприятливого співвідношення між механічною й тяговою характеристиками. Наприклад, схема на рисунку 6-5,м, що представляє собою сполучення поворотної магнітної системи із прямоходною контактною системою, дозволяє одержати зниження швидкості контактів у момент їхнього замикання й відповідне підвищення натискання на контакти. Така кінематика дала можливість застосувати багатоступінчасту контактну систему при чотириразовому розриві на полюс без істотного збільшення розмірів магнітної системи. Що рухаються у взаємно перпендикулярних площинах прямоходні (рисунок 6-5, в) або поворотні (рисунок 6-5, д) контактні й магнітні

системи приводять до зниження ступеня взаємного впливу ударів у кожній із систем. Кінематична схема на рисунку 16-5,е дозволяє забезпечити при однаковій стосовно схем на рисунку 6-5, а й б магнітній системі більше високе контактне натискання. Однак у схемі на мал. 6-5,е варто очікувати більше сильних ударів, для усунення шкідливого впливу яких необхідно застосовувати спеціальні міри.

Контактні системи. При поворотних магнітних системах застосовуються важільні контактні системи, при прямоходних - місткових. Таким чином, перші знаходять більше широке застосування в контакторах важкого режиму роботи, другі - у контакторах нормального режиму роботи.

Говорячи про контактні системи, варто мати на увазі наступне досить важливу обставину. На відміну від контакторів постійного струму режим включення для контакторів змінного струму більше важкий, чим режим відключення. Пусковий струм (періодична складова) асинхронних короткозамкнених електродвигунів, для керування якими призначені розглянуті контактори, становить восьмикратні-, а іноді й десятикратний номінальний струм. З урахуванням аперіодичної складової амплітудне значення пускового струму першого напівперіоду при нормальних робочих режимах досягає 14-15-кратного номінального струму. Наявність дребезга контактів при включенні приводить у цих умовах до великого зношування контактів, часто в кілька разів переважаюче їхнє зношування при відключенні. Боротьба із дребезгом при включенні здобуває тут першорядне значення.

Дугогасні системи. У контакторах змінного струму, як й у контакторах постійного струму, застосовувалося магнітне гасіння в камерах із широкими щілинами. Щоб уникнути перекриття між фазами через дугу, що викидається далеко за межі камери, полюси доводилося значно віддаляти один від одного. Так, у контактора серії КТ на 150 А відстань між полюсами становила 100 мм. Застосування дугогасної решітки (багаторазовий розрив дуги при переході струму через нуль) майже повністю виключило викид дуги за межі камери при напрузі 380В. Це дозволило скоротити розміри контактора за рахунок зближення полюсів. Зазначена система гасіння характерна для контакторів з однократним розривом на фазу на напругу 380 В и частоту до 600 включень у годину.

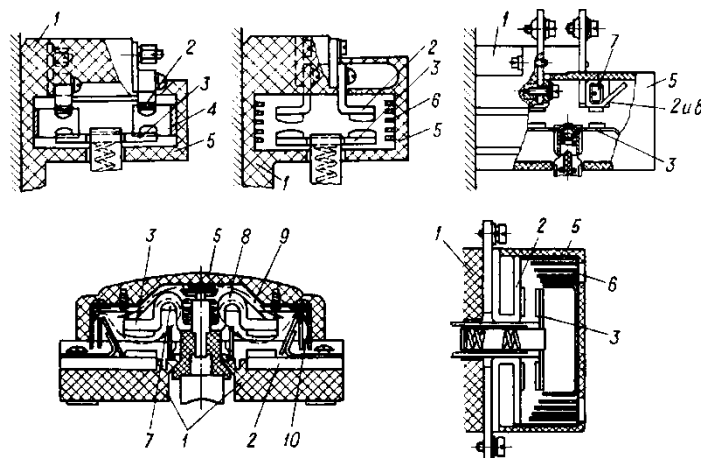


Рисунок 6-6 – Комбіновані дугогасні пристрої контакторів змінного струму

1 - підстава камери; 2 - нерухомі контакти; 3 - містковий контакт; 4 - дугогасна скоба; 5 - кришка; 6 - дугогасна решітка; 7-сталевий вкладиш; 8 - дугогасний виток; 9 - напрямок газів, що виштовхують із камери, що обдувають дугу; 10 - дугогасний канал

Для контакторів важкого режиму роботи із частотою включень у годину 1200 і більше на напругу до 660 В широке поширення одержала електромагнітне гасіння в камерах з вузькими щілинами, а також у комбінованих камерах - з вузькими зигзагоподібними й іншими щілинами в сполученні із дугогасними решітками, де також виключається викид дуги і її полум'я за межі камери.

Особливо слід зазначити застосування для контакторів змінного струму системи бездугової комутації, що в багато разів (до десяти й більше) підвищує зносостійкість контактів. Так, у контакторах з бездуговою комутацією (шунтування контактів тиристорами) у режимах комутацій, що відповідають категоріям застосування АС-3 й АС-4, досягається комутаційна зносостійкість контактів не менш 5 млн. циклів, у той час як у контакторів з електромагнітним гасінням вона становить 0,5 млн. циклів. У режимах комутацій номінальних струмів комутаційна зносостійкість контактів дорівнює механічній зносостійкості контакторів і досягає 10-15 млн. циклів.

Для більшості контакторів категорій застосування АС-1, АС-2 й АС-3 характерне використання дворазового розриву на фазу (містковий контакт) у закритій комбінованій камері (рисунок 16-6). Гасіння дуги тут також засновано на використанні біякатодних явищ при переході струму через нуль. Однак для підвищення надійності гасіння, а також для забезпечення гасіння при напругах до 660 В в доповнення до дворазового розриву використовується ще ряд засобів (рисунок 6-6): невелике поперечне магнітне поле, створюване в зоні контактів за допомогою скоб 4, що охоплює контакти, витків 8 з магнітопроводом, вкладишів 7 і т.п.; додаткові катоди, утворені решіткою б, скобою 4 і т.д.; струмінь газу, створювана рухом рухливої системи контактора й обдуваюча дугу на контактах.

Застосовуються й більше складні дугогасні системи. На рисунку 6-7 наведена система із чотириразовим розривом на фазу. Вона більше ефективна, чим дугогасна решітка, куди дуга повинна ще зайти. Однак сумарні зусилля на контактах тут подвоюється, що вимагає потужнішої магнітної системи.

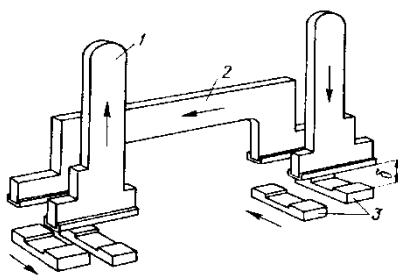


Рисунок 6-7 – Контактна система із чотириразовим розривом і двоступінчастим контактом
1 - струмопровід; 2- перемичка; 3 - місткові контакти (основний і дугогасний); 5 - зазор контактів

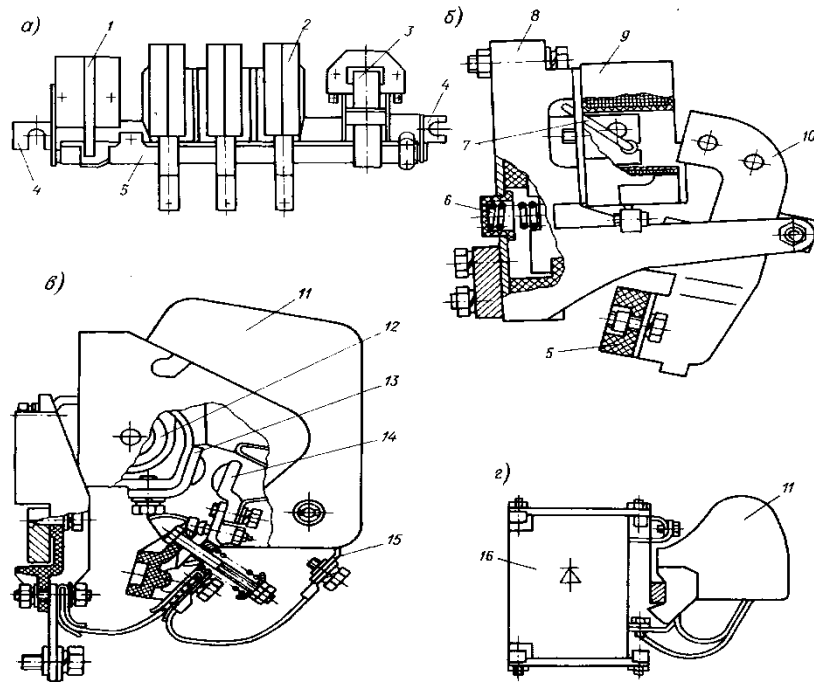


Рисунок 6-8 – Контактори серії КТ6600, КТ64 і КТ65: а — умовне зображення триполюсного контактора; б-електромагнітна система; в — контактна й дугогасна системи; г — схема контактора з бездуговою комутацією.

Конструкції контакторів змінного струму. Для нормальних умов роботи (в основному категорія застосування АС-3) контактори виконуються по кінематичних схемах, наведених на рисунку 6-5 (або їм подібним), з контактним і дугогасним пристроєм, зображеним на рисунку 6-6 (або йому подібним). Для важких режимів роботи (АС-4) контактори виконуються з поворотними кінематичними схемами, електромагнітними дугогасними системами на напругу до 660 В частотою 50 й 60 Гц. Ці контактори придатні для роботи на постійному струмі до 440 В. Фактично це контактори перемінно-постійного струму. Як приклад таких контакторів приведемо контактори серії КТ6600 й її модифікацій.

Контактори серії КТ6600 (рисунок 6-8) випускаються на струми до 160 А, напругу 660 В частотою 50 й 60 Гц й 440 В постійного струму. Частота включень до 1200 вкл/год, механічна зносостійкість $10 \cdot 10^6$ циклів, комутаційна зносостійкість $1 \cdot 10^6$ циклів.

Контактори серій ДО164 й КЖ65 (рисунок 6-8) випускаються на струми до 630 А и ті ж напруги і являють собою комбінований апарат з контактора серії КТ6600 і напівпровідникового блоку 16 бездугової комутації. Механічна зносостійкість $(5 \dots 15) \cdot 10^6$ циклів залежно від значення номінального струму, комутаційна зносостійкість $5 \cdot 10^6$ циклів, а при комутації номінальних струмів $15 \cdot 10^6$ циклів.

Конструкція контакторів (рисунок 6-8, а) — моноблочна з поворотною рухливою системою. Контактор складається з електромагніту 3, контактної й дугогасної системи 2 і блоку допоміжних контактів 1. Нерухомі частини контактора укріплені на базовій металевій рейці 4, рухливі — на самоустановлювальному пластмасовому валу 5.

Якір 10 електромагніта (рисунок 6-8, б) — що впроваджується, на зовнішньому полюсі дія екрана імітована підтискний (вона ж амортизує) пружиною 6. Внутрішній (стосовно котушки) полюс постачений короткозамкненим витком 7.

Магнітна система не має повітряного зазору, що значно знижує споживану потужність котушки 9. Весь вузол збирається на підставі 8.

Головні контакти 13 й 14 виконані з накладками з металокерамічної композиції на основі срібла. Рухливий контакт важільного типу. Гасіння дуги - електромагнітне (котушка 12) у камерах 11 з вузькими щілинами. Для обмеження вильоту полум'я в камерах установлені пружинні дугогасники. Для прискорення гасіння рухливий контакт забезпечується рогом 15.

Лекція №15

Тема: Резистори, реостати, контролери.

Мета: Ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії резисторів, реостатів та контролерів.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Резистори та блоки резисторів
- 2 Реостати
- 3 Контролери

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник.

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.

1 Резистори та блоки резисторів

Резистор - самостійний елемент або вузол електричного апарата, призначений для поглинання електричної енергії шляхом перетворення її в теплову, а також для обмеження струму в колі. Виконується з матеріалу з високим питомим опором.

У вигляді самостійних елементів резистори можуть виготовлятися безкаркасними, на теплоємному каркасі, рамковими, чавунного литого й сталевими (або з іншого матеріалу) штампованими.

Кілька резисторів, електрично з'єднаних за заданою схемою й постачених контактними затисками для приєднання до електричного кола, називаються блоком резисторів.

Блоки резисторів призначені для роботи в якості баластових, нагрівальних, додаткових пускових і пускорегулюючих, гальмових, розрядних і тому подібних опорів і виконуються для роботи в колах змінного струму частотою 50 й 60 Гц на напругу до 660 В і в колах постійного струму на напругу до 440 В. Як опір для заземлення нейтралі синхронних генераторів і трансформаторів, а також як гальмові до синхронних двигунів вони виготовляються на напругу до 11 кВ відносно землі.

Резистор на теплоємному каркасі у вигляді циліндра або трубки з нагрівостійкого матеріалу з достатньою діелектричною міцністю (порцеляна, стеатит, та ін.). Намотування на циліндрі забезпечують твердість конструкції й підвищує загальну теплоємність елемента за рахунок теплоємності циліндра.

Циліндр має гвинтоподібний жолобок, глибина й крок його залежать від діаметра укладає проволоки, дріт що застосовується діаметром 0,3-2 мм. Висновки від шаблів опору виконуються за допомогою хомутиків. Осьовий отвір служить для кріплення в ящиках - циліндр надівається на стрижень. За умовами технології циліндри виготовляються невеликих розмірів, на малі потужності.

Для дротів малих діаметрів застосовуються циліндри без жолобків. Для поліпшення тепловіддачі й запобігання дроту від сповзання резистори покриваються зверху шаром емалі або скла. Вони виготовляються на потужності 5-150 Вт й опору 1 Ом - 50 кОм, із гнучкими й твердими висновками, нерегульовані й регульовані.

Рамкові резистори показані на рисунку 7-1. Вони складаються зі сталеві пластини 1 (рама, каркас), на бічних ребрах якої укріплені порцелянові або стеатитові ізолятори 2 (наїзники). Ізолятори мають поглиблення, у які укладається дріт або стрічка опору 4. Стрічка укладається або плашмя (константан), або на ребро (фехраль). Висновки шаблів опору виконуються у вигляді хомутиків 3 або припаяних мідних наконечників 5. Пластина має вирізи для кріплення. Зборка в ящики здійснюється на ізольованих стрижнях. Потрібні характеристики (опір, струм) виходять відповідною сполукою окремих елементів у паралельно-послідовні групи. Резистори з константану виконуються на струми до 35 А (350 Вт), а з фехраля - на більші струми. Ящики з фехралевих резисторів виготовляються на більші потужності (для двигунів - від трьох до декількох тисяч кіловатів).

Резистори чавунні, литі й сталеві штамповані виконуються зигзагоподібної форми (рисунок 7-3) з вушками для кріплення. Тонким пластинам надається твердість за допомогою ізольованих ребер або шляхом згинання країв пластини. Резистори збираються в блоки (рисунок 7-3,д) у вигляді пакетів на ізольованих

стрижнях. Необхідна схема сполук виходить відповідним розташуванням ізоляційних і металевих дистанційних шайб. Окремі резистори виготовляються на струми до 250-300 А, а ящики - на струми до 1000 А и більше.

Матеріали, застосовувані для виготовлення резисторів, повинні мати високий електричний опір, високу температуру плавлення, механічну міцність й корозійну стійкість, гарну оброблюваність й малу вартість. У багатьох випадках потрібно, щоб матеріал мав можливо менший температурний коефіцієнт.

Чисті метали мають, як правило, низький питомий опір і для виготовлення резисторів використовуються рідко. Звичайно застосовують мідно-нікелеві, марганцево-мідні, хромонікелеві, залізохромові сплави, а також литий чавун і сталь. Графіт, нафтовий кокс, карборунд й інші подібні матеріали використовують для виготовлення спеціальних резисторів.

Резистори можуть виконуватися для тривалого (регульовальні, навантажувальні), повторно-короткочасного (пускові, гальмові й т.п.) і короткочасного (розрядні, пускові, гальмові й т.п.) режимів роботи. Навантажувальна здатність резисторів визначається відповідно до режиму роботи на підставі теплових розрахунків.

Таблиця 7-1

Елементи резисторів	k_r , Вт/(см ² ·К)	Поверхня тепловіддачі F
Спіралі з константанового, реотанового дроту або стрічки або із дроту або стрічки іншого мідно-нікелевого сплаву при вертикальному розташуванні.	0,002	Загальна поверхня дроту або стрічки
Трубчасті емальовані.	0,0021	Зовнішня поверхня трубки
Порцелянові циліндри з обмоткою з константанового або ніхромового дроту, покладеного в жолобки.	0,023	Зовнішня поверхня трубки
Рамкові з обмоткою з константанового або ніхромового дроту або стрічки.	0,001- 0,0014	Повна поверхня дроту
Чавунні спіралі.	0,001- 0,0013	Повна поверхня елемента

Навантажувальна здатність резисторів при тривалому режимі може бути визначена з рівняння:

$$P = k_r F_r \quad (7-1)$$

Значення коефіцієнта тепловіддачі k_r для деяких резисторів наведені в табл. 7-1.

Допустиме навантаження дроту або стрічки опору зручніше оцінювати по допустимому струму або щільності струму.

Для дроту:

$$P = RI^2 = \rho \frac{l}{s} I^2 = \rho \frac{14}{\pi d^2} I^2 \quad (7-2)$$

$$F = 10\pi dl \quad (7-3)$$

Тому що тут I - у метрах, d - у міліметрах, а F — у квадратних сантиметрах, то з'явився множник 10. Підставивши значення P та F у рівняння (7-1), одержимо

$$I = \pi d \sqrt{2,5k_T \tau d / \rho} \quad (7-4)$$

$$J = I / s = 4\sqrt{2,5k_T \tau / (\rho d)} \quad (7-5)$$

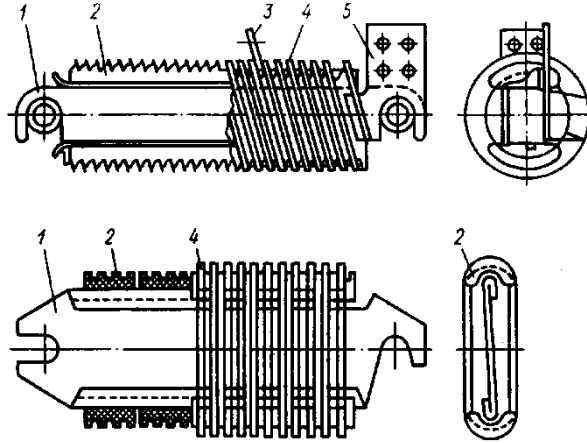


Рисунок 7-1 – Рамкові резистори

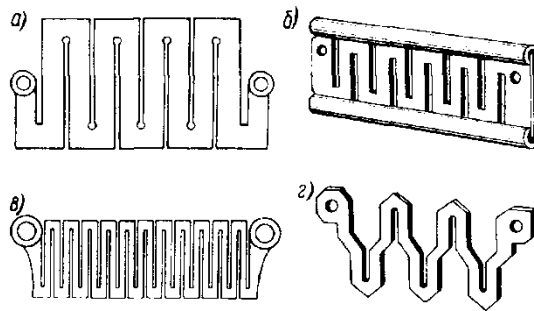


Рисунок 7-2 – Блок резисторів, чавунні й сталеві резистори: а, в - чавунні; б, г - сталеві з ребрами жорсткості й товсті 1 - стійка; 2 - резистори; 3 - ізоляційні або металеві шайби; 4 - приєднувальні шини; 5 - ізолятор, ізольований стрижень.

Для стрічки:

$$P = \rho \frac{l}{bh} I^2 \quad (7-6)$$

$$F = 2(b + h)10l \approx 20hl \quad (7-7)$$

Останнє допущення можливо через те, що товщина стрічки b мала в порівнянні з її шириною h . Аналогічно попередньому одержимо:

$$I \approx h \sqrt{20k_T \tau b / \rho} \quad (7-8)$$

$$J \approx \sqrt{20k_T \tau / (\rho b)} \quad (7-9)$$

При визначенні навантажувальної здатності для повторно-короткочасних і короткочасних режимів варто враховувати теплоємність каркасів. Постійна часу нагрівання для елементів на теплоємному каркасі:

$$T = \frac{\beta_k c_k G_k + c_0 G_0}{k_T F} \quad (7-10)$$

де c_k , G_k , — питома теплоємність і маса каркаса; c_0 , G_0 — питома теплоємність і маса дроту (обмотки); β_k , - коефіцієнт, що враховує участь каркаса в тепловідводі від дроту ($\beta_k = 0,3 \dots 0,4$ при короткочасному режимі й $\beta_k = 0,8 \dots 0,9$ - при тривалому).

2 Реостати

Реостатом називається апарат, що складається з набору резисторів і пристрою, за допомогою якого можна регулювати опір включених резисторів.

Залежно від призначення розрізняють наступні основні види реостатів:

пускові - для пуску електродвигунів постійний або змінний струми;

пускорегульовальні - для пуску й регулювання частоти обертання електродвигунів постійного струму;

реостати збудження - для регулювання струму в обмотках збудження електричних машин постійний і змінний струми;

навантажувальні або баластові - для поглинання електроенергії регулювання навантаження генераторів при випробуванні самих генераторів або їхніх первинних двигунів.

Одним з основних елементів, що визначають загальне конструктивне виконання реостата, є матеріал, з якого виготовлені його резистори. Залежно від цього розрізняють реостати металеві, рідинні, вугільні й керамічні. У резисторах електрична енергія перетворюється в теплоту, що повинна від них приділятися. Розрізняють реостати з повітряним і рідинним (масляним або водяним) охолодженням. Повітряне охолодження може застосовуватися для всіх конструкцій реостатів. Масляне й водяне охолодження використовується для металевих реостатів, резистори можуть або поринати в рідину, або обтікатися нею. При цьому варто мати на увазі, що охолоджена рідина повинна й може охолоджуватися як повітрям, так і рідиною.

Металеві реостати. *Металеві реостати з повітряним охолодженням* одержали найбільше поширення. Їх легше всього пристосувати до різних умов роботи як у відношенні електричних і теплових характеристик, так й у відношенні різних конструктивних параметрів. Реостати можуть виконуватися з *безперервною* або зі *східчастою* зміною опору.

Перемикач щаблів у реостатах виконується плоским. У плоскому перемикачі рухливий контакт ковзає по нерухомих контактам, переміщаючись при цьому в одній площині. Нерухомі контакти виконуються у вигляді болтів із плоскими циліндричними або напівсферичними голівками, пластин або шин, розташовуваних по дузі окружності в один або два ряди. Рухливий ковзний контакт, називаний звичайно щіткою, може виконуватися місткового або важільного типу.

Несамоустановлювальний рухливий контакт простіше по конструкції, але ненадійний в експлуатації через часте збудження контакту. При самоустановлювальному рухливому контакті завжди забезпечуються необхідне

контактне натискання й висока надійність в експлуатації. Ці контакти одержали переважне поширення.

Перевагами плоского перемикача щаблів є відносна простота конструкції, порівняно невеликі габарити при великій кількості щаблів, мала вартість, можливість установки на плиті перемикача контакторів і реле для відключення й захисту керованих кіл. Недоліки - порівняно мала потужність перемикання й невелика розривна потужність, велике зношування щітки внаслідок тертя ковзання й оплавлення, затруднене застосування для складних схем сполуки.

Металеві реостати з масляним охолодженням забезпечують збільшення теплоємності й постійної часу нагрівання за рахунок великої теплоємності й гарної теплопровідності масла. Це дозволяє при короткочасних режимах різко збільшувати навантаження на резистори, а отже, скоротиться витрата резистивного матеріалу й габарити реостата. Елементи, що занурюють у масло, повинні мати як можна більшу поверхню, щоб забезпечити гарну тепловіддачу. Закриті резистори занурювати в масло недоцільно. Занурення в масло захищає резистори й контакти від шкідливого впливу навколишнього середовища в хімічних й інших виробництвах. Занурювати в масло можна тільки резистори або резистори й контакти. Відключаюча здатність *контактів* у маслі підвищується, що є перевагою цих реостатів. Перехідний опір контактів у маслі зростає, але одночасно поліпшуються умови охолодження. Крім того, за рахунок змащення можна допустити більші контактні натискання. Наявність змащення забезпечує мале механічне зношування.

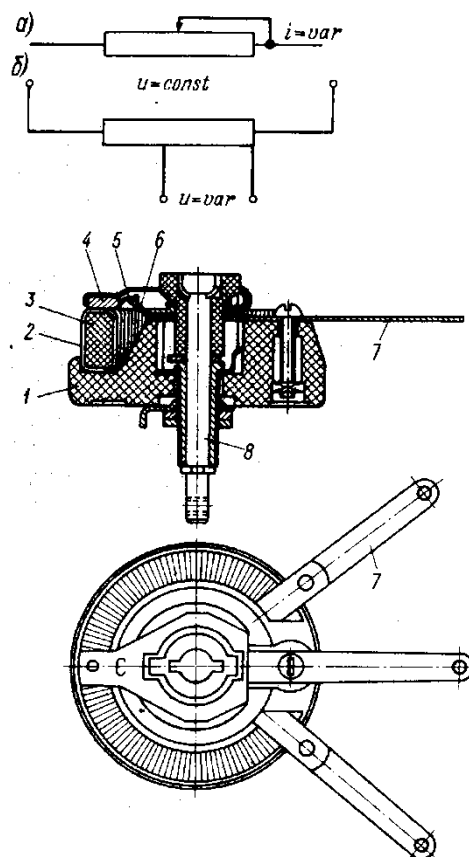


Рисунок 7-3 – Реостат з безперервною зміною опору

Для тривалих і повторно-короткочасних режимів роботи реостати з масляним охолодженням непридатні через малу тепловіддачу з поверхні бака й великої постійної часу охолодження. Вони застосовуються як пускові реостати для асинхронних електродвигунів з фазним ротором потужністю до 1000 кВт при рідких пусках.

Наявність масла створює й ряд недоліків; забруднення приміщення, підвищення пожежної небезпеки.

Приклад реостата із практично безперервною зміною опору наведений на рисунку 7-3. На каркасі 3 з нагрівостійкого ізоляційного матеріалу (стеатит, порцеляна) намотаний дріт резистора 2. Для ізоляції витків один від одного дріт оксидують. По резистору й напрямному струмоведучому стрижні або кільцю 6 ковзає пружний контакт 5, з'єднаний з рухливим контактом 4 і переміщуваний за допомогою ізольованого стрижня 8, на кінець якого надівається ізольована рукоятка (на рисунку рукоятка знята). Корпус 1 служить для зборки всіх деталей і кріплення реостата, а пластини 7 — для зовнішнього приєднання.

Реостати можуть включатися в схему як змінний резистор (рисунок 7-3, а) або як потенціометр (мал. 7-3,б). Вони забезпечують плавне регулювання опору, а отже, і струми або напруги в колі й знаходять широке застосування в лабораторних умовах у схемах автоматичного керування.

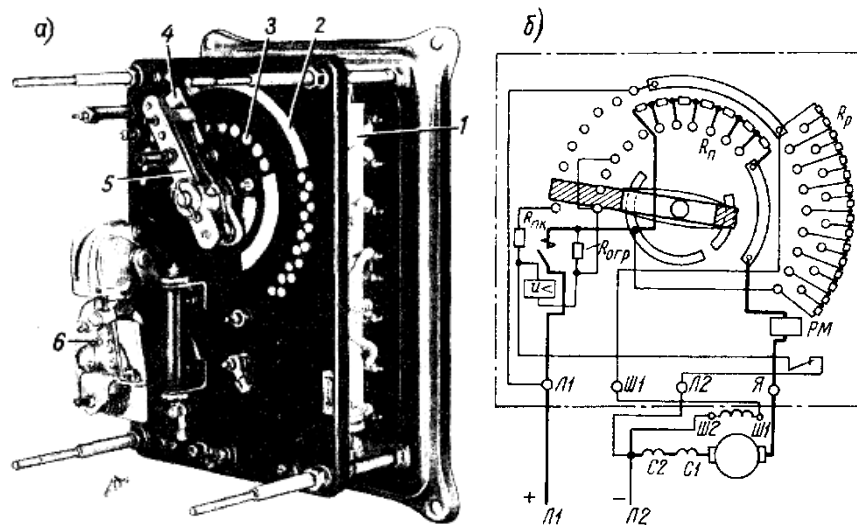


Рис. 7-4. Пускорегулювальний реостат: а – загальний вигляд; б — схема включення $R_{пк}$ - резистор, шунтувальний котушки контактора у відклученому положенні реостата; $R_{огр}$ — резистор, що обмежує струм у котушці; Ш1, Ш2 — паралельна обмотка збудження; Ш3, Ш4 — послідовна обмотка збудження

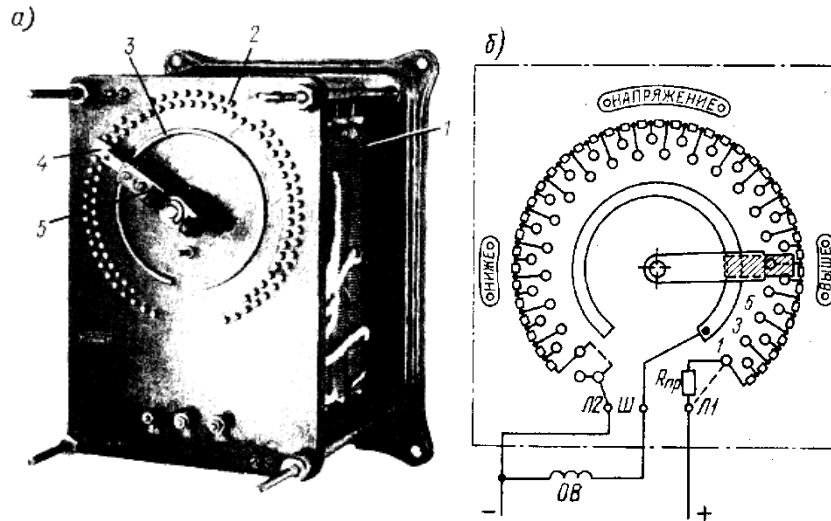


Рисунок 7-5 – Реостат порушення: а – загальний вигляд; б — одна зі схем включення $R_{пр}$ - опір передвключений; ОВ — обмотка збудження

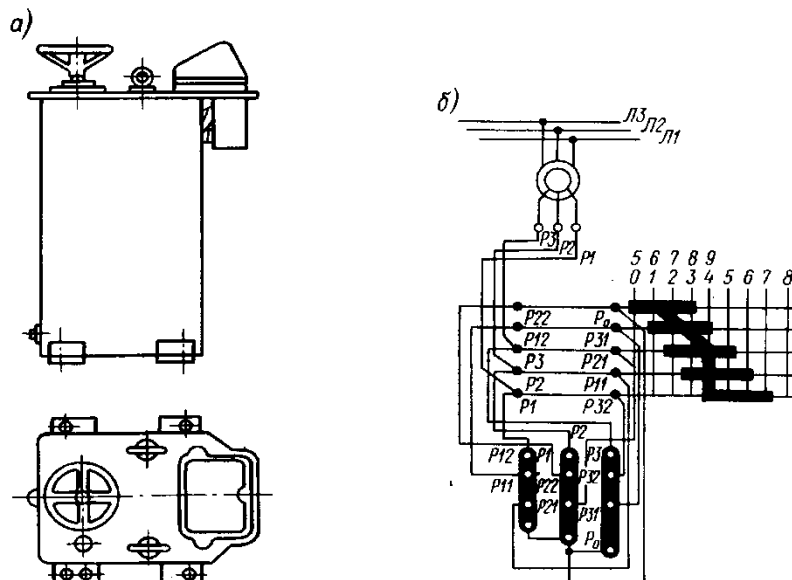


Рисунок 7-6 – Маслонаповнений реостат серії РМ: а - загальний вид; б - схема.

Реостати зі східчастою зміною опору (рисунок 7-4 й 7-5) складаються з набору резисторів I і східчастого перемикаючого пристрою.

Перемикаючий пристрій складається з нерухомих контактів 2 й 3, рухливого ковзного контакту 4 і приводи 5. У пускорегулювальному реостаті (рисунок 7-4) до нерухомих контактів приєднаний полюс $Л1$ і полюс якоря $Я$, виводи від елементів опорів, пускових опорів й регулювальних $Яр$, відповідно до розбивки по шаблях й інші керовані реостатом кола (контактори б; реле $РМ$). Рухливий ковзний контакт робить замикання й розмикання шаблів опору, а також всіх інших керованих реостатом кіл. Привод реостата може бути ручний (за допомогою рукоятки) і рухомий.

Реостати по типу наведених на рисунку 7-4 й 7-5 знайшли широке поширення. Їхня конструкція володіє, однак, деякими недоліками, зокрема більшим числом кріпильних деталей і монтажних проводів, особливо в реостатах порушення, які мають велику кількість шаблів.

Маслонаполненный реостат серії РМ, призначений для пуску асинхронних двигунів з фазним ротором, наведений на рисунку 7-6. Напруга в колі ротора до 1200 В, струм 750 А. Комутаційна зносостійкість 10000 операцій, механічна - 45 000. Реостат допускає 2-3 пуски підряд.

Реостат складається з убудованих у бак і занурених у масло пакетів резисторів і перемикаючого пристрою. Пакети резисторів набираються зі штампованих з електротехнічної сталі елементів і кріпляться до кришки бака. Перемикаючий пристрій - барабанного типу, являє собою вісь із закріпленими на ній сегментами циліндричної поверхні, з'єднаними по певній електричній схемі. На нерухомій рейці укріплені з'єднані з резисторними елементами нерухомі контакти. При повороті осі барабана (маховиком або руховим приводом) сегменти як рухливі ковзні контакти перемикають ті або інші нерухомі контакти й тим самим міняють значення опору в ланцюзі ротора.

3 Контролери

Контролери застосовуються для керування двигунами постійний і змінний токи, зокрема підйомно-транспортних установок. Одержання різних схем сполук двигуна з мережею, резистором пусковими й регулювальним і тому подібними пристроями досягається поворотом рукоятки на певний кут.

Конструктивно контролер являє собою багатоступінчастий контактний перемикаючий пристрій, не зв'язане в одне ціле з резистором. Відділення перемикаючого пристрою від резистора викликано або більшими габаритами останнього, або умовами експлуатації й розміщенням устаткування. Наприклад, контролер розташовується в кабіні оператора, а резистор виноситься за межі цієї кабіни.

Контролери будуються трьох типів: плоскі, барабанні й кулачкові.

Плоскі контролери можуть виконуватися на більше число щаблів у порівнянні з барабанна й кулачковими, але перемикаюча здатність їх менше, ніж в останніх. Вони застосовуються у випадках, коли потрібне велике число щаблів, а також для одночасного керування й регулювання в декількох ланцюгах при малих струмах і нечастих перемикаваннях. Конструкція їх виконується за принципом перемикаючих пристроїв реостатів (див. мал. 7-4).

Барабанні контролери, конструкція яких аналогічна пристрою на мал. 7-6, застосовуються для керування двигунами потужністю до 75 квт. Перемикаюча здатність їх невелика. Вони допускають 120-240 перемикаєнь в годину.

Кулачкові контролери допускають до 600 перемикаєнь в годину. Вони можуть виконуватися на більші струми в порівнянні з барабанними. Контактний пристрій їх працює аналогічно контактному пристрою контакторів, тобто кожен комутаційний елемент має дугогасительную систему. Тому вони мають високу здатність, що відключає. Керування контактами здійснюється фігурними кулачками. Передача руху через обертовий

Лекція №16

Тема: Апарати управління.

Мета: Ознайомитися з видами апаратів управління; з їх будовою та принципом дії.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Кнопки керування
- 2 Командоконтролери
- 3 Шляхові вимикачі та мікрОВимикачі
- 4 Універсальні перемикачі
- 5 Пакетні вимикачі та премикачі

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Кнопки керування

Найпростішим апаратом керування, або командоапаратом, є кнопка керування. Вона використовується в різних схемах пуску, зупинки й реверса електродвигунів шляхом замикання й розмикання кіл електромагнітів контакторів, які комутують головне коло.

Основною частиною кнопки є кнопковий елемент, розріз якого показаний на рисунку 6.1. Для підвищення надійності роботи контакти виконують із срібла. При змінному струмі дуга добре гасне при напрузі до 500 В и струмі 3 А завдяки наявності двох розривів. На постійному струмі дуга гасне гірше: при напрузі 440 В елемент може відключати струм тільки до 0,15 А. Оскільки кнопка включає й електромагніти змінного струму, контакти повинні в замкнутому положенні надійно пропускати пусковий струм обмотки контактора, що може досягати 60 А. Схеми керування бажано проектувати так, щоб відключення кола виконувалося не кнопкою, а іншим, потужнішим апаратом, ввімкненим послідовно з нею. Якщо необхідно робити перемикання декількох кіл керування по певній програмі з великою частотою включень у годину, то застосовуються командоконтролери.

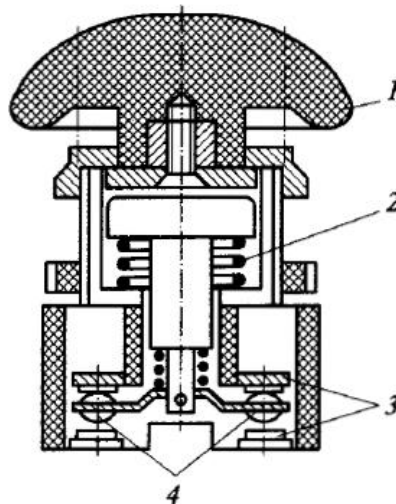


Рисунок 6.1 – Кнопковий елемент: 1 — кнопка; 2 — пружина; 3 — нерухомі контакти; 4 — рухомі контакти

2 Командоконтролери

Широке поширення одержали нерегульовані кулачкові командоконтролери. На рисунку 6.2 представлений розріз командоконтролера постійного струму. Принцип його дії аналогічний принципу дії силового кулачкового контролера. При відключенні містковий контакт 2 створює два розриви, що полегшує гасіння дуги. Кулачковий привод контактів, значна відстань від контактів до центра обертання важеля 4, великий розчин контактів дозволяють майже в 4 рази збільшити струм відключення в порівнянні із кнопковим елементом. Положення вала командоконтролера фіксується за допомогою важільного фіксатора й пружини 1. Моменти замикання й розмикання контактів залежать від профілю кулачка 5. При обертанні вала командоконтролера відбувається керування відповідними силовими контакторами, які, у свою чергу, здійснюють комутацію в силових колах двигуна.

Якщо буде потреба більш точного регулювання моменту спрацьовування апарата застосовують регульовані кулачкові командоконтролери. Розглянемо пристрій і принцип дії елемента такого контролера.

На сталевому валу 1 (рисунок 6.3) закріплений диск 3 з ізоляційного матеріалу. По окружності диска розташовані отвори, з допомогою яких кріпляться кулачки 2 й 7. При набіганні кулачка 7 на ролик 9 контактний важіль 8 повертається проти годинникової стрілки й нерухомі контакти 4 й 5 замикаються містковим контактом 6. Одночасно стискується поворотна пружина 10. Важіль 8 фіксується у включеному положенні засувкою 12, що втримується пружиною 13 у пазу хвоста важеля 8.

При подальшому обертанні диска 3 кулачок 2 набігає на розташований над роликом 9 ролик 11 засувки 12 і виводить її із зачеплення з важелем 8. Під дією пружини 10 відбувається розмикання контактів.

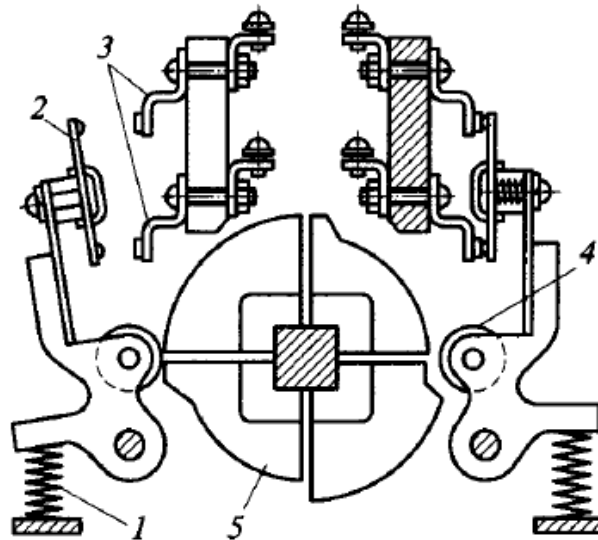


Рисунок 6.2 – Командоконтролер:

1 — пружина; 2 — містиковий контакт; 3 — нерухомі контакти; 4 — важіль;
5 — кулачок

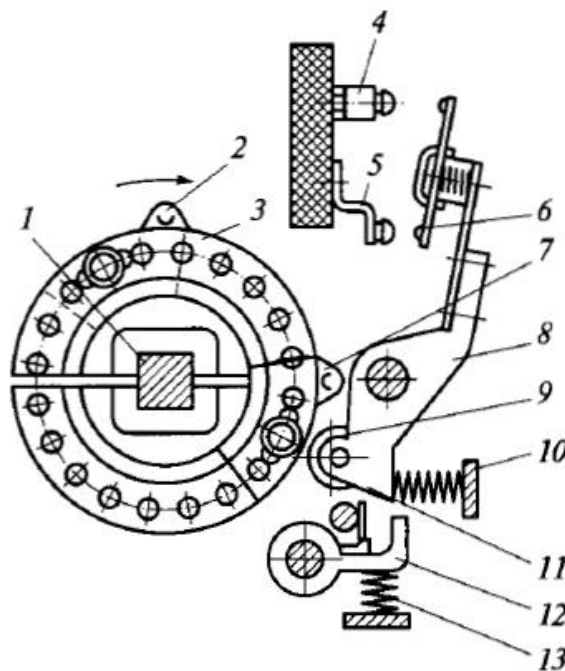


Рис. 6.3. Регульований командоконтролер:

1 — вал; 2, 7 — кулачки; 3 — диск; 4, 5 — нерухомі контакти; 6 — містиковий контакт; 8 — важіль; 9, 11 — ролики; 10, 13 — пружини; 12 — засувка

Великою перевагою такого механізму є незалежність швидкості розмикання контактів від частоти обертання вала вимикача. Це дає можливість використати регульований командоконтролер як шляховий вимикач при малій частоті обертання вала.

Момент замикання й розмикання контактів може регулюватися в широких межах з великою точністю. Грубе регулювання здійснюється установкою кулачка у відповідне положення на диску (точність установки — 18). Для більше точного регулювання в кулачку виконаний овальний отвір для кріплення, що дозволяє зміщати кулачок на 10...30' в обидва боки відносно центра отвору на диску 1 для кріплення кулачка. Це забезпечує точність установки $\pm 25'$.

Регульований командиконтролер дозволяє встановити на кожному диску до трьох що включають і трьох кулачків, що виключають. Число контрольованих кіл може мінятися від 4 до 12. Велика кількість кіл дає можливість управляти дуже складними схемами автоматики електропривода.

Привод командоконтролера здійснюється спеціальним електродвигуном, що дозволяє робити дистанційне керування командоконтроллером.

3 Шляхові вимикачі та мікрОВимикачі

Шляхові вимикачі призначені для замикання або розмикання контактів кола з невеликим струмом залежно від положення робочого органа керованої машини або апарата. Часткою случаємо шляхових вимикачів є кінцеві вимикачі, які служать для комутації кіл у крайніх положеннях органа керованої машини.

Шляхові вимикачі залежно від способу привода контактів підрозділяють на кнопкові, важільні й штепсельні.

У кнопковому шляховому вимикачі контрольований орган машини впливає на шток кнопкового елемента (рисунок 6.1). Особливістю цього вимикача є розмикання й замикання контактів з такою ж швидкістю, що й швидкість контрольованого органа. При невеликій величині струму гасіння дуги відбувається за рахунок механічного розтягання, і при малому розчині контактів вона взагалі може не згаснути. Тому при швидкості руху штока менш 0,4 м/хв необхідно застосовувати вимикачі зі швидкодіючими контактами, що забезпечують необхідну швидкість розмикання при будь-якій швидкості контрольованого органа.

Якщо потрібно зупинити машину або зробити відповідні перемикання з високою точністю (0,3...0,7 мм), то застосовуються мікроперемикачі. Схематичний розріз такого апарата приведений на рисунку 6.4. Перемикач має один замикаючий й один розмикаючий контакти із загальною кнопкою. Нерухомі контакти 7 й 2 укріплені в пластмасовому корпусі 3. Рухливий контакт 4 перебуває на кінці спеціальної пружини, що складає із плоскої 6 і фігурної 5 частин. У показаному на рисунку 6.4 положенні пружина створює тиск на верхній контакт 2. При натисканні на шток 7 відбуваються деформація пружини й перекидання контакту в крайнє нижнє положення. Перехід контакту з верхнього положення в нижнє відбувається дуже швидко (протягом 0,01...0,02 с), що забезпечує надійне відключення кола. Хід штока становить десяті частки міліметра. МікрОВимикачі серії ВКМ-ВЗГ відключають струм 2,5 А при постійній напрузі 220 В та змінній напрузі 380 В.

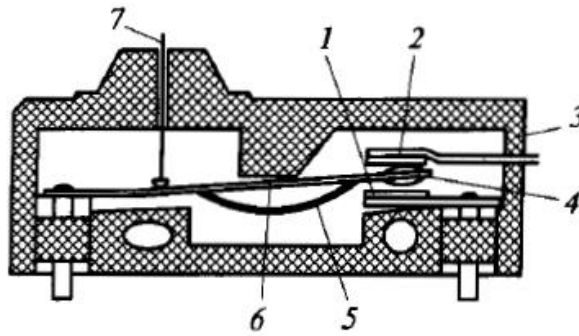


Рисунок 6.4 – Шляховий мікроперемикач:

1,2— нерухомі контакти; 3 — корпус; 4 — рухливий контакт; 5, 6— фігурна й плоска частини пружини; 7— шток

Якщо необхідно забезпечити надійні перемикання в колах при більших ходах і струмах, застосовують важільні перемикачі.

Схема одного з них показана на рисунку 6.5. Контрольований орган впливає на ролик 1, укріплений на кінці важеля 2. На іншому кінці важеля перебуває подпружинений ролик 12, що може переміщатися уздовж осі важеля. У зазначеному на рисунку 6.5 положенні замкнуті контакти 7 м 8. Це положення механізму надійно зафіксовано засувкою 6. При зовнішньому впливі на ролик 1 важіль 2 повертається проти вартовий стрілки. При цьому ролик 12 повертає тарілку 11 і пов'язані з нею контакти, у результаті чого контакти 7 й 8 розмикаються, а контакти 9 й 10 замикаються.

Замикання й розмикання контактів відбуваються з великою швидкістю, що не залежить від швидкості руху ролика 7. Це дає можливість відключати струми до 100 А при напрузі до 220 В постійного струму. Повернення вимикача у вихідне положення після припинення впливу на ролик 1 забезпечує пружина 5.

При необхідності робити перемикання великої кількості кіл з високою точністю як шляховий вимикач застосовують регульований командоконтроллер. Його вал з'єднують із керуючої валом механізму або безпосередньо, або через редуктор, що забезпечує необхідне співвідношення частот обертання.

Насьогодні промисловість випускає безконтактні шляхові вимикачі, що використовують магнітний датчик і напівпровідникове реле або геркон, керований постійним магнітом.

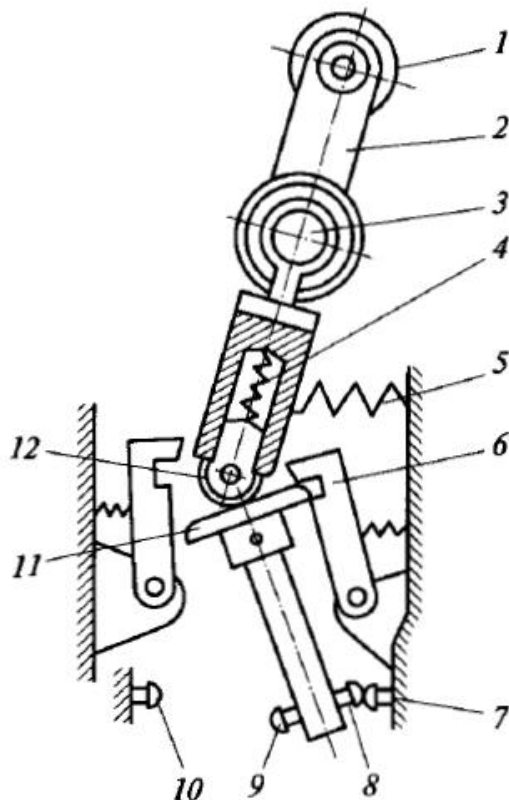


Рисунок 6.5 – Важільний шляховий перемикач:

12 — ролики; 2 — важіль; 3 — вісь; 4, 5 — пружини; 6 — засувка; 7...10 — контакти; 11 — тарілка

4 Універсальні перемикачі

У колах керування електроприводом й апаратами широко застосовуються універсальні перемикачі типу УП. Пристрій секції такого перемикача показано на рисунку 6.6. Кожна секція має дві контактних сполуки (розриву). У випадку використання одного розриву проводи кола приєднують до нерухомого контакту 2 і затиску 6, пов'язаному з рухливим контактом 4. При обертанні вала 8 повертається кулачок 9, що впливає на контактний важіль 5 рухливого контакту 4, у результаті чого відбувається замикання контактів 2 й 4.

При відповідних значеннях струму, що відключає, і напруги джерела використовують два розриви. У важких випадках контакти двох сусідніх секцій з'єднують послідовно. При цьому виходять чотири розриви, включених послідовно.

Номінальний струм перемикача - 20 А. Число контрольованих кіл (секцій) може змінюватися від 2 до 16.

Завдяки високій здатності, що відключає, великій кількості кіл і комутаційних положень перемикачі УП широко використовують для пуску й реверсування електродвигунів потужністю до 5 кВт при напрузі до 500 В. Ці перемикачі зручно застосовувати для зміни напрямку й частоти обертання асинхронних двигунів шляхом перемикачання котушок їхніх обмоток.

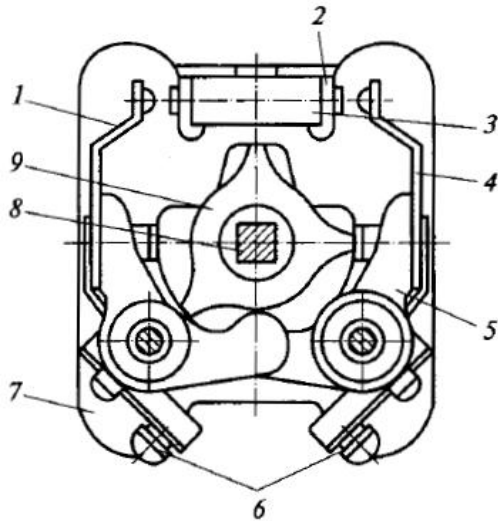


Рисунок 6.6 – Секція універсального перемикача УП:

1,4— рухливі контакти; 2 — нерухомий контакт; 3 — стійка; 5 — важіль; 6— затиски; 7— підстава; 8 — вал; 9— кулачок

Таблиця 6.1 – Діаграма комутаційних положень перемикача

Положение переключателя управления	Условное обозначение положения	Положение рукоятки ключа	Состояние цепи													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Отключено	О		X	—	—	X	X	—	—	X	—	—	—	—	—	X
Предварительно включить	V ₁		—	X	X	—	—	—	X	—	X	—	—	—	—	—
Включить	V ₂		—	X	—	—	—	X	—	—	X	—	X	—	X	—
Включено	В		—	X	X	—	—	—	X	—	X	—	—	—	X	—
Предварительно отключить	O ₁		X	—	—	X	X	—	—	X	—	—	—	—	X	—
Отключить	O ₂		X	—	—	—	X	v	—	—	—	X	—	X	—	X

Примечание. X — цепь замкнута, — — цепь разомкнута.

При використанні автоматів, що мають електромагнітний привод, а також вимикачів необхідно провести цілий ряд комутаційних операцій, при яких спочатку схема підготовляється до пуску (включаються звукова сигналізація, що мигають лампи й т.д.), а потім відбувається включення апарата. У подібних випадках користуються перемикачами керування, контактна система яких аналогічна контактній системі пакетного вимикача.

На відміну від перемикача типу УП вал перемикача керування має як фіксовані положення, так і нефіксовані, з яких він автоматично повертається після того, як на вал перестав діяти оператор. Перемикач має два фіксованих положення рукоятки керування (горизонтальне й вертикальне) і два нефіксованих (45° від вертикального по годинній стрілці й 45° від горизонтального проти вартовий стрілки).

Діаграма комутаційних положень перемикача представлена у вигляді табл. 6.1.

У положенні «Відключене» (ПРО) рукоятка перемикача перебуває в горизонтальному положенні. При цьому замкнуті ланцюги 1, 4, 5, 8 й 14. Для включення апарата рукоятку переводять спочатку в положення «Попередньо включити» (В₁). При цьому замикаються ланцюги 2, 3 й 7, 9. Потім рукоятку повертають по годинній стрілці на 45° (положення В₂). При цьому замикаються ланцюги 6, 11, 13, залишаються замкнутими ланцюги 2 й 9. Після включення

апарата рукоятку відпускають і вона автоматично повертається у вертикальне положення — положення «Включене» (В)(замикаються ланцюги 3, 7, залишаються замкнутими ланцюги 2, 9 й 13). При відклученні рукоятку переводять спочатку в горизонтальне положення — положення «Попередньо відклучити» (ПРО)], а потім повертають на 45° проти вартовий стрілки в положення «Відклучити (0₂). Далі рукоятку відпускають і вона повертається в горизонтальне положення - положення О.

5 Пакетні вимикачі та перемикачі

Пакетні вимикачі й перемикачі є багатоступінчастими апаратами, призначеними для нечастих комутацій у ланцюгах з невеликою потужністю (струми до 400 А, постійна напруга 220 В і змінна напруга 380 В). Пакетні перемикачі застосовуються в розподільних пристроях і слабкострумових ланцюгах автоматики. Вони використовуються також для пуску й реверсування електродвигунів, перемикання сполуки обмоток трифазних двигунів з «зірки» на «трикутник». Такі апарати складаються із однакових пакетів у вигляді кілець і розрізняються між собою навантажувальною здатністю. Число ланцюгів, що перемикають, визначає схему й конструкцію пакетного перемикача (рисунок 6.7).

Вимикач серії ПВМ (рисунок 6.8) складається з окремих зв'язаних разом пакетів 1 і приводного механізму. Пакет утворює один полюс вимикача. Кожен полюс має дві контактних сполуки (розриву). Нерухомі контакти 2 являють собою масивні пластини з латуні. Рухливий контакт (ніж) 3 насаджений на квадратний ізольований вал вимикача й може обертатися разом з ним. Натискання контактів створюється за рахунок пружних властивостей губок рухливого контакту 3.

До рухливого контакту прикріплені щічки 4 (по двох з кожної сторони) з фібрових пластин. Відстань між парою щічок трохи більше товщини нерухомого контакту, що дозволяє рухливому контакту вільно обертатися усередині пакета. Рух рухливого контакту здійснюється за допомогою приводного механізму. При обертанні рукоятки спочатку зтягується (заводиться) пружина, що потім забезпечує необхідну швидкість переміщення контакту.

При розбіжності рухливого й нерухомого контактів дуга загоряється у двох розривах. Ця обставина забезпечує надійне гасіння дуги змінного струму за рахунок околоскатодной електричної міцності. Дуга гасне при першому проходженні змінного струму через нуль. Гасіння дуги постійного струму забезпечується завдяки тому, що вона горить у просторі між фібровими щічками. Зіткнення дуги зі стінками з фібри викликає виділення газу. Оскільки внутрішня порожнина пакета досить герметична, у ній підвищується тиск, що веде до підйому вольт-амперної характеристики й, як наслідок, до успішного гасіння дуги.



Рисунок 6.7 – Схема перемикача ПК2, що підключає навантаження до однієї з трьох ліній

При двухполюсній схемі коло повинне обов'язково відключатися двухполюсним вимикачем.

Недоліками вимикача серії ПВМ є мала зносостійкість (до $20 \cdot 10^3$ перемикань) і ненадійність механізму привода. Більше зробленим є кулачковий пакетний вимикач серії ПКВ (рисунок 6.9). На його валу 1 укріплені кулачки 3 (по одному на пакет). Кожне коло має два розриви, утворені містковим контактом 6 і нерухомими контактами 2. При обертанні вала кулачок повертається й шток 4 попадає в його поглиблення. При цьому коло замикається. Натискання контактів забезпечує сталеві пружина 5. Для підвищення зносостійкості використовують металокерамічні контакти. Замість малонадійного привода ПВМ застосовують фіксатор положення, аналогічний по конструкції фіксатору командоконтроллера (рисунок 6.2). Найбільший струм вимикача серії ПКВ — 160 А; електрична зносостійкість — $(1...2) \cdot 10^5$ комутаційних циклів.

Пакетні вимикачі й перемикачі мають більші переваги в порівнянні з рубильниками. Вони зручні при монтажі, мають малі габаритні розміри, високу вібро- і ударостійкість. Дуга гаситься в замкнутому об'ємі без викиду полум'я й газів, контактна система дозволяє управляти одночасно більшим числом кіл.

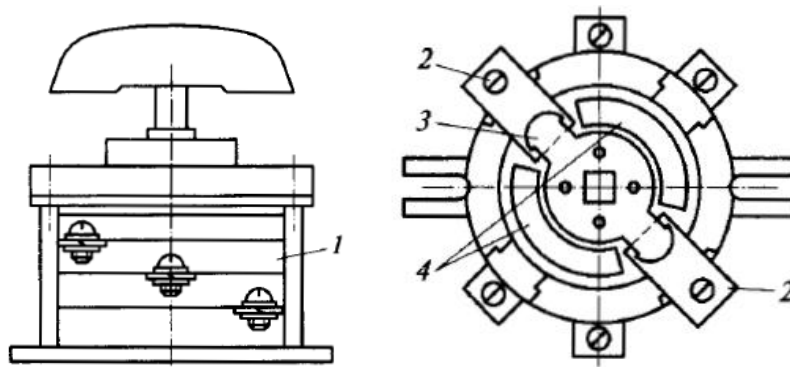


Рисунок 6.8 – Пакетний вимикач серії ПВМ:
1 — пакет; 2 — нерухомі контакти; 3 — рухливий контакт; 4 — чашечка

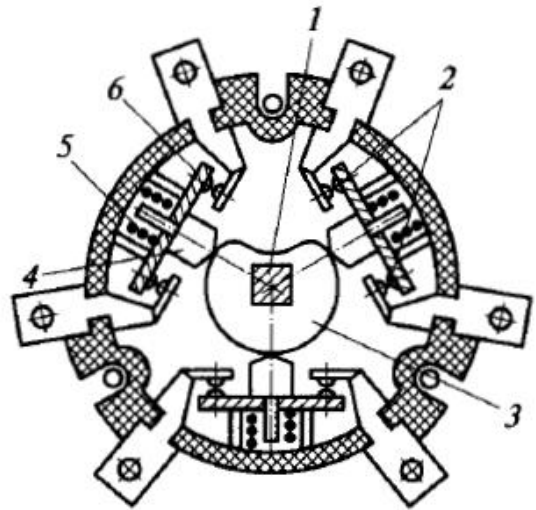
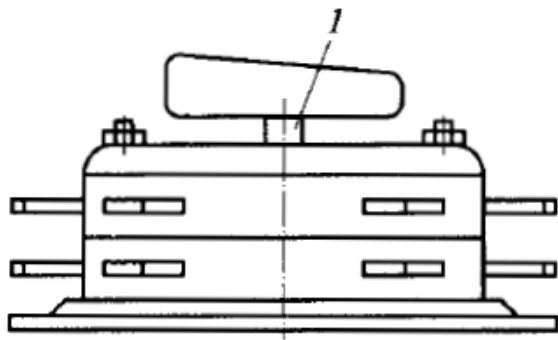


Рисунок 6.9 – Пакетний кулачковий вимикач серії ПКВ:
1 — вал; 2 — нерухомі контакти; 3 — кулачок; 4 — шток; 5 — пружина; 6 — містиковий контакт

Лекція №17

Тема: Реле електромеханічні.

Мета: Ознайомитися з видами реле електромеханічних, з їх будовою та принципом дії.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Загальні відомості
- 2 Електромагнітні реле
- 3 Реле індукційні

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Загальні відомості

Електромеханічні реле - найпоширеніший вид електричних реле. До них відносяться електромагнітні, магнітоелектричні, індукційні, електротеплові, п'єзоелектричні, електро- і ферродинамічні й ряд інших.

Про роботу реле судять по його *характеристиці керування* (рисунок 8.1). Вона має релейний характер: стрибкоподібне збільшення вихідної величини при деякому значенні вхідної електричної величини, що впливає, (струм, напруга, частота й т.п.) і таке ж стрибкоподібне зменшення вихідної величини. При всіх інших значеннях вхідної величини, що впливає, вихідна величина не міняється або змінюється незначно. *Реле* — це автоматичний апарат релейної дії, в основному призначений для комутації кіл керування потужних апаратів (наприклад, кола обмотки електромагнітного контактора), сигналізації, зв'язку й так далі, а також для підсумування й розкладання сигналів.

На рисунку 8.2 зображене найпростіше реле при нульовому значенні вхідної величини X — струму $I_{вх}$ в обмотці 1. Коли вхідний струм $I_{вх}$ починає збільшуватися, при певному його значенні якір 10 відходить від упору 11 і притягається до сердечника 12. У процесі руху якоря його верхній кінець, діючи через штовхальник 9, вигинає плоску контактну пружину 6 нагору до зіткнення її контакт-деталі 8 з контакт-деталлю 7 пружини 5, що потім відходить нагору до упору 4. У результаті по вихідному ланцюзі після закінчення перехідного процесу починає протікати струм $I_{вих}$, що представляє собою вихідну величину Y . При подальшому збільшенні вхідного струму вихідний струм практично не змінюється. Коли ж вхідний струм починає зменшуватися, при деякому його значенні механічна сила вигнутих пружин переборює електромагнітну силу притягання якоря до сердечника. У результаті контакт-деталі розмикаються й вихідний ланцюг знеструмлюється.

Під вхідний V_x і вихідний $V_{вих}$ величинами розглянутого електричного апарата можна мати на увазі й інші параметри, наприклад напруга на обмотці й напруга на навантажувальному резисторі R_H .

Електромеханічні реле призначені для промислової автоматики, захисту електроенергетичних систем, радіоелектроніки й т.д. Специфіка областей застосування визначає величезну розмаїтість реле за принципом дії й конструктивних виконань.

Електромеханічні реле реагують на такі електричні параметри, як струм, напруга, потужність, електрична опір ланцюга (активне, реактивне, повне) і т.п.

Залежно від виконуваної функції електромеханічні реле підрозділяють на логічні й вимірювальні.

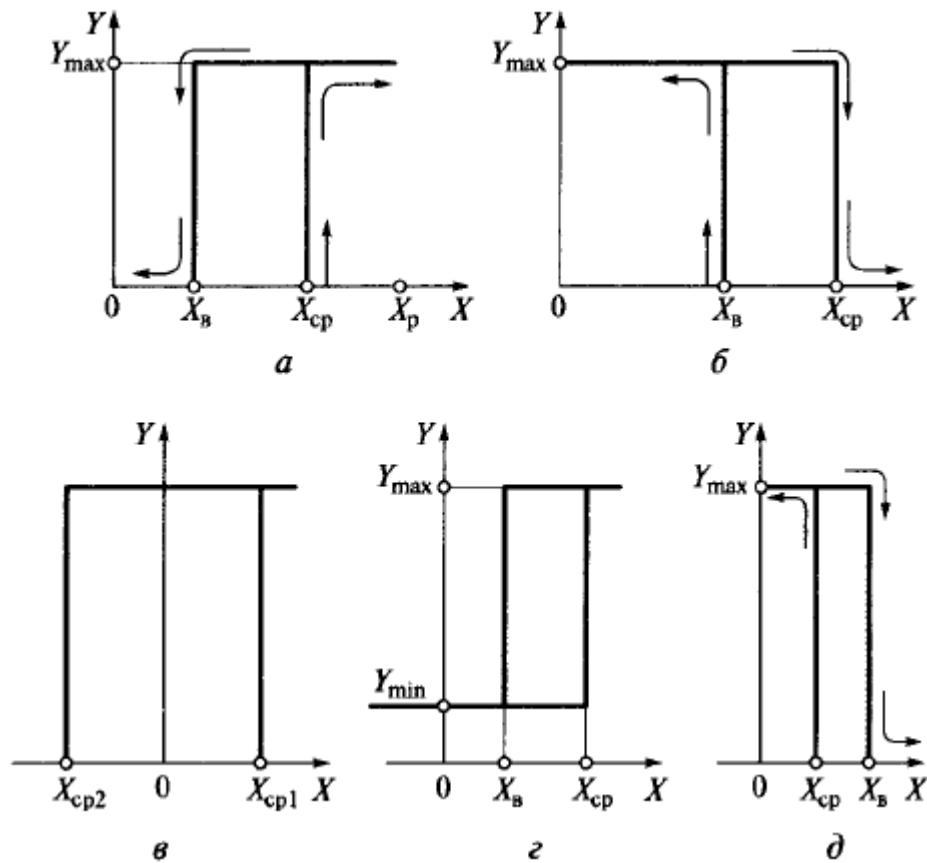


Рисунок 8.1 – Характеристики керування апаратів релейної дії електромеханічних (а., в, д), статичних електричних (г), одностабільних (а, б > з, д), двостабільних (в), максимальних (а, б, г), мінімальних (д), що працюють на замикання (а, м, д), що працюють на розмикання (б): X_{cp} — параметр спрацьовування; $X_{ш}$ — параметр повернення (відпускання); X_p — робочий параметр; Y_{max} , Y_{min} — максимальне й мінімальне значення вихідного параметра

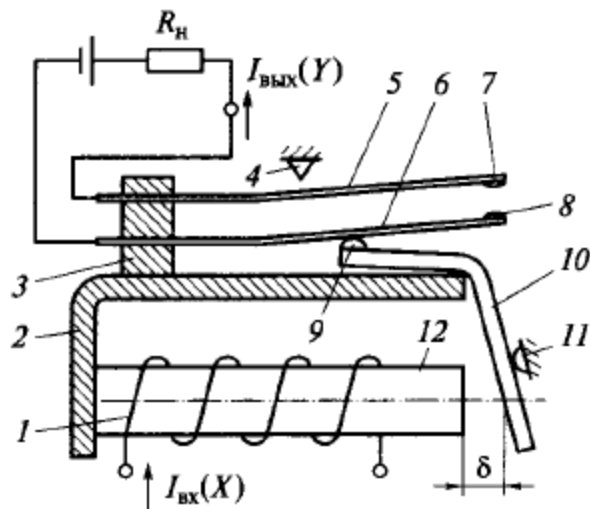


Рис. 8.2. Найпростіше електромагнітне реле з одним замикаючим контактним вузлом: 1 — обмотка; 2 — ярмо; 3 — ізоляційна планка; 4-11 — упори; 5, 6 — контактні пружини; 7, 8 — контакт-деталі; 9 — штовхальник; 10 — ярмір; 12 — сердечник

Електроμηχανічне *логічне* реле призначено для спрацьовування й відпускання (повернення у вихідний стан) при зміні вхідної величини, що впливає, не нормованої за значенням. Вхідна величина, що впливає, електроμηχανічного логічного реле - це електрична величина, на яку реле реагує, якщо та впливає на нього при заданих умовах. Існують номінальні значення, що рекомендують стандартами, і межі робочого діапазону величин, що впливають. Електроμηχανічні логічні реле підрозділяють на проміжні, вказівні й реле часу. Проміжне реле призначено для розмноження й посилення вступник до нього сигналу, вказівне реле - для вказівки спрацьовування й повернення у вихідний стан інших комутаційних апаратів, реле часу - для створення витримки часу.

Електроμηχανічне *вимірювальне* реле призначено для спрацьовування з певною точністю при заданому значенні або значеннях характеристичної величини. Характеристична величина електроμηχανічного вимірювального реле - це електрична величина, нормована за значенням і визначальною функціональною ознакою реле. Для її утворення необхідні одна або кілька вхідних величин, що впливають, електричного вимірювального реле.

Щоб усвідомити різницю між логічним і вимірювальним реле, зрівняємо два реле, що мають ту саму вхідну величину, що впливає, - електрична напруга. Логічне реле призначено для спрацьовування й повернення при дискретній зміні вхідної величини, що впливає, від логічного нуля до логічної одиниці (нет-да). У нашому прикладі це означає наступне: напруга не подана або подане на вхід реле. На відміну від логічного реле на вимірювальне реле напругу подається постійно, тобто вхідна величина вимірюється безупинно. Напруга для такого реле - не тільки вхідна що впливає, але й характеристична величина.

Максимальне електроμηχανічне реле — це вимірювальне електроμηχανічне реле, що спрацьовує при значеннях характерної величини, більших заданого значення. *Мінімальне* електроμηχανічне реле — це вимірювальне реле, що спрацьовує при значеннях характеристичної величини, менших заданого значення.

Уставка по характеристичній величині - задане значення характеристичної величини, при якому реле повинне спрацювати.

Вимірювальні реле бувають наступних видів: зі шкалою уставок, по якій у реле вводиться уставка по характеристичній величині; без шкали, але з можливістю зміни уставки; з фіксованим настроюванням на певне значення характеристичної величини.

На відміну від логічного реле на вхід (або входи) вимірювального реле одночасно можуть подаватися кілька вхідних величин, що впливають. Наприклад, на входи реле потужності подаються струм і напруга. Обидві ці величини формують одну характеристичну величину - потужність, уставка якої вводиться в реле по шкалі уставок. У вимірювального реле з однією вхідною величиною, що впливає, характеристична величина збігається з останньою. Виключення становить реле частоти, у якому характеристичною величиною є частота, а вхідний що впливає - напруга.

Під *спрацьовуванням електроμηχανічного реле* розуміють виконання цим реле функції, для якої воно призначено. *Повернення електричного реле* — це перехід реле у вихідний стан, у якому воно перебувало до спрацьовування.

Значення параметра спрацьовування (повернення) електроμηχανічного реле $X_{сп}(X_0)$ визначається значенням вхідної що впливає або характеристичної величини,

при якому реле відповідно спрацьовує або повертається при заданих умовах (рисунок 8.1).

Відношення значення параметра повернення до значення параметра спрацьовування називається *коефіцієнтом повернення*: для максимальних реле $K_n < 1$ (рисунок 8.1, а, б, г); для мінімальних $K_e > 1$ (рисунок 8.1, д). Чим ближче до одиниці значення коефіцієнта повернення, тим у більше вузьких межах реле буде здійснювати контроль вхідного параметра.

Для надійного спрацьовування логічного реле робоче значення X_p вхідної величини, що впливає, вибирають із деяким запасом (див. мал. 8.1, а). *Коефіцієнт запасу* по вхідній величині, що впливає.

В залежності від способу повернення реле (изменившого свій стан під дією вхідної що впливає або характеристичної величини) у колишній стан (після усунення цієї дії) розрізняють *одностабільні* (рисунок 8.1, а, б, м, д) і *дестабільні* (рисунок 8.1, в). Одностабільні реле повертаються самі, а для повернення двустабільного реле необхідно прикласти спеціальний вплив. У двустабільних електромеханічних реле фіксація стану здійснюється часі всього за допомогою магнітних або механічних блокувань.

Існують електромеханічні реле (як логічні, так і вимірювальні) з нормованим часом (нормується поточковості відліку одного або декількох значень часу, що характеризують реле) і з ненормованим часом. Задане значення витримки часу, після закінчення якого реле з нормованим часом повинне спрацьовати в певних умовах, називається *уставкой витримки часу*.

Проміжні й вказівні логічні реле - це реле з ненормованим часом, а реле часу - з нормованим. Розрізняють реле часу наступних видів: зі шкалою уставок витримки часу, з регульованою витримкою часу, без шкали уставок, з фіксованим настроюванням на певну витримку часу.

Вимірювальне реле з нормованим часом може бути з незалежною витримкою часу (витримка часу практично не залежить від значення характеристичної величини в заданих межах її зміни), із залежною витримкою часу (витримка часу заданим образом змінюється залежно від значення характеристичної величини) і з обмежено залежною витримкою часу. На мал. 8.3, а...у наведені три види залежності часу спрацьовування $t_{\text{порівн}}$ від струму I у максимальному реле струму. Іноді графік залежності має сходинку (мал. 8.3, г), що свідчить про різке зниження часу спрацьовування реле при струмах, рівних так названому струму відсічення I_7 і перевищуючих його.

Ппро рід керуючого струму рахпичають реле постійний і змінний токи. У деяких електромагнітних реле зміна роду струму керування вимагає тільки заміни котушки й зрідка інших деталей. Такі реле називають *універсальними*.

Електричні реле постійного струму, функціонування яких залежить від полярності їх вхідної величини, що впливає, називаються *поляризованими*.

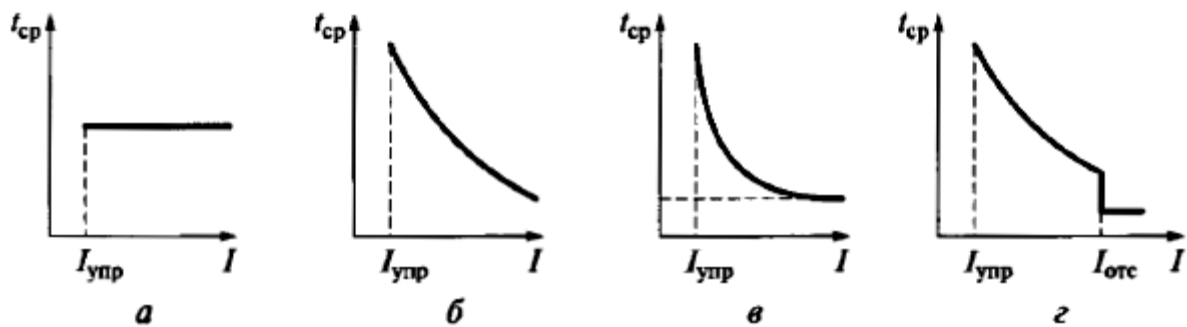


Рисунок 8.3 – Графіки залежності часу спрацьовування реле максимального струму від характеристичної величини

Провідна частина ланцюга контакту усередині реле, електрически ізольована від інших частин, якщо ланцюг контакту розімкнутий, називається *контактним елементом*. На мал. 8.2 один з контактних елементів являє собою сукупність деталей 5 й 7, а іншої — деталей 6 й 8. Частина контактного елемента, за допомогою якого безпосередньо відбувається замикання або розмикання контакту електричного реле, називається *контакт-деталлю* (деталі 7 й 8).

Сукупність контактних елементів з ізоляцією, які в результаті їхнього руху відносно один одного забезпечують замикання або розмикання ланцюга контакту, являє собою контактну групу електричного реле, або *контактний вузол* (наприклад, на рисунку 8.2 контактним вузлом є сукупність деталей 3, 5, 6, 7 й 8).

Функціонування реле залежить не тільки від вхідних величин, що впливають, але й від умов роботи. Умови роботи визначаються величинами, що впливають, і факторами, що впливають, які являють собою будь-які величини й фактори, здатні змінити хоча б одну із заданих характеристик реле (спрацьовування, повернення, точність і т.д.). Класифікація величин і факторів, що впливають на електричні реле, наведена на рисунку 8.4.

Комутаційні характеристики реле визначаються режимом роботи контактів реле, значеннями величин, що впливають, і факторів, умовами комутації.

Розрізняють два режими роботи реле: режим нормальних комутацій, коли контакт комутирує ланцюг багаторазово; режим граничних (рідких) комутацій, коли контакт комутирує ланцюг кілька разів або кілька десятків разів.

До умов комутації ставляться: тривалість включення, частота комутацій, характер і параметри комутирує цепи, що. Цими параметрами є: рід струму (постійна або змінний), частота змінного струму, напруга джерела, струм ланцюга до розмикання, співвідношення що замикає й розмика струмів.

При постійному струмі комутирує цепь, що, характеризують постійної часу електричного ланцюга $\tau = L/R$, де L — індуктивність; R — активний опір навантаження; при змінному струмі — зрушенням фаз ϕ між струмом ланцюга й напругою джерела, власною частотою f_0 і коефіцієнтом K_ϕ перевищення амплітуди прикладеної напруги над напругою, що відновлюється.

К найбільше комутаційним характеристикам, що вказують часто в технічній документації, реле ставляться:

- комутаційна зносостійкість - число циклів відключення-відключення-вмикання-відключення, гарантоване виготовлювачем при роботі реле в режимі нормальних комутацій при заданих умовах (напруга, постійна часу, $\cos \phi$ і т.д.);

- гранична комутаційна здатність циклічної дії - найбільше значення струму, що контакт реле може послідовно замикати й розмикати в режимі рідких комутацій при заданих умовах (напруга, число циклів, постійна часу, $\cos\phi$ і т.д.);
- гранична здатність, що відключає, - найбільше значення струму, що контакт реле здатний розмикати в заданих умовах.

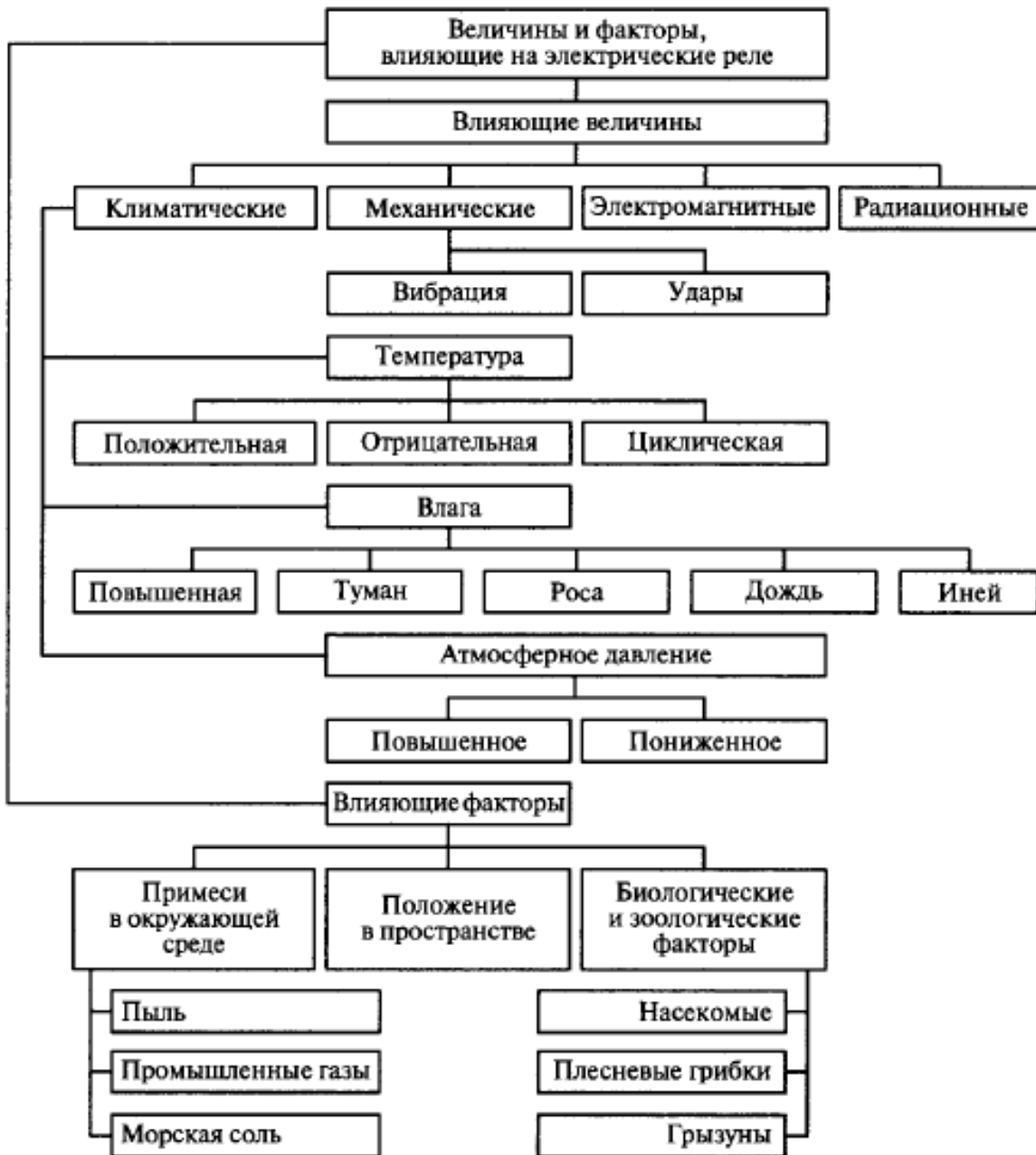


Рисунок 8.4 – Класифікація основних величин і факторів, що впливають на електричні реле

Характер навантаження, струм і напруга при випробуваннях на граничну комутаційну зносостійкість регламентуються категорією застосування реле.

Крім перерахованих можуть приводитися й інші комутаційні характеристики, наприклад мінімальні значення напруги й струму комутує цепи, що, число спрацьовувань і норми відмов для деяких значень напруги й струму, установлених за згодою між споживачем і виготовлювачем реле.

До характеристик контактів реле відносять:

- граничний тривалий струм кола контакту - найбільше значення струму, що попередньо замкнутий ланцюг контакту здатний витримати в заданих умовах протягом заданого короткого проміжку часу;

- опір контактів;

- електрична міцність межконтактного проміжку;

- число відмов (розрізняють тимчасову відмову - збій, що самоусувається при наступній комутації, і постійна відмова, що не усувається сам по собі).

При розробці електромеханічних реле виконують узгодження їх тягових і механічних характеристик. Тягова характеристика електромагнітного реле — це залежність електромагнітної сили P_{i4} (або електромагнітний момент $M_{\text{эм}}$), що діє (діючого) на якір і наведеної (наведеного) до робочого зазору b (див. мал. 8.2), від значення цього зазору (від кута a повороту якоря).

При спрацьовуванні реле електромагнітна сила (або електромагнітний момент) є рушійної, при поверненні - протидіючому руху якоря. Сила тертя робить протидію як при спрацьовуванні, так і при поверненні. Силоміць тертя будемо зневажати.

Тягова характеристика $P_{\text{ем}} = f(b)$ або $M_{\text{эм}} = f(a)$ при повільному переміщенні якоря (коли можна зневажити зміною струму в обмотці) називається статичної, а при швидкому — динамічної.

Під механічною характеристикою $P_x = f(b)$ або $M_{\text{мех}} = f(a)$ електромагнітного реле звичайно розуміють залежність сумарної сили (моменту) за винятком електромагнітної сили (електромагнітного моменту), що діє (діючого) на якір і наведеної (наведеного) до робочого зазору від значення цього зазору (від кута повороту якоря).

Механічна характеристика при повільному переміщенні (коли можна зневажити силами інерції мас, що рухаються) називається статичною механічною характеристикою (далі - просто механічної).

При спрацьовуванні реле механічні сили, як правило, протидіють руху якоря. Тому механічну характеристику іноді називають протидіючою. Однак при поверненні механічні сили є рушійними, внаслідок чого «протидіюча» менш удалий, чим «механічна».

Для нормальної роботи реле його динамічні тягові й механічні характеристики при спрацьовуванні й поверненні повинні бути погоджені.

Часто через схожість визначення динамічних характеристик обмежуються узгодженням тільки статичних характеристик. Приклад такого узгодження для реле, схематично зображеного на рисунку 8.2, показаний на рисунку 8.5. Статична тягова характеристика / при МРС обмотки F_{cp} , що відповідає спрацьовуванню реле, проходить вище, а статична тягова характеристика 2 при МРС обмотки F_{bi} відповідному поверненню реле, — нижче, ніж статична механічна характеристика 3 при всіх зазорах від δ_{min} до δ_{max} . Зазор δ_1 відповідає замиканню контакт-деталей 7 й 8 (рисунок 8.2), а зазор δ_2 — відхід пружини 5 нагору до упору 4.

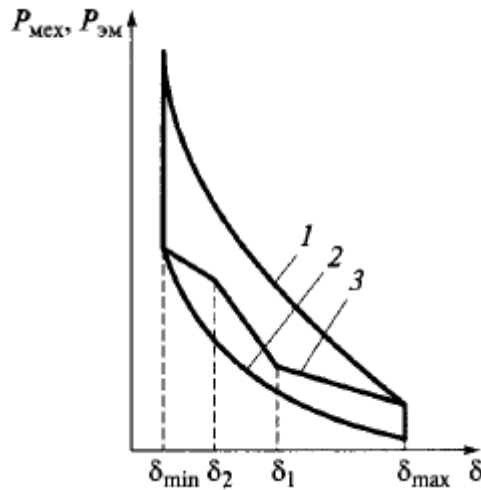


Рисунок 8.5 – Узгодження статичних тягових (1, 2) і механічної (3) характеристик реле, зображеного на рисунку 8.2

2 Електромагнітні реле

Електромагнітні реле — це електромеханічні реле, функціонування яких засновано на впливі магнітного поля нерухомої обмотки зі струмом на рухливий феромагнітний елемент, називаний якорем. Електромагнітні реле підрозділяють на властиво електромагнітні (іноді використовується термін «нейтральні електромагнітні»), що реагують тільки на значення струму в обмотці, і поляризован електромагнітні, функціонування яких визначається як значенням струму, так і його полярністю.

Електромагнітні реле для промислових автоматичних пристроїв займають проміжне положення між потужнострумівими комутаційними апаратами (контакторами, калиткою комутаційною електронною технікою) і слабкострумовою апаратурами. Найбільш масовим видом цих реле є реле керування електроприводами (реле керування), а серед них — проміжні реле. Для реле керування характерні повторно-короткочасний і переривчасто-тривалий режими роботи із числом комутацій до 3600 у годину при високій механічній і комутаційній зносостійкості (остання — до $6 \cdot 10^6$ циклів комутацій).

Прикладом проміжних реле є реле серії РПЛ, застосовувані для комутації ланцюгів постійного струму напругою до 440 В и змінного струму частотою 50 й 60 Гц напругою 660 В. Припустимий струм у тривалому режимі - 10 А. Випускаються реле двох модифікацій: РПЛ-1 з харчуванням вхідного ланцюга змінним струмом і РПЛ-2 з харчуванням постійним струмом. Конструктивно вони відрізняються друг від друга тільки магнітною системою.

Розглянемо роботу реле РПЛ-1, схематично зображеного на мал. 8.6. При подачі напруги на обмотку 11 у магнітопроводі виникає магнітний потік, що створює електромагнітну силу, що, переборюючи протидію поворотної пружини 2> переміщає якір 1 від упорів 3. Таким образом, щоб зменшити робочі зазори 5 й 6, магнітної системи. З якорем через тягу 6 і контактну пружину 5, розташовану на напрямній 7, зв'язаний контактний місток 8 із двома контакт-деталлями 9. При деякому положенні якоря останні стикаються з нерухомими контакт-деталлями 4. При подальшому русі якоря, аж до його кінцевого положення, відбувається збільшення контактного натискання через стиск контактної пружини 5. Одночасно контактний місток 8 переміщається нагору на відстань $D_{\text{н}}$, тому що напрямна 7 не

перпендикулярна містку. У результаті прослизання контакт-деталей відбувається самозачищення їхніх поверхонь під час роботи реле. При кінцевому положенні якоря його вібрація усувається дією короткозамкнутих витків 10.

Після зняття вхідного сигналу магнітний потік у магнітопроводі зменшується до залишкового значення. При деякому значенні потоку, більшому залишкового, сила, що розвиває деформованими при спрацьовуванні пружинами 2 й 5, стає більше електромагнітної сили. Якір повертається у вихідне положення, контакти розмикаються. Для зменшення залишкового потоку до значення, при якому виключається «залипання» якоря, у розглянутій конструкції зазор 5 приймається більшим зазору 5_н. Тому при $\delta = 0$ зазор $\delta > 0$.

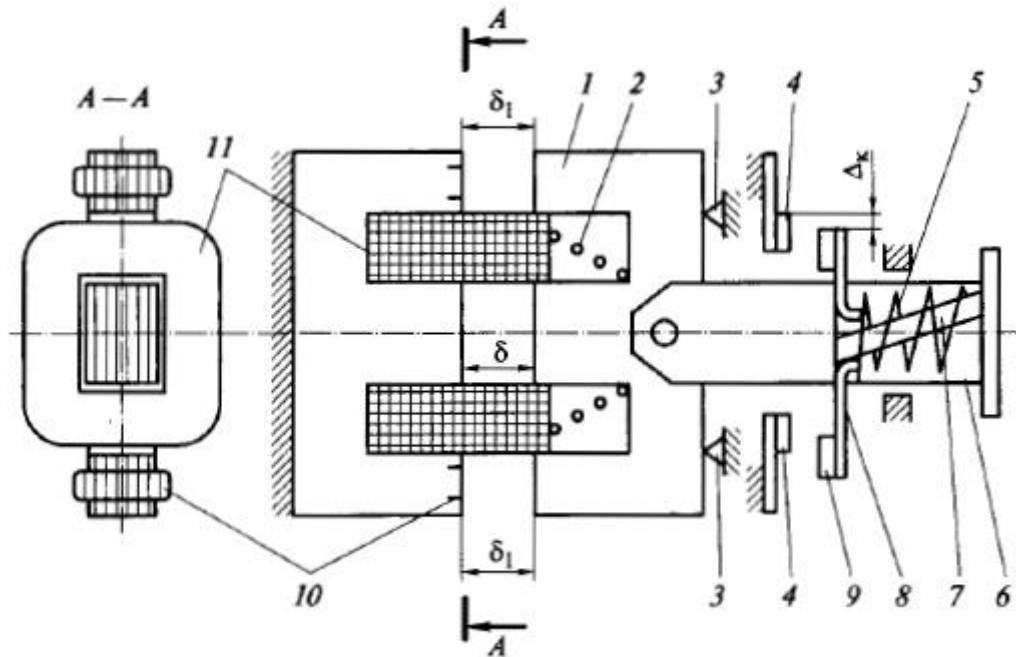


Рисунок 8.6 – Електромагнітне реле РПЛ-1:

1 — якір; 2, 5 — пружини; 3 — упори; 4 — нерухомі контакт-деталі; 6 — тяга; 7 — напрямна; 8 — контактний місток; 9 — контакт-деталі; 10 — коротко-замкнутий виток; 11 — обмотка

Електромагнітні реле захисту мають переважно тривалий режим роботи, тому пропонувані до них вимоги по механічній і комутаційній зносостійкості менш тверді, чим у випадку реле керування. Комутаційна зносостійкість реле захисту становить від 10^3 до $2 \cdot 10^4$ циклів.

Реле захисту повинне мати високий коефіцієнт повернення. Цього можна досягти наближенням тягової характеристики реле до механічного. Однак їхнє надмірне зближення при кінцевому положенні якоря приводить до неприпустимого зниження контактного натискання на замикаючих контактах.

Реле може працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Для усунення вібрацій якоря, що виникають при роботі на змінному струмі, застосовується гаситель коливань, у якому енергія коливання переходить у роботу тертя піщин.

Найбільш численними є електромагнітні реле радіоелектронних пристроїв. До них часто пред'являються вимоги комутувати як підвищені, так і знижені струми й напруги. Багато типів цих реле призначені для жорстких умов експлуатації, тобто при впливі постійних прискорень, вібрацій у широкому діапазоні частот, ударів, значних перепадів температури навколишнього середовища, атмосферного тиску й інших факторів.

Удосконалюванню конструкцій таких реле, поліпшенню їх технічних й експлуатаційних характеристик сприяли загальна тенденція мініатюризації апаратури, широке впровадження друкованого монтажу й успіхи в області безконтактної комутації. Існують конструкції, що містять в одному корпусі істинно електромагнітне реле й елементи електроніки (інтегральна схема, мікропроцесор), що дозволяє розширити функціональні й комутаційні можливості апарата, здійснювати контроль за станом контактів, реалізовувати оптимальний режим керування й т.д.

Найбільш характерними конструктивними особливостями більшості сучасних реле для радіоелектронних пристроїв є їхня герметичність, наявність урівноваженого якоря, кріплення елементів контактної вузла безпосередньо на металевих висновках, ізолюваних від цоколя скляними «слезками», використання температуростійких проводів й ізоляційних матеріалів. Це забезпечує надійну роботу реле при значних механічних і кліматичних впливах.

Одним з характерних прикладів реле для радіоелектронних пристроїв є реле РЭС-80 (рисунок 8.7), що має два контактних вузли.

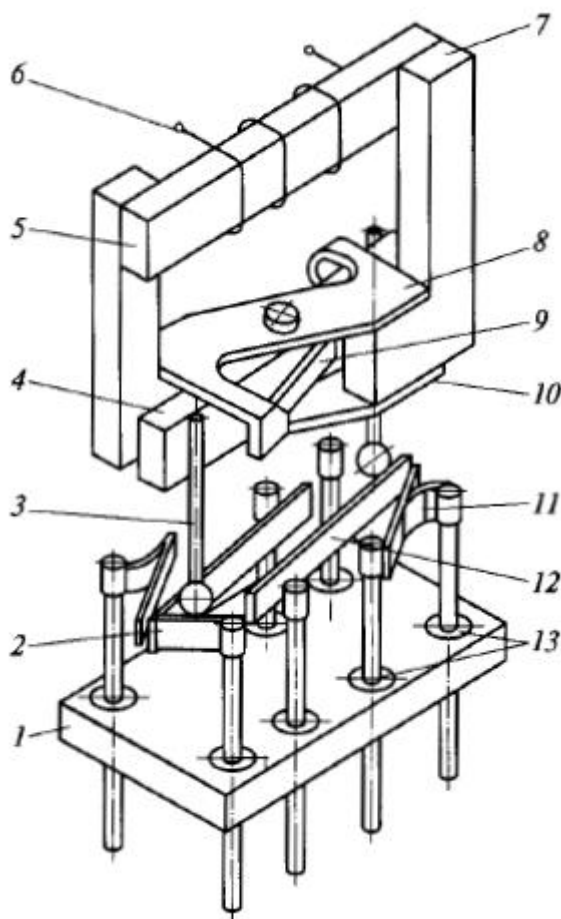


Рисунок 8.7 – Електромагнітне реле РЭС-80:

1 — цоколь; 2, 11, 12 — контактні пружини; 3 — штовхальник; 4 — якір; 5 — сердечник; 6 — обмотка; 7 — полюсний наконечник; 8 — планка; 9 — поворотна пружина; 10 — стійка; 13 — опори

Контактний вузол містить два перемикаючі контакти, кожний з яких має рухливі розмикальну 2 і замикаючу 11 контактні пружини, а також рухливу контактну пружину 12. Контактні пружини не мають прикріплених зосереджених контактів.

Для можливості комутації низьких струмів і напруг контактні пружини покриті тонким шаром золота. Зазначені деталі контактного вузла прикріплені до висновків, ізольованим від цоколя 1 скляними «слезками» 13.

Магнітна система реле містить два полюсних наконечники 7 L-образної форми, сердечник 5 й якор 4 із двома півсями цапфами. Полюсні наконечники приварені до стійки на планці 8. Виготовлені з нейзильберу цапфи якорі входять в отвори в стійці й планці. У вихідному положенні якор притиснутий до обмежувального упору на планці поворотною пружиною 9. Після зборки якоря з полюсними наконечниками до вільних кінців наконечників приварюють сердечник з попередньо надягнутої на нього обмоткою 6. По закінченні регулювання контактних вузлів магнітну систему встановлюють на цоколь. При цьому наявні на стійці 10 кінці (рисунок 8.7 не показані) вставляють у пази на цоколі (також не показані) і приварюють до нього. Перемикання контактів при повороті якоря здійснюється скляними кульками на штовхальниках, приварених до якоря.

Регулювання реле роблять зміною ходу якоря й вигином штовхальників. Після регулювання складальний вузол, що містить магнітну систему, контактний вузол і цоколь, закривають кожухом і герметично запаюють.

3 Реле індукційні

Індукційні реле засновані на взаємодії між індукованим у якомусь провіднику струмом і змінним магнітним потоком. Тому вони застосовуються тільки на змінному струмі як реле захисту енергосистем. Як правило, це вторинне реле непрямої дії.

Існуючі типи індукційних реле можна розділити на три групи: реле з рамкою, реле з диском, реле зі склянкою.

В індукційні реле з рамкою (рисунок 20-6) один з потоків (Φ_2) индуцирует струм у короткозамкненій обмотці, поміщеної у вигляді рамки в поле другого потоку ($\langle I \rangle$), зрушеного по фазі. Реле мають високу чутливість і найбільшу швидкодію в порівнянні з іншими індукційними реле. Недоліком їх є малий обертаючий момент.

Індукційні реле з диском широко поширені. Схема найпростішого реле такою типу (з короткозамкненим витком K и диском) наведена на мал. 20-6,». Реле мають порівняно просту конструкцію й досить великий обертаючий момент. Недоліком є вповільнена дія внаслідок великої інерції рухливої частини.

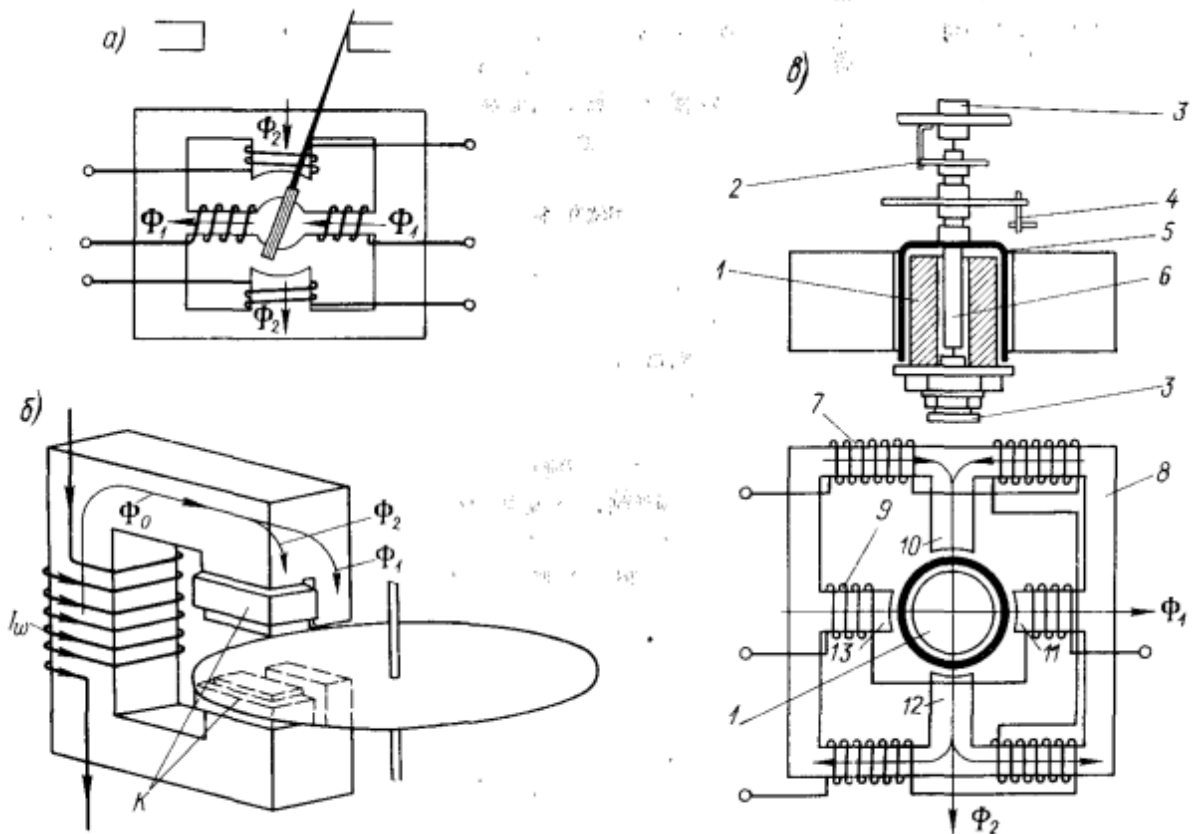


Рисунок 20-6 – Схема пристрою індукційних реле: а - з рамкою; б - з диском; в - зі склянкою
 1-сталевий циліндр; 2 - спіральна протидіюча пружина; 3 - підшипники; 4- допоміжні контакти; 5 - алюмінієвий стікан; 6 - вісь; 7, о-ірумібі котушок; 8 - ярмо; 10-13 – полюси

Індукційні реле зі склянкою (мал. 20-6, в) мають рухливу частину у вигляді склянки, що обертається в магнітному полі двох потоків чотирьохполюсної магнітної системи. Потоків Φ_1 і Φ_2 розташовані в просторі під кутом 90° , а за часом зрушені на кут γ . У середині склянки 5 проходить сталевий циліндр 1 для зменшення магнітного опору. Реле зі склянкою складніше реле з диском, але дозволяє одержати час спрацьовування до 0,02 с. Це істотне достоїнство забезпечило їм широке застосування.

Чотирьохполюсна магнітна система дозволяє без істотних змін одержувати різноманітні по призначенню реле й уніфікувати їхнє виробництво. Наприклад, якщо на полюсах // й 13 розмістити струмові котушки 9, а на ярмі — котушки напруги 7, то вони створять відповідно потоки Φ_1 і Φ_2 , пропорційні струму й напрузі. Взаємодія цих потоків з індуктованими в склянці 5 струмами створить в останньому обертаючий момент

$$M = k_1 \Phi_1 \Phi_2 \sin \gamma = k_2 IU \cos \varphi,$$

т. е. одержимо реле потужності.

При цій же конструкції можна одержати реле частоти, якщо на полюсах // й 13 розташувати котушки напруги 9 і з'єднати їх послідовно з резистором, а котушки 7 з'єднати послідовно з конденсатором. Якщо обидва контури (активні й індуктивно-емнісний) підключити на одна напруга, то створюваний у склянці 5 момент буде дорівнює

$$M = k_3 f \Phi_1 \Phi_2 \sin \gamma,$$

де f - частота струму.

Індуктивності котушок, ємність й опір підбираються так, що при заданій уставке по частоті потоки збігаються по фазі, т.с.угол дорівнює нулю. При зміні частоти потоки не збігаються по фазі, а знак кута їхнього зрушення буде залежати від характеру зміни частоти. При підвищенні або зниженні частоти відбувається поворот склянки в ту або іншу сторону й замикання (розмикання) тих або інших контактів.

Аналогічно різними комбінаціями котушок на сердечниках можна одержати й інших по призначенню реле.

Лекція №18

Тема: Комплектні пристрої.

Мета: Ознайомитися з типами комплектних пристроїв та їх призначенням.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Загальні відомості
- 2 Комплектні пристрої низьковольтні
- 3 Комплектні розподільчі пристрої високої напруги

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник.

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.

1 Загальні відомості

Комплектний пристрій (КУ) являє собою певним чином змонтований набір апаратів для розподілу електроенергії або керування електроприводами. Залежно від призначення пристрою в ньому можуть бути встановлені комутаційні й захисні апарати, прилади й пристрої автоматичного й неавтоматичного керування, вимірювальні, вказівні й сигнальні прилади.

Раніше багато КУ розроблялися споживачами, зокрема розподільні пристрої (особливо високовольтні) розроблялися будівельними організаціями стосовно до конкретних випадків, а окремі апарати поставлялися «розсипом» і монтувалися на будівельних майданчиках. Це вимагало окремих електротехнічних приміщень, значно здорожувало виробництво й подовжувало його тривалість, знижувало якість і надійність пристроїв, вимагало багато часу на їхнє налагодження.

Зараз КУ виготовляються, регулюються й испытуються на електротехнічних заводах. Споживачеві потрібно тільки їх установити й приєднати зовнішні проведення. Виготовлення КУ на заводі дозволяє уніфікувати їхні схеми й призначення, налагодити серійне й навіть масове їхнє виробництво, істотно підвищити їхню якість і надійність, знизити вартість. Через компактність і безпеку обслуговування КУ не вимагають спеціальних приміщень, можуть установлюватися, у виробничих приміщеннях поблизу приймачів, що забезпечує раціональну каналізацію енергії.

Конструктивно КУ виконуються у вигляді шаф і щитів, монтируемых на иолу з одностороннім або двостороннім обслуговуванням, або ящиків і шаф, монтируемых на стіні або вбудовують у стіпу. Апарати й прилади встановлюються в одному або декількох поруч розташованих ящиках або шафах. Оболонки захищають апарати від впливу вологи й пилу, а людей - від зіткнення зі струмоведучими частинами. Поділ пристроїв на окремі осередки полегшує одержання різних схем при наявності стандартних елементів. Відділення осередків сталевими стінками сприяє локалізації аварій, які можуть виникнути внаслідок перекидання дуги.

Заводське виготовлення КУ пред'явило ряд вимог до конструктивного виконання апаратів, основні з них - малі розміри, кратність розмірів по фасаду в апаратів па різні струми й однакові розміри по глибині, обмежений викид полум'я дуги, переднє приєднання й обслуговування тільки з передньої сторони, штепсельне приєднання й выкатное виконання (апарат виймається або викочується без від'єднання яких-небудь проводів), зниження потужності, виділюваної в апараті, з метою зниження нагрівання повітря усередині КУ. Нижче розглянуті деякі КУ низької й високої напруги.

На низьку напругу випускаються комплектні пристрої керування, розподілу електричної енергії й захисту, на високу напругу - комплектні розподільні пристрої.

2 Комплектні пристрої низьковольтні

Комплектні пристрої керування електроприводами виконуються у вигляді станцій і пультів керування.

Пристрій керування. Станцією керування називається КУ, об'єднане загальною конструкцією й зібране з окремих блоків, апаратів, приладів і сигнальних пристроїв, зв'язаних між собою по певній електричній схемі. Станції керування виконуються у відкритому (блоки керування, панелі керування, великоблочні щити

станцій керування) і захищеному (шафи керування, великоблочні щити станцій керування в шафах) виконаннях. Загальний вид станції керування відкритого виконання наведений на мал. 21-1. Аналогічні станції (блоки) вбудовуються в об'ємні закриті шафи й щити однобічного й двостороннього обслуговування, із проходом поза щита й усередині щита, зі стелажами для ящиків резисторів і без стелажів й інших модифікацій.

Пульт керування. Це - КУ, що складається з одного або декількох скріплених між собою корпусів, що мають форму стола з горизонтальною або похилою площиною (кришкою) (мал. 21 -2,л), на якій установлюються й монтуються апарати ручного керування, вимірювальні прилади, сигнальні пристрої, мнемонічна схема. Піднімальна верхня кришка й передні дверцята в корпусі забезпечують доступ до апаратів і схем, монтируємым на кришці й усередині корпуса.

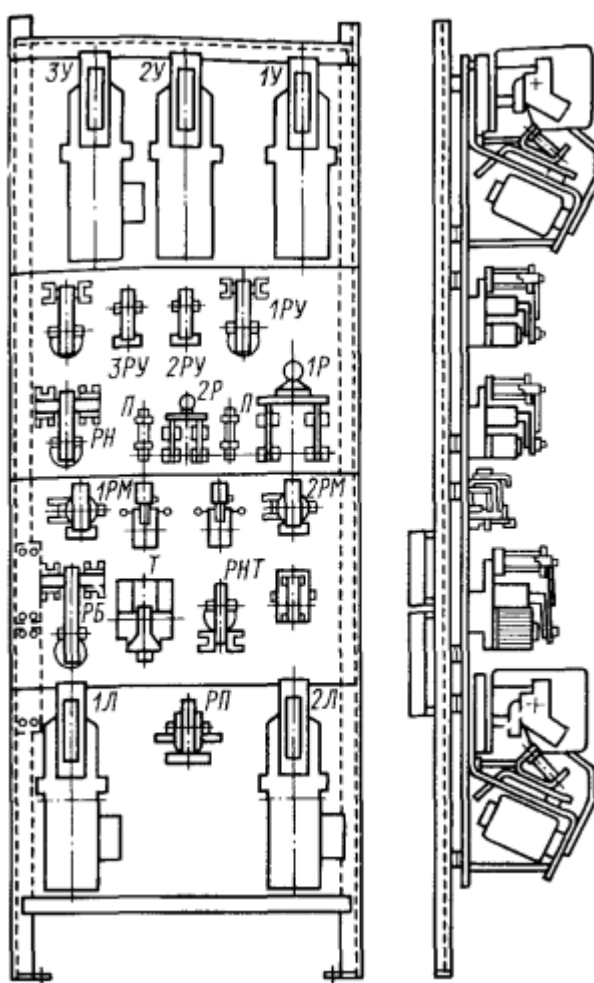


Рисунок 21-1 – Загальний вид станції керування відкритого виконання

Функціональне призначення апаратів: /Л. 2Л — лінійні контактори; 1У-3У— контактори прискорення; 1РУ-3РУ - реле прискорення; 1РМ, 2РМ -реле максимальні; РН — реле напруги; КЛУНЬ— реле напрямку струму; Г-реле гальмове; РБ- реле блокування; РП - реле проміжне; 1Р. 2Р -- рубильники; // - запобіжники

Заслужує уваги модульний принцип конструювання. Деяке обмежене число стандартних модулів (блоків), на зразок наведеного на рисунку 21-2 дозволяє

збирати безліч варіантів пультів, що відрізняються один від одного формою й розмірами, як це показано на мал. 21-2,б.

Пристрої розподільні збірні. Вони призначені для застосування як розподільні пункти силових й освітлювальних мереж, а також пристроїв керування електроприводами. Часто електричні апарати, прилади й сигнальні пристрої скомпоновані в типові блоки (ящики) 1, з яких комплектуються зборки (рисунок 21-3) по будь-якій електричній схемі. Ящики виконуються кратними по розмірах, у зборці комплектуються при будь-якому розташуванні й з'єднуються болтами.

Електричний монтаж виконується як по вертикалі, так і по горизонталі через вікна в ящиках. Вступні пристрої дозволяють приєднувати кабелі різних виконань. Ящики можуть бути пластмасовими або сталевими звареними.

Зборки класифікуються по номінальній напрузі й струму (до 660 У и 630 А), призначенню й електричним схемам, конструктивному й кліматичному виконанню, ступеню захисту й т.п.

При відносно обмеженому числі стандартних блоків (ящиків) можна одержати велику розмаїтість зборок й електричних схем їхнього з'єднання, що є безперечним достоїнством такого способу конструювання.

3 Комплектні розподільчі пристрої високої напруги

Типовий осередок комплектного розподільного пристрою (КРУ) з выкатным елементом показаний на рисунку 21-4 (виконується й без выкатного елемента). сталевому звареному каркасі, що обли сталевими аркушами, розміщені в отдель-ІХ відсіках збірні шини 3, верхні й нижні врубные контакти 2 й /, выключає» 1 на выкатной візку 7, трансформатори струму 6 і блок низьковольтних апаратур 4 (реле, прилади, ключі керування й т.п.).

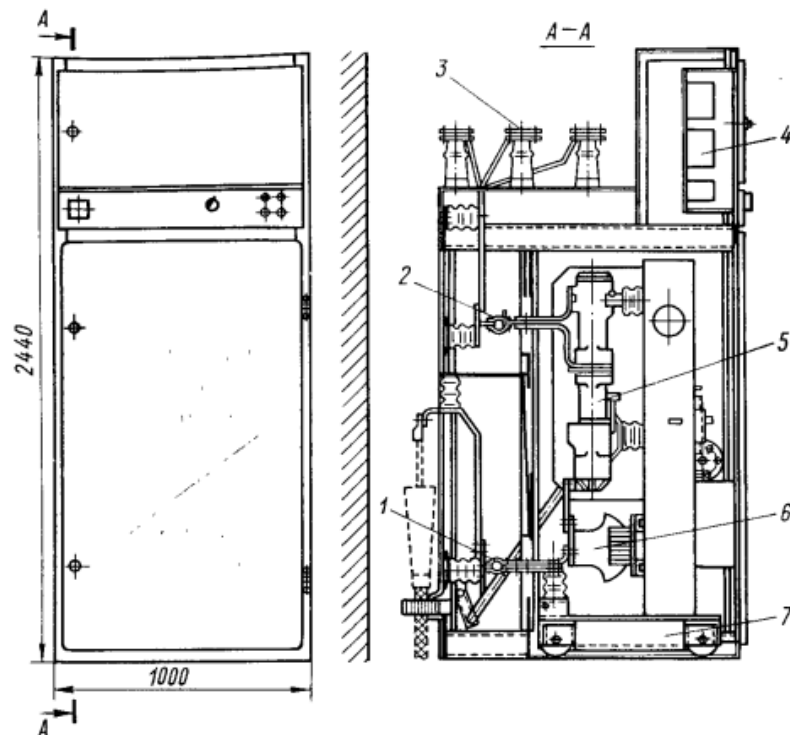


Рисунок 21-4 – Приклад осередку високовольтного комплектного розподільного пристрою (КРУ)

Викатний візок може займати три положення:

робоче - роз'єднувачі включені, всі апарати перебувають під напругою й робочими струмами;

проміжне - роз'єднувачі відключені, вимикач отсоединен від живильних шин, але блок 4 (ланцюг керування й сигналізації) включений, що дозволяє виконати перевірку механізмів вимикача;

ремонтне - всі ланцюги відключені.

У кожному положенні передбачені відповідні блокування, що забезпечують безпеку обслуговування.

З таких й аналогічних КРУ зі своїми схемами комплектуються щити підстанцій.

Лекція №19

Тема: Підсилювачі. Безконтактні вимикачі.

Мета: Ознайомитися з призначенням та принципом дії підсилювачів магнітних; принципом створення безконтактних вимикачів.

Методи: словесні, наочні.

План:

- 1 Загальні відомості
- 2 Підсилювачі магнітні
- 3 Принцип створення безконтактних вимикачів

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН: конспект, підручник.

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.

1 Загальні відомості

Сутність пристрою безконтактних апаратів полягає в тому, що сприйняття сигналів датчиків, обробка отриманої інформації, формування вихідних сигналів й, нарешті, видача стрибкоподібного сигналу, що викликає комутацію електричного ланцюга, не пов'язані з використанням відносного переміщення його механічних елементів і контактів.

Принцип дії цих апаратів може бути заснований на різних фізичних явищах, однак у всіх випадках їхня робота зводиться до зміни струму в електричному ланцюзі при впливі на них керуючих сигналів.

По характері реакції на керуючий сигнал безконтактні пристрої можуть бути розбиті на дві групи:

- 1) підсилювачі електричних сигналів;
- 2) статичні реле й безконтактні вимикачі.

Елементи першої групи характеризуються безперервною й плавною залежністю вихідного параметра, наприклад струму або напруги, від вхідного (керуючого) сигналу й одержали назву підсилювачів. Вони є основою регуляторів.

Елементи другої групи характеризуються стрибкоподібною зміною вихідного сигналу залежно від керуючого сигналу, тобто працюють у релейному режимі. Ці елементи розглянемо аналогічно контактним апаратам по виконуваних функціях: як реле, вимикачі й контактори.

Принцип дії обох груп елементів заснований на підсилювальних властивостях спеціальних приладів і пристроїв. Так, в електронних і напівпровідникових елементах використовуються підсилювальні властивості електронних ламп і напівпровідникових приладів. У магнітних підсилювачах використовується властивість дроселів змінювати свій індуктивний опір при підмагнічуванні постійним струмом, при цьому поза залежністю від принципу дії підсилювачів їхньою загальною властивістю будь посилення електричних сигналів, тобто можливість керування великою потужністю за допомогою електричних сигналів малої потужності.

Підсилювачі практично входять до складу будь-яких систем автоматичного регулювання й керування. Вони використовуються для посилення, перетворення й підсумовування сигналів різних датчиків, керуючих виробничим процесом.

2 Підсилювачі магнітні

Магнітні підсилювачі являють собою дросели зі сталевим магнітопроводом, що включають у ланцюг змінного струму. Шляхом підмагнічування цих дроселів постійним струмом можна в широких межах змінювати змінний струм у регульованому ланцюзі. Існує велика розмаїтість схем магнітних підсилювачів, однак найбільше поширення одержала так називана схема із самоіндуктивним, що володіє найбільш високим коефіцієнтом підсилення й швидкодією. Тому надалі опис роботи магнітних підсилювачів буде дано стосовно до цієї схеми.

Принципова схема такого магнітного підсилювача зображена на рисунку 22-1. Як видно з малюнка, магнітний підсилювач складається із двох однакових магніто-проводів 1, виготовлених з листової електротехнічної сталі. Бажано, щоб сталь магнітопроводів мала велику магнітну проникність і різко вираженим насиченням. Для потужних магнітних підсилювачів застосовуються листові

електротехнічні сталі (марки 3411 - 3414), для підсилювачів малої потужності - сплави заліза з нікелем (пермаллой) і ін.

На кожному магнітопроводі розташована робоча обмотка 2 й 2' із числом витків w_p . Початку обмоток позначені жирною крапкою. Обидві обмотки включені паралельно й зустрічно. Послідовно з кожною обмоткою включені напівпровідникові діоди (вентилі) $VD1$ й $VD2$. Схема може працювати й без цих вентилів, однак вони надають магнітному підсилювачу додаткові позитивні якості — збільшують коефіцієнт підсилення й швидкодія, тому сучасні магнітні підсилювачі, як правило, збираються але цій схемі. Послідовно з магнітним підсилювачем у ланцюг змінного струму, що харчує напругою U_{\sim} , включене навантаження.

Обмотка керування 3 із числом витків w_y охоплює обоє магнітопровода одночасно. Керуючий сигнал U_f погавкає на цю обмотку. Якщо керуючих сигналів трохи, то відповідно на магнітопроводах розташовують і кілька обмоток керування.

Робота магнітного підсилювача пояснюється кривими на рисунку 22-2.

Через наявність вентилів $VD1$ й $VD2$ кожна робоча обмотка може проводити струм тільки протягом одного полунеріода живлячої напруги U_{\sim} . Тому, розглядаючи роботу підсилювача протягом першого напівперіоду (інтервал часу від 0 до π), обмежимося аналізом процесів тільки в магнітопроводі 1. Припустимо, що по обмотці керування протікає струм I_y , що створює МДС $F_y = I_y W_y$. Тоді до початку першого напівперіоду в магнітопроводі буде вже створений початковий потік Φ_0 , обумовлений по кривій намагнічування магнітопровода (мал. 22-2,а). Під дією напруги живлення, прикладеного до робочого магнітопровода 1, буде відбуватися подальше перемагнічування магнітопровода, представлене кривій на рисунок 22-2. Цей процес буде тривати доти, поки магнітонровод не буде насичений. Час, протягом якого відбувається перемагнічування магнітопровода, називається інтервалом порушення й характеризується кутом насичення (рисунок 22-2,б). В інтервалі порушення через велику індуктивність дроселя вся напруга живлення практично прикладається до дроселя й у навантаженні протікає лише невеликий струм, що намагнічує.

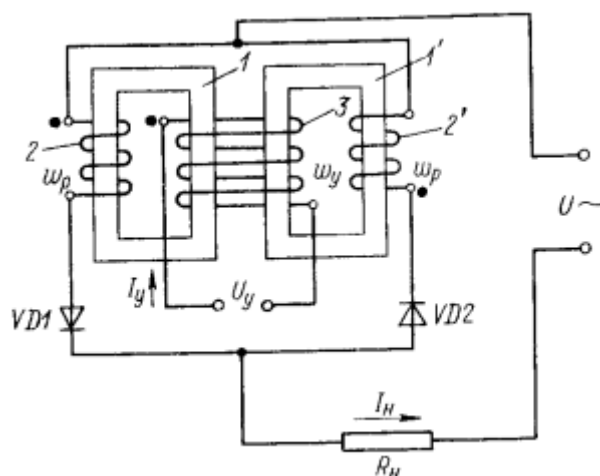


Рисунок 22-1 – Схема магнітного підсилювача із самопідмагнічуванням і виходом на змінному струмі

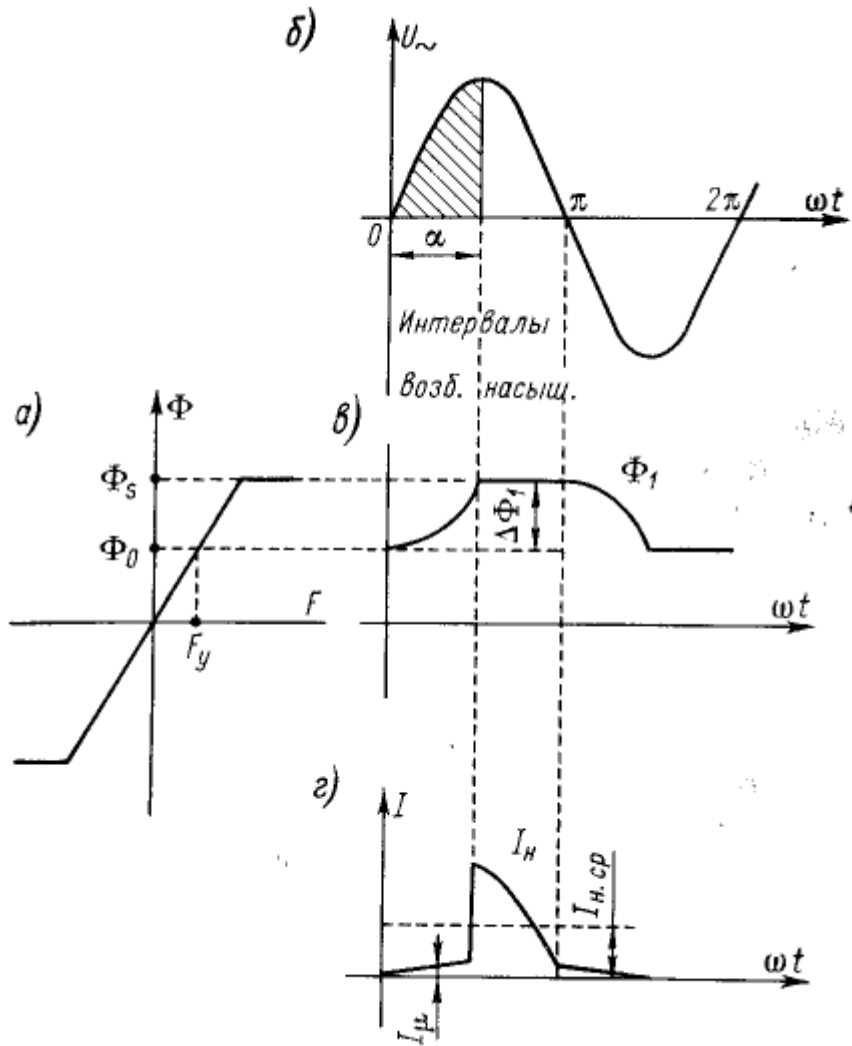


Рисунок 22-2 – Криві зміни напруги, потоку сердечника й струму магнітного підсилювача

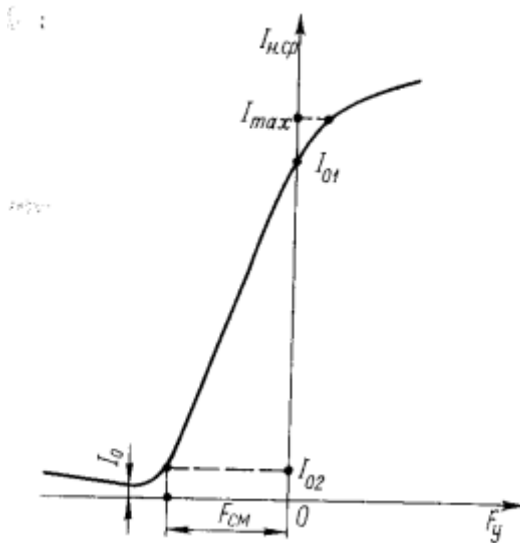


Рисунок 22-3 – Характеристика магнітного підсилювача із внутрішнім зворотним зв'язком

Коли магнітопровід буде насичений, наступить інтервал насичення, що триває до кінця напівперіоду. У цьому інтервалі потік магнітопровода не змінюється, тому індуктивність дроселя мала й вся напруга живлення прикладається до навантаження. Струм у навантаженні різко зростає до значення, обумовленого опором навантаження, і протікає протягом усього інтервалу насичення, тобто від моменту насичення магнітопровода, обумовленого кутом α , до кінця напівперіоду, тобто до π . Протягом іншого напівперіоду працює магнітопровід 2, причому процеси протікають аналогічно.

Таким чином, роль дроселів зводиться до затримки початку протікання струму в навантаженні. Тривалість цієї затримки визначається кутом насичення α . Середнє значення струму в навантаженні визначиться з вираження

$$I_{н.ср} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{\sqrt{2} U_{\sim} \sin \omega t}{R_{н}} d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_{\sim}}{\pi R_{н}} (1 + \cos \alpha), \quad (22-1)$$

звідки видно, що струм $I_{н.ср}$, порівняно дійсно залежить від кута насичення α .

У свою чергу, кут насичення α залежить від ступеня початкового намагнічування магнітопровода, тобто від потоку Φ_0 . Дійсно, зміна потоку Φ протягом інтервалу порушення може бути визначене з вираження

$$\Delta \Phi_1 = \Phi_1 - \Phi_0 = \frac{1}{\omega W_p} \int_0^{\alpha} U_{\sim} \sin \omega t d\omega t, \quad (22-2)$$

тобто збільшення потоку Φ , пропорційно площі, обмеженої кривою напруги в межах інтервалу порушення (на мал. 22-2,6 ця площа заштрихована). Чим більше потік Φ_0 початкового намагнічування, тим менше різниця $d\Phi = \Phi_1 - \Phi_0$, тим менше кут α й більше струм навантаження $I_{н.ср}$.

Таким чином, шляхом зміни початкового подмагнічування дроселя можна регулювати струм у навантаженні. Залежність середнього значення струму навантаження від МРС обмотки керування реального підсилювача представлена на рисунок 22-3. Як видно з малюнка, характер цієї залежності такий, що при відсутності струму керування на виході магнітного підсилювача вже є значний струм навантаження (рисунком 22-3). Якщо потрібно, щоб при відсутності сигналу керування струм на виході підсилювача (початковий струм навантаження) був близький до нуля або мав яке-небудь інше певне значення, то на магнітопроводах підсилювача розташовують додаткову обмотку, називану обмоткою зсуву, що харчує від стороннього джерела й що створює МРС F_t . У цій обмотці встановлюють необхідний струм зсуву, що забезпечує необхідне значення початкового струму магнітного підсилювача (рисунком 22-3).

З характеристики на мал. 22-3 також видно, що за допомогою магнітного підсилювача не можна повністю замкнути ланцюг навантаження, тобто знизити струм навантаження до нуля. Навіть при великому негативному струмі керування в ланцюзі навантаження протікає струм холостого ходу, обумовлений МДС, необхідної для перемагнічування магнітопроводів. Тому однієї з характеристик магнітного підсилювача є кратність струму навантаження, тобто відношення

максимального струму навантаження наприкінці лінійної частини характеристики до струму холостого ходу:

$$k_i = I_{\max} / I_0. \quad (22-3)$$

У серійних підсилювачах значення цієї величини лежать у межах 10-30. Підсилювальні властивості магнітних підсилювачів визначаються їхніми коефіцієнтами підсилення:

$$k_{yc} = P_n / P_y. \quad (22-4)$$

Потужність навантаження P_n перебуває по формулі

$$P_n = U_{\text{НОМ}} I_{\text{НОМ}}, \quad (22-5)$$

де $U_{\text{НОМ}}$ й $I_{\text{НОМ}}$ — номінальна напруга й струм навантаження підсилювача.

Під потужністю керування P_y розуміють втрати в опорі обмотки керування z_y від струму керування, що забезпечує номінальний струм навантаження :

$$P_y = r_y I_{y,н}^2. \quad (22-6)$$

Коефіцієнт підсилення залежить від конструктивних параметрів магнітного підсилювача, зокрема від обсягу міді обмотки керування. Чим більше мели, тим більше *шмат*. Залежно від призначення підсилювачів їхній коефіцієнт підсилення варіюють у широких межах - від десятків одиниць до десятків тисяч. Наприклад. Для серійного підсилювача ТУМ-4А-11 маємо:

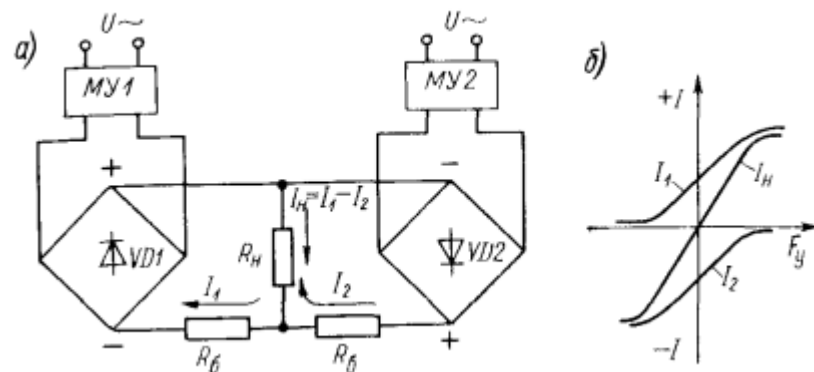


Рисунок 22-4 - Схема (а) і характеристика (б) двотактного магнітного підсилювача

Важливим параметром магнітних підсилювачів є також їхня швидкодія, тобто швидкість установлення вихідної напруги при подачі сигналу управле-

ння. Тому що вихідна напруга й струм визначаються значенням кута насичення, а він залежить від початкового потоку Φ_0 , то в остаточному підсумку швидкодія визначається швидкістю встановлення потоку Φ_0 . Установлення потоку Φ_0 відбувається за показовим законом з постійної часу T :

$$\Phi_0 = \Phi_{0\text{уст}} (1 - e^{-t/T}), \quad (22-7)$$

де $\Phi_{0\text{уст}}$ - стале значення потоку.

Швидкість установлення потоку повністю характеризується постійної T , причому повний час установлення приймається рівним $3T$. Постійна часу T залежить від співвідношення індуктивності й опору обмотки керування, а також від параметрів робочих обмоток. Хоча точний аналіз впливу конструктивних параметрів магнітного підсилювача на T дуже складний, можна вважати, що

збільшення опору ланцюга керування приводить до зменшення T , а збільшення кількості міді обмоток керування й робітників обмоток — до збільшення T . Тому що коефіцієнт підсилення також пропорційний кількості міді, те, отже, збільшення ft^{\wedge} неминуче приводить до збільшення T , тобто до зменшення швидкодії підсилювача. У реальних підсилювачах T лежить у межах від сотих до декількох десятих часток секунди.

Из принципу дії магнітного підсилювача треба, що його робота можлива лише при живленні змінним струмом. Однак його навантаженням можуть бути й споживачі постійного струму, наприклад обмотки збудження електричних машин, якір машини постійного струму, акумуляторна батарея в режимі заряду й т.п. У цьому випадку на виході підсилювача включають випрямляч, що забезпечує живлення навантаження випрямленим постійним струмом; отже, струм навантаження може мати тільки один напрямок, тому що струм іншої полярності випрямлячем не пропускається. У тих випадках, коли потрібне реверсування струму навантаження, використовують більше складні схеми — так називані схеми двотактних магнітних підсилювачів. Одна з розповсюджених схем двотактного підсилювача наведена на мал. 22-4,4, а його характеристика - на мал. 22-4,6. У схемах обов'язково потрібно два або більше підсилювачі ($MU1$ і $MU2$) і баластові опори $R_{\text{ф}}$, які запобігають короткому замиканню в контурі, утвореному в схемі послідовним з'єднанням підсилювачів.

Струм навантаження в цій схемі є різницею струмів I_1 і I_2 обох магнітних підсилювачів. Обмотки керування підсилювачів включені послідовно й зустрічно. Тому при збільшенні струму керування в одному напрямку струм одного підсилювача збільшується, а іншого — падає (мал. 22-4, б). Різниця струмів у навантаженні при цьому зростає. Збільшення струму керування в іншому напрямку приводить також до зростання струму навантаження, але вже при іншій полярності. Недоліками двотактних схем є необхідність наявності двох підсилювачів і більші втрати в баластових опорах. Коефіцієнт корисної дії кращих двотактних підсилювачів не перевищує 30-45%.

Достоїнства магнітних підсилювачів (простота конструкції, відсутність частин, що рухаються, і потреби у відході, великий термін служби, високий коефіцієнт підсилення, можливість простого підсумовування сигналів на вході підсилювача) обумовили їхнє широке поширення в автоматичі. Вітчизняна промисловість випускає різноманітні асортименти магнітних підсилювачів найрізноманітнішого призначення.

Серія однофазних і серія УМ-3П трифазних підсилювачів потужністю від 70 Вт до 18 кВт призначені для роботи як джерела регульованої постійної напруги для живлення різноманітних споживачів постійного струму.

Для регулювання струму в потужних силових ланцюгах застосовуються магнітні підсилювачі серії УСО (підсилювачі силові однофазні). Вони дозволяють плавно регулювати струм і напруга в ланцюгах потужністю 5 -250 кв-А. На мал. 22-5 зображені регульовальна характеристика УСО і його принципова схема.

Підсилювачі серії ТУМ потужністю 2 - 40 Вт (рисунок 22-6) використовуються як підсилювальні елементи в системах автоматики. Спеціальні підсилювачі серії ВУМ служать для посилення малопотужних сигналів, одержуваних від логічних схем, до значень, при яких можливо управляти різними виконавчими електромагнітними пристроями.

Трансформатор постійного струму являє собою магнітний підсилювач, робочі обмотки якого розташовані на тороидальних магнітопроводах і харчуються від спеціального генератора або від мережі змінного струму. Роль обмотки керування грає або сама шина постійного струму, що проходить мері» вікна магнітопроводов, або при більших струмах шунт. Останній являє собою провідник, що також проходить череп вікна магнітенроводов і приєднаний до шини у двох крапках на відстані, що забезпечує необхідне спадання напруги. Ці трансформатори перетворюють більші постійні струми в пропорційні їм струми такого значення, що останні можуть бути обмірювані стандартними приладами. Одночасно трансформатори струму гальванически відокремлюють силовий ланцюг від вимірювальної, що особливо важливо при використанні їх у системах автоматики. Вони випускаються на струми від декількох сотень амперів до декількох десятків тисяч ампер (І533 - 300 А. І541 - 10000 А).

3 Принцип створення безконтактних вимикачів

Як уже вказувалося, напівпровідникові прилади типу транзистора й тиристора в принципі придатні для комутації - включення й відключення електричного ланцюга. Керування комутацією здійснюється подачею відповідних імпульсів струму на керуючий електрод. Зростаючі вимоги до надійності систем електроустаткування, особливо автономних систем (літакові, суднові й т.п.), визначають необхідність переходу від традиційних контактних апаратів до безконтактних пристроїв комутації й захисту мереж постійний і змінний токи. Однак при використанні напівпровідникових приладів для комутації силових ланцюгів варто враховувати специфічні властивості цих приладів, що відрізняють їх від вимикачів з металевим контактом.

Одна з основних особливостей - це підвищене в порівнянні з металевим контактом спадання напруги на напівпровідниковому контакті - від часток вольтів до декількох вольтів. Це приводить до значного виділення потужності й, отже, нагріванню контакту. Тому напівпровідникові прилади вимагають інтенсивного охолодження - повітряного або водяною.

У перехідних режимах й особливо при аварійній ситуації, наприклад при коротких замиканнях, можливі помітні токи, у багато разів перевищуючі номінальні значення. Тривалість цих кидків звичайно невелика, вони припиняються або внаслідок загасання перехідного процесу, або внаслідок захисного відключення. Для металевих контактів вони не представляють небезпеки- Інакше обстоит справа з напівпровідниковим контактом, що являє собою кристал напівпровідника обсягом не більше десятків кубічних міліметрів і тому з малою теплоємністю. При раптовому збільшенні струму, тобто потужності

Втрат, теплота не встигає приділятися

став л, у якому виділяється ця теплота, починає нагріватися з великою швидкістю. Тому що припустима температура нагрівання кристала невелика — від 160 До 200°С, те напівпровідниковий прилад може дуже швидко вийти з ладу. Тому одним з важливих показників короткочасної перевантажувальної здатності приладу є величина (інтеграл Джоуля)

$$A = I^2 t. \quad (23-8)$$

Вона характеризує максимально припустиму енергію, що прилад може розсіяти в умовах, коли практично відсутній відвід теплоти.

Зі сказаного бачимо, що надійна робота напівпровідникового комутатора можлива лише за умови, що раптові кидки струму будуть або обмежуватися, або відключатися з достатньою швидкістю, тобто в безконтактній системі природно сполучати функції комутації навантаження з її обмеженням і захистом мережі в тому самому пристрої. Це виявляється можливим завдяки чудовій властивості самих напівпровідникових приладів - їхній швидкодії. Швидкість включення кращих типів тиристорів - порядку 10 мкс, а в транзисторів ще вище - до 0,5 мкс. Цього цілком достатньо для відключення ланцюга раніше, ніж гок короткого замикання зросте до неприпустимого значення. Тим більше, що швидкість наростання аварійних струмів може бути знижена включенням невеликих реакторів у струмовий ланцюг.

Обмеження струму можна досягти шляхом переключення приладу в режим періодичного перемикавання з необхідним коефіцієнтом заповнення. Такий режим звичайно використовується в транзисторних комутуючих пристроях постійного струму.

Інша особливість напівпровідникових комутуючих пристроїв - збереження гальванічного зв'язку відключеної частини ланцюга із джерелом внаслідок недосконалості напівпровідникового контакту, тобто наявності струмів витоку в режимі відключення. Цей недолік усувають, включаючи послідовно роз'єднувач - металевий контакт, що комутує коло тільки в знеструмленому стані.

Таким чином, комутуючий пристрій на напівпровідникових приладах обов'язково повинне доповнюватися спеціальною схемою контролю й захисту, а також роз'єднувачем.

Лекція №20

Тема: Принцип будови електронних апаратів.

Мета: Ознайомитися з принципом будови електронних апаратів.

Методи: словесні, наочні.

План:

1 Загальні відомості

2 Робота напівпровідникового діода в режимі перемикання

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, підручник.

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.

1 Загальні відомості

Одним із самих значних винаходів ХХ в. є напівпровідникові прилади, які зробили революцію в апаратостроєнні й дозволили людству зробити величезний стрибок на шляху прогресу. Застосування напівпровідникових приладів значно розширило можливості апаратів: збільшило їхню надійність, знизило витрати енергії на керування, усунуло обмеження по строку експлуатації, на порядок і більше підвищило частотні властивості й т.д. За допомогою напівпровідникових приладів можна створити практично будь-який електронний апарат із заданим алгоритмом роботи й практично нескінченним строком експлуатації. Точність установки моментів і порогів спрацьовування електронних апаратів у багато разів вище, ніж в електричних апаратів з механічним, електричним, гидро- або пневмоприводом. Якщо в електричних апаратах згодом відбувається зміна настроювань внаслідок зміни фізичних властивостей і зношування елементів конструкції, то в електронних апаратах настроювання зберігаються протягом усього терміну служби. У паспортах електричних апаратів завод-виготовлювач указує гарантоване число перемикачів, після перевищення якого апарат може вийти з ладу. В електронних апаратах такого параметра немає. Відсутність контактних пар в електронних апаратах дозволило усунути такі явища, як іскріння й утворення електричної дуги, які істотно знижують надійність і термін служби електричних апаратів.

Немає таких галузей науки й техніки, де б не використалися електронні апарати. Саме широке застосування вони знаходять й у побуті. Електронні апарати виконуються як на окремих дискретних напівпровідникових елементах, так і на аналоговій і цифровій інтегральній мікросхемах. Відносно висока вартість електронних апаратів компенсується значним зниженням витрат на їхню експлуатацію й обслуговування. До того ж вартість електронних апаратів постійно знижується завдяки вдосконалюванню технологічних процесів і збільшенню обсягів випуску.

До недоліків електронних апаратів крім їхньої високої вартості можна віднести обмеження комутуємої потужності, необхідність додаткового джерела живлення й відмови в роботі при впливі радіаційного випромінювання.

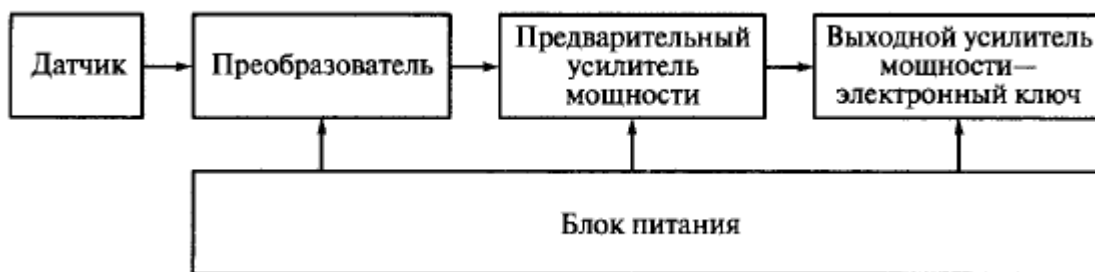


Рисунок 10.1 – Структурна схема електронного апарата

Структурна схема електронного апарата представлена на мал. 10.1. Залежно від призначення електронного апарата в його структурній схемі можуть відсутнювати ті або інші блоки. Наприклад, в електронному реле напруги, призначеній для роботи в ланцюгах постійного струму, будуть відсутні перетворювач і блок живлення.

Як елементна база електронних апаратів використовуються резистори, конденсатори, котушки індуктивності, трансформатори, напівпровідникові діоди, біполярні й польові транзистори різних типів, тиристори, симистори й ін. Найчастіше перераховані елементи в електронних апаратах працюють у режимі ключа, причому в широкому діапазоні частот.

2 Робота напівпровідникового діода в режимі перемикання

В електронних апаратах напівпровідникові діоди працюють як перетворювачі змінної напруги в постійне, а також використовуються для захисту від перенапруг і зворотних напруг.

Розглянемо особливості роботи діода в режимі перемикання. У схемі, представленої на мал. 10.2, на діод подається змінна напруга прямокутної форми. При переході напруги через нульове значення діод повинен перейти із провідного стану в закриті, і навпаки.

У випадку впливу синусоїдальної напруги при підході його до нуля похідна du/dt відносно невелика. При возлействии ж напруги прямокутної форми du/dt теоретично наближається до нескінченності. Діод реагує на ці перепади напруги по-різному.

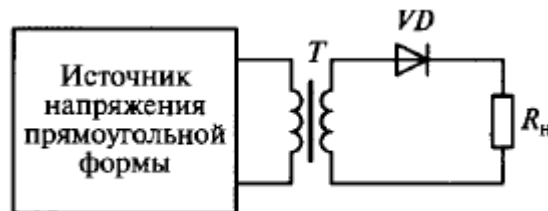


Рис. 10.2. Схема підключення діода до джерела напруги прямокутної форми: T — трансформатор; VD — діод; R_H — навантажувальний резистор

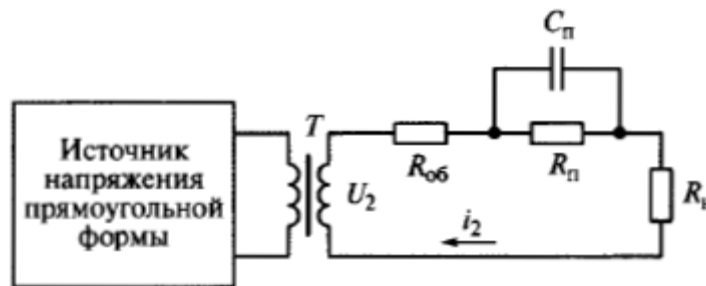


Рис. 10.3. Схема заміщення діода, підключена до джерела напруги прямокутної форми:

$R_{об}$ — об'ємний опір p і n областей; R_n — активний опір і ємність $p-n$ -переходу

Для якісної й кількісної оцінки процесів, що протікають у діоді, зручно скористатися його упрощеною схемою заміщення. У цьому випадку ланцюг, представлений на рисунку 10.2, прийме вид, наведений на рисунку 10.3. Процеси, що протікають у такому колі, представлені на рисунку 10.4.

Коли в інтервалі часу із вторинної обмотки трансформатора знімається пряма напруга U_{2np} (рисунк 10.4, a), через діод і навантаження протікає струм

$$I_{np} = \frac{U_{2np} - U_{VDnp}}{R_H}$$

Тому що практично для всіх діодів пряме спадання напруги U_{VDnp} перебуває в межах $0,7 \dots 1,5$ В, то за умови $U_{2np} > U_{VDnp}$ вираз для струму приймає вид

$$I_{\text{пр}} = \frac{U_{2\text{пр}}}{R_{\text{н}}}$$

При зміні полярності напруги в момент часу t струм у діоді повинен бути дорівнює $I_{\text{пр}}$. Однак через те що ємність $p\text{-}n$ -перехода C починає перезаряджатися, у перший момент часу має місце кидок (імпульс) зворотного струму (рисунок 10.4, б), величина якого обмежується тільки опором навантаження:

$$I_{\text{обр.имп}} = \frac{U_{2\text{обр}}}{R_{\text{н}}}$$

Оскільки подаване в ланцюг напруга $U_{2\text{обр}} = U_{2\text{пр}}$, то $I_{\text{обр}} = I_{\text{пр}}$. Таким чином, час протікання великого зворотного струму визначається величиною C . Цей час називають часом розсмоктування надлишкових носіїв. Після закінчення процес розсмоктування триває ще якийсь час через носії, що залишилися, $p\text{-}n$ -переході. Цей час називають часом зрізу й позначають. Час відновлення зворотного опору напівпровідникового діода:

$$t_{\text{восст}} = t_{\text{рас}} + t_{\text{ср}}$$

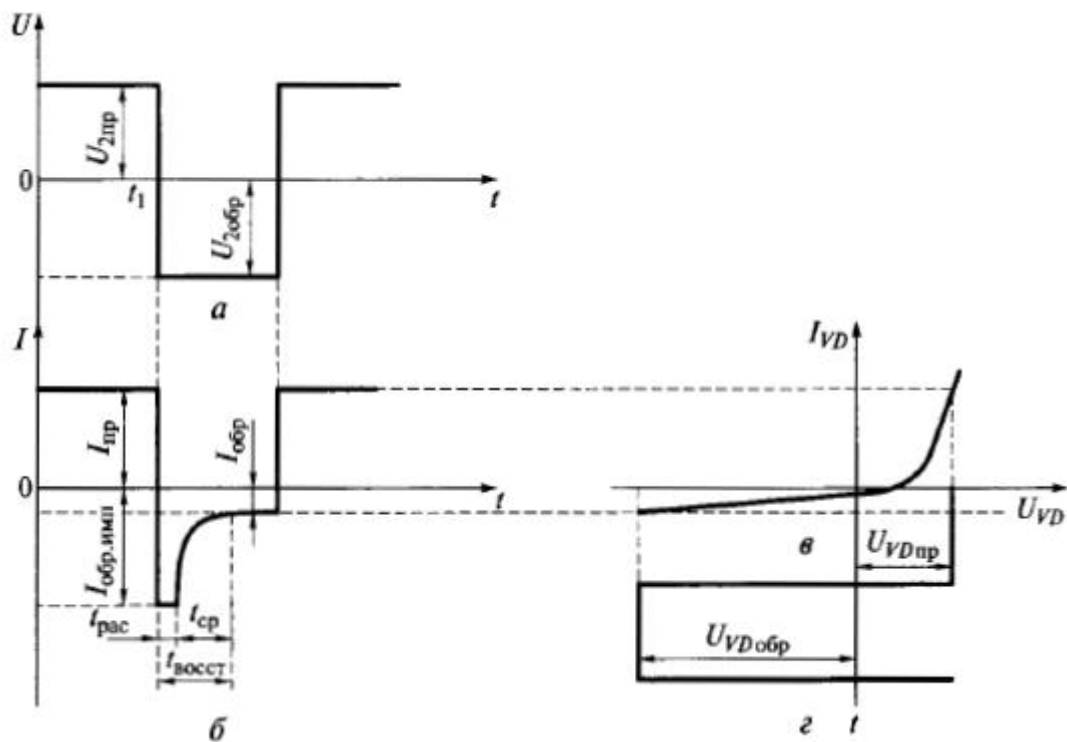


Рисунок 10.4 – Осцилограми напруг і струмів у напівпровідниковому діоді в режимі перемикання:

a — графік напруги, що знімає із вторинної обмотки трансформатора; $б$ — графік струму, що протікає через діод і навантаження; $в$ — вольт-амперна характеристика діода; $м$ — графік прямої та зворотної напруг на діоді у функції часу

При великих частотах перемикання відношення зворотного струму до прямого значно зростає, діод втрачає свої випрямні властивості й починає працювати як конденсатор з ємністю $C_{\text{п}}$. Тому при створенні електронних апаратів з високою частотою перемикання необхідно враховувати частотні властивості діодів.