

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

методичні рекомендації для виконання самостійної роботи та відпрацювань
здобувачами за першим(бакалаврським) рівнем вищої освіти ОПП
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної форми здобуття вищої освіти

2025

УДК 621.313

E50

Рекомендовано до друку методичною радою Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 24.02.2025, протокол № 6.

Укладачі:

Лариса Вахоніна – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Віталій Мардзявко – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Олексій Садовий – канд. тех. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Андрій Ставинський – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА ВІДПРАЦЮВАНЬ.....	6
2. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА ВІДПРАЦЮВАНЬ.....	7
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТКИ.....	57

ВСТУП

Дисципліна "Електричні апарати" є однією з основних складових підготовки спеціалістів в галузі електротехніки та енергетики. Вона охоплює вивчення принципів роботи, конструктивних особливостей та застосування різноманітних електричних апаратів, що використовуються в електричних схемах, енергетичних установках, промислових системах і побутових приладах. Розуміння функціонування цих апаратів є важливим для забезпечення ефективності, надійності та безпеки роботи електричних систем.

Самостійна робота та практичні відпрацювання в рамках цієї дисципліни дозволяють студентам поглибити теоретичні знання, набуті на лекціях, і застосувати їх у реальних умовах, через розв'язання задач, проведення експериментів та досліджень. Цей процес є необхідним для формування у студентів практичних навичок з розрахунку, вибору та налаштування електричних апаратів, а також для оцінки їхніх характеристик у різних умовах експлуатації.

Методичні рекомендації для самостійної роботи мають на меті сприяти розвитку аналітичних здібностей студентів, допомогти в ефективному освоєнні теоретичного матеріалу через практичні завдання та лабораторні роботи, а також сформувати необхідні уміння для виконання проектних та розрахункових завдань. Цей посібник містить конкретні вказівки щодо виконання завдань, що дозволяють студентам не тільки розв'язувати типові задачі, але й створювати власні стратегії для ефективного застосування теоретичних знань на практиці.

Рекомендується активно використовувати методичні вказівки, поради та підходи, зазначені в цьому посібнику, для самостійної підготовки до занять, практичних робіт та контрольних заходів. Постійне вдосконалення практичних навичок є важливим кроком у підготовці до професійної діяльності в області електричних апаратів, що дозволяє не тільки глибоко

розуміти основи функціонування електричних систем, але й приймати правильні технічні рішення у майбутній кар'єрі.

1. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА ВІДПРАЦЮВАНЬ

Результати самостійної роботи студентів оцінюються викладачем відповідного курсу.

При виконанні завдання з самостійної роботи необхідно дотримуватись наступних правил:

1. Перед виконанням самостійної роботи потрібно повністю ознайомитися зі змістом завдання, підібрати потрібну літературу, визначити усі параметри виконання завдання.

2. Результатом виконання самостійної роботи є виконане завдання та звіт, який виконується письмово індивідуально на папері формату А4.

Оформлення звіту:

-шрифт - Times New Roman; розмір шрифту -14 кегель; інтервал між рядками - півтора; абзац - 12,5 мм, поля: верхнє, нижнє – 20 мм, лівє – 25 мм, правє – 15 мм;

-текст звіту повинен виконуватися з інженерною рамкою, зразок якої зображено в додатку 2;

-нумерація сторінок - по центру нижнього поля.

-зразок оформлення титульної сторінки наведено у додатку 1.

3. Після перевірки кожного завдання викладачем студент зобов'язаний усунути допущені помилки, після чого виконати усний захист виконаної роботи, інакше він не допускається до виконання наступного завдання.

4. Усі роботи повинні бути здані у встановлений графіком термін. Викладач фіксує факт здачі кожної роботи та виставляє оцінку в журнал.

2. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА ВІДПРАЦЮВАНЬ

САМОСТІЙНА РОБОТА №1

Тема: Розрахунок перетину струмопровідної шини до автоматичного вимикача постійного струму.

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методикою вибору розміри перетину струмопровідних шин виходячи із тривалого режиму роботи вимикача.

1. Теоретичні відомості

Автоматичний вимикач - це контактнийкомутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм, коли електричне коло у нормальному стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати струм при певному аномальному стані електричного кола (перевантаженні або короткому замиканні). Автоматичний вимикач призначений для нечастих вмикань, для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання. Деякі автоматичні вимикачі можуть забезпечувати захист від недопустимого зниження напруги.

Шинопровід, струмопровідна шина - жорсткий мідний або алюмінієвий струмопровід, який виготовляється на заводі комплектними секціями, що з'єднуються безпосередньо на місці їх використання. Шинопроводи можна використовувати як на виробництвах, в цехах, на електростанціях, так і в офісах.

Шинопровід є альтернативою електричному кабелю - головному елементу розподілу електроенергії в електричних мережах.

Шинопроводи поділяються на:

закриті - шини розміщені в закритому корпусі, виготовленому з ізоляційних матеріалів;

захищені - шини мають огороження із коробів або сіток для захисту від можливого дотику;

відкриті - шини не захищені від дотику.

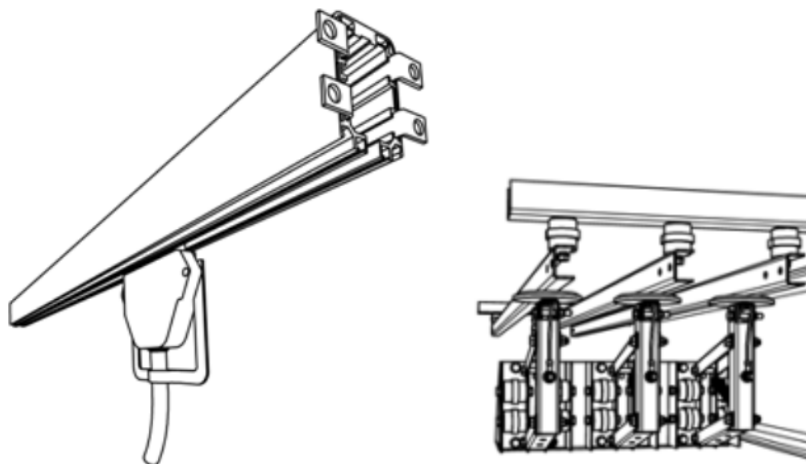


Рис. 1.1 – Приклади шинопроводів: а) закритий та захищений; б) відкритий шино провід

Відкриті шинопроводи — неізольовані шини, які прокладають на ізоляторах по опорних конструкціях на висоті не менше 3,5 м від підлоги.

Захищені шинопроводи влаштовують подібно до відкритих, обгороджуючи їх сіткою або коробами з перфорованих листів сталі, щоб уникнути випадкового дотику або потрапляння на шини сторонніх предметів.

Шинопроводи закритого й захищеного виконання підрозділяються на магістральні й розподільні.

Магістральні шинопроводи призначені для монтажу магістралей, що живляться від трансформаторних підстанцій. Магістральний шинопровід розрахований на силу струму 800-5000 А і слугує для приєднання розподільних шинопроводів, силових розподільних пунктів, щитів і окремих потужних споживачів.

Розподільні шинопроводи використовують для передачі й розподілу електроенергії з можливістю безпосереднього приєднання до них

різномпанітних однофазних і трифазних споживачів (устаткування) і освітлювальних шинопроводів. Випускають на номінальні струми 16-800 А. Для виконання освітлювальних ліній і під'єднання малопотужних приладів широко використовують освітлювальні шинопроводи (у діапазоні струмів 16-63 А). Використання освітлювальних шинопроводів дозволяє безперешкодне підключення додаткових світильників завдяки наявності вільних штепсельних підключень.

Тролейні шинопроводи призначені для підключення пересувних електроприймачів (див. рис. 1.2).

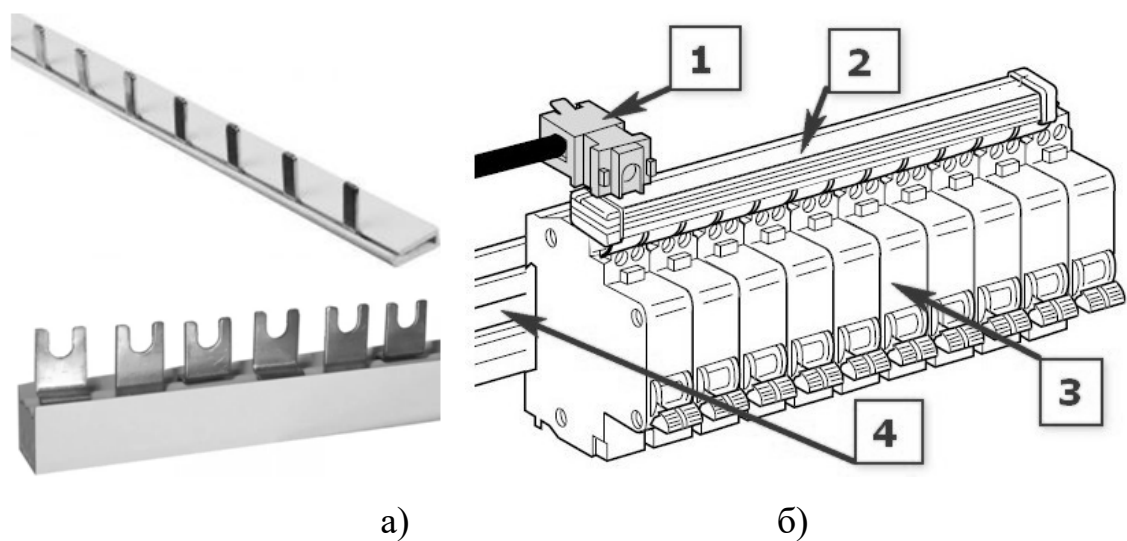


Рис. 1.2 – Тролейний шинопровід: а) - планка для з'єднання; б) - з'єднання автоматів у щитку схема: 1) клемма підключення; 2) шинопровід; 3) модульна апаратура; 4) дін-рейка

Зазначени шинопровід також має назву шиний міст, є найпоширеніший різновид відкритих шинопроводів, використовуються, головним чином, для комплектних розподільних пристроїв та встановлюються на них зверху. Шинні мости складаються з окремих типових секцій. Конструкції шинних мостів повинні бути розраховані на механічну міцність з урахуванням динамічних зусиль при струмах короткого замикання.

Шинопровід складається з провідників захищених оболонкою. Конструктивно шинопровід - це сталевий штампований короб з двох половин, всередині якого на ізоляторах прокладені трифазні і нульові шини певного перерізу. Основними елементами шинопроводів є: прямі та кутові секції, ввідні секції, відгалужувальні секції, перехідні секції, трійники, кріпильні деталі, гнучкі вставки, відгалужувальні коробки, торцеві заглушки та ін.

Шинопроводи призначені для передачі та розподілу електроенергії. Вони застосовуються як в електрощитових для підключення трансформаторів до розподільних щитів чи підключення розподільних щитів між собою, так і для розподілу електроенергії між споживачами на промислових, комерційних та адміністративних об'єктах.

Застосування шинопроводів в електричних мережах дозволяє створити безпечні в експлуатації, універсальні електричні мережі, форму яких можна легко змінювати при зміні технологічного процесу виробництва. Використання шинопроводів дозволяє безперешкодно додавати навантаження та відгалуження до споживачів практично в будь-якому місці при порівняно коротких з'єднувальних зв'язках. Відгалуження від шинопроводу до споживачів виконується кабелями або проводами в трубах, лотках, металорукавах.

2. Виконання самстійного завдання

Завдання: Струмопровід до автоматичного вимикача постійного струму виконаний мідними прямокутними шинами перетином $b \cdot h$, розташованими паралельно широкій стороні друг до друга при відстані a й закріпленими на опорних ізоляторах на відстані l між сусідніми ізоляторами. Вибрати розміри перетину b та h струмопровідних шин виходячи із тривалого режиму роботи вимикача при $I_{ном}$ і його електродинамічної стійкості при наскрізному струмі

короткого замикання $I_{кз}$ (максимальне значення струму, що пропускається). Дані для розрахунків представлені в таблиці №1.

1. Визначення розмірів перетину шин, виходячи із тривалого режиму роботи:

$$S_{\text{дл}} = \frac{I_n}{j_{\text{дон}}}, \quad (1.1)$$

де $j_{\text{дон}}=2$ А/мм²- припустима з умови нагрівання шинопровода щільність струму.

Відношення вузької сторони перетину шинопроводу до його широкої сторони b/h звичайно ухвалюється в межах від 0,1 до 0,25. При цьому розміри перетину вибираються зі стандартних рядів для мідного прокату. Для розміру b : 3, 4,5,6, 8, 10, 12 мм, для розміру h : 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 мм. Обрані розміри b та h повинні забезпечувати перетин не менш $S_{\text{дл}}$ і максимально близьке до нього.

2. Визначення розмірів перетину шин, виходячи з електродинамічної стійкості при струмі короткого замикання.

- Електродинамічна сила, що діє на ділянку шинопроводу довжиною l :

$$P_{\text{ед}} = 10^{-7} \cdot K \cdot K_{\phi} \cdot I_{\text{кз}}^2, \quad (1.2)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт форми, визначається по кривим Двайта, див. рис. 1.3. K – коефіцієнт, який визначається за формулою:

$$K = \frac{2 \cdot l}{a} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right], \quad (1.3)$$

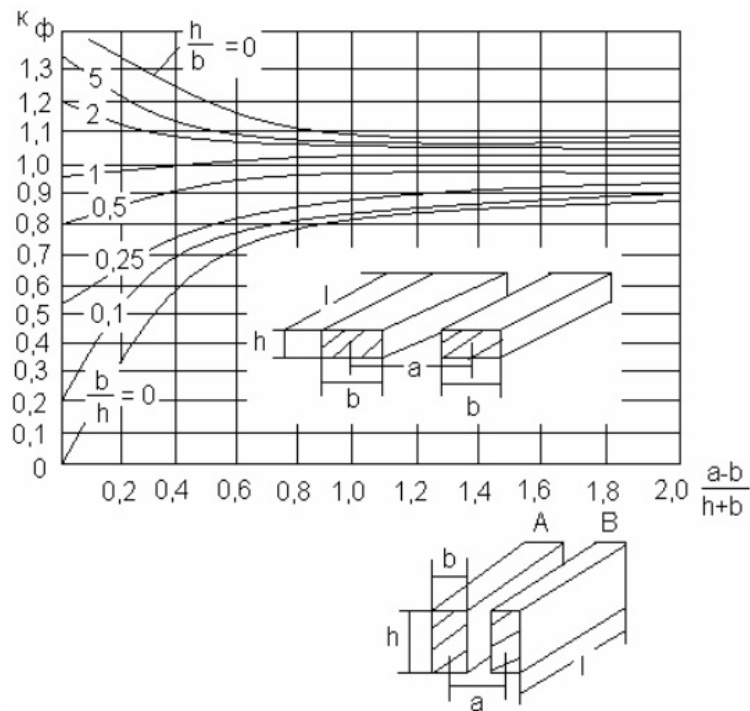


Рис. 1.3 – Криві Двайта, враховуючі вплив розмірів поперечного перерізу провідника

Максимальна згинаюча механічна напруга в шині:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{ed} \cdot l}{12 \cdot W_{из}} = \frac{P_{ed} \cdot l}{2 \cdot h \cdot b^2}, \quad (1.4)$$

де $W_{из}$ - момент опору вигину шини, мм^3 .

Якщо $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}} = 13,7 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$, то перетин мідних струмовідвідних шин, обране виходячи із тривалого режиму роботи, приймається остачиним. Якщо $\sigma_{\max} > \sigma_{\text{доп}}$ то необхідно збільшити товщину шинопроводу, виходячи зі співвідношення:

$$b = \sqrt{\frac{P_{ed} \cdot l}{2 \cdot h \cdot \sigma_{\text{доп}}}}, \quad (1.5)$$

3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;

3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом;
4. Відповісти на контрольні питання.
5. Оформити звіт відповідно до вимоги захисту та виконання практичних робіт.
6. Зробити висновок про виконану роботу.

4. Контрольні питання

1. Будова та призначення автоматичного вимикача постійного струму.
2. Види шинопроводів, їх призначення.
3. Пояснити методику підбору перерізу шинопроводу для автоматичного вимикача.
4. Назвати та пояснити, у чому полягає відмінність автоматичного вимикача постійного та змінного струму?

Таблиця № 1.1

«Вихідні дані для розрахунку до самостійної роботи №1»

№ вар.	a , мм	l , мм	I_n , А	$I_{кз}$, кА
1	60	150	160	55
2	60	160	200	60
3	65	170	250	75
4	70	170	400	80
5	75	180	600	100
6	80	180	800	120
7	90	200	1000	160
8	100	200	1600	200
9	110	210	2000	250
10	120	210	2500	300

11	54	137	150	890
12	85	190	52	100
13	35	100	100	57
14	40	105	100	65
15	40	110	110	68
16	45	115	110	85
17	45	120	120	105
18	50	125	120	109
19	50	130	130	111
20	52	135	130	115
21	55	140	140	165
22	57	145	150	124
23	60	165	170	128
24	62	175	180	130
25	65	185	230	133
26	76	190	300	139
27	70	195	315	140
28	85	205	450	142
29	95	215	500	147
30	105	220	570	150

САМОСТІЙНА РОБОТА №2

Тема: визначити струми спрацьовування й відпускання, а також коефіцієнт повернення нейтрального екранованого герконового реле.

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методкою розрахунку струмів спрацьовування й відпускання, а також коефіцієнт повернення нейтрального екранованого герконового реле.

1. Теоретичні відомості

Контактна система електричних апаратів у процесі експлуатації піддається впливу великої кількості несприятливо впливають факторів, тому є найменш надійним вузлом. Герметизація електромагнітних реле (ЕМР) виключає вплив зовнішнього середовища, але не усуває виділення летючих речовин із ізоляційних матеріалів котушок, траверс та інших деталей самих реле, що викликають відмови контактів. До того ж герметизація пов'язана з великими конструктивними та технологічними труднощами. Істотним недоліком ЕМР є і наявність механічних деталей, що труться, знос яких так само зменшує їх працездатність. Іншим недоліком ЕМР є їх інерційність, обумовлена значною масою рухомих деталей. Для отримання необхідного швидкодії застосовують спеціальні схеми форсування, що призводить до зниження надійності і зростання споживаної потужності. ЕМР є досить складною конструкцією, що містить у ряді випадків більше сотні деталей, що ускладнює автоматизацію їх виробництва. Перелічені недоліки ЕМР сприяли створенню реле з герконами.

Герконом або герметизованим магнітокерованим контактом називається поміщений у герметизований балон магнітокерований контакт. Оскільки деталі геркона реалізують функції контактів і ділянок електричних і магнітних ланцюгів, вони мають назву контактні сердечники (КС). Контактні

сердечники можуть бути нерухомими та рухливими. Часто КС виконуються гнучкими – у разі вони виконують роль поворотної пружини.

Геркони бувають замикаючими, розмикаючими, що перемикають і запам'ятовують. Існують сухі (з твердими контактами) та рідкометалеві (контакти змочені рідким металом) геркони. Як ті, так і інші бувають нейтральними та поляризованими. Велике поширення набули нейтральні замикаючі та перемикаючі геркони.

Найпростіше герконове реле (ГКР) із симетричним замикаючим контактом зображено на рис. 2.1.

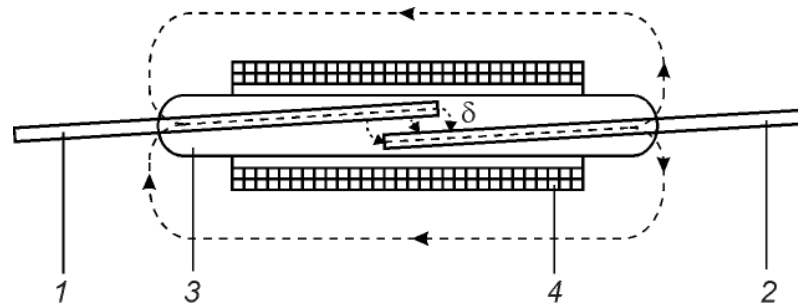


Рис. 2.1 – Найпростіше герконове реле із симетричним замикаючим контактом

Контактні сердечники 1 і 2 виготовляються з пермалою, що має високу магнітну проникність, і вварюються в скляний герметичний балон 3. Балон заповнюється інертним газом – чистим азотом чи азотом із невеликою (близько 3%) добавкою водню. Тиск газу всередині балона становить $(0.4-0.6) \cdot 10^5$ Па. Інертне середовище запобігає окисленню КС. Балон встановлюється в обмотці управління 4. При подачі струму в обмотку 4 виникає магнітний потік Φ , що проходить КС 1 і 2 через робочий зазор d між ними і замикається навколо обмотки 4. Спрощена картина магнітного поля показана на рис. 2.2.

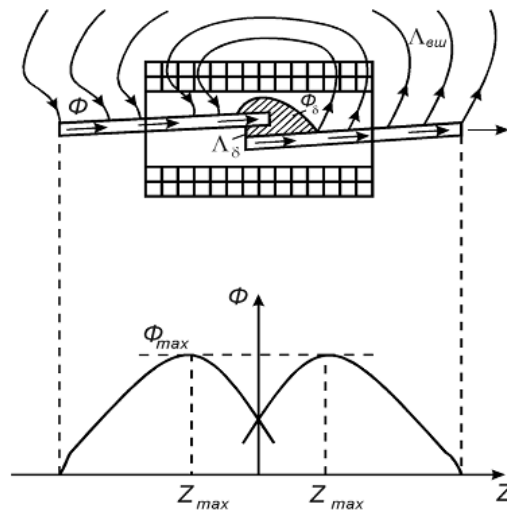


Рис. 2.2 – Спрощена картина магнітного поля геркона, керована обмоткою зі струмом

Потік Φ при проходженні через робочий зазор створює тягову електромагнітну силу $P_{ем}$, яка, долаючи пружність КС, з'єднує між собою. Для поліпшення контактування поверхні торкання покривають тонким шаром (2-50 мкм) золота, ренію, срібла та ін. При відключенні обмотки магнітний струм і електромагнітна сила спадають і під дією сил пружності КС розмикаються. Таким чином у герконових реле немає деталей, схильних до тертя, а КС одночасно виконують функції магнітопроводу, струмопроводу, контактної та зворотної пружин.

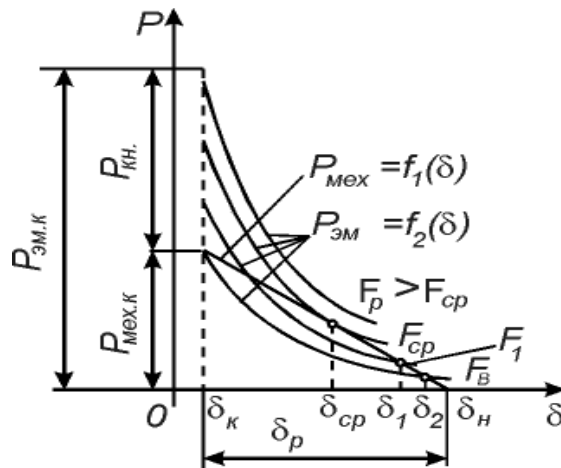


Рис. 2.3 – Механічна $P_{мех}=f_1(\delta)$ та $P_{эм}=f_2(\delta)$ тягова характеристика реле

На рис. 3 наведено механічну характеристику $P_{\text{мех}}=f_1(\delta)$ і статичні тягові характеристики $P_{\text{ем}}=f_2(\delta)$. При повільному збільшенні магніторушійної сили (МДС) обмотки значення F_1 робочий зазор δ_p між КС зменшується від значення δ_n до δ_l . При подальшому повільному збільшенні МДС КС зближуються до зазору спрацьовування $\delta_{\text{сп}}$ відповідного МДС статичного спрацьовування $F_{\text{сп}}$ і точкою, що визначається торканням механічної характеристики з тяговою характеристикою при $F_{\text{сп}}$. З досягненням $\delta_{\text{сп}}$ КС швидко переходять до замкненого стану при кінцевому робочому магнітному зазорі δ_k . Різкий перехід КС від зазору $\delta_{\text{сп}}$ до δ_k називають "зривом".

2. Виконання самотійного завдання

Завдання: Визначити струми спрацьовування й відпускання, а також коефіцієнт повернення нейтрального екранованого герконового реле керування, що містить обмотку з числом витків W і один симетричний замикаючий магнітокерований контакт (рис. 2.4, обмотка керування не показана).

Розміри електродів геркона: довжина $l = 20$ мм; ширина $b = 2,6$ мм; товщина $h = 0,5$ мм. Жорсткість електродів $C = 1,66 \cdot 10^3$ Н/м. Довжина перекриття в робочому зазорі $l_\delta = 1,2$ мм. Величина кінцевого робочого зазору $\delta_{\text{мін}} = 0,01$ мм. Коефіцієнт симетрії геркона $K_{\text{см}} = 0,5$. Коефіцієнт магнітної провідності шляхом розсіювання $K_{\text{роз}} = 0,1$. Коефіцієнт магнітної провідності магнітопроводу $K_{\text{см}} = 2$. Величина початкового робочого зазору δ_0 та число витків обмотки керування w наведені у табл. 2.1.

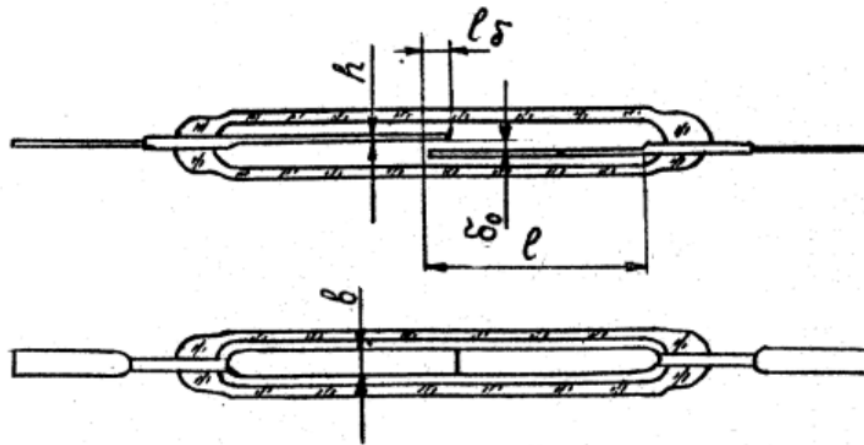


Рис. 2.4 – Розрахункові параметри герконового реле

1. Магніторушільна сила (МРС) спрацювання реле керування визначається рівнянням:

$$F_{cn} = \frac{2 \cdot \delta_0}{3} \cdot \left(\frac{1}{K_{cm}} + 1 + \frac{K_{poz}}{K_{cm}} \right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_0}{3} \cdot \left(1 + \frac{1}{K_{cm} + K_{poz}} \right)} \cdot \frac{C \cdot K_{cm}}{\mu_0 \cdot b \cdot l_{\delta}}, \quad (2.1)$$

де $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність у вакуумі.

2. Струм спрацювання реле:

$$I_{відн} = \frac{F_{відн}}{W}, \quad (2.2)$$

3. Коефіцієнт повернення реле:

$$K_n = \frac{I_{відн}}{I_{cn}}, \quad (2.3)$$

3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом;
4. Відповісти на контрольні питання.

5. Оформити звіт відповідно до вимоги захисту та виконання практичних робіт.

6. Зробити висновок про виконану роботу.

4. Контрольні питання

1. Пристрій та принцип дії герконів та реле на їх основі.
2. Конструктивні особливості перемикаючих та потужних герконів.
3. Конструкція та технічні дані типів герконових реле.
4. Протидіюча та тягова характеристика герконових реле.
5. Особливості процесу спрацьовування герконових реле.

Таблиця №2.1

«Вихідні дані для розрахунку до самостійної роботи №2»

№ вар.	δ_0 , мм	w, число витків	№ вар.	δ_0 , мм	w, число витків
1	0,20	15000	16	0,31	18000
2	0,21	18000	17	0,32	19000
3	0,22	20000	18	0,33	21000
4	0,23	22000	19	0,34	14000
5	0,24	25000	20	0,50	13000
6	0,25	30000	21	0,55	14500
7	0,22	15000	22	0,35	15500
8	0,23	18000	23	0,40	18400
9	0,24	20000	24	0,45	19500
10	0,25	25000	25	0,60	19800
11	0,15	14500	26	0,65	20500
12	0,20	20000	27	0,70	20900

13	0,28	16000	28	0,75	21500
14	0,29	17000	29	0,80	24500
15	0,30	21000	30	0,85	24100

САМОСТІЙНА РОБОТА №3

Тема: Розрахунок опру електричних контактів.

Мета: ознайомити здобувачіввищої освіти з процесом розрахунку електричних контактів.

1. Теоретичні відомості

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 переміщаються, 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. рис. 3.1 – 3.3).

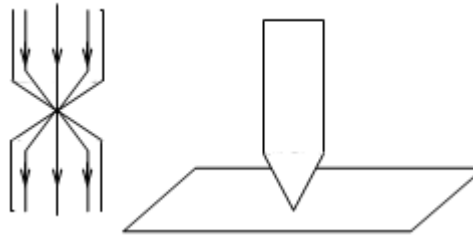


Рис. 3.1 – Точкові контакти

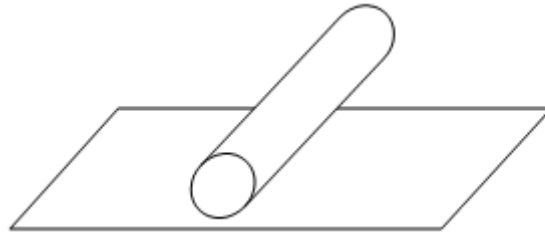


Рис. 3.2 – Циліндр-циліндр,виток-виток. (мінімум 2 точки контактування)

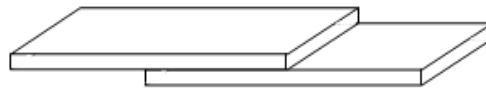


Рис. 3.3 – Поверхневі контакти

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

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

$$F = \sigma \cdot S, \quad (3.1)$$

де S - площа, то

$$d^2 = \frac{F}{\sigma\pi} \rightarrow d = \left(\frac{F}{\sigma\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 2, \quad (3.2)$$

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. 3.1).

Експериментально встановлено, що існує зв'язок:

$$R_{пер} = \frac{\varepsilon}{F^n}, \quad (3.3)$$

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, $n = 0.7/1$ 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 – $7.6 \cdot 10^{-3}$.

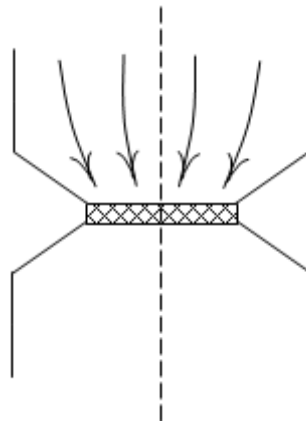


Рис. 3.4.

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

- 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:

$$d^2 = \frac{F_k}{\sigma_{зм}} \cdot 4, \quad (3.4)$$

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:

$$R_k = \frac{\rho}{d} = \frac{\rho}{2a}, \quad (3.5)$$

де ρ – питомий опір; d - діаметр контакту; a - радіус контакту.

Підставивши формулу можна виразити опір наступним чином:

- для квадратного контакту

$$R_k = \frac{\rho \sqrt{\sigma_{зм}}}{2\sqrt{F_k}}, \quad (3.6)$$

- для круглого контакту

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{F_k}{\sigma_{зм}}, R_k = \frac{\rho \sqrt{\pi \sigma_{зм}}}{2\sqrt{F_k}}, \quad (3.7)$$

Якщо подивитись в мікроскоп на профіль двох контактуючих металічних поверхонь, то побачимо картину такого виду (рис. 3.5):

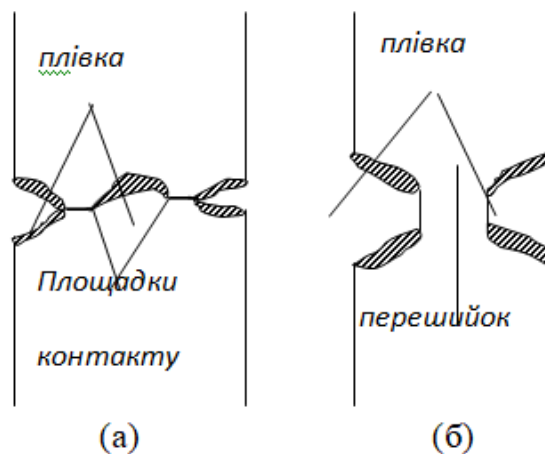


Рис. 3.5.

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 порядку 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. Вольтамперна 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 фриттинга.

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

Для багато точкового контакту (n - точок):

$$R_k = \frac{\rho}{2a \cdot n}, \quad (3.8)$$

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

$$R_{k.cm} = \frac{\rho \sqrt{\pi \cdot \sigma_{зм}}}{2 \sqrt{n \cdot F_k}}, \quad (3.9)$$

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 ($F_k = 40$ Н); $2 \div 2 \cdot 10^2$ мкОм ($F_k = 240$ Н).

До матеріалів контактів сучасних електричних апаратів ставляться вимоги:

1. Висока тепло- і електропровідність;
2. Висока корозійна стійкість в повітрі та інших середовищах;
3. Стійкість проти утворення плівок з високим опором електриці;
4. Мала твердість для зменшення необхідної сили натискання;
5. Висока твердість для зменшення механічного зношування при частих вмиканнях і вимиканнях;
6. Висока дугостійкість (висока температура плавлення);
7. Мала ерозія;
8. Високі значення струму і напруги необхідні для дугоутворення;
9. Простота обробки, низька вартість.

Вибір контактних матеріалів обумовлений тим призначенням, яке має даний апарат і відповідні контакти.

Найбільш широко використовують: мідь, алюміній, вольфрам, та композити (композиційні матеріали). Розглянемо властивості деяких із них:

Мідь (Купрум) – висока електро- і теплопровідність, достатня твердість, простота технології.

Недоліки: відносно низька температура плавлення, схильність до окислення на повітрі, що збільшує питомий опір і силу натискання. Не рекомендовано застосовувати в апаратах з великою кількістю вмикань внаслідок малої дугостійкості.

Застосування: шини, контакти апаратів.

Срібло (Аргентум) – висока електро- і теплопровідність, мала механічна міцність оксиду AgO і її руйнівної сили натискання, малий перехідний опір, стабільність контакту.

Недоліки: мала лугостійкість і твердість, не рекомендовано при потужних дугах і частих вмиканнях.

Застосування: реле, контактори до 20 А.

Алюміній – як і у міді висока електро і теплопровідність плюс мала густина, що зменшує масу струмоведучої частини на той же струм, що і виготовленої із міді → на 48%.

Недоліки – мала дугостійкість (температура плавлення набагато менше температури плавлення міді і температури плавлення срібла) і твердість. Не рекомендовано при потужних дугах і частих вмиканнях, у контактах до 20 А, в головних до – 10 кА. Мала механічна міцність, утворення з міді гальванічного елемента – корозія пари. Утворення окисної плівки з великим питомим опором на повітрі і активних середовищах.

Застосування: матеріал для шин і конструкційних деталей апаратів.

Аурум (Золото), Платина, Плюмбум (Свинець) – висока корозійна стійкість плюс малий перехідний опір.

Застосування: малі струми з невеликою силою натискання.

Вольфрам – висока дугостійкість, стійкість проти корозії, зварювання. Висока твердість, що необхідне при частих вимиканнях і вмиканнях.

Недоліки: мала теплопровідність, висока густина, утворення міцних оксидних і сульфідних плівок вимагають великої сили натискання внаслідок утворення плівок і високої механічної міцності.

Застосування: дугостійкі і частовмикаючі контакти.

Основні необхідні властивості контактного матеріалу – висока електропровідність та дугостійкість не можуть бути отримані за рахунок сплавів таких матеріалів як срібло+вольфрам або мідь+вольфрам, бо вони не утворюють сплавів. Тому матеріали, що задовольняють необхідним вимогам, отримують методами порошкової металургії. Це – так звана металокераміка.

Металокерамічні контакти отримують методом спікання.

2. Виконання самотійного завдання

Завдання: Розрахуйте перехідний опір свіжозачищеного контакту за даними, які наведено в табл. № 3.1.

1. Перехідний опір контакту:

$$R = \frac{\rho}{2r}, \quad (3.10)$$

де ρ – питомий електричний опір матеріалу контактів; r – радіус площадки дотику.

2. Радіус площадки дотику при пружній деформації під дією сили контактного натискання:

$$r = 0,863 \sqrt[3]{\frac{F \cdot r_c}{E}}, \quad (3.11)$$

де F – сила контактного натискання, Н; r_c – радіус округлення контакту, см; E – модуль пружності, який для міді становить $11,8 \cdot 10^6$ Н/см².

3. Радіус площадки дотику при пластичній деформації під дією сили контактного натискання:

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi\sigma}}, \quad (3.12)$$

де σ – тимчасовий опір зминанню матеріалу контактів.

4. Перехідний опір свіжозачищеного точкового контакту:

$$R = \frac{K}{F^n}, \quad (3.13)$$

де K – коефіцієнт, який залежить від властивостей матеріалу контакту; n – показник степеня, який при пластичній деформації дорівнює 1/2, а при пружній – 1/3.

5. Емпірична формула для розрахунку перехідного опору контакту:

$$R = \frac{K}{(0,102F)^m}, \quad (3.14)$$

де m – коефіцієнт, який враховує число точок дотику і тип контактів (для точкового контакту $m = 0.5$, для лінійного $m = 0.7 \dots 0.8$, для плоского $m = 1$);

6. Умова надійної роботи контакту:

$$I_N R = (0,5 \dots 0,8) U_1, \quad (3.15)$$

де I_N – номінальний струм, що проходить через контакт; U_1 – напруга, при якій у контакті досягається температура пом'якшення матеріалу контакту.

7. Перевищення температури в області контакту:

$$\Delta\theta = \frac{U^2}{8\lambda\rho}, \quad (3.16)$$

де U – напруга на перехідному опорі контакту; λ – коефіцієнт теплопровідності.

8. Формула Р.С. Кузнєцова для розрахунку зносу m контактів при струмах до 5 А:

$$m = 10^{-9} k_m N I^2, \quad (3.17)$$

де k_m – коефіцієнт, який враховує фізичні властивості матеріалу контакту і тривалість вібрації; N – число операцій вмикання–відключення; I – струм відключення.

3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом;
4. Відповісти на контрольні питання;
5. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт;
6. Зробити висновок про виконану роботу.

4. Контрольні питання

1. Електричним контактом називають.
2. Призначення та види електричних контактів.
3. Як впливає матеріал електричного контакту на його ефективність?
4. Як залежить ефективність електричного контакту від його характеру контактування об'єктів?
5. Описати фізичні явища в контактах.

Таблиця № 3.1

«Вихідні дані для розрахунку до самостійної роботи № 3»

№ вар.	Призначення контактів або струм, А	Тип контактів	Матеріал контактів	Сила контактного притискання, Н
1	на великі струми	лінійний	мідь – мідь	4,0
2	на низькі струми	точковий	срібло – срібло	0,04
3	400,0	поверхневий	мідь – мідь	10,0
4	на великі струми	поверхневий	алюміній – алюміній	8,0
5	на низькі струми	поверхневий	мідь – щітковий контакт	0,1

6	на великі струми	поверхневий	алюміній – сталь	20,0
7	на великі струми	поверхневий	мідь – мідь	20,0
8	5,0	точковий	мідь – мідь	0,05
9	на великі струми	поверхневий	мідь залужена – мідь	20,0
10	на великі струми	лінійний	латунь – сталь	20,0

САМОСТІЙНА РОБОТА №4

Тема: вибір плавкого запобіжника та магнітного пускача для захисту та пуску асинхронного двигуна.

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методикою вибору елементів захисту та пуску асинхронного двигуна.

1. Теоретичні відомості

Плавкі запобіжники (ПЗ) – найпростіші апарати захисту та комутації, які призначені для автоматичного однократного відключення електричних кіл при короткому замиканні (к.з.) або при тривалих перевантаженнях шляхом розплавлення нагрітої струмом плавкої вставки. Запобіжник включається послідовно в електричне коло, що захищається і складається із наступних частин: контактний стояк, патрон (корпус) із плавкою вставкою і системою для гасіння дуги.

До основних переваг запобіжників можна віднести:

- простота конструкції;
- низька вартість;
- швидке відключення електричного кола при к.з.;
- здатність до обмеження струму к.з. (деякі типи запобіжників).

Завдяки наведеним перевагам, в електричній мережі до 1000 В запобіжник є основним засобом захисту, а в мережі вище 1000 В застосовуються запобіжники напругою до 110 кВ.

До основних недоліків плавких запобіжників, які обмежують їх використання можна віднести:

- значний розкид характеристик, що утруднює узгодження розташованих послідовно апаратів;
- можливість виникнення неповнофазних режимів роботи обладнання при перегорянні плавкої вставки в одній фазі;

- нечітка робота при перевантаженнях мережі;
- забезпечують селективність дії лише в радіальних мережах із одностороннім живленням.

Плавкі запобіжники характеризуються: номінальною напругою $U_{н.зап}$ та номінальним струмом запобіжника $I_{н.зап}$, номінальним струмом плавкої вставки I_v , номінальним (граничним) струмом відключення $I_{н.відкл}$. В один і той же корпус ПЗ можна вставити ряд плавких вставок на різні струми. При цьому необхідно, щоб виконувалася умова:

$$I_v \geq I_{н.зап}, \quad (4.1)$$

Відключення запобіжником струмів, більших за допустимі, може привести до руйнування корпусу та контактної системи і навіть до перекриття між фазами.

Основним елементом запобіжника є плавка вставка – штучно послаблена ділянка електричного кола, яка перегоряє при перевищенні заданого значення струму. Після спрацювання запобіжника необхідно вручну замінити плавку вставку.

Плавкі вставки виготовляють із свинцю, сплаву свинцю та олова, цинку, алюмінію, міді, срібла, константану та інших матеріалів. Щоб знизити температуру плавлення вставки використовують матеріали з низькою температурою плавлення та високою теплоємністю (свинець (327 °С), свинець із оловом (240...3200 °С) та цинк (419 °С)).

Плавкі вставки з цих матеріалів мають порівняно великий переріз із-за високого питомого опору матеріалу ($\rho = (0,06 \dots 0,02) \cdot 10^{-6}$ Ом·м) забезпечують значні витримки часу спрацювання при перевантаженнях і (легко витримують короткочасні перевантаження).

При їх перегорянні утворюється велика кількість парів металу, що утруднює процес гасіння дуги.

Срібло і мідь мають менший питомий опір ($\rho = (0,016 \dots 0,018) \cdot 10^{-6}$ Ом·м) і більшу температуру плавлення (961 та 1083 °С відповідно), що

дозволяє значно знизити переріз вставки та час її перегорання. Але малий переріз вставки веде до перегріву корпусу при малих перевантаженнях.

Для зниження температури плавлення вставки з тугоплавких матеріалів (міді і срібла) на вставку наплавляють олов'яні кулі, які плавляться при значно нижчій температурі, розчиняють основний метал і ведуть до його інтенсивного руйнування (“металургійний ефект”) (рис. 4.1). Плавка вставка перегоряє при температурі, що наближається до температури плавлення олова.

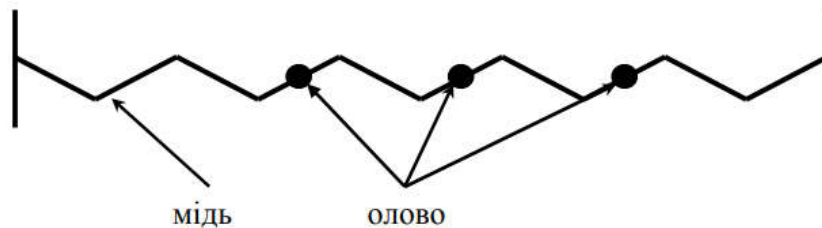


Рис. 4.1 – Використання металургійного ефекту в запобіжнику

За умовами гасіння електричної дуги запобіжники ділять на дві групи:

- запобіжники, що забезпечують ефект обмеження струму к.з.;
- запобіжники, що не забезпечують ефект обмеження струму к.з.

Перша група запобіжників не впливає на значення струму к.з., а лише відключає його через певний час.

В запобіжниках, що забезпечують ефект обмеження струму к.з. розплавлення вставки та гасіння дуги відбувається раніше ніж струм к.з. досягне свого максимального значення (ударний струм).

Швидке гасіння дуги забезпечується за рахунок:

- високого тиску газів, що виділяються із корпусу запобіжника (фібра, вініпласт та ін.) під впливом температури дуги;
- гасіння дуги у вузьких щілинах і каналах;
- за рахунок інтенсивного відведення теплоти від дуги дрібнозернистим наповнювачем (кварцовий пісок).

При к.з. на затискачах запобіжників із ефектом обмеження струму к.з., в момент перегорання вставки можуть виникати комутаційні перенапруги.

Для обмеження цих перенапруг застосовують ряд заходів, наприклад олово 4 клад, використовують вставки ступеневого перерізу (до 250 В – два звуження, до 500 В – чотири звуження).

При великих струмах к.з. вставка перегоряє одночасно в кількох звужених місцях, а при малих перевантаженнях нагрівається звужена частина і тепло віддається через розширену частину в контактну систему без зайвого перегріву. В цьому випадку вставка перегоряє в місці переходу від її вузької частини до широкої.

При великих струмах к.з. вставка плавиться одразу по всій довжині. Струм у колі миттєво зникає і тому виникає перенапруга, яка пробиває міжконтактний проміжок, після чого загоряється дуга. В електромережі вище 1000 В перенапруги можуть бути до $4,5 U_n$.

Для обмеження перенапруги також застосовують плавкі вставки з кількох спірально завитих дротів різного перерізу. Спочатку перегоряє вставка меншого перерізу, а потім більшого (рис. 4.4).

Для цієї ж мети використовують іскровий проміжок. Спочатку плавиться неперервна вставка, а потім від невеликої перенапруги пробивається іскровий проміжок і плавиться наступна (паралельна) плавка вставка із проміжком.

Час спрацювання плавкої вставки в основному визначається часом її нагрівання до температури плавлення. Очевидно, що чим більший струм, що протікає через вставку, тим менше час плавлення вставки. Вставка запобіжника характеризується захисною або часострумовою (ампер-секундною) характеристикою (рис. 4.2).

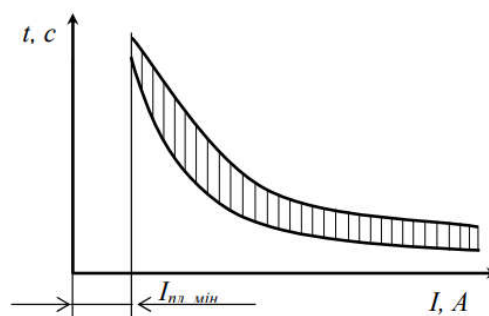


Рис. 4.2 – Захисна характеристика запобіжника

Окрім величини струму к.з., на процес і на час перегорання плавкої вставки впливають також інші фактори: температура навколишнього середовища, значення струму режиму, що передував к.з., старіння (зношення) вставки запобіжника та ін. У зв'язку із цим характеристики запобіжників мають значний розкид характеристик, і їх необхідно зображувати у вигляді певної зони (рис. 4.2).

До 1 кВ застосовуються наступні типи запобіжників:

- запобіжники із фібровими трубками: ПР1 (до 250В); ПР2 (до 500В).
- запобіжники із кварцовим наповнювачем (піском): ПН2 (насипний, розбірний, до 1000 В); НПН2 (насипний, нерозбірний, до 1000 В).

Запобіжники типу ПР виготовляють на напругу 220 та 500 В і на струм патрону 15...1000А. Патрон 2 запобіжника (рис. 4.3) виготовляють із фібрової трубки з латунними обоймами 5 (із різьбою) на кінцях. Латунні обойми притискають контактні ножі 1 до яких гвинтами приєднана ступенева плавка вставка 3. Ці запобіжники забезпечують ефект обмеження струму к.з. (дуга гаситься високим тиском газів, що генеруються фібровою трубкою).

Перевагою запобіжників ПР в порівнянні із насипними є простота заміни вставки. Недолік – дещо більші габарити.

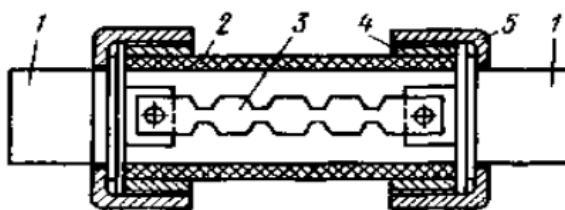


Рис. 4.3 – Плавкий запобіжник типу ПР2

Запобіжники типу ПН2 (рис. 4.4) мають кварцовий наповнювач 5, який заповнює фарфоровий патрон 2. Плавка вставка 6 запобіжника ПН2 виготовляється із однієї або декількох мідних стрічок які мають прорізи. На мідь напаюються кульки із олова.

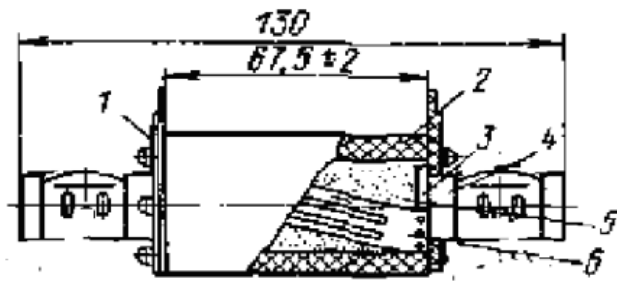


Рис. 4.4 – Плавкий запобіжник типу ПН2

Запобіжник ПН2 також забезпечує ефект обмеження струму к.з. за рахунок розділення дуги (перегоряє декілька пластинок) і охолодження її кварцовим піском.

Принцип дії запобіжника НПН2 такий же, як і в запобіжника ПН2. Його корпус (патрон) виготовляють із скляної труби із латунними ковпачками. Трубка заповнена кварцовим піском, в якому розташована плавка вставка із декількох мідних дротів на які посередині напаяні олов'яні кульки. Цей запобіжник також забезпечує обмеження струму к.з.

Промисловість випускає насипні нерозбірні запобіжники ПП 31 на струм 32...1000 А і напругу 660В. Всі струмоведучі частини і плавка вставка запобіжника ПП31 виготовлені із алюмінію.

Комутаційний електромагнітний апарат призначений для дистанційних включень і відключень силових електричних кіл при нормальних режимах роботи, називають контактором.

Комбінований апарат дистанційного керування, який складається з контактора, доповненого тепловим реле, і який суміщає в собі функції апаратів керування та захисту, називають магнітним пускачем.

Магнітні пускачі призначені, головним чином, для дистанційного керування трифазними асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором, а саме:

- для пуску безпосереднім підключенням до мережі та зупинки (відключення) електродвигуна (нереверсивні пускачі);

- для пуску, зупинки і реверсу електродвигуна (реверсивні пускачі). Крім цього, пускачі в виконанні з тепловим реле здійснюють також захист керованих електродвигунів від перевантажень неприпустимої тривалості робочого циклу.

Магнітні пускачі відкритого виконання призначені для установки на панелях, у закритих шафах та інших місцях, захищених від попадання пилю і сторонніх предметів. Магнітні пускачі захищеного виконання служать для встановлення всередині приміщень, в яких навколишнє середовище не містить значної кількості пилю. Магнітні пускачі пилоблизконепроникного виконання використовують як для внутрішнього, так і для зовнішнього встановлення в місцях, захищених від сонячних променів і від дощу (під навісом).

Досить часто магнітні пускачі використовують і без теплових реле. Дуже важко провести чітку границю між контактором та магнітним пускачем. Проте, є певні відмінності в будові цих апаратів і, як правило, в позначеннях магнітних пускачів є літери ПМ або ПА, а контакторів – КТ. Також контактори, як правило, використовуються на струми 50-250 А (магнітні пускачі - до 40 А) і мають більші розміри, порівняно з магнітними пускачами. Контакттор має дугогасильну камеру на відміну від магнітного пускача. І, нарешті, остання відмінність - це наявність у контактора більше трьох силових контактів, оскільки, згідно визначення, контактор використовується для комутації будь-яких силових кіл, а магнітний пускач - для пуску, зупинки, реверсу трьохфазних двигунів. Дізнатися відомості про електричний апарат можна також за допомогою довідників. Хоча в сучасному виробництві такі відмінності дуже сильно згладжуються – чітких позначень немає, будова мало чим відрізняється і в довідниках можуть бути відсутні відомості. Найкраще визначати згідно заводської назви.

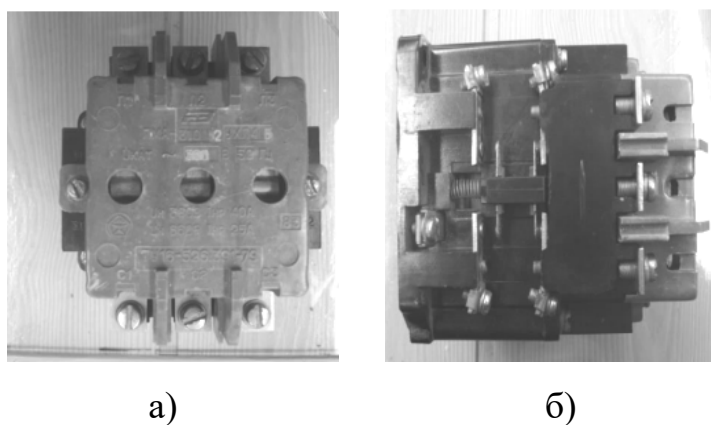


Рис. 4.5 – Магнітний пускач ПМА-310: а – вид спереду; в – вид зверху.



Рис. 4.6 – Контактор малогабаритний для реверсивного пуску двигунів

Розрізняють контактори з прямоходовою магнітною системою та з поворотним якорем. Магнітні пускачі, як правило, побудовані з прямоходовою магнітною системою, хоча і зустрічаються з поворотним якорем (ПА). Розглянемо контактор з прямоходовою магнітною системою та магнітний пускач серії ПМА.

У контакторах з прямоходовою магнітною системою (рис. 4.7) нерухомою частиною є осердя 7 з котушкою 6, які встановлюються нерухомо на основі 9. Рухомою частиною контактора є ярмір 4, який зв'язаний з головними рухомими та допоміжними контактами. При подачі напруги на котушку контактора виникає магнітне поле, під дією якого рухома магнітна система притягується до нерухомої. Тобто ярмір притягується до осердя, а рухомі контакти — до нерухомих. Таким чином забезпечується проходження

електричного струму в силовому й допоміжному колі контактора. На головні та допоміжні контакти контактора встановлено пружини для створення необхідного натискування і зменшення перехідного опору контактів. Допоміжні розмикаючі й замикаючі контакти призначені для роботи в електричних колах керування. При розмиканні головних контактів на великих струмах виникає електрична дуга, яка може призвести до руйнування контактної системи. Тому головні контакти контактора, що працюють при великих силах струму обладнують дугогасильними камерами з жаростійкого ізоляційного матеріалу. В контактора на рис. 4.3 вони відсутні.

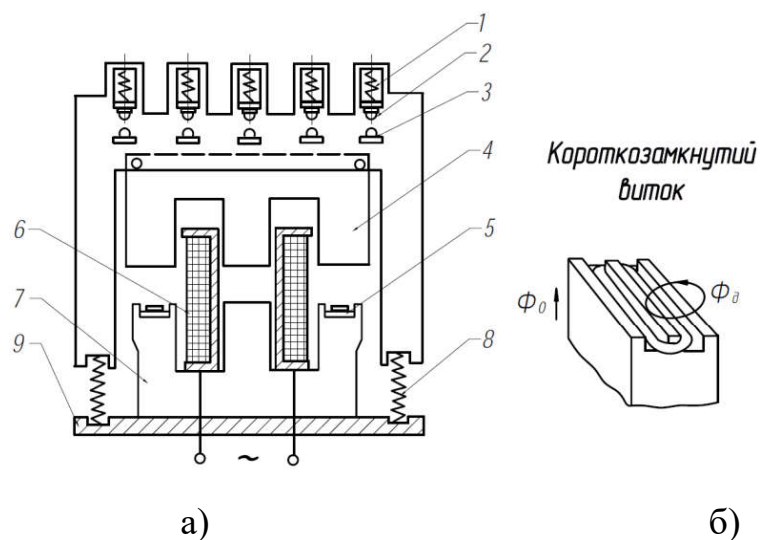


Рис. 4.7 – Принципова схема електромагнітного контактора з прямоходовою магнітною системою: а - будова магнітного контактора; б - короткозамкнений виток у магнітній системі контактора; 1 і 8 - пружини; 2 - рухомі контакти; 3 - нерухомі контакти; 4 - яркір; 5 - короткозамкнений виток; 6 - котушка; 7 - осердя; 9 - основа

У контакторах постійного струму осердя і яркір виконують суцільнометалевими, а у контакторах змінного струму - шихтованими, тобто набраними з окремих ізольованих пластин електротехнічної сталі. При проходженні змінного струму по котушці контактора у магнітній системі

виникає магнітний потік, який періодично проходить через нуль. Це викликає вібрацію та гудіння магнітної системи, оскільки контактор живиться змінним струмом. Щоб зменшити це явище, на торці осердя контактора змінного струму встановлюють мідний короткозамкнений виток (див. рис. 4.7, б). Він охоплює приблизно 1/3 площі торця осердя контактора. Коли основний магнітний потік проходить через нуль, його величина швидко змінюється і тому в короткозамкненому витку утворюється максимальна е.р.с. У цьому разі короткозамкнений виток є вторинною обмоткою трансформатора. У короткозамкненому витку е.р.с. утворює струм, що сприяє утворенню магнітного потоку Φ_d , який замикається через осердя та якір і перешкоджає відпаданню якоря при переході основного потоку через нуль. Таким чином зменшується вібрація магнітної системи контактора.

При знятті напруги з котушки контактор вимикається, і під дією пружини 8 якір повертається у початкове положення.

Теплове реле – це реле, яке реагує на зміну теплових величин (температури, теплового потоку тощо). Теплове реле (рис. 4.8) виконує функцію захисту від зatoryжних перевантажень, їхня робота схожа на роботу теплового роз'єднувача в автоматичних вимикачах. Залежно від величини навантаження (відхилення від номінального режиму – I/I_n) воно спрацьовує через відповідний проміжок часу, який можна обчислити за час-струмової характеристики теплового реле.



Рис. 4.8 – Загальний вид теплового реле

При перевантаженні електродвигунів підвищується струм, що споживається, відповідно збільшується його нагрівання. Якщо двигун перегрівається – порушується цілісність ізоляції обмоток, швидше зношуються підшипники, вони можуть заклинити. При цьому тепловий розчіплювач автомата може не захистити обладнання. Для цього потрібне теплове реле.

Теплове реле реагує на зріс струм, і в залежності від його величини розірве ланцюг живлення через якийсь час, тим самим зберігши обмотки двигуна цілими. Після подальшого усунення несправності за умови справності статора двигун може продовжити роботу.

Час, через яке спрацює реле, визначається за час-струмової характеристики конкретного реле, в загальному вигляді вона виглядає так (рис. 4.9):

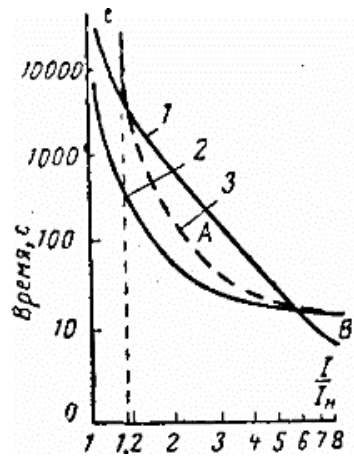


Рис. 4.9 – Характеристика часу спрацювання реле

По вертикальній осі розташований час у секундах, через який контакти розірвуть ланцюг, а по горизонтальній – у скільки разів фактичний струм перевищує номінальний. Тут ми бачимо, що при номінальному струмі реле час роботи реле прагне до нескінченності, при перевантаженні вже в 1.2 рази воно розімкнеться приблизно за 5000 секунд, при навантаженні по струму в 2

рази - за 500 секунд, при перевантаженні в 5-8 разів реле спрацює за 10 секунд.

Такий захист виключає постійні відключення двигуна при короткочасних навантаженнях та ривках, але рятує обладнання при тривалому виході за межі допустимих режимів.

Теплове реле має пара біметалевих пластин з різним температурним коефіцієнтом розширення. Пластини жорстко з'єднані один з одним, якщо їх нагріти, то конструкція вигнута у бік ділянки з меншим температурним коефіцієнтом розширення див. рис. 4.10.

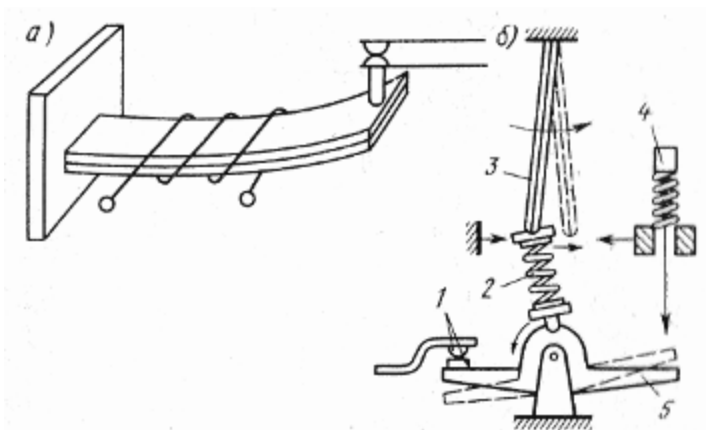


Рис. 4.10 – Будова теплового реле : а) – чутливий елемент; б) – реверсуючий контакт; 1 – контакти; 2 – пружина; 3 – біметалічна пластина; 4 – кнопка; 5 – місток повернення

Гріються пластини за рахунок протікання струму навантаження або від нагрівача, через який проходить струм навантаження, на схемі зображено у вигляді кількох витків навколо біметалу. Протікаючий струм нагріває пластину до певної межі.

Варто враховувати, що якщо реле знаходиться в гарячому приміщенні - потрібно виставляти струм спрацьовування з великим запасом, адже відбувається додаткове нагрівання від навколишнього середовища. До того

ж, якщо реле щойно спрацювало – контактам потрібен певний час, щоб охолонути. Інакше може статися повторне хибне спрацьовування.

Теплові реле можуть підключатися на всі три фази або дві з трьох, в залежності від конструкції. Більшість реле конструктивно розроблені для відповідності певним магнітним пускачам, це потрібно для зручності та акуратності монтажу. Розглянемо деякі з них, рис. 4.11.

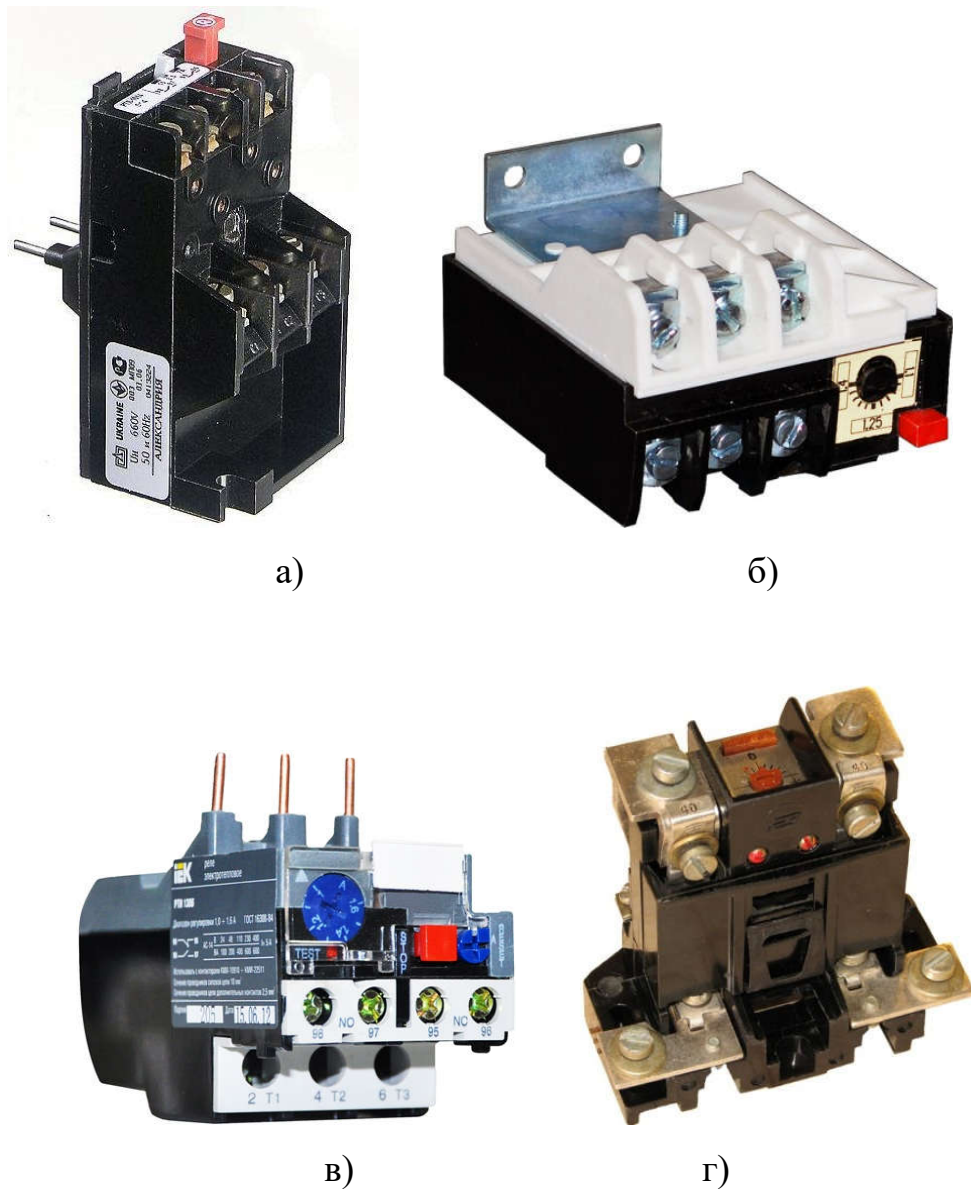


Рис. 4.11 – Види теплових реле: а) РТЛ – підходить для використання із пускачами типу ПМЛ. З набором клем КРЛ використовується як самостійний захист; б) РТТ – підходить для монтажу з пускачами ПМС та ПМА. Також може використовуватись як самостійне, якщо його змонтувати на спеціальну

панель; в) РТІ – теплові реле для пускачів КМІ та КМТ. На лицьовій ви можете бачити пару додаткових блокконтактів, для реалізації схем індикації та іншого; г) ТРН – двофазне теплове реле. Встановлюється у трифазних двигунах, при цьому підключається до розриву двох фаз. Температура довкілля впливає його роботу. На регуляторі струму є 10 поділів 5 зменшення, 5 збільшення, вартість одного поділу – 5%.

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом;
4. Відповісти на контрольні питання.
5. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.
6. Зробити висновок про виконану роботу.

3. Виконання самостійного завдання

Завдання 1: Для захисту від струмів короткого замикання кола живлення короткозамкненого асинхронного електродвигуна потужністю P (рис. 4.11 та табл. 4.1.) використовуються плавкі запобіжники серії ПР-2 (розбірні, без наповнювача).

Визначити номінальний і прикордонний струми, а також перетин мідної плавкою вставки й вибрати найбільш близьке по номінальному струму плавкої вставки виконання запобіжника. Технічні дані запобіжників серії ПР-2 наведені у табл. 4.2.

Завдання: Для прямого пуску короткозамкненого асинхронного електродвигуна потужністю P , що живиться від мережі з номінальною

напругою $U_{ном} = 380 \text{ В}$, використовується магнітний пускач, схема включення якого представлена на рис. 4.12.

До складу пускача входять контактор КМ і теплові реле КК1 і КК2. Визначити необхідні параметри двигуна й вибрати тип пускача й параметри його теплових реле.

Технічні дані деяких типів пускачів й теплових реле наведені відповідно у таблиці 4.3 - 4.5.

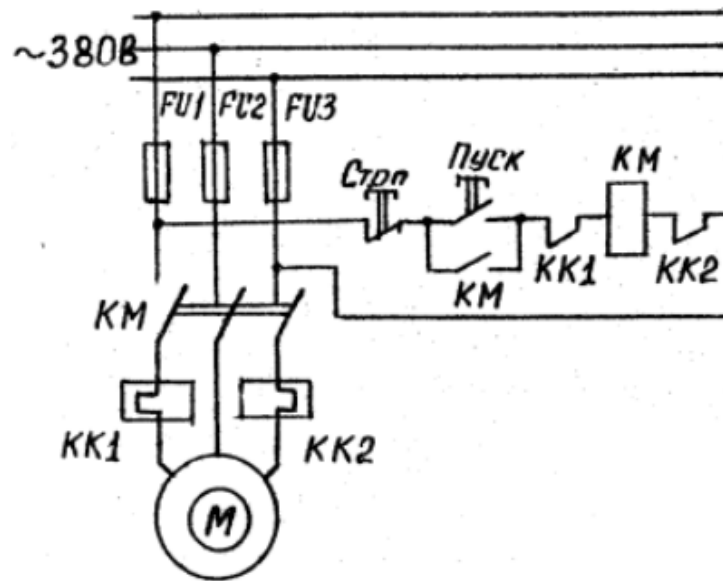


Рис. 4.12 – Схема під'єднання магнітного пускача та двигуна до мережі

Завдання 1.

1. Визначення номінального струму плавкої вставки.

Плавка вставка запобіжника не повинна відключати двигун при короткочасних перевантаженнях його пусковими струмами. Для двигунів серії А02 величина пускового струму $I_n \leq 7 I_{н_дв}$. Для захисту одиничних двигунів у більшості практичних випадків номінальний струм плавкої вставки рекомендується визначати зі співвідношення:

$$I_{вст.ном} = \frac{I_{н_дв}}{2,5}, \quad (4.1)$$

де $I_{н_дв}$ – номінальний струм двигуна, А.

$$I_{н_дв} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (4.2)$$

де $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності двигуна; η - ККД двигуна.

Відповідно до розрахованого значення $I_{вст.ном}$ з табл. 4.2 вибирається номінальний струм плавкої вставки - найближче більше значення. Відповідно до обраного значення $I_{вст.ном}$ визначається виконання запобіжника (по його номінальному струму).

2. Визначення пограничного струму плавкої вставки.

Під пограничним струмом розуміють номінальний струм, при якому згорає плавка вставка, досягнувши усталеної температури. Розрахунковий пограничний струм $I_{ногр}$ береться трохи більше номінального струму плавкої вставки. Відношення $I_{ногр} / I_{вст.ном}$ для мідних вставок становить 1,6...1,8, т.ч. $I_{ногр} = (1,6...1,8) I_{вст.ном}$.

3. Визначення діаметра мідної плавкої вставки.

Виходячи з балансу підведеного та відведеного від плавкої вставки потужностей, діаметр плавкої вставки визначається з рівняння:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot I_{ногр}^2 \cdot (1 + \alpha_c \cdot T_{пл})}{\pi^2 \cdot K_T \cdot (T_{пл} - T_{окр})}}, \quad (4.3)$$

де $\rho_0 = 0,0175 \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}$ – питомий опір міді; $\alpha_c = 0,004 \text{ град}^{-1}$ – температурний коефіцієнт опору для міді; $T_{пл} = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура плавлення міді; $K_T = 11 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2 \cdot \text{}^\circ\text{C}$ – коефіцієнт теплопередачі з зовнішньої поверхні вставки.

Завдання 2.

1. Визначення номінального струму двигуна:

$$I_{н_дв} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta},$$

де $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності двигуна; η - ККД двигуна (табл. 4.1).

По величині цього струму з табл. 2.2 проводиться вибір пускача таким чином, щоб максимальний робочий струм пускача (пуск електродвигунів з

короткозамкненим ротором, відключення обертових двигунів при номінальному навантаженні) був не менш номінального струму двигуна й максимально близьким до нього.

2. Визначення номінального струму вставки теплового реле.

Для кращого узгодження перевантажувальної характеристики двигуна й захисної (час-струмової) характеристики реле номінальний струм уставки обирався на 15-20% вище номінального струму двигуна, тобто

$$I_{уст.н} = (1,15...1,20)I_{н_дв}, \quad (4.4)$$

тому що в теплове реле обраного вище пускача може бути встановлений тепловий елемент із різним номінальним струмом (струмом спрацьовування при нульовому положенні регулятора), то з ряду цих струмів для реле пускача необхідно вибрати значення, найближче до $I_{уст.н}$ і перевірити чи знаходиться величина в межі регулювання номінального струму уставки ($\pm 25\%$). Обрані в такий спосіб параметри реле забезпечують відключення двигуна, наприклад, при струмі перевантаження $1,3 I_{н_дв}$ за час не більш 10-20 хв., а при перевантаженні струмом $10 I_{н_дв}$ за час не більш 2-5 с.

4. Контрольні питання

1. Які електричні апарати називають реле?
2. Що таке характеристика вхід-вихід реле? Перелічите основні параметри реле.
3. Які вимоги пред'являються до реле? Як співвідносяться ці вимоги із призначенням і умовами експлуатації реле?
4. Поясніть принцип дії електромагнітних реле. На які параметри впливу такі реле можуть реагувати?
5. Який принцип дії електромагнітного реле часу? Де вони застосовуються? Як проводиться їхній вибір для схем пуску двигунів у функції часу?

6. Які реле називають поляризованими? У чому полягають їхні переваги в порівнянні з нейтральними реле? Де вони застосовуються?
7. Які реле називаються тепловими? На чому заснований їхній принцип дії?
8. Яке призначення запобіжників?
9. Які основні елементи конструкції будь-якого запобіжника?
10. Що таке номінальний струм запобіжника?
11. Що таке номінальний струм плавкої вставки?
12. Які матеріали використовують для виготовлення плавких вставок, їх переваги та недоліки?
13. Яке призначення плавких вставок запобіжників?
14. Поясніть конструкцію запобіжника типу ПР2 і процес гасіння дуги в ньому.
15. Тепловим реле називають - ?
16. Види теплового реле. Умови його застосування.
17. Недоліки теплового реле у порівнянні з автоматичним вимикачем.
18. Схема підключення теплового реле.
19. Будова та принцип дії теплового реле.
20. Методика вибору теплового реле для захисту електро двигуна.

Таблиця №4.1

«Вихідні дані для розрахунку до самостійної роботи №4»

№ вар.	P , кВт	$\cos \varphi$, в.о.	η , в.о.
1	15	0,91	0,88
2	18,5	0,92	0,885
3	22	0,91	0,885
4	15	0,88	0,885
5	18,5	0,88	0,895

6	22	0,9	0,9
7	11	0,86	0,86
8	15	0,87	0,875
9	11	0,75	0,87
10	15	0,82	0,87
11	7,5	0,89	0,75
12	15	0,72	0,81
13	7,5	0,80	0,81
14	11	0,85	0,88
15	11	0,90	0,89
16	30	0,90	0,90
17	30	0,88	0,91
18	37	0,89	0,92
19	37	0,91	0,85
20	55	0,88	0,885
21	55	0,85	0,85
22	55	0,81	0,855
23	28	0,90	0,895
24	28	0,91	0,87
25	28	0,885	0,89
26	11	0,86	0,87
27	11	0,81	0,90
28	18,5	0,89	0,90
29	18,5	0,905	0,88
30	15	0,92	0,90

«Технічні дані запобіжників серії ПР-2»

Номинальний струм запобіжника, А	Номинальні струми плавкої вставки, А	Граничний струм відключення при $\cos j_A = 0,4$, А
15	6, 10 та 15	4500
60	15, 20, 25, 35 45 та 60	8000
100	60, 80 та 100	11000
200	100, 125, 160 та 200	11000
350	200, 225, 260, 300 та 350	13000
600	350, 430, 500 та 600	20000

«Технічні данні магнітних пускачів при $U_{ном}=380В$ »

Тип захисного виконання	Номинальний струм, А	Максимальний робочий струм при категорії виконання АС-3	Тип вбудованого реле
ПМЕ-122	10	7,5	ТРН-8
ПМЕ-222	23	18	ТРН-25
ПА-322	40	30	ТРН-35
ПА-422	56	50	ТРП-60
ПА-522	11	100	ТРП-150
ПА-622	140	135	ТРП-150

«Технічні данні теплових реле»

Тип захисного виконання	Номинальний струм, А	Номинальні струми теплових елементів реле, А (при нульовому положенні регулятора)	Межі регулювання номінального струму установки
ТРН-8	10	2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,8; 8; 10.	Від $0,75 I_{ном}$ до $1,25 I_{ном}$
ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	
ТРН-32	40	16; 20; 25; 32; 40	
ТРП-60	60	25; 30; 40; 50; 60	
ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120; 150	

Таблиця № 4.5

Таблиця вибору теплових реле				
Номинальний струм пускача, А	Тип реле	Діапазон регулювання струму не спрацювання, А	Потужність електродвигуна кВт	Напруга, В
10	РТЛ-1007	1,5...2,6	0,75	380
	РТЛ-1008	2,4...4	1,5	
	РТЛ-1010	3,8...6	2,2	

	PTЛ-1012	5,5...8	3	
	PTЛ-1014	7...10	4	
25	PTЛ-1016	9,5...14	5,5	380
	PTЛ-1021	13...19	7,5	
	PTЛ-1022	18...25	11,0	
40	PTЛ-2053	23...32	15	380
	PTЛ-2055	30...41	18,5	
63	PTЛ-2057	38...52	22	380
	PTЛ-2059	47...64	25	
	PTЛ-2061	54...74	30	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основна

1. Електричні апарати : навч. посіб. / В. О. Лесько, В. О. Комар, С. В. Кравчук, О. В. Сікорська. Вінниця : ВНТУ, 2018. 102 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Lesko_2018_102.pdf.

2. Електричні апарати : конспект лекцій : у 3 ч. Ч. 2. Електричні апарати низької напруги / уклад. : І. Л. Лебединський, І. І. Борзенков. Суми : Сумський державний університет, 2020. 66 с. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/79770/3/Lebedynskiy_aparaty_nyzkoj_napruhy.pdf.

3. Жорняк Л. Б., Антонова М. В., Василевський В. В. Електричні апарати автоматики та керування. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. 414 с.

4. Електрична частина станцій та підстанцій: лабораторний практикум / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. П. Матеєнко, П. Л. Денисюк, Г. М. Гаєвська, Р. В. Вожаков. Київ : КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. 179 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fe0e77db-5bcf-480d-8eba-8abac7fc1c4c/content>.

5. Електричні апарати : конспект лекцій / уклад. : І. В. Гладь, Я. В. Бацала, О. І. Кіянюк. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2019. 126 с. URL: <https://files.library.nung.edu.ua/chytalnya/6844/index.html>.

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

Додаткова

1. Контрольно-вимірювальні прилади з основами метрології : методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни для здобувачів вищої освіти денної форми навчання ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. В. А. Мардзявко, А. Ю. Руденко. Миколаїв : МНАУ, 2024. 71 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17168>.

2. Асинхронні двигуни з тангенційним зсувом зубцових гармонік магнітного поля. Ч.2. Додаткові моменти і сили / А. А. Ставинський, О. О. Плахтир, Л. В. Вахоніна, О. О. Пальчиков. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". 2017. № 1 (1223). С. 22-27.

3. Vakhonina L. Interaction of harmonic waves with a thin elastic circular inclusion under conditions of smooth contact. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2016. Вип. 3 (91). С. 145-158. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3208>.

Електронні ресурси

1. ДСТУ 2304-93. Апарати комутаційні електричні. Вимикачі, перемикачі. Терміни та визначення. Чинний від 1993-12-27. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1993.

2. ДСТУ 2313-93. Електроприводи. Терміни та визначення. Чинний від 1993-12-27. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1993.

3. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги (EN 60204-1:2006; A1:2009; AC:2010, IDT). Зі зміною. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.

ДОДАТКИ

Додаток 1

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ЗВІТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ №1

з дисципліни

“Електричні апарати ”

на тему: “Розрахунок плавкої вставки”

Допуск до виконання _____

Допуск до захисту _____

Захист _____

Виконав студент групи: Ен 1/1 _____

(підпис)

Олексій ХАРІТОНОВ

(імя, прізвище)

Керівник: _____

(підпис)

Віталій МАРДЗЯВКО

(імя, прізвище)

2025

					141. ЕН 1/1. 11. СР01. ЕА	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Вахоніна** Лариса Володимірівна
Мардзявко Віталій Анатолійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 3,7.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.