

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ

методичні рекомендації
для виконання практичних робіт здобувачами початкового рівня (короткий
цикл) вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв
2022

Рекомендовано до друку методичною радою Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету (протокол № 9 від 23.05.2022р.)

Укладачі:

- Вахоніна Л. В. – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.
- Циганов О. М. – канд. тех. наук, старший викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.
- Мардзявко В. А. – канд. тех. наук, старший викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.
- Руденко А. Ю. – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

- Гавриш В. І. – канд. тех. наук, д.е.н., професор кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації та технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.
- Ставинський А. А. – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота №1 Розрахунок перетину струмопровідної шини до автоматичного вимикача постійного струму.....	5
Практична робота №2 Вибір типу магнітного пускача для пуску короткозамкненого асинхронного електродвигуна серії 4А.....	13
Практична робота №3 Вибір плавкого запобіжника для захисту асинхронного двигуна від дії короткого замикання.....	23
Практична робота №4 Визначити струми спрацьовування й відпускання, а також коефіцієнт повернення нейтрального екранованого герконового реле.....	32
Практична робота №5 Визначення опору і навантажувальної здатності резистора при тривалому режимі роботи.....	37
Практична робота №6 Розрахунок опору електричних контактів.....	46
Практична робота №7 Розрахунок та вибір теплового реле для захисту двигуна.....	54
Практична робота №8 Визначення значення електромагнітної сили, що діє у прямокутному розщепленому зазорі електромагніта.....	62
Практична робота №9 Розрахунок котушки електромагніту постійного струму.....	66
Практична робота №10 Розрахунок обмотки електромагніту змінного струму.....	72
Література.....	90
Загальні вимоги до оформлення звітів з практичних робіт.....	81
Додаток.....	83

ВСТУП

Електричні машини та апарати є основними елементами керування електроенергетичного комплексу будь-якої цивілізованої країни. Без електричних апаратів та електричних машин неможливо уявити собі системи електропостачання промислових підприємств, населених пунктів, електропривода та засобів автоматизації виробництва та сільського господарства. За цих обставин, весь час гостро стоять питання удосконалення електричних апаратів та їх виробництва.

Метою практичних робіт з дисципліни "Електричні машини та апарати" є формування у студентів знань, навиків та умінь, що дозволять їм здійснювати розрахунок та вибір електричних апаратів та використовувати їх для створення більш сучасних та досконалих електротехнічних засобів.

Задачі вивчення дисципліни полягають в тому, щоб здобувач початкового рівня вищої освіти засвоїв фундаментальні теоретичні основи різноманітних фізичних явищ, що відбуваються в електричних апаратах і на яких засновано їх функціонування.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач початкового рівня вищої освіти повинен

знати:

- фізичні процеси, що відбуваються в електричних апаратах та методи їх аналізу;
- принципи роботи основних елементів електричних апаратів та співвідношення для їх розрахунків;

вміти:

- здійснювати аналіз фізичних процесів, що відбуваються в електричних апаратах;
- здійснювати елементарні дослідження та розрахунки основних елементів електричних апаратів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

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

Мета: Ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методкою 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.

Автоматичні вимикачі виконуються одно-, дво-і триполюсні і мають наступні конструктивні вузли: головна контактна система, система дугогасіння, привод, розмикаючий пристрій, розчіплювач і допоміжні контакти.

На рис. 1 показаний електромагнітний механізм вимикача постійного струму.

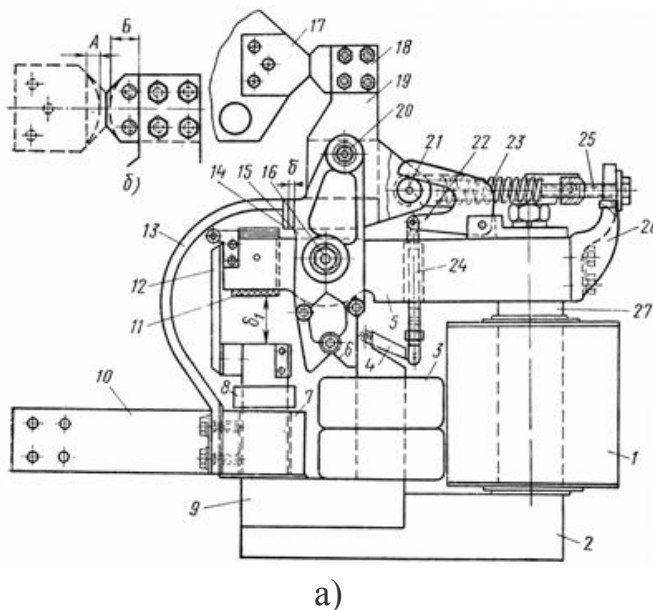


Рис. 1 – Електромагнітний механізм вимикача: а - розріз вимикача, б - межі граничного зносу контактів вимикача, (А - мінімальна товщина

нерухомого контакту 6 мм, Б - мінімальна товщина рухомого контакту 16 мм); 1 - утримує котушка, 2 магнітопровід, 3-включає котушка, 4 - магнітний якір, 5 - верхній сталевий брус, 6 - якір, 7 - котушка головного юка, 8 - калібрувальна котушка, 9 - П-подібний магнітопровід, 10 - токоведущий висновок, 11 -регулювочний гвинт, 12 - шунтирующая пластина, 13 - гнучка зв'язок, 14 - упор, 15 - важіль якоря, 16 - вісь важеля якоря, 17 - нерухомий контакт, 18 - рухливий контакт, 19 - контактний важіль, 20 - вісь контактного важеля, 21 - вісь з роликом, 22 - стопорний важіль, 23 - відключають пружини, 24 - тяга, 25 - регулюють гвинти, 26 - скоба, 27 - сердечник утримує котушки

Важіль якоря 15 (рис. 1) обертається навколо осі 16, пропущеної через верхній сталевий брус 5. У нижній частині важеля 15, що складається з двох силумінових щік, затиснутий сталевий якір 6, а у верхній частині - розпірна втулка з віссю 20, навколо якої обертається контактний важіль 19, виконаний з набору дюралюмінієвих пластин.

У верхній частині контактного важеля укріплений рухливий контакт 18, а знизу - мідний черевик з гнучким зв'язком 13, за допомогою якої рухливий контакт з'єднується з котушкою головного струму 7 і через неї з висновком 10. До нижньої частини контактного важеля з обох сторін прикріплені упори 14, а з правого боку є сталева вісь з роликом 21, до якої кріпляться однією стороною дві відключають пружини 23. з іншого боку відключають пружини за допомогою регулюючих гвинтів 25 закріплені в скобі 26, нерухомо встановленої на сталевому брусі 5.

У відключеному положенні система важелів (важіль якоря і контактний важіль) повернута відключають пружинами 23 навколо осі 16 до упору якоря 6 в лівий стрижень П-образного магнітопроводу.

Що включає 3 і утримує 1 котушки вимикача отримують живлення від власних потреб постійного струму.

Для включення вимикача необхідно спочатку замкнути ланцюг утримує котушки 1, потім - ланцюг включає котушки 3. Напрямок струму в обох котушках має бути таким, щоб магнітні потоки, створювані ними, склалися в правому стрижні сердечника магнітопроводу 9, який служить сердечником включає котушки; тоді якір 6 притягнеться до сердечника включає котушки, т. е. виявиться в положенні «Включено». При цьому вісь 20 разом з контактним важелем 19 повернуться вліво, що відключають пружини 23 розтягнуться і будуть прагнути повернути контактний важіль 19 навколо осі 20.

У випадку вимкнення відключений, магнітний якір 4 лежить на торці сердечника включає котушки і при включенні вимикача залишається притягнутим до торця сердечника сумарним магнітним потоком включає і утримує котушок. Магнітний якір 4 за допомогою тяги 24 пов'язаний зі стопорним важелем 22, який не дозволяє контактному важелю повернутися до упору рухомого контакту в нерухомий. Тому між головними контактами залишається зазор, який може регулюватися зміною довжини тяги 24 і має дорівнювати 1,5-4 мм.

Якщо зняти напругу з включає котушки, то електромагнітні сили, які утримують якір 4 в притягнутому положенні, зменшаться і пружини 23 за допомогою стопорного важеля 22 і тяги 24 відірвуть якір від торця сердечника включає котушки і повернуть контактний важіль до замикання головних контактів. Отже, головні контакти замкнуться тільки після того, як буде розімкнута ланцюг включає котушки.

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.

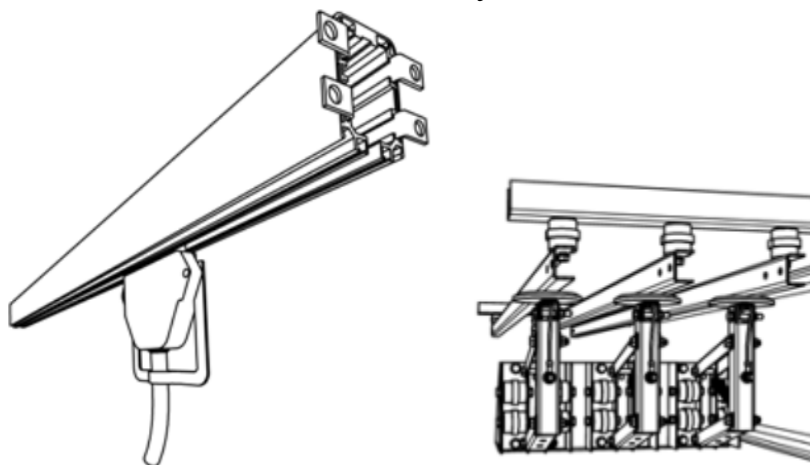


Рис. 2 – Приклади шинопроводів: а) закритий та захищений; б) відкритий шино провід

Відкриті шинопроводи — неізолювані 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. 3).

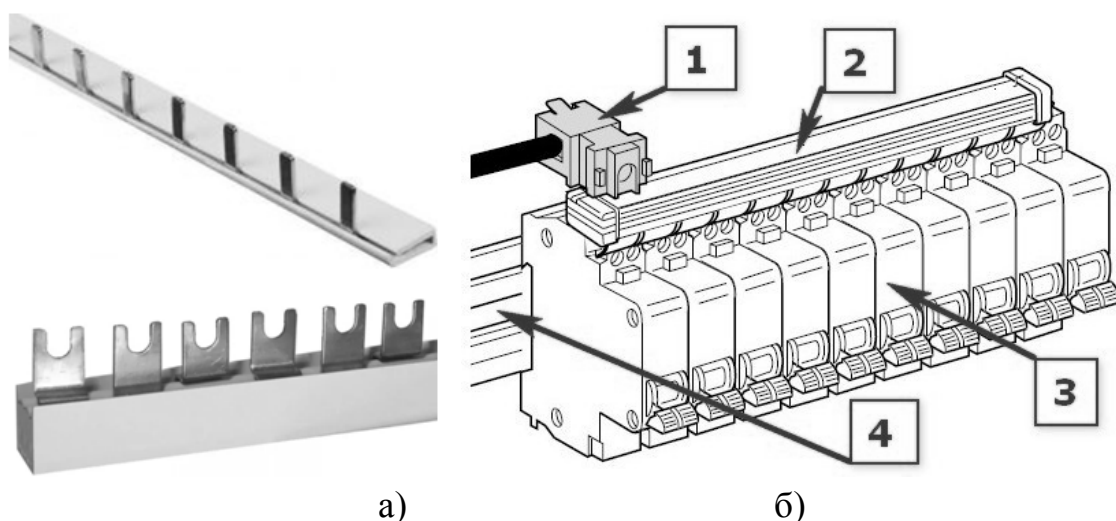


Рис. 3 – Тролейний шинопровід: а) - планка для з'єднання; б) - з'єднання автоматів у щитку схема: 1) клемма підключення; 2) шинопровід; 3) модульна апаратура; 4) дін-рейка

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 практичного 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 $I_{\text{ном}}$ і його електродинамічної стійкості при наскрізному струмі короткого замикання $I_{\text{кз}}$ (максимальне значення струму, що пропускається). Дані для розрахунків представлені в таблиці №1.

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

$$S_{\partial l} = \frac{I_n}{j_{\partial on}}$$

де $j_{\partial on}=2 \text{ А/мм}^2$ - 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 $S_{\partial l}$ 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 :

$$P_{e\partial} = 10^{-7} \cdot K \cdot K_{\phi} \cdot I_{\kappa 3}^2$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт форми, визначається по кривим Двайта, див. рис. 4. K – коефіцієнт, який визначається за формулою:

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

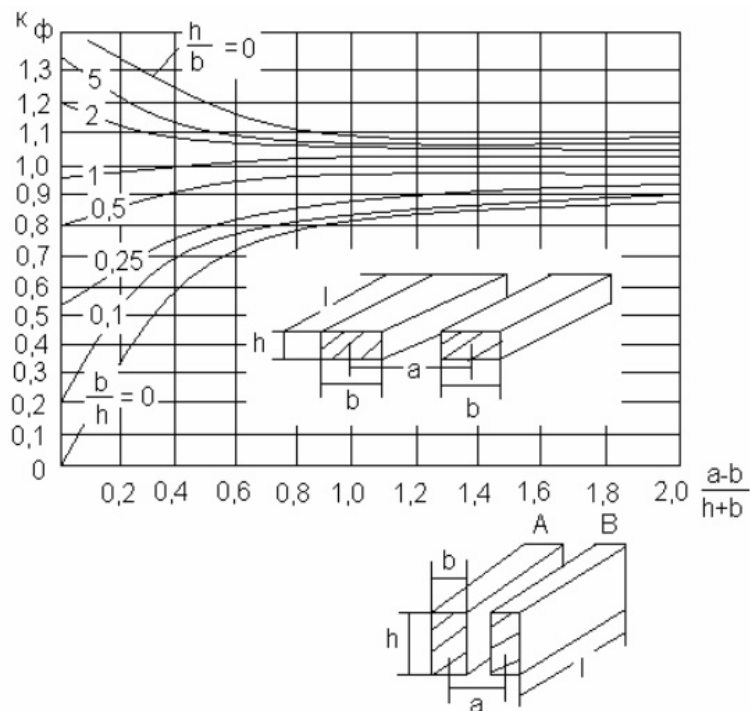


Рис. 4 – Криві Двайта, враховуючі вплив розмірів поперечного перерізу провідника

Максимальна згинаюча механічна напруга в шині:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\text{ед}} \cdot l}{12 \cdot W_{\text{из}}} = \frac{P_{\text{ед}} \cdot l}{2 \cdot h \cdot b^2}$$

де $W_{\text{из}}$ - момент опору вигину шини, мм³.

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 остаточно. Якщо $\sigma_{\max} > \sigma_{\text{доп}}$ то необхідно збільшити товщину шинопроводу, виходячи зі співвідношення:

$$b = \sqrt{\frac{P_{\text{ед}} \cdot l}{2 \cdot h \cdot \sigma_{\text{доп}}}}$$

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. 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 практичної 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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: Вибір типу магнітного пускача для пуску короткозамкненого асинхронного електродвигуна серії 4А.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою вибору магнітного пускача для пуску асинхронного двигуна.

1. Теоретичні відомості

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 пилу і сторонніх предметів. Магнітні пускачі захищеного виконання служать для встановлення всередині приміщень, в яких навколишнє середовище не містить значної кількості пилу. 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.

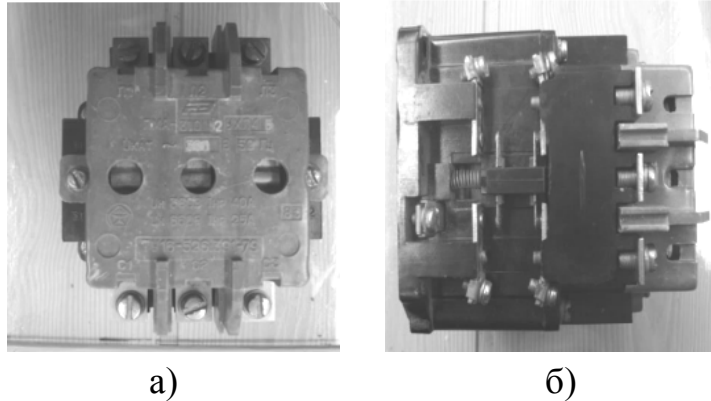


Рис. 1 - Магнітний пускач ПМА-310: а – вид спереду; в – вид зверху.



Рис. 2 – 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. 3) нерухомою частиною є осердя 7 з котушкою 6, які встановлюються нерухомо на основі 9. Рухомою частиною контактора є якір 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 якір 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. 3 вони відсутні.

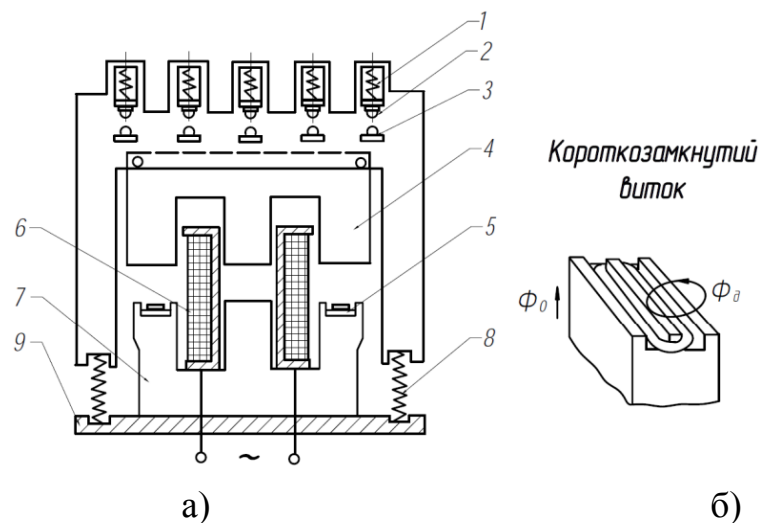


Рис. 3 – Принципова схема електромагнітного контактора з прямоходовою магнітною системою: а - будова магнітного контактора; б - короткозамкнений виток у магнітній системі контактора; 1 і 8 - пружини; 2 - рухомі контакти; 3 - нерухомі контакти; 4 - якор; 5 - короткозамкнений виток; 6 - котушка; 7 - осердя;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

У контакторах постійного струму осердя і якор виконують суцільнометалевими, а у контакторах змінного струму - шпихтованими, 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. 3, 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 $\Phi_{\text{д}}$, 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.

Широкого поширення набули термореле з біметалічною пластиною. У основі роботи реле теплового лежить явище деформації біметалічної пластини при її нагріві. Прогинаючись, біметалічна пластина своїм вільним кінцем впливає на контактну систему. Біметалічна пластина складається з двох пластин, одна з яких має більший температурний коефіцієнт розширення, а інша - менший. У місці прилягання один до одного пластини жорстко скріплені між собою прокатом в гарячому стані або зварюванням. При нагріванні відбувається вигин пластини з великим температурним коефіцієнтом розширення у бік матеріалу з меншим. Нагрів біметалічного елемента може виконуватися від тепла, що виділяється в пластині, за рахунок протікання струму навантаження і від спеціального нагрівача, по якому протікає струм навантаження. Кращі характеристики досягаються при використанні комбінованого нагріву, коли пластина нагрівається і за рахунок тепла, що виділяється струмом, що проходить через біметал, і за рахунок тепла, що виділяється спеціальним нагрівачем. В нашому випадку в реле ТРН використовується лише спеціальний нагрівач.

Також потрібно враховувати температуру довкілля, оскільки із зростанням температури довкілля струм спрацьовування термореле зменшується. При температурі, що сильно відрізняється від номінальної, необхідно або проводити додаткове регулювання, або підбирати нагрівальний елемент з врахуванням реальної температури довкілля. Основною характеристикою термореле є залежність часу спрацьовування від струму навантаження.

Двофазне теплове реле ТРН використовується, як правило, на магнітних пускачах в асинхронних двигунах. Його особливістю є можливість використання в мережах постійного струму.

Теплові реле серії ТРН двополюсні з температурною компенсацією - для захисту асинхронних електродвигунів від недопустимих перевантажень.

Теплові елементи реле ТРН-8А (ТРН-10А) складаються з термобіметалічної пластини із закріпленням на ній незмінним нагрівачем, а теплові елементи реле решти типів - з термобіметалічної пластини з розташованим під нею змінним нагрівачем, прикріпленням двома гвинтами до

силових затисків реле. Нагрівачі закривають легкознімною кришкою, яка стримується пружиною.

Схема пристрою і принципу роботи реле показана на рисунку 4.

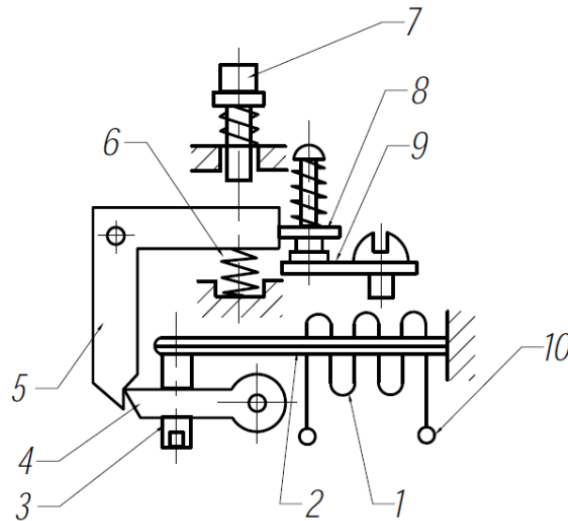


Рис. 4 – Теплове реле ТРН: 1 - нагрівач; 2 - біметалева пластина; 3 - регулювальний гвинт; 4 - заціпка; 5 - важіль; 6 - пружина; 7 - кнопка повернення; 8 - рухомий контакт; 9 - нерухомий контакт; 10 - вивід нагрівача

Реле складається з нагрівального елемента 1, що включається послідовно в одну з фаз ланцюга електродвигуна, біметалічної пластини 2, що утримує спусковий механізм 4, 5, нормально замкнутих контактів 8, 9, які включаються послідовно в ланцюг котушки пускача. При збільшенні струму в результаті перевантаження двигуна температура нагрівального елемента зростає. Під впливом тепла, що виділяється нагрівачем термобіметалічний елемент деформується, його ліва частина, відхиляючись убік впливає на розмикаючі контакти і розриває ланцюг живлення утримуючої котушки, внаслідок чого пускач відключається. Теплове реле забезпечене пристроєм для ручного повернення контактів, після закінчення часу, необхідного для охолодження термобіметалічного елемента після спрацьовування, що складається з системи важелів, керованих кнопкою 7. Встановлюваний в тепловому реле нагрівач є змінною деталлю і підбирається по номінальному струму електродвигуна, що захищається. Струм спрацьовування реле може змінюватися в певних межах за допомогою регулятора 3 уставок струму. Межі регулювання струму спрацьовування вказані на шкалі уставок струму, розташованій у верхній частині реле.

Традиційний тепловий захист за допомогою налагоджених теплових реле добре захищає електродвигун лише від перевантажень по струму, але ненадійно - при обриві фази, при включенні двигуна із загальмованим ротором і зовсім не реагує на порушення охолодження.

Для всіх типів теплових реле зі змінними нагрівачами передбачається комплект таких нагрівачів з певними номінальними струмами. Нагрівачі відрізняються фіксатором (наявністю і місцем розташування), настановними розмірами і формою місць кріплення, чим забезпечується вільна (без підгонки) установка нагрівачів лише в реле того типа, для якого вони призначені.

Кожен нагрівач має маркування (позначає величину номінального струму теплового елементу), а в реле з незмінними нагрівачами номінальний струм теплових елементів позначається або на корпусі реле, або на наконечниках.

Межі регулювання номінального струму уставки (при крайніх положеннях регуляторів) складають для реле ТРН-8А і ТРН-10А (0,8... 1,25) I_n , а для реле решти типів - (0,75... 1,3) I_n . Тип реле і номінальний струм теплового елементу вибирають з умов, аби максимальний струм тривалого режиму реле (з даним тепловим елементом) був не менш номінального струму електродвигуна, що захищається, струм уставки реле дорівнював номінальному струму електродвигуна (або дещо більше цього струму - в межах 5%), а запас на регулювання струму уставки як у бік його збільшення, так і у бік зменшення був невеликим. Струм уставки визначається з того, що кожне з 10 ділень уставки (по 5 ділень вліво і вправо від нульової позначки) відповідає в середньому 5% номінального струму теплового елементу.

2. Виконання практичного завдання

Завдання: Для прямого пуску короткозамкненого асинхронного електродвигуна серії 4А потужністю P , що живиться від мережі з номінальною напругою $U_{ном} = 380$ В, використовується магнітний пускач, схема включення якого представлена на рис. 5. 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. Дані для розрахунків наведені в таблиці 2.1. Технічні дані деяких типів пускачів й теплових реле наведені відповідно у таблиці 2.2 та таблиці 2.3.

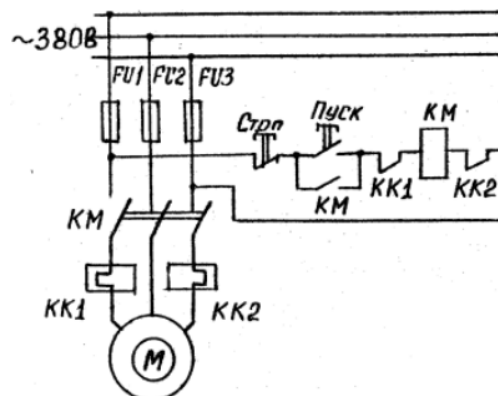


Рис. 5 - Схема під'єднання магнітного пускача та двигуна до мережі

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. 2.1).

По величині цього струму з табл. 2.2 проводиться вибір пускача таким чином, щоб максимальний робочий струм пускача в категорії застосування АС-3 (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 уставки 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

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

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 (табл. 2.3) 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.

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. 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?

Таблиця №2.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №1»

№ 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

Таблиця №2.2

«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

Таблиця №2.3

«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	

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Тема: Вибір плавкого запобіжника для захисти асинхронного двигуна від дії короткого замикання.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою вибору плавкого запобіжника для захисти асинхронного двигуна від КЗ.

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

$$I_{\text{в}} \geq I_{\text{н.зан}}$$

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 ($\rho = (0,06 \dots 0,02) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) 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 ($\rho = (0,016 \dots 0,018) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) 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. 1). Плавка вставка перегоряє при температурі, що наближається до температури плавлення олова.

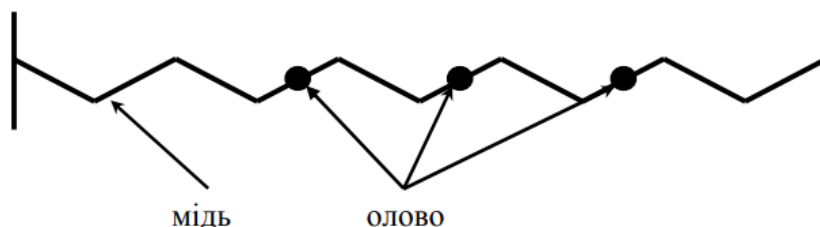


Рис. 1 – Використання металургійного ефекту в запобіжнику

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 УН.

Для обмеження перенапруги також застосовують плавкі вставки з кількох спірально завитих дротів різного перерізу. Спочатку перегоряє вставка меншого перерізу, а потім більшого (рис. 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. 2).

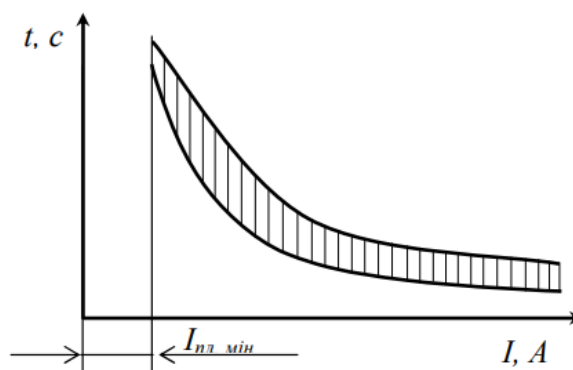


Рис. 2 – Захисна характеристика запобіжника

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. 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. 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.

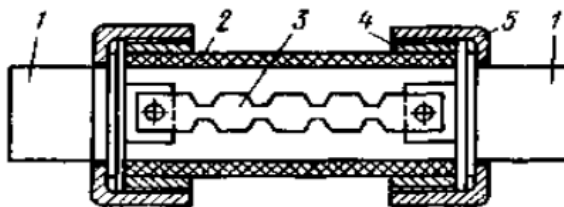


Рис. 3 – Плавкий запобіжник типу ПР2

Запобіжники типу ПН2 (рис. 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.

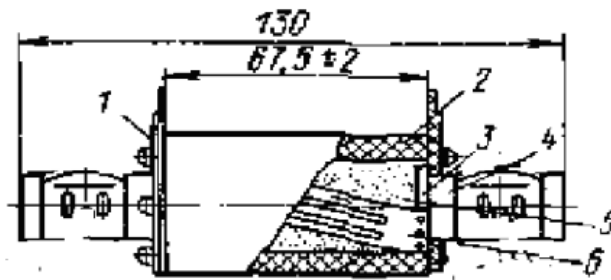


Рис. 4 – Плавкий запобіжник типу ПН2

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.

2. Виконання практичного завдання

Завдання: Для захисту від струмів короткого замикання кола живлення короткозамкненого асинхронного електродвигуна потужністю P (рис. 6 та табл. 3.1.) 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. 3.2.

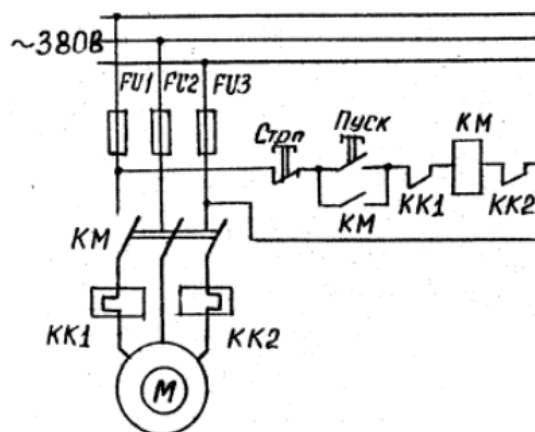


Рис. 6 - Схема під'єднання магнітного пускача та двигуна до мережі

1. Визначення номінального струму плавкої вставки.

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

$$I_{вст.ном} = \frac{I_{н_дв}}{2,5}$$

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

Відповідно до розрахованого значення $I_{вст.ном}$ з табл. 3.2 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 $I_{погр}$ береться трохи більше номінального струму плавкої вставки. Відношення $I_{погр} / I_{вст.ном}$ для мідних вставок становить 1,6...1,8, т.ч. $I_{погр} = (1,6...1,8) \cdot I_{вст.ном}$.

3. Визначення діаметра мідної плавкої вставки.

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

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

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; $K_T = 11 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ – коефіцієнт теплопередачі з зовнішньої поверхні вставки.

4. 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. 2.1).

По величині цього струму з табл. 2.2 проводиться вибір пускача таким чином, щоб максимальний робочий струм пускача в категорії застосування АС-3 (пуск електродвигунів з короткозамкненим ротором, відключення обертових двигунів при номінальному навантаженні) був не менш номінального струму двигуна й максимально близьким до нього.

5. Визначення номінального струму уставки 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

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

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 (табл. 2.3) необхідно вибрати значення, найближче до $I_{уст.н}$ і перевірити чи знаходиться величина в межах 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.

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. Яке призначення запобіжників?
2. Які основні елементи конструкції будь-якого запобіжника?
3. Що таке номінальний струм запобіжника?
4. Що таке номінальний струм плавкої вставки?
5. Які матеріали використовують для виготовлення плавких вставок, їх переваги та недоліки?
6. Яке призначення плавких вставок запобіжників?
7. Поясніть конструкцію запобіжника типу ПР2 і процес гасіння дуги в ньому.

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №3»

№ 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

Таблиця №3.2

«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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

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

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою 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.1.

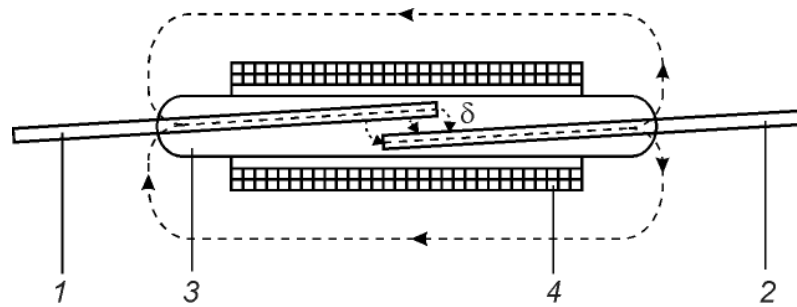


Рис.1 – Найпростіше герконове реле із симетричним замикаючим контактом

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.

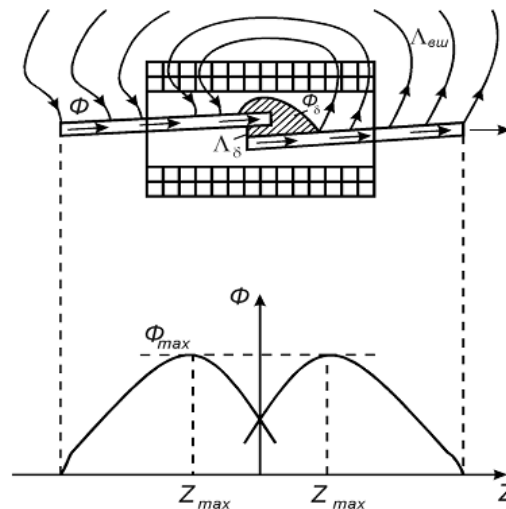


Рис. 2 – Спрощена картина магнітного поля геркона, керована обмоткою зі струмом

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.

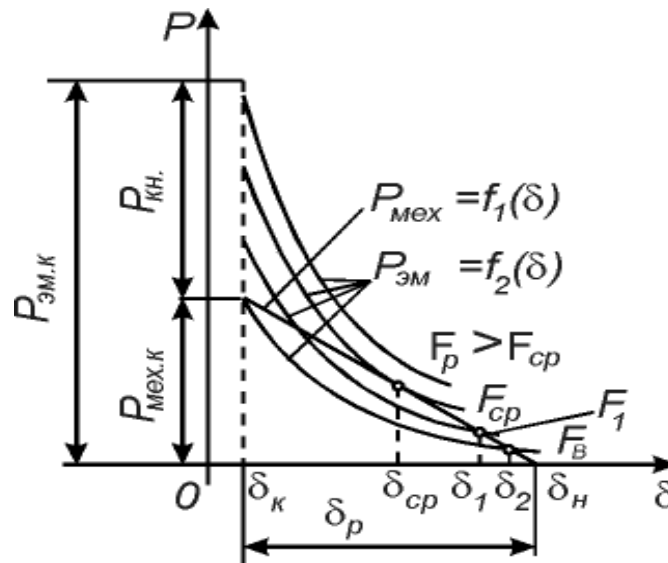


Рис. 3 – Механічна $P_{\text{мех}}=f_1(\delta)$ та $P_{\text{зм}}=f_2(\delta)$ тягова характеристика реле

На рис. 3 наведено механічну характеристику $P_{\text{мех}}=f_1(\delta)$ і статичні тягові характеристики $P_{\text{зм}}=f_2(\delta)$. При повільному збільшенні магніторушійної сили (МДС) обмотки значення F_1 робочий зазор δ_p між КС зменшується від значення δ_n до δ_1 . При подальшому повільному збільшенні МДС КС зближуються до зазору спрацьовування $\delta_{\text{спр}}$ відповідного МДС статичного спрацьовування $F_{\text{спр}}$ і точкою, що визначається торканням механічної характеристики з тяговою характеристикою при $F_{\text{спр}}$. З досягненням $\delta_{\text{спр}}$ КС швидко переходять до замкненого стану при кінцевому робочому магнітному зазорі δ_k . Різкий перехід КС від зазору $\delta_{\text{спр}}$ до δ_k називають "зривом".

2. Виконання практичного 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. 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 $K_{роз} = 0,1$. Коефіцієнт магнітної провідності магнітопроводу $K_{см} = 2$. Величина початкового робочого зазору δ_0 та число витків обмотки керування w наведені у табл. 4.1.

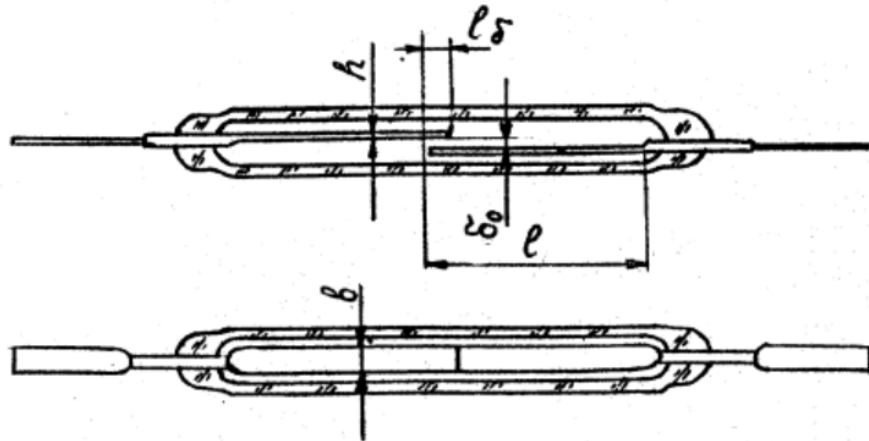


Рис. 4 – Розрахункові параметри герконового реле

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

$$F_{cn} = \frac{2 \cdot \delta_0}{3} \cdot \left(\frac{1}{K_{см}} + 1 + \frac{K_{роз}}{K_{см}} \right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_0}{3} \cdot \left(1 + \frac{1}{K_{см} + K_{роз}} \right)} \cdot \frac{C \cdot K_{см}}{\mu_0 \cdot b \cdot l_{\delta}}$$

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

2. Струм спрацювання реле:

$$I_{відн} = \frac{F_{відн}}{w}$$

3. Коефіцієнт повернення реле:

$$K_n = \frac{I_{відн}}{I_{cn}}$$

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. 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 №4.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №4»

№ 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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Тема: Визначення опору і навантажувальної здатності резистора при тривалому режимі роботи.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з процесом визначення опору і навантажувальної здатності резистора при тривалому режимі роботи.

1. Теоретичні відомості

Резистором називається пасивний елемент, призначений для створення в електричному колі необхідної величини опору, що забезпечує перерозподіл і регулювання електричної енергії між елементами схеми.

Резистори, які випускаються вітчизняною промисловістю класифікуються по різних ознаках. Залежно від характеру зміни опору резистори розділяють на постійні – значення опору фіксоване; змінні – зі змінним значенням опору.

Залежно від призначення резистори діляться на загального призначення й спеціальні (прецизійні, надпрецизійні, високочастотні, високовольтні, високомегаомні).

Резистори загального призначення використовуються як навантаження активних елементів, поглиначів, дільників у колах живлення, елементів фільтрів, шунтів, в RC-колах формування імпульсних сигналів і ін. Діапазон номінальних опорів цих резисторів 1 Ом...10 МОм, номінальні потужності розсіювання – 0,125...100 Вт. Відхилення опору від номінального значення, що допускаються ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20 %.

Прецизійні й надпрецизійні резистори відрізняються високою стабільністю параметрів і високою точністю виготовлення (допуск $\pm 0,0005$...0,5 %). Такі резистори застосовуються в основному у вимірювальних приладах, системах автоматики, розрахунково-вирішувальних пристроях. Діапазон цих резисторів значно ширший, ніж резисторів загального призначення.

Високочастотні резистори відрізняються малими власними індуктивністю і ємністю й призначені для роботи у високочастотних колах, кабелях і хвилеводах. Високовольтні резистори розраховані на роботу при великих (від одиниць до десятків кіловольтів) напругах.

Високомегаомні резистори мають діапазон номінальних опорів від десятків мегаом до одиниць тераом. Високомегаомні резистори застосовуються в колах з робочою напругою до 400 В і звичайно працюють у режимі малих струмів. Потужності розсіювання їх невеликі (до 0,5 Вт).

Залежно від способу захисту від зовнішніх факторів резистори діляться на неізолювані, ізолювані, герметизовані та вакуумні.

Неізолювані резистори з покриттям або без нього не допускають торкання своїм корпусом шасі апаратури.

Ізолювані резистори мають ізоляційне покриття (лак, компаунд, 2 пластмаса) і допускають торкання корпусом шасі й струмоведучих частин радіоелектронної апаратури (РЕА).

Герметизовані резистори мають герметичну конструкцію корпуса, яка виключає вплив навколишнього середовища на його внутрішній простір. Герметизація здійснюється за допомогою обпресування спеціальним компаундом.

Вакуумні резистори мають резистивний елемент, який поміщено у скляну вакуумну колбу. По способу монтажу резистори підрозділяються на резистори для поверхневого й друкованого монтажу, для мікромодулів і інтегральних мікросхем. По матеріалу резистивного елемента резистори діляться на дровові, недротяні, металофольгові.

Дровові – резистори, в яких резистивним елементом є високоомний дріт (виготовляється з високоомних сплавів: константан, ніхром, нікелін). Недротяні – резистори, в яких резистивним елементом є плівки або об'ємні композиції з високим питомим опором.

Металофольгові – резистори, у яких резистивним елементом є фольга певної конфігурації.

Недротяні резистори можна розділити на тонкоплівкові (товщина шару в нанометрах), товстоплівкові (товщина в частках міліметра), об'ємні (товщина в одиницях міліметра).

Тонкоплівкові резистори підрозділяються на металодіелектричні, металоокисні й металізовані з резистивним елементом у вигляді мікрокомпозиційного шару з діелектрика й металу, або тонкої плівки окису металу, або сплаву металу; вуглецеві й боровуглецеві, елемент, що проводить, яких являє собою плівку піролітичного вуглецю або борорганічних з'єднань.

До товстоплівкових відносять лакосажові, керметні й резистори на основі провідних пластмас. Провідні резистивні шари товстоплівкових об'ємних резисторів являють собою гетерогенну систему (композицію) з декількох фаз, одержувану механічним змішанням провідного компонента, наприклад графіту або сажі, металу або окису металу, з органічними або неорганічними наповнювачами, пластифікаторами або затверджувачем. Після термообробки утворюється монолітний шар з необхідним комплексом параметрів.

В об'ємних резисторах у якості сполучного компонента використовують органічні смоли або склоемалі. Провідним компонентом є вуглець.

У резистивних керметних шарах основним провідним компонентом є металеві порошки і їх суміші, що представляють собою керамічну основу з рівномірно розподіленими частками металу.

Відповідно до діючої системи скорочених і повних позначень скорочена умовна позначка, що привласнюється резисторам, повинна складатися з наступних елементів:

перший елемент – буква або комбінація букв, що позначають підклас резисторів (Р – резистори постійні; РП – резистори змінні; НР – набір резисторів);

другий елемент – цифра, що позначає групу резисторів по матеріалу резистивного елемента (1 – недротяні; 2 – дровові або металофольгові);

третій елемент – реєстраційний номер конкретного типу резистора.

Між другим і третім елементами ставиться дефіс. Наприклад, постійні недротяні резистори з номером 4 або змінні недротяні резистори з номером 46 слід писати Р1-4 і РП1-46 відповідно.

Повна умовна позначка складається зі скороченого позначення, варіанта конструктивного виконання (при необхідності), значень основних параметрів і характеристик резистора, кліматичного виконання й позначення документа на поставку.

Параметри й характеристики для постійних резисторів вказуються в наступній послідовності:

- номінальна потужність розсіювання;
- номінальний опір і буквене позначення одиниці виміру;
- відхилення опору, що допускається, у відсотках (допуск);
- група за рівнем шумів (для недротяних резисторів);
- група за температурним коефіцієнтом опору (ТКО).

Наприклад, постійний недротяний резистор з реєстраційним номером 4, номінальною потужністю розсіювання 0,5 Вт, номінальним опором 10 кОм, з допуском $\pm 1\%$, групою за рівнем шумів – А, групи ТКС - Б, всекліматичного виконання - В, позначається: Р1-4-0,5-10 кОм $\pm 1\%$ А-Б- В ОЖО.467.157ТУ.

Кодоване позначення номінальних опорів складається із трьох або чотирьох знаків, що включають дві цифри й букву або три цифри й букву. Буква коду з російського або латинського алфавіту позначає множник, що становить опір, і визначає положення коми десяткового знака. Букви R, K, M, G, T позначають відповідно множники 1, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} .

Наприклад, 5R1, 150K, 2M2 позначають 5,1 Ом, 150 кОм, 2,2 МОм відповідно. Повне позначення відхилення, що допускається, складається із цифр, а кодоване з букв (табл. 5.1).

Таблиця №5.1

«Кодовані позначення припустимих відхилень опорів»

Допуск, %	Кодоване позначення	Допуск, %	Кодоване позначення	Допуск, %	Кодоване позначення
$\pm 0,001$	<i>E</i>	$\pm 0,05$	<i>X</i>	± 2	<i>G</i>
$\pm 0,002$	<i>L</i>	$\pm 0,1$	<i>B</i>	± 5	<i>J</i>
$\pm 0,005$	<i>R</i>	$\pm 0,25$	<i>C</i>	± 10	<i>K</i>
$\pm 0,01$	<i>P</i>	$\pm 0,5$	<i>D</i>	± 20	<i>M</i>
$\pm 0,02$	<i>U</i>	± 1	<i>F</i>	± 30	<i>N</i>

По існуючій раніше системі (ГОСТ 13453-68), перший елемент скороченого позначення – буква (С – резистор постійний, СП – резистор змінний). Другий елемент – цифра, що позначає тип резисторів за матеріалом резистивного шару (1 – недротяні тонкошарові вуглецеві й борвуглецеві; 2 – недротяні тонкошарові металодіелектричні й металоокисні; 3 – недротяні композиційні плівкові; 4 – недротяні композиційні об'ємні; 5 – дровові; 6 – недротяні тонкошарові металізовані). Третій елемент – число, що позначає порядковий номер виробу.

Наприклад, С2-33 позначає резистор постійний недротяний тонкошаровий металодіелектричний, реєстраційний номер 33.

Маркування на резисторах по даній системі також буквено-цифрова. Вона містить: вид, номінальну потужність, номінальний опір, допуск і дату виготовлення. При малих розмірах резисторів може застосовуватися не повне, а скорочене (кодоване) позначення номінальних опорів і допусків (табл. 5.1, 5.2).

Таблиця №5.2

«Система позначення номінальних опорів резисторів»

Одиниця виміру	Кодовання позначення одиниці виміру	Межі номінальних опорів	Приклад повного позначення	Приклад відповідного скороченого позначення
Ом	Е	до 99	0,47 Ом 4,7 Ом	Е47 4Е7
кОм	К	0,1...99	470 Ом 4,7 кОм	К470 4К7
МОм	М	0,1...99	470 кОм 4,7 МОм	М47 4М7
ГОм	Г	0,1...99	470 МОм 4,7 ГОм	Г47 4Г7
ТОм	Т	0,1...99	0,47 ТОм	Т47

На постійних мініатюрних резисторах, відповідно до ГОСТ 17598-72 і вимогами Публікації 62 МЕК (Міжнародної Електротехнічної Комісії), допускається маркування кольоровим кодом. Її наносять знаками у вигляді кіл або смуг. Маркування кольоровим кодом виконується трьома, чотирма, п'ятьма або шістьма смугами. Як правило, перша смуга розташована ближче до одного з виводів резистора, іноді вона ширше інших і розташовують зліва направо у наступному порядку: перша смуга – перша цифра, друга смуга – друга цифра, третя смуга – множник і четверта смуга – допуск (рис. 1). У випадку п'ятисмугового позначення перші три смуги відповідають опору, четверта – множник, а п'ята – допуск. Коли на резисторі лише три смуги, його допуск – 20 %, а всі смуги означають тільки опір. Шоста смуга, якщо вона є, вказує температурний коефіцієнт опору (ТКО).

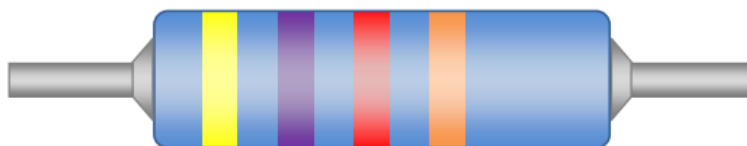


Рис. 1 – Маркування резисторів кольоровим кодом

Кольори знаків маркування номінального опору й допусків повинні відповідати зазначеним в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

«Колір знаків маркування резисторів»

Колір знака	Номінальний опір, Ом				Допуск, %	ТКО [ppm/°C]
	Перша цифра	Друга цифра	Третя цифра	Множник		
Срібlistий				10^{-2}	±10	
Золотавий				10^{-1}	±5	
Чорний		0	0	1		
Коричневий	1	1	1	10	±1	100
Червоний	2	2	2	10^2	±2	50
Жовтогарячий	3	3	3	10^3		15
Жовтий	4	4	4	10^4		25
Зелений	5	5	5	10^5	±0,5	
Блакитний	6	6	6	10^6	±0,25	10
Фіолетовий	7	7	7	10^7	±0,1	5
Сірий	8	8	8	10^8	±0,05	
Білий	9	9	9	10^9		1

Умовні графічні позначення постійних резисторів наведено на рис. 2, 3, змінних – на рис. 4.

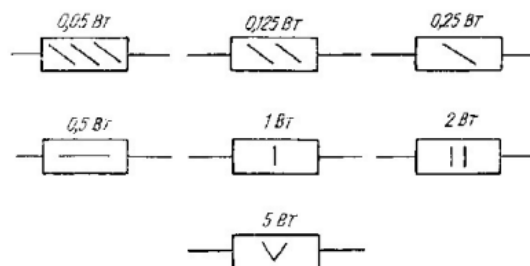


Рис. 2 – Умовні графічні позначення постійних резисторів різної потужності розсіювання

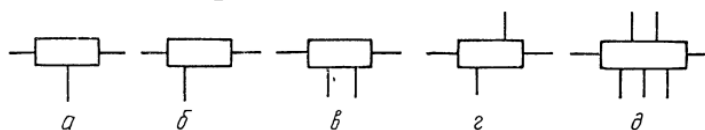


Рис. 3 – Резистори постійні з додатковими виводами: а – з одним симетричним, б – з одним несиметричним, в, г – із двома виводами, д – з п'ятьма виводами

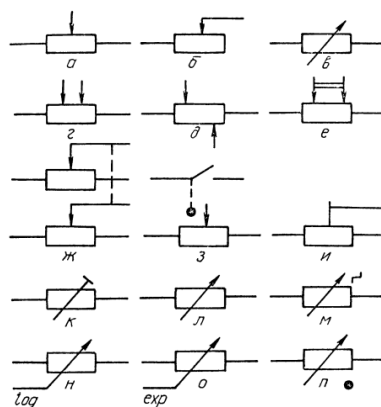


Рис. 4 – Умовні графічні позначення змінних резисторів: а, б – резистор змінний, в – резистор змінний у реостатному включенні, г, д – резистор змінний із двома рухливими контактами, е – резистор змінний із двома механічно зв'язаними рухливими контактами, ж – резистор змінний здвоєний, з – резистор змінний із замикаючим контактом; и, к – резистор, що підлаштовується, л – резистор із плавним регулюванням, м – резистор зі східчастим регулюванням, н – резистор з логарифмічною характеристикою регулювання, о – резистор з експонентною характеристикою регулювання, п – резистор, у якого регулювання виведене на передню панель

2. Виконання практичного завдання

Завдання: У пускорегулювальному реостаті використовується резистори, виконані з константового дроту, намотаної на теплоємний

фарфоровий циліндр, що має жолобки для укладання константового дроту. Діаметр циліндрів $D = 36$ мм, число жолобків n , активна довжина циліндра l , маса циліндра G_k , діаметр дроту d .

Визначити опір і навантажувальну здатність резистора при тривалому режимі роботи, а також постійну часу нагрівання, коефіцієнт перевантаження й припустимий струм перевантаження для короткочасного режиму роботи тривалістю $t_{кр}$. Дані для розрахунків наведені в табл. 5.4.

1. Опір резистора:

$$R = \rho \frac{l_{np}}{S_{np}} = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) \cdot \frac{4 \cdot D \cdot n}{d^2}$$

де $\rho_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м – питомий опір константану при 0°C ; $\alpha = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ – температурний коефіцієнт опору для константану; $l_{np} = D \cdot n \cdot \pi$ – довжина дроту, що укладається в жолобки циліндра, мм; S_{np} – перетин дроту, м^2 ; $T = 500^\circ\text{C}$ – припустима температура нагрівання константового дроту на фарфоровому каркасі.

2. Навантажувальна здатність резистора при тривалому режимі роботи оцінюється припустимою величиною струму:

$$I_{mp} = \sqrt{\frac{K_m \cdot F_{np} \cdot \tau_{don}}{R}}$$

де $K_m = 22,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні дроту; $\tau_{don} = 400^\circ\text{C}$ – припустиме перевищення температури константового дроту над температурою навколишнього середовища усередині реостата; F_{np} – поверхня дроту, яка визначається виразом:

$$F_{np} = \pi \cdot d \cdot l_{np} = \pi^2 \cdot d \cdot D \cdot n$$

3. Постійна часу нагрівання резистора при короткочасному режимі роботи:

$$\vartheta = \frac{\beta_k \cdot c_k \cdot G_k + c_0 \cdot G_0}{K_{mk} F_k}$$

де $\beta_k = 0,35$ – коефіцієнт, що враховує участь фарфорового циліндра у тепловідводі від дроту в короткочасному режимі роботи; $c_k = 1,05 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$ – питома теплоємність фарфору; $c_0 = 0,4 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$ – питома теплоємність константа; $\gamma_0 = 8,9 \text{ г}/\text{см}^3$ – густина константа; $K_{mk} = 0,0023 \text{ Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні фарфорового циліндру; G_0 – маса дроту циліндра, що визначається за формолою, кг:

$$G_0 = \gamma_0 \cdot S_{np} \cdot l_{np} = \frac{\gamma_0 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot D \cdot n}{4}$$

де F_k - зовнішня бокова поверхня циліндра, що визначається за формулою, м:

$$F_k = \pi \cdot D \cdot l$$

4. Коефіцієнт перевантаження резистора по струму в короткочасному режимі роботи:

$$p = \frac{1}{\sqrt{1 - e^{-t_{кр}/\theta}}}$$

5. Припустимий струм перевантаження резистора в короткочасному режимі роботи:

$$I_{кр} = p \cdot I_{тр}$$

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. Яка класифікація реле?
2. Процес визначення опору і навантажувальної здатності резистора при тривалому режимі роботи.
3. Умовні графічні позначення постійних резисторів різної потужності.
4. Умовні графічні позначення змінних резисторів.
5. Призначення резисторів, умови їх застосування.

Таблиця № 5.4

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №5»

№ вар.	d , мм	$t_{кр}$, с	n	l , мм	G_k , кг
I	II	III	IV	V	VI
1	0,8	10	30	100	180
2	1,0	12	30	100	180
3	1,2	15	30	100	180
4	1,4	18	30	100	180
5	1,6	20	30	100	180

6	1,4	12	40	145	260
7	1,6	15	40	145	260
8	1,8	18	40	145	260
9	2,0	20	40	145	260
10	2,2	25	40	145	260
11	0,71	7	30	95	170
12	2,0	15	30	100	180
13	2,5	16	45	70	5
14	2,6	17	45	70	10
15	2,7	19	45	70	20
16	2,8	21	45	70	25
17	2,9	22	35	80	30
18	3,0	23	35	90	35
19	3,1	24	35	100	40
20	3,2	17	35	110	50
21	3,3	16	35	120	60
22	1,5	19	50	130	70
23	1,7	21	50	140	80
24	1,9	22	50	150	90
25	2,1	23	5	75	100
26	0,5	26	55	85	110
27	0,6	27	55	95	120
28	0,7	28	55	105	130
29	0,9	50	55	115	140

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

Тема: Розрахунок опору електричних контактів.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої 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. 1 - 3).

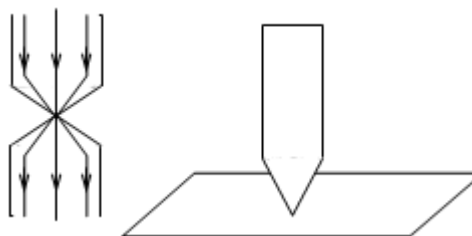


Рис. 1 – Точкові контакти

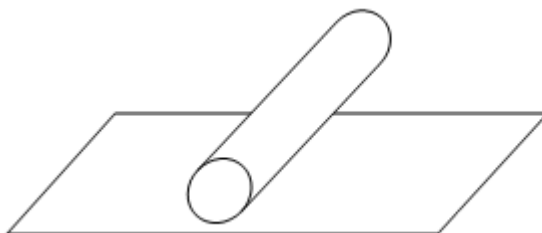


Рис. 2 – Циліндр-циліндр,виток-виток. (мінімум 2 точки контактування)

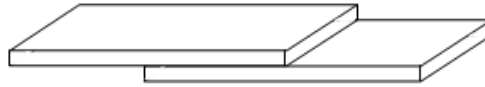


Рис. 3 – Поверхневі контакти

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 зминання при пластичній деформації, зв'язані між собою співвідношенням:

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

де S – площа, то

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

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. 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, $n = 0.7/1$ 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 – $7.6 \cdot 10^{-3}$.

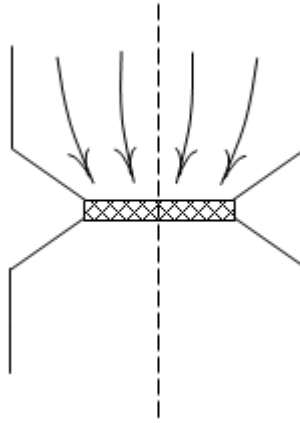


Рис. 4.

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:

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

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:

$$R_k = \frac{\rho}{d} = \frac{\rho}{2a}$$

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

Підставивши формулу можна виразити опір наступним чином:

- для квадратного контакту

$$R_k = \frac{\rho \sqrt{\sigma_{3M}}}{2\sqrt{F_k}}$$

- для круглого контакту

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{F_k}{\sigma_{3M}}, R_k = \frac{\rho \sqrt{\pi \sigma_{3M}}}{2\sqrt{F_k}}$$

Якщо подивитись в мікроскоп на профіль двох контактуючих металічних поверхонь, то побачимо картину такого виду (рис. 5):

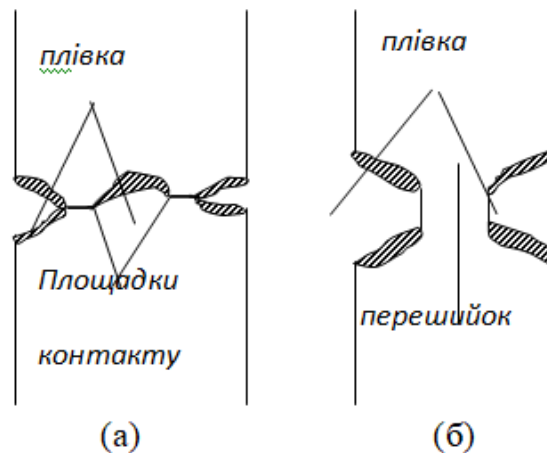


Рис. 5.

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):

$$R_k = \frac{\rho}{2a \cdot n}$$

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

$$R_{k.ст} = \frac{\rho \sqrt{\pi \cdot \sigma_{зм}}}{2 \sqrt{n \cdot F_k}}$$

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 практичного завдання

Завдання: Розрахуйте перехідний опір свіжозачищеного контакту за даними, які наведено в табл. № 6.1.

1. Перехідний опір контакту:

$$R = \frac{\rho}{2r},$$

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

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

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

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:

$$r = \sqrt{\frac{F}{\pi \sigma}},$$

де σ – тимчасовий опір зминанню матеріалу контактів.

4. Перехідний опір свіжозачищеного точкового контакту:

$$R = \frac{K}{F^n},$$

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:

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

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:

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

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:

$$\Delta \theta = \frac{U^2}{8 \lambda \rho},$$

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:

$$m = 10^{-9} k_m N I^2,$$

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 № 6.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 6»

№ вар.	Призначення контактів або струм, А	Тип контактів	Матеріал контактів	Сила контактного притискування, 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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

Тема: Розрахунок та вибір теплового реле для захисту двигуна.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з процесом вибору теплового реле за потужністю двигуна.

1. Теоретичні відомості

Теплове реле – це реле, яке реагує на зміну теплових величин (температури, теплового потоку тощо). Теплове реле (рис. 1) 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. 1 – 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. 2):

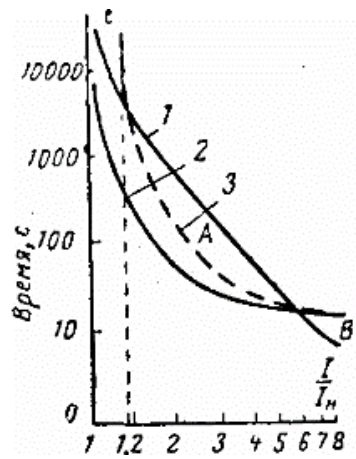


Рис. 2 – Характеристика часу спрацювання реле

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 рятують 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. 3.

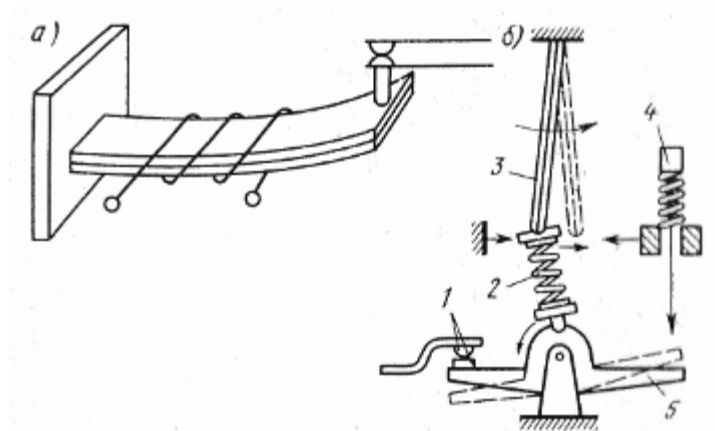


Рис. 3 – Будова теплового реле : а) – чутливий елемент; б) – реверсуючий контакт; 1 – контакти; 2 – пружина; 3 – біметалічна пластина; 4 – кнопка; 5 – місток повернення

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.

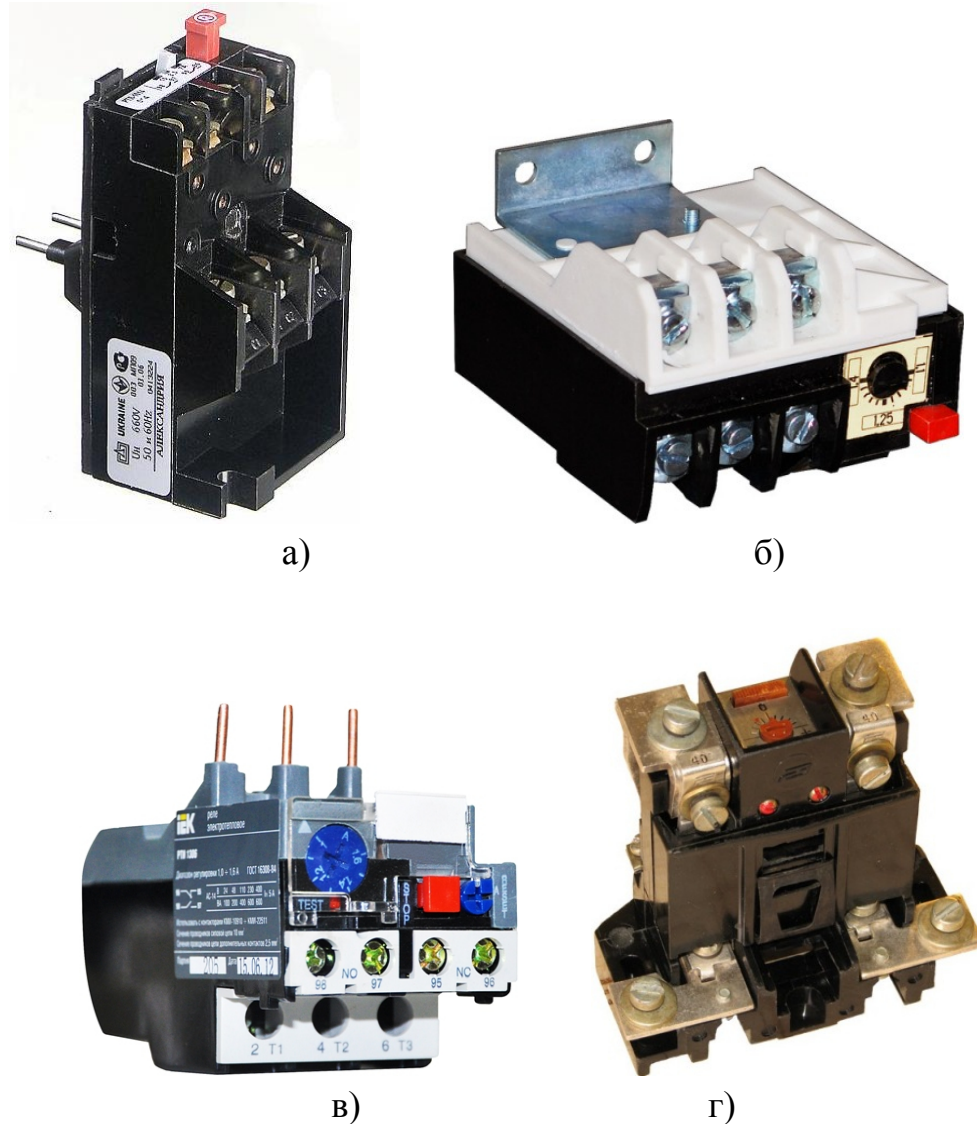


Рис. 4 – Види теплових реле: а) РТЛ – підходить для використання із пускачами типу ПМЛ. З набором клем КРЛ використовується як самостійний

захист; б) РТТ – підходить для монтажу з пускачами ПМЕ 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%.

Як було зазначено, теплове реле захищає від тривалого навантаження електрообладнання. Воно монтується між джерелом живлення та споживачем, рис. 5.

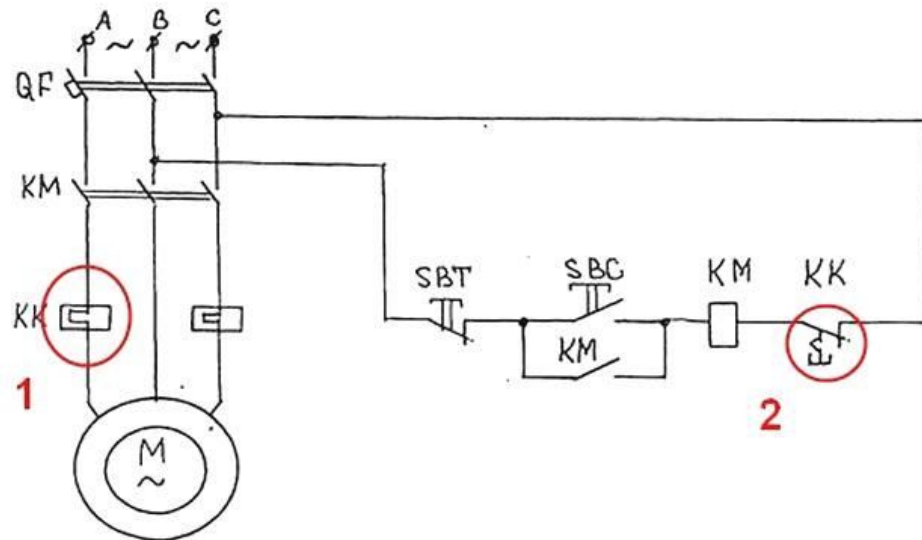


Рис. 5 – Схема пуску електродвигуна

Контрольований струм протікає через нагрівальні елементи (1), вони вигинаючись розмикають контакти (2) теплового реле, у цій схемі використано 2-фазне теплове реле. Його контакти розмикають ланцюг котушки контактора або магнітного пускача, також якби ви натиснули кнопку «СТОП». У зібраному вигляді ця схема виглядає так (див. рис. 6):

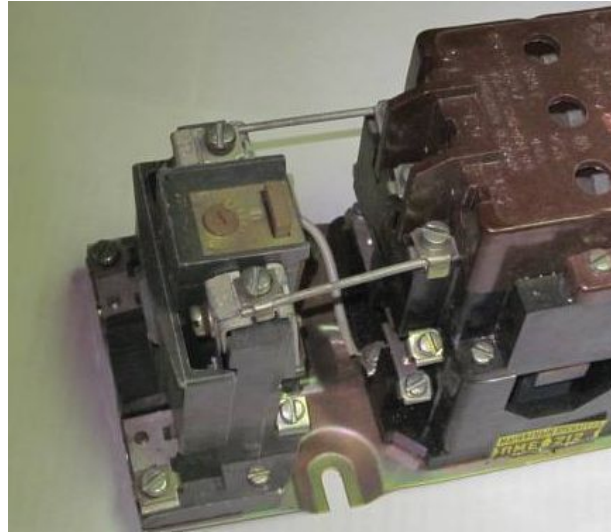


Рис. 6 – Схема підключення теплового реле та магнітного пускача

На першому плані видно як від контактів пускача, що виходять, підключені дві крайні фази. На задньому плані видно, що до котушки реле підключено клему від контактів ТРН.

Якщо у вас використовується реверсна схема магнітних пускачів, підключення практично аналогічне, нижче це наочно зображено на рис. 7.



Рис. 7 – Реверсна схема магнітних пускачів

Контакти з маркуванням «10» та «12» підключаються до розриву котушок пускачів KM1 і KM2. Тут видно що є нормально замкнута пара і нормально розімкнутий контакт (див. рис. 8). Це, наприклад, для індикації спрацьовування теплового захисту, тобто. можна підключити лампочку-індикатор або подати сигнал на диспетчерський пульт або АСУ.

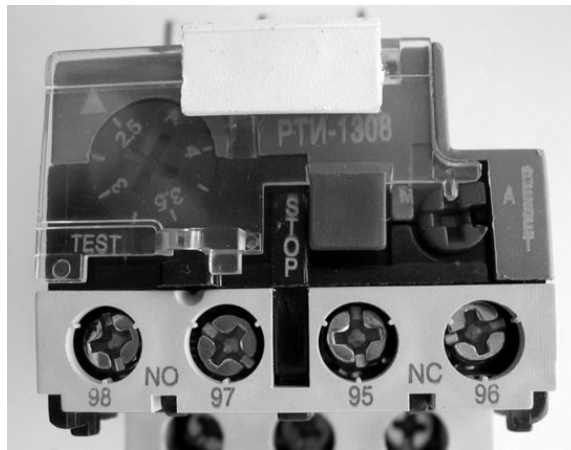


Рис. 8 – Вид контактів теплового реле: NO – нормально-відкритий – на індикацію;
NC – нормально закритий – на пускач.

Теплове реле доцільно встановлювати лише на двигуни з тривалим режимом роботи та рівномірним характером навантаження (робочий період яких становить не менше 30 хв).

Якщо ж двигун працює з частими пусками або з різким навантаженням застосовувати теплові реле недоцільно. Так наприклад, для двигунів з повторно-короткочасним режимом, від перегріву теплове реле не захищає, але встановлення якого може призвести до помилкових відключень. Через це теплове реле не застосовується у кранових електроприводах, приводах швидких переміщень металорізальних верстатів тощо.

2. Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Дано двигун з наступними технічними характеристиками: $\cos\phi$, η , $U_{\text{ном}}$, $P_{\text{ном}}$. У відповідності до технічних характеристик та зазначеної потужності необхідно обрати теплове для захисту електродвигуна від теплових перевантажень. Дані для виконання практичної роботи знаходяться в таблиці 7.1. Параметри теплових реле в таблиці 7.2, однак для більш ефективного вибору можна користуватися інтернет джерелом.

Теплове реле призначене захисту двигуна від тривалих перевантажень понад 5 – 20% від номінальної потужності. Виходячи з цього, формула визначення струму спрацьовування теплового реле визначається за виразом:

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,05-1,2 \cdot I_{\text{н.д.}}$$

де $I_{\text{н.р}}$ - номінальний струм реле, А; $I_{\text{н.д.}}$ - номінальний струм двигуна, який визначається за формулою, А:

$$I_{\text{н.д.}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\phi \cdot \eta}$$

де $\cos\phi$ – коефіцієнт потужності двигуна; η – коефіцієнт корисної дії; $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга двигуна; $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигуна.

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. Тепловим реле називають - ?
2. Види теплового реле. Умови його застосування.
3. Недоліки теплового реле у порівнянні з автоматичним вимикачем.
4. Схема підключення теплового реле.
5. Будова та принцип дії теплового реле.
6. Методика вибору теплового реле для захисту електро двигуна.

Таблиця № 7.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 7»

№ вар	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$\cos\phi$	η , %
1	0,18	380	0,77	65,7
2	0,25		0,78	68
3	0,37		0,81	69,7
4	0,55		0,82	72,7
5	0,75		0,83	74
6	1,1		0,83	77,6
7	1,5		0,84	78,1
8	2,2		0,85	80,6
9	3		0,86	83,4
10	4		0,88	83,7
11	5,5		0,89	84,8
12	7,5		0,9	85,4
13	11		0,9	87,4
14	15		0,89	88,4

15	18,5		0,89	89,3
16	22		0,9	89,8
17	30		0,9	90,7
18	37		0,9	91,2
19	45		0,89	91,8
20	55		0,9	92

Таблиця №7.2

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

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

Тема: Визначення значення електромагнітної сили, що діє у прямокутному розщепленому зазорі електромагніта.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою визначення електромагнітної сили електромагніта.

1. Теоретичні відомості

Електромагніти в технічних пристроях застосовуються для підйому вантажів, перемикання контактів реле магнітних пускачів, вентилів гідравлічних систем, гальмування механічних гальм і т.д.

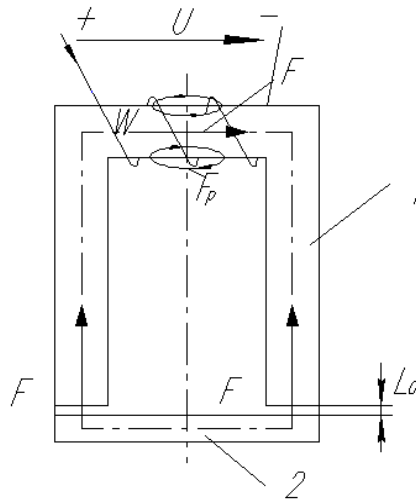


Рис. 1 – Схема магнітного ланцюга електромагніту

На рис. 1 представлена схема магнітного кола електромагніту, рухлива частина (якір – 2) магнітопроводу електромагніта відокремлена від його нерухомої частини 1 повітряним проміжком. При підключенні обмотки, що намагнічує, до джерела електричної енергії збуджується магнітне поле, виникає електромагнітна сила, що діє на якір, і він, долаючи силу тяжкості, дію пружин і т. п., притягується до нерухомої частини магнітопроводу.

Розрахунок сили тяжіння електромагніту часто проводиться приблизно, виходячи з таких міркувань:

1. Струм I в обмотці має значення, яке встановилося.
2. Сердечник 1 та якір 2 не насичені.
3. Поток розсіювання Φ_p і витісненням магнітного поля в зазорах нехтують.
4. При зміні повітряного проміжку на dl_0 магнітна індукція B_0 залишається постійною.

У такому випадку можна вважати, що механічна робота з переміщення якоря у напрямку дії сил F на відстань dl_0 дорівнює зміні енергії магнітного поля в повітряних зазорах, внаслідок зменшення їх обсягів.

З урахуванням двох повітряних зазорів маємо:

$$dW_{\text{мех}} = 2F * dl_0 - \text{механічна робота};$$

$$dW_{\text{эм}} = 2 \frac{B_0 H_0}{2} S_0 dl_0 - \text{енергія магнітного поля у двох зазорах довжиною } dl_0,$$

де $\frac{B_0 H_0}{2} = \omega$ – густина електромагнітної енергії (енергія в одиниці об'єму зазору), S_0 – площа одного повітряного зазору. Прирівнявши $dW_{\text{мех}}$ та $dW_{\text{эм}}$, отримаємо розрахункову формулу сили притягання електромагніту:

$$F = \frac{B_0 H_0}{2} S_0 dl_0 = \frac{B_0^2 S_0}{2 \mu_0} \approx 4 * 10^5 B_0 S_0$$

Якщо котушка немає феромагнітного сердечника, то залежність поточосцеплення у ψ від струму котушки I лінійна і індуктивність котушки:

$$L = \frac{\psi}{I} = \text{const}$$

Тут індуктивність як коефіцієнт пропорційності між поточосцепленням і струмом котушки є лінійним параметром котушки. Те ж зауваження відноситься і до обмоток, що намагнічують, з ненасиченим магнітопроводом ($\mu \approx \text{const}$).

Якщо потік Φ зчепляється з усіма w витками котушки (обмотки), то поточозчеплення:

$$\psi = w\Phi$$

$$\Phi = \frac{wI}{R_M} \text{ - тоді індуктивність:}$$

$$L = \frac{w^2}{R_M} = \text{const}$$

де R_M - магнітний опір на шляху магнітного потоку:

$$R_M = \frac{l}{\mu_a S}$$

Абсолютна магнітна проникність ненасичених феромагнітних матеріалів $\mu_a \gg \mu_0$ – магнітна проникність вакууму ($4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м). Тому розміщення обмотки, що намагнічує, на феромагнітному магнітопроводі різко збільшує індуктивність котушки.

Фізично останнє твердження пояснюється здатністю феромагнетиків посилювати зовнішнє магнітне поле, створене струмом обмотки, за рахунок орієнтації у напрямку поля власних областей мимовільного намагнічування. Ця орієнтація виражена тим чіткіше, що більше струм обмотки. Коли всі області мимовільного намагнічування орієнтуються у бік зовнішнього поля, настає магнітне насичення магнітопровода, його магнітна проникність і індуктивність обмотки різко знижуються, магнітопровод перестає виконувати функцію локалізації магнітного поля.

У випадку, коли доводиться зважати на те що $\mu \neq const$, використовується поняття диференціальної індуктивності (індуктивність L стає нелінійним параметром обмотки):

$$L_{\text{диф}} = \frac{d\psi}{dt} = w \frac{d\Phi}{dt}$$

Індуктивність, як елемент схеми заміщення реальної електричної ланцюга, дає можливість враховувати при розрахунках явище самоіндукції (при змінних струмах котушки) і накопичення енергії у магнітному полі котушки.

2. Виконання практичного завдання

Завдання: Визначити мінімальне значення електромагнітної сили, що діє у прямокутному розщепленому полюсі електромагніта, розміри якого складають $a \cdot b$. Дві третини площі полюса охоплює короткозамкнений виток, активний опір якого складає r_b . Амплітудне значення магнітної індукції в осерді B_m . Варіанти чисельних значень початкових даних до задачі надані у табл. 8.1.

1. Відповідно до умови задачі, дві третини полюса охоплено короткозамкненим витком. Отже площа, що охоплена к.з. витком буде складати, причому не забуваємо перевести в метри, м:

$$S_2 = \frac{2}{3}ab$$

2. Відповідно площа полюса, що не охоплена к.з. витком буде складати, причому не забуваємо перевести в метри, м:

$$S_1 = \frac{1}{3}ab$$

3. Реактивний магнітний опір магнітному потоку, що проходить через охоплену к.з. витком частину полюса визначається за наступним виразом, Ом:

$$X_{\text{м.кз}} = \frac{2\pi f}{r_b}$$

де f - частота джерела живлення (дорівнює промисловій частоті 50 Гц).

4. Значення магнітного потоку в осерді електромагніта а отже і сумарного потоку, що проходить через розщеплений полюс буде складати, Гн:

$$\Phi_m = B_m ab \cdot \kappa_{3,ст}$$

де $\kappa_{3,ст}$ - коефіцієнт заповнення сталі, у даному випадку прийняти 0,92.

5. Визначаємо активний магнітний опір магнітному потоку, що проходить через охоплену к.з. витком частину полюса; цей опір обумовлений проходженням магнітного потоку через повітряний зазор, тому визначається за наступним виразом, Ом:

$$R_{m\delta 2} = \frac{\delta}{\mu_0 S_2}$$

де δ - величина повітряного зазора; у даному випадку може бути прийняти таким, що дорівнює 0,1 мм.

6. Визначаємо ψ - фазовий зсув між магнітними потоками Φ_1 та Φ_2 , який визначається за наступним виразом:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{X_{м.кз}}{R_{m\delta 2}}$$

7. Відношення магнітних потоків, що проходять відповідно через неохоплену та охоплену к.з. витком частини полюса визначається за наступним виразом:

$$n = \frac{\Phi_{1m}}{\Phi_{2m}} = \frac{S_1}{S_2 \cos\psi}$$

де $\cos\psi$ – отримуємо після переведення $\operatorname{tg}\psi$.

8. Значення магнітного потоку, що проходить через охоплену к.з. витком частину полюса визначається за наступним рівнянням:

$$\Phi_{2m} = \frac{\Phi_m}{\sqrt{1 + n^2 + 2n \cos\psi}}$$

9. Середні значення електромагнітних сил відповідно в неохопленій та охопленій к.з. витком частин полюса визначаються за формулою Максвела:

$$P_{сеп1} = \frac{\Phi_{1m}^2}{4\mu_0 S_1} \quad P_{сеп2} = \frac{\Phi_{2m}^2}{4\mu_0 S_2}$$

10. Зміна складова сумарного електромагнітного зусилля визначається за наступним рівнянням:

$$P_m = \sqrt{P_{сеп1}^2 + P_{сеп2}^2 + P_{сеп1} P_{сеп2} \cos 2\psi}$$

11. Пульсація електромагнітної сили:

$$p = \frac{P_m}{P_{\text{сер1}} + P_{\text{сер2}}} \cdot 100\%$$

12. Мінімальне значення електромагнітної сили:

$$P_{\text{мін}} = P_{\text{сер1}} + P_{\text{сер2}} - P_m$$

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. Навколо чого існує електричне поле? Навколо чого існує магнітне поле?
2. Як можна змінити магнітне поле котушки зі струмом?
3. Що називають електромагнітом?
4. При замиканні ключа північний полюс стрілки N повернувся до ближнього до нього кінця котушки. Який полюс у цього кінця котушки при замиканні ланцюга?

Таблиця № 8.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 8»

Остання цифра індивідуального шифру	Розміри полюсу $a \times b$, мм	Амплітудне значення магнітної індукції B_m , Тл	Активний опір к.з. витка r_b , Ом
0	50 x 30	0,8	$5 \cdot 10^{-4}$
1	60 x 40	0,75	$6 \cdot 10^{-4}$
2	50 x 25	0,7	$4 \cdot 10^{-4}$
3	60 x 25	0,65	$4,5 \cdot 10^{-4}$
4	45 x 15	0,85	$3,5 \cdot 10^{-4}$
5	40 x 12	0,9	$2 \cdot 10^{-4}$
6	62 x 28	0,95	$6,5 \cdot 10^{-4}$
7	50 x 20	1,0	$4,5 \cdot 10^{-4}$
8	45 x 20	1,05	$4 \cdot 10^{-4}$
9	40 x 16	1,1	$2,5 \cdot 10^{-4}$

ПРАКТИЧНА РОБОТА №9

Тема: Розрахунок котушки електромагніту постійного струму.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою прямого розрахунку котушки електромагніта постійного струму.

1. Теоретичні відомості

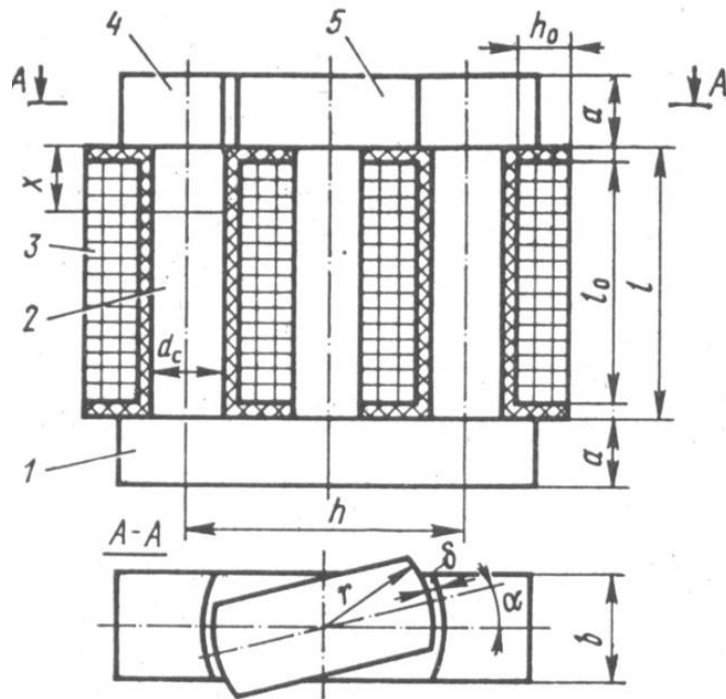


Рис. 1 – Електромагніт постійного струму

Для розрахунку обмотувальних параметрів електромагніту використовується наступні формули:

1. Для визначення діаметру провідника d , м:

$$d = \sqrt{\frac{4\rho_0 l_{сер} F_m}{\pi U}}$$

де F_m – магніторухійна сила (МРС), яка визначається за формулою, А:

$$F_m = K_3 F_{mp}$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,1-2$; F_{mp} – МРС зрушення, А:

$$F_{mp} = K_n F_3$$

де K_n – коефіцієнт, що враховує падіння магнітного потенціалу в сталі та паразитних зазорах, $K_n = 1,1 - 1,5$; F_3 – падіння магнітного потенціалу в повітряному зазорі, А; U – напруга живлення обмотки електромагніту; ρ_0 –

електричний опір провідника в нагрітому стані, Ом·м; $l_{сер}$ – середня довжина витка, м:

$$l_{сер} = \pi(d_0 + h_0)$$

де d_0 – діаметр обмотки, м; h_0 – товщина обмотки, м;

2. Для визначення числа витків обмотки:

$$N = \frac{4Q_0 K_{зм}}{(\pi \cdot d)^2}$$

де Q_0 – площа обмотувального вікна, м², що визначається за розмірами на схемі креслення електромагніту; $K_{зм}$ – коефіцієнт заповнення міді;

При $d > 0,3 \cdot 10^{-3}$ м (для рядової обмотки) число витків:

$$N = N_1 N_2$$

де число витків в слою при довжині вікна l_0 та діаметр провідника з ізоляцією d_1 , м, дорівнює:

$$N = \frac{0,95 \cdot l_0}{d_1} - 1$$

Число шарів обмотки визначається за:

$$N = \frac{h_0}{d_1}$$

Площадь обмотувального вікна м²:

$$Q_0 = h_0 \cdot l_0$$

3. Опір обмотки, Ом:

$$r = \frac{4\rho_0 l_{сер} N}{(\pi \cdot d)^2}$$

4. Потужність котушки електромагніту:

$$P = \frac{U^2}{r}$$

5. Формули для перерахунку обмотувальних даних котушки на іншу напругу U_2 (при $F_m = F_m'$ та $K_{зм} = const$) має вид:

для діаметру провідника:

$$d' = d \sqrt{\frac{U}{U_2}}$$

для числа витків:

$$N' = N \frac{U_2}{U}$$

для опору:

$$r' = r \left(\frac{U_2}{U} \right)^2$$

для потужності:

$$P' \approx P$$

2. Виконання практичного завдання

Завдання: Розрахувати параметри двухсекційних обмоток електромагніту, ввид якого представлений на рисунку 1, для якого відомі наступні параметри: МРС F_m , напруга U , розмір однієї секції: l_0 , м; довжина d_0 , м; висота h_0 , м. Дані для розрахунку встановлюються відповідно до варіанту, див. таблиця № 9.1. Секції з'єднані послідовно та згідно. Температура дорівнює 105°C , відповідний її опір становить $\rho_0 = 2,4 \cdot 10^{-3}$ Ом·м. Також визначити, які будуть обмотувальні дані для напруги U_2 , якщо $F_m = F_m'$ та $K_{зм} = K'_{зм}$.

Дано:

$$F_m = 1000 \text{ A};$$

$$l_0 = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$d_0 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$U = 12 \text{ В};$$

$$h_0 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$\rho_0 = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$U_2 = 24 \text{ В}.$$

1. Так як обмотка є двох секційною, то МРС кожної секції обмотки будуть становити половину МРС обмотки:

$$F_{cm} = \frac{F_m}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ A};$$

2. Напруга між секціями також розподіляється порівну:

$$U_c = \frac{U}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ В};$$

3. Середня довжина витка:

$$l_{сер} = \pi(d_0 + h_0) = 3,14(1,5 \cdot 10^{-2} + 1,5 \cdot 10^{-2}) = 9,4 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

4. Діаметр провідника:

$$d = \sqrt{\frac{4\rho_0 l_{сер} F_m}{\pi U}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-8} \cdot 9,4 \cdot 10^{-2} \cdot 500}{3,14 \cdot 6}} = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

5. За таблицею 9.2 вибираємо провідник марки ПЄВ-1 діаметром $d = 0,5 \cdot 10^{-3}$ (за ізоляцією $d_1 = 0,55 \cdot 10^{-3}$; коефіцієнт $K_{зм} = 0,633$).

6. Визначаємо площу вікна:

$$Q_0 = h_0 \cdot l_0 = (1,5 \cdot 10^{-2}) \cdot (5,5 \cdot 10^{-2}) = 8,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

7. Число витків кожної секції:

$$N_c = \frac{4Q_0 K_{зм}}{(\pi \cdot d)^2} = \frac{4 \cdot 8,25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,633}{3,14 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 2786$$

8. Тоді загальне число витків обмотувального вікна:

$$N = 2 \cdot N_c = 2 \cdot 2786 = 5572$$

9. Опір обмотки:

$$r = \frac{4\rho_0 l_{cp} N}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-8} \cdot 9,4 \cdot 10^{-2} \cdot 5572}{3,14 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 64 \text{ Ом};$$

10. Споживаюча потужність:

$$P = \frac{U^2}{r} = \frac{12^2}{64} = 2,25 \text{ Вт};$$

Тепер визначаємо обмоткові дані електромагніта якщо напруза зміниться до 24 В.

11. Діаметру провідника:

$$d' = d \sqrt{\frac{U}{U_2}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{12}{24}} = 0,355 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

12. Числа витків:

$$N' = N \frac{U_2}{U} = 5572 \cdot \frac{24}{12} = 11144$$

13. Опор обмотки:

$$r' = r \left(\frac{U_2}{U} \right)^2 = 64 \cdot \left(\frac{24}{12} \right)^2 = 256 \text{ Ом};$$

14. Потужності:

$$P' \approx P = 2,25 \text{ Вт}.$$

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. Як залежить питомий опір провідника від температури?
2. Як визначається кількість шарів для рядової обмотки?
3. Що потрібно зробити, якщо площі вікна недостатньо для числа витків N обмотки?
4. Як впливає кількість витків коефіцієнт заповнення по міді?
5. Чому потужність при перерахунку на нове напруження залишається практично незмінною?

Таблиця № 9.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 9»

№ вар.	F_T, A	U, B	$l_0 \cdot 10^{-2}, m$	$h_0 \cdot 10^{-2}, m$	$d_0 \cdot 10^{-2}, m$	U_2, B
1	1900	13	45,0	1,8	1,7	26
2	1950	24	5,0	1,8	1,6	12
3	1800	24	4,0	1,6	1,7	36
4	1850	12	4,5	1,7	1,7	24
5	1050	12	6,0	1,9	1,8	36
6	1100	12	6,5	1,9	1,9	24
7	1700	24	4,0	1,7	1,5	36
8	1750	24	4,5	1,6	1,6	12
9	1600	24	5,0	1,4	1,4	12
10	1650	24	5,5	1,5	1,4	36

Таблиця №9.2

«Діаметри та коефіцієнти заповнення обмотки для дроту із червоної міді з емалевою ізоляцією»

$d \cdot 10^{-3}$	ПЭВ-1		ПЭВ-2	
	$d_1 \cdot 10^{-2}, m$	K_{3M}	$d_1 \cdot 10^{-2}, m$	K_{3M}
0,050	0,070	0,280	0,080	0,250
0,063	0,085	0,330	0,090	0,290
0,071	0,095	0,380	0,100	0,340
0,080	0,105	0,430	0,110	0,380
0,090	0,115	0,460	0,120	0,410
0,100	0,125	0,490	0,130	0,440
0,112	0,135	0,510	0,140	0,460
0,125	0,150	0,520	0,155	0,480

0,140	0,165	0,535	0,170	0,495
0,160	0,190	0,550	0,200	0,510
0,180	0,210	0,568	0,220	0,527
0,200	0,230	0,580	0,240	0,538
0,224	0,260	0,594	0,270	0,550
0,250	0,290	0,605	0,300	0,560
0,280	0,320	0,616	0,330	0,572
0,315	0,355	0,627	0,365	0,580
0,355	0,395	0,637	0,415	0,589
0,400	0,440	0,647	0,460	0,597
0,450	0,490	0,656	0,510	0,605
0,500	0,550	0,663	0,570	0,612
0,560	0,610	0,668	0,630	0,618
0,630	0,680	0,674	0,700	0,625
0,710	0,760	0,679	0,790	0,631
0,750	0,810	0,680	0,840	0,634
0,800	0,860	0,682	0,890	0,637
0,850	0,910	0,684	0,940	0,640
0,900	0,960	0,685	0,990	0,643
0,950	1,010	0,686	1,040	0,646
1,000	1,070	0,687	1,100	0,648
1,060	1,130	0,688	1,160	0,650
1,120	1,190	0,689	1,220	0,651
1,180	1,260	0,690	1,280	0,652
1,250	1,330	0,690	1,350	0,652

ПРАКТИЧНА РОБОТА №10

Тема: Розрахунок обмотки електромагніту змінного струму.

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою прямого розрахунку обмотки електромагніту змінного струму.

1. Теоретичні відомості

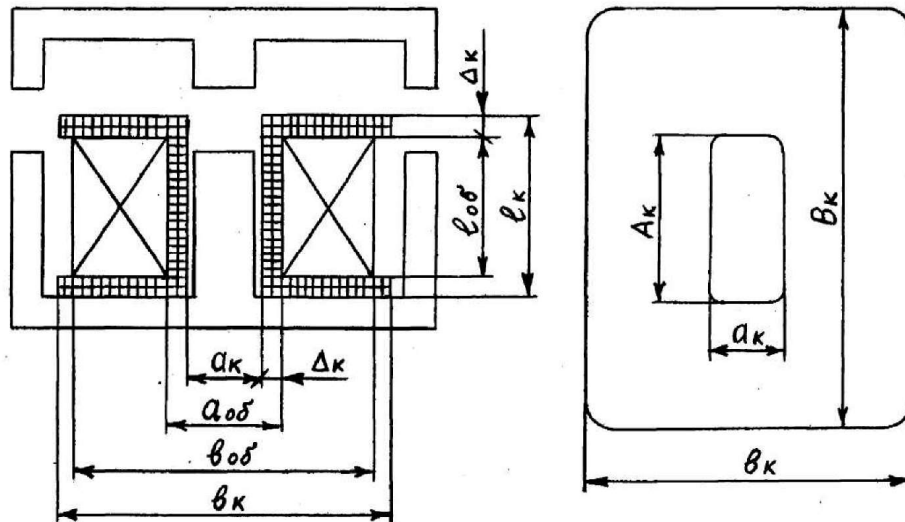


Рис. 1 – Електромагніт змінного струму

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

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

де U та I – діючі значення напруги та струму, В та А; f_c - частота струму мережі, Гц.

Оскільки струм і опір можуть бути розраховані тільки після визначення числа витків, то даний вираз не дозволяє знайти відразу всі параметри обмотки.

Завдання вирішується методом послідовних наближень. У першому наближенні можна прийняти $R = 0$, так як активне падіння напруги значно менше реактивного. Тоді число витків обмотки можна визначити за формулою:

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

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

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

тоді струм можна визначити за виразом:

$$I = \frac{F_m}{\sqrt{2} \cdot W}$$

Перетин дроту визначають за виразом (перетин дроту доцільно вибрати за рекомендованою щільності струму j):

$$q = \frac{I}{j}$$

де $j = (2-4) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ - щільність струму;

Вибравши стандартний діаметр і спосіб укладання дроти, знаходимо коефіцієнт заповнення f_m :

$$f_m = \frac{q}{d^2}$$

Площа вікна обмотки $Q_{об}$ визначити:

$$Q_{об} = \frac{W \cdot q}{f_m}$$

Після цього можна визначити середню довжину витка і активний опір обмотки. Товщину обмотки $h_{об}$ легко знайти за геометричними розмірами котушки (рис. 1):

$$h_{об} = \frac{b_{об} - a_{об}}{2}$$

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

$$\Pi_{вн} = 2[(a_{\kappa} + 2\Delta_{\kappa}) + (A_{\kappa} + 2\Delta_{\kappa})]$$

$$\Pi_{вн} = 2[(a_{\kappa} + 2\Delta_{\kappa} + 2h_{об}) + (A_{\kappa} + 2\Delta_{\kappa} + 2h_{об})]$$

$$l_{сер} = \frac{\Pi_{вн} + \Pi_{зовн}}{2}$$

Активний опір обмотки визначаємо за:

$$R = \frac{\rho \cdot l_{сер} \cdot W}{q}$$

Після розрахунку R знаходимо споживаюча потужність:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Потужність втрат в обмотці знаходять за виразом:

$$P_{\text{в}} = I^2 \cdot R \text{ Вт}$$

2. Виконання практичного завдання

Завдання: Розрахувати обмотку напруги електромагніту змінного струму за вихідними даними в таблиці 10.1. Позначення геометричних розмірів котушки відповідають рисунку 1. Як зміняться обмотувальні дані електромагніта при зменшенні напруги джерела живлення з U_1 до U_2 ? Режим роботи тривалий. Питомий електричний опір проводу прийняти рівним $\rho_0 = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м.} (105^0 \text{ C})$.

Дано:

$$A_{\text{к}} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$a_{\text{к}} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$B_{\text{к}} = 31 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$b_{\text{к}} = 31 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$l_{\text{к}} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$\Delta_{\text{к}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$F_m = 410 \text{ А;}$$

$$\Phi_m = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Вб;}$$

$$\rho_0 = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м;}$$

$$U_1 = 500 \text{ В;}$$

$$U_2 = 48 \text{ В;}$$

1. Визначаємо число витків обмотки за формулою:

$$W = \frac{(0,7 \dots 0,95) \cdot U}{4,44 \cdot f_c \cdot \Phi_m} = \frac{0,7 \cdot 500}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4}} = 8771,9 \text{ вит;}$$

2. Визначаємо струм в одному витку обмотки електромагніту:

$$I = \frac{F_m}{\sqrt{2} \cdot W} = \frac{410}{\sqrt{2} \cdot 8771,9} = 0,03 \text{ А;}$$

3. Перетин дроту визначають за виразом:

$$q = \frac{I}{j} = \frac{0,03}{2 \cdot 10^6} = 0,015 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

де $j = (2-4) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ - щільність струму;

Відповідно до розрахункового перетину дроту, вибираємо діаметр та марку провідника за табличними даними таблиці 10.2. Обираємо провідник з неізолюваного матеріалу ПЕВ-1 $d = 0,140 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$

4. Знаходимо коефіцієнт заповнення f_m :

$$f_m = \frac{q}{d^2} = \frac{0,015 \cdot 10^{-6}}{(0,140 \cdot 10^{-3})^2} = 0,76;$$

5. Площа вікна обмотки $Q_{об}$ визначити:

$$Q_{об} = \frac{W \cdot q}{f_m} = \frac{8771,9 \cdot 0,015 \cdot 10^{-6}}{0,76} = 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

6. Після цього можна визначити середню довжину витка і активний опір обмотки. Товщину обмотки $h_{об}$ легко знайти за геометричними розмірами котушки (рис. 1):

$$h_{об} = \frac{b_{об} - a_{об}}{2} = \frac{29,5 \cdot 10^{-3} - 14,5 \cdot 10^{-3}}{2} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

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

$$\begin{aligned} \Pi_{вн} &= 2[(a_k + 2\Delta_k) + (A_k + 2\Delta_k)] = \\ &= 2[(13 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}) + (13 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3})] = 64 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{вн} &= 2[(a_k + 2\Delta_k + 2h_{об}) + (A_k + 2\Delta_k + 2h_{об})] = \\ &2[(13 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}) + (13 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3})] = 124 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned}$$

$$l_{сер} = \frac{\Pi_{вн} + \Pi_{зовн}}{2} = \frac{64 \cdot 10^{-3} + 124 \cdot 10^{-3}}{2} = 9,4 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

7. Активний опір обмотки визначаємо за:

$$R = \frac{\rho \cdot l_{сер} \cdot W}{q} = \frac{2,4 \cdot 10^{-8} \cdot 9,4 \cdot 10^{-2} \cdot 8771,9}{0,015 \cdot 10^{-6}} = 1319,3 \text{ Ом};$$

8. Споживаюча потужність:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{500^2}{1319} = 189,5 \text{ Вт};$$

9. Потужність втрат в обмотці знаходять за виразом:

$$P_g = I^2 \cdot R = 0,03^2 \cdot 1319 = 1,2 \text{ Вт};$$

Тепер визначаємо обмоткові дані електромагніта якщо напруза зміниться до 42 В.

10. Діаметр провідника:

$$d' = d \sqrt{\frac{U}{U_2}} = 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{500}{42}} = 0,48 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

11. Числа витків:

$$W' = W \frac{U_2}{U} = 8772 \cdot \frac{42}{500} = 736,8 \text{ вит};$$

12. Опор обмотки:

$$R' = R \left(\frac{U_2}{U} \right)^2 = 1319 \cdot \left(\frac{42}{500} \right)^2 = 9,3 \text{ Ом};$$

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. Електромагніти змінного струму це- ?
2. Порівняти електромагніт постійного та змінного струму.
3. Недоліки електромагніту змінного струму.
4. Конструктивні особливості електромагніту змінного струму, конструктивна схема.
5. Види електромагнітів змінного струму.

Таблиця № 10.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 10»

№ з/п	A_k	a_k	B_k	b_k	l_k	Δ_k	F_m	Φ_m	U_1	U_2
	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	А	10^{-4} , Вб	В	В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	13	13	31	31	24	1,5	410	1,8	500	48
2									380	36
3									220	24
4									127	12
5	18	12	39	31	32	1,5	610	2,3	500	48
6									380	36
7									220	24
8									127	12
9	21	17	47	45	35	2	480	3,8	500	48
10									380	36
11									220	24
12									127	12

Таблиця №10.2

«Параметри обмотувальних провідників»

$d, \text{ м}$ 10^{-3}	$q, \text{ м}^2$ 10^{-6}	$d_1, \text{ м} \times 10^{-3}$			$d, \text{ м}$ 10^{-3}	$q, \text{ м}^2$ 10^{-6}	$d_1, \text{ м} \times 10^{-3}$		
		ПЕВ-1 ПЕВТЛ-1	ПЕВ-2 ПЕВТЛ-2	ПСД ПСДК			ПЕВ-1 ПЕВТЛ-1	ПЕВ-2 ПЕВТЛ-2	ПСД ПСДК
0,020	0,00031	0,035	-	-	0,72	0,407	0,770	0,800	0,99
0,025	0,00049	0,040	-	-	0,74	0,430	0,800	0,830	1,01
0,030	0,00071	0,045	-	-	0,77	0,466	0,830	0,860	1,04
0,040	0,00126	0,055	-	-	0,80	0,503	0,860	0,980	1,07
0,050	0,00196	0,070	0,080	-	0,83	0,541	0,890	0,920	1,10
0,060	0,00283	0,085	0,090	-	0,86	0,581	0,920	0,960	1,13
0,070	0,00385	0,095	0,100	-	0,90	0,636	0,960	0,990	1,17
0,080	0,00503	0,105	0,110	-	0,93	0,679	0,990	1,020	1,20
0,090	0,00636	0,115	0,120	-	0,96	0,724	1,020	1,050	1,23
0,100	0,00785	0,125	0,130	-	1,00	0,785	1,080	1,110	1,29
0,110	0,00950	0,135	0,140	-	1,04	0,849	1,120	1,150	1,33
0,120	0,01131	0,145	0,150	-	1,08	0,916	1,160	1,190	1,37
0,130	0,01327	0,155	0,160	-	1,12	0,985	1,200	1,230	1,41
0,140	0,01539	0,165	0,170	-	1,16	1,057	1,240	1,270	1,45
0,150	0,01767	0,180	0,190	-	1,20	1,131	1,280	1,280	1,49
0,160	0,0201	0,190	0,200	-	1,25	1,227	1,330	1,330	1,54
0,170	0,0227	0,200	0,210	-	1,30	1,327	1,380	1,430	1,59
0,180	0,0255	0,210	0,220	-	1,35	1,431	1,430	1,480	1,64
0,190	0,0284	0,220	0,230	-	1,40	1,539	1,480	1,530	1,69
0,200	0,0314	0,230	0,240	-	1,45	1,651	1,530	1,580	1,74
0,210	0,0346	0,240	0,250	-	1,50	1,767	1,580	1,640	1,79
0,230	0,0415	0,270	0,280	-	1,56	1,911	1,640	1,700	1,85
0,250	0,0491	0,290	0,300	-	1,62	2,060	1700	1,760	1,91
0,270	0,0573	0,310	0,320	-	1,68	2,220	1,760	1,820	1,97
0,290	0,0661	0,330	0,340	-	1,74	2,380	1,820	1,900	2,03
0,310	0,0775	0,350	0,360	0,55	1,81	2,570	1,900	1,970	2,10
0,330	0,0855	0,370	0,380	0,57	1,88	2,780	1,970	2,040	2,17
0,350	0,0962	0,390	0,410	0,59	1,95	2,990	2,040	2,110	2,24
0,380	0,1134	0,420	0,440	0,62	2,02	3,200	2,110	2,140	2,32
0,410	0,1320	0,450	0,470	0,65	2,10	3,460	2,200	2,230	2,40
0,440	0,1521	0,480	0,500	0,68	2,26	4,010	2,360	2,390	2,62
0,470	0,1735	0,510	0,530	0,71	2,44	4,680	2,540	2,570	2,80
0,490	0,1886	0,530	0,550	0,73	2,63	5,430	-	-	2,99
0,510	0,2040	0,560	0,580	0,77	2,83	6,290	-	-	3,19
0,530	0,2210	0,580	0,600	0,79	3,05	7,310	-	-	3,42
0,550	0,2380	0,600	0,620	0,81	3,28	8,450	-	-	3,65
0,570	0,2550	0,620	0,640	0,83	3,53	9,790	-	-	3,90
0,590	0,2730	0,640	0,660	0,85	3,80	11,34	-	-	4,17
0,620	0,3020	0,670	0,690	0,88	4,10	13,20	-	-	4,48
0,640	0,3220	0,690	0,720	0,90	4,50	15,90	-	-	4,88
0,670	0,3530	0,720	0,750	0,93	4,80	18,10	-	-	5,18
0,690	0,3740	0,740	0,770	0,95	5,20	21,24	-	-	5,58

*Примітка: діаметри (d - неізолюваного, d_1 - ізолюваного) та площі поперечного перерізу (q) круглих мідних проводів

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурштинський М. В., Копчак Л. С., Хай М. В. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2017. 184 с.
2. Електричні апарати : методичні вказівки до практичних занять для студентів 3,4 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, а також для слухачів другої вищої освіти за спеціальністю «Електротехнічні системи електроспоживання») / уклад. С. В. Швець, Д. В. Рум'янцев ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 69 с.
3. Електричні апарати : методичні вказівки та контрольні завдання для студентів спеціальності 6.05070204 "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод", заочної форми навчання / уклад. М. І. Коцур. Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. 30 с.
4. Осташевський М. О., Петренко О. М., Юр'єва О. Ю. Теплові розрахунки електричних машин : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020. 450 с.
5. Павленко Т. П., Мілих В. І., Шайда В. П. Дослідження електричних машин і апаратів : лабораторний практикум з курсу «Електричні машини і апарати» для студентів електротехнічних спеціальностей. Харків : НТУ «ХП», 2013. 79 с.
6. Попридухін В. С. Апарати керування і захисту : курс лекцій. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. 190 с.
7. Проектування систем керування - 1. Проектування АСК : методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» / уклад. Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, М. З. Кваско, О. С. Жураковська. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 82 с.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

з дисципліни

«Електричні машини та апарати» для підготовки до лекційних занять здобувачами початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Практична робота пишеться кожним студентом власноруч (одним коляром пасти) та починається з номеру практичної роботи та її найменування. Листи заповнюються лише з однієї сторони.

2. Робота оформлюється на листах А4: полем ліворуч – 2,5 см; полем праворуч – 1 см; полем внизу/верху – 2 см.

3. Кожна сторінка повинна бути пронумерована та підписана відповідним шифром (див. додаток 2.)

3. Звіт з практичної роботи повинен мати: титульний лист, теоретичну частину, розрахункову частину, відповіді на контрольні питання, висновки.

4. Титульний аркуш є першою сторінкою практичної роботи і містить основні дані про звіт роботи та її автора. Титульний аркуш заповнюється за строго визначеною формою (див. додаток 1) та повинна містити:

- найменування вищого навчального закладу, факультету та кафедри;
- назву практичної роботи;
- допуски до виконання та захисту;
- відведену графу для оцінки студента;
- прізвище, ім'я автора;
- шифр групи в якій навчається автор;
- науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я викладача;
- рік виконання.

Слід пам'ятати, що титульний лист не підлягає нумерації, однак включається до загальної нумерації сторінок практичної роботи.

5. Розрахункова частина практичної роботи повинна виконуватися з урахуванням загальних вимоги до оформлення звіту та оформлюватися у рамці з відповідним шифром (див. додаток 2).

6. Захист практичної роботи відбувається у наступні послідовності:

1) оформлення звіту практичної роботи (титульний лист та теоретична частина), після чого студент отримує допуск до виконання роботи;

2) виконання або розрахунок завдання практичної роботи, після перевірки якої студент готується та відповідає письмово на контрольні питання. Отримується можливість до захисту практичної роботи;

3) захист практичної роботи відбувається усно, за питаннями по темі практичної роботи та відповідного лекційного матеріалу.

ДОДАТКИ

Додаток 1

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ПРОКТИЧНА РОБОТА №1

з дисципліни

“Електричні машини та апарати ”

на тему: “Розробка світлотехнічної відомості”

Допуск до виконання _____

Допуск до захисту _____

Захист _____

Виконав студент групи: Ен 1/1 мб

(підпис)

Олексій ХАРИТОНОВ

(імя, прізвище)

Керівник:

(підпис)

Андрій СТАВИНСЬКИЙ

(імя, прізвище)

2022

					141 Ен 1/1мб. 11.ПР01.ЕмтаАП	81	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТИ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Вахоніна** Лариса Володимирівна
Циганов Олександр Миколайович
Мардзявко Віталій Анатолійович
Руденко Андрій Юрійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 7,0.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

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

Свідотство субекта видавничої справи ДК № 4490 від 09.06.2017р.