

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

методичні рекомендації

для виконання практичних робіт здобувачами

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

2025

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

Укладачі:

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

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

Рецензенти:

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

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

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. Дослідження плавких запобіжників.....	6
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. Дослідження контакторів постійного і змінного струму.....	16
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3. Дослідження електромагнітного реле часу.....	30
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4. Розрахунок та вибір теплового реле для захисту двигуна.....	41
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. Дослідження та вибір автоматичного вимикача для захисту двигуна.....	51
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6. Розрахунок і вибір багатошарових напівпровідникових структур - тиристорів.....	62
ПРАКТИЧНА РОБОТА №7. Визначення опору і навантажувальної здатності резистора при тривалому режимі роботи.....	72
ПРАКТИЧНА РОБОТА №8. Розрахунок захисту електричної машини від міжфазних коротких замикань.....	83
ПРАКТИЧНА РОБОТА №9. Визначення значення електромагнітної сили, що діє у прямокутному розщепленому зазорі електромагніта.....	97
ПРАКТИЧНА РОБОТА №10. Розрахунок котушки електромагніту постійного та змінного струму.....	103
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ.....	119
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАННЯТЬ.....	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	122
ДОДАТОК.....	124

ВСТУП

Електромагнітні пристрої, електричні машини та їх захист є невід'ємною частиною сучасної електротехніки та енергетики. Вивчення принципів їх роботи, методик розрахунку і вибору, а також технічного обслуговування та захисту є основою для підготовки кваліфікованих фахівців у галузі електротехніки.

Дані методичні рекомендації охоплюють комплекс практичних завдань, які забезпечують здобуття теоретичних знань і практичних навичок з розрахунку, вибору та захисту електричних пристроїв. Кожна практична робота спрямована на вивчення конкретних аспектів роботи електромагнітів, електричних машин, резисторів та систем захисту.

У методичних рекомендаціях розглянуто такі важливі теми:

1. Розрахунок і вибір теплових реле, автоматичних вимикачів та тиристорів для захисту електродвигунів.
2. Дослідження методик визначення навантажувальної здатності резисторів та їхніх параметрів при тривалому режимі роботи.
3. Визначення електромагнітних сил у пристроях різного типу, зокрема в електромагнітах постійного і змінного струму.
4. Аналіз захисту електричних машин від міжфазних коротких замикань, що є важливим для забезпечення їхньої надійної та безпечної експлуатації.

Розроблені завдання дозволяють опанувати не лише базові знання, але й закріпити їх через практичні розрахунки з використанням реальних технічних даних. Особлива увага приділяється алгоритмам вибору компонентів, урахуванню специфічних умов експлуатації, оптимізації параметрів пристроїв та оцінці ефективності захисту.

Методичні рекомендації розраховані на здобувачів вищої освіти, які опановують навчальні програми з спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вони допоможуть студентам глибше зрозуміти функціонування сучасних електричних пристроїв і систем, підготуватися

до виконання завдань у професійній діяльності, а також розвинути навички аналітичного мислення та технічного моделювання.

Таким чином, дані методичні рекомендації практичних робіт з дисципліни «Електричні апарати» є необхідним інструментом для формування професійних компетенцій у сфері електротехніки та суміжних галузях.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: Дослідження плавких запобіжників.

Мета: ознайомитися з конструкцією і технічними даними низьковольтних запобіжників типів ПР, ПНД, ПРС, НПН; зняти часо-струмову характеристику плавкої вставки й зрівняти її з розрахунковою.

1. Теоретичні відомості

Плавким запобіжником називають електричний апарат, що при струмі, більшому заданої величини, розмикає електричний ланцюг шляхом розплавлення плавкої вставки, безпосередньо нагрітої струмом до розплавлення.

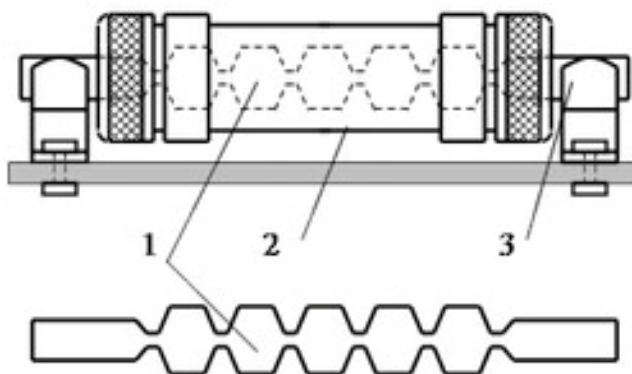


Рис. 1.1 – Плавкий запобіжник: 1 - плавка вставка; 2 - корпус; 3 - контакти

Принцип дії одноразових захисних пристроїв дуже простий. У середині кожного з них знаходиться калибрована дрот, що з'єднує контакти. Якщо значення струму не перевищує гранично допустимих норм, відбувається її нагрів приблизно до 70 градусів. Коли електричний струм перевищує встановлений номінал, нагрів дроту істотно збільшується. При певній температурі вона починає плавитися, в результаті чого відбувається розрив електричного кола. Перегорання проводка відбувається практично миттєво. Через це запобіжники і отримали свою назву – плавка вставка.

У різних конструкціях плавкою вставки запобіжника підбирається таким чином, щоб спрацьовування відбувалося при встановленому значенні струму. В процесі експлуатації плавкі запобіжники періодично виходять з ладу і підлягають заміні. Як правило їх не ремонтують, проте багато домашні майстри цілком успішно проводять їх реставрацію.

Оскільки перегорає лише сама дрiт, а корпус залишається цілим, необхідно замінити її і пристрій продовжить виконувати свої функції. Нові технічні характеристики часто не тільки не поступаються старим приладу, але і багато в чому перевершують його, оскільки якість ручної збірки завжди вище заводської. Основною умовою є правильний вибір матеріалу провідника і розрахунок його перетину.

Запобіжники можна класифікувати по ступеню закриття плавкої вставки на:

- запобіжники з відкритою плавкою вставкою (застосовуються рідко);
- запобіжники з напівзакритим патроном;
- запобіжники із закритим патроном, - у яких відсутній викид полум'я дуги при перегорянні плавкої вставки.

Запобіжники із закритим патроном можуть бути з наповнювачем і без нього. У запобіжниках з наповнювачем дуга гаситься в порошкоподібному наповнювачі, а в запобіжниках без наповнювача - внаслідок високого тиску газів у патроні.

Матеріали для плавких вставок повинні мати малий питомий опір, невелику температуру плавлення й, крім того, повинні бути стійкими до окислювання.

У сучасних запобіжниках для плавких вставок звичайно застосовуються мідь, цинк, срібло.

Мідь у порівнянні із цинком має малий питомий опір, що дозволяє застосовувати плавкі вставки невеликого перерізу. Однак мідь має досить високу температуру плавлення (близько 1083 °С) і піддана окислюванню.

Срібло, як і мідь, має малий питомий опір й, крім того, не окислюється, що обумовлює високу стабільність прикордонних струмів срібних вставок. Температура плавлення срібла – 961 °С .

У запобіжниках із мідними або срібними вставками при невеликих струмах перевантаження можливе значне нагрівання патрона запобіжника і його руйнування. Одним зі способів зниження температури плавлення вставки є застосування металургійного ефекту, коли на мідну або срібну вставку напаяють кульки із металу з низькою температурою плавлення (олово, свинець). При нагріванні від струму перевантаження кулька плавиться і розчиняє в собі метал вставки, що призводить в остаточному підсумку до зміни перерізу вставки і її розплавлення в цьому місці. Металургійний ефект сприяє помітному зниженню часу перегорання вставок при невеликих струмах перевантаження.

До переваг цинкових вставок варто віднести, крім невисокої температури плавлення (419(С)), незмінність їхнього перерізу при експлуатації.

Основними параметрами запобіжників є:

- $I_{\text{ном потр}}$ - номінальний струм патрона - максимальний струм, при якому струмоведучі й контактні частини нагріваються не вище припустимої температури;
- $I_{\text{ном вст}}$ - номінальний струм вставки - тривалий робочий струм, при якому плавка вставка не повинна перегоряти;
- $I_{\text{ном відкл}}$ - граничний струм відключення запобіжника.

Повний час відключення ланцюга запобіжником складається з часу нагрівання вставки до плавлення, часу переходу із твердого стану в рідке (плавлення) і часу горіння (гасіння дуги):

$$t_{\text{відкл}} = t_{\text{нагр}} + t_{\text{пл}} + t_{\text{дуги}}$$

Залежність повного часу відключення ланцюга плавким запобіжником від струму називають часо-струмовою характеристикою, або захисною характеристикою.

Запобіжник буде захищати об'єкт лише в тому випадку, коли його захисна характеристика розташовується трохи нижче захисної характеристики, об'єкта, який захищається при будь-якому значенні струму в ланцюзі (рис. 1.2).

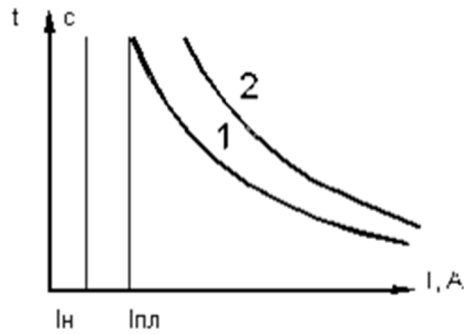


Рис. 1.2 – Характеристика роботи запобіжника: 1 - характеристика запобіжника; 2 - характеристика об'єкта

Крутизна захисної характеристики запобіжника визначає швидкодію спрацьовування запобіжника а, отже, надійність захисту.

Величина струму, при якому вставка запобіжника не перегорє протягом тривалого часу, називають прикордонним струмом.

Номінальний струм плавкої вставки повинен бути менше прикордонного струму.

Для звичайних запобіжників відключення 5-10 - кратного струму відбувається приблизно за час 0,5-0,1с, а 1,5-2 - кратного струму - за 20-50с.

Для ланцюгів, що вимагають більшої швидкодії захисту, створені спеціальні швидкодіючі запобіжники (серія ПНБ), які відключають 5-10 - кратний струм за час не більше 0,01с, а 1,5-2 -кратний струм - за 10с.

У деяких випадках потрібно, навпаки, підвищена інерційність спрацьовування запобіжника, наприклад для захисту асинхронних двигунів із прямим пуском. Для таких ланцюгів є спеціальні інерційні запобіжники із двома різними плавкими вставками, що обумовлює двоступінчастий вид захисної характеристики із різною крутизною.

Кожен тип запобіжника виготовляють на певний номінальний найбільший струм, а плавкі вставки до нього, роблять на кілька значень номінального струму. Так, наприклад, запобіжник на номінальний струм 60А виконують з плавкими вставками на струми 15, 20, 25, 35, 45 й 60 А.

Вибір запобіжника здійснюється:

- по номінальній напрузі мережі:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{ВСТ}},$$

де $U_{\text{НОМ}}$ - номінальна напруга запобіжника.

Рекомендується номінальну напругу запобіжників обирати по можливості рівною номінальній напрузі мережі.

- по тривалому розрахунковому струму лінії:

$$I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{ТРИВ}},$$

де $I_{\text{НОМ ВСТ}}$ - номінальний струм вставки;

- за умовами пуску асинхронних двигунів (з короткозамкненим ротором):

$$I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq I_{\text{ПУСКУ}} / \alpha ,$$

де α - коефіцієнт, що залежить від умов пуску,

$$\alpha = 1,5 \dots 2,5;$$

- якщо запобіжник стоїть в лінії, що живить відразу кілька двигунів з к.з. ротором:

$$I_{\text{НОМ ВСТ}} = 0,4(I_{\text{РОЗР}} + (I_{\text{ПУСКУ}} - I_{\text{НОМ ДВ}})),$$

де $I_{\text{РОЗР}}$ - розрахунковий номінальний струм лінії, рівний $I_{\text{НОМ ДВ}}$

Різниця ($I_{\text{ПУСКУ}} - I_{\text{НОМ ДВ}}$) береться для двигуна, у якого вона найбільша.

Для двигунів з фазним ротором, якщо $I_{\text{ПУСКУ}} < 2 I_{\text{НОМ ДВ}}$, то

$$I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq (1 \dots 1,25) I_{\text{НОМ ДВ}}.$$

- перевірка за умовами короткого замикання:

$$I_{\text{КЗ}} / I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq 3 \dots 4,$$

де $I_{\text{КЗ}}$ - струм к.з. двигуна.

У ланцюгах керування і сигналізації плавкі вставки обираються за співвідношенням:

$$I_{\text{НОМ ВСТ}} \geq \sum I_{\text{РОБ МАКС}} + {}^{0,1} \sum I_{\text{ВКЛ МАКС}},$$

де $\sum I_{\text{РОБ МАКС}}$ - найбільший сумарний струм, споживаний котушками апаратів, сигнальними лампами і т.д. при одночасній роботі; $\sum I_{\text{ВКЛ МАКС}}$ - найбільший сумарний струм, споживаний при включенні котушок, одночасно увімкнених апаратів.

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Зняти часо-струмову характеристику мідної круглої вставки для різних перерізів вставок.
3. За даними досліду побудувати в одному масштабі часо-струмові характеристики, зрівняти їх і зробити висновки
4. Виконати практичне завдання. За технічними показниками двигунів (взяти з інтернет джерел) в табл. 1.1, розрахувати та підібрати плавкий запобіжник для захисту електродвигуна.
5. Відповісти на контрольні питання.
6. Оформити звіт відповідно до вимоги захисту та виконання практичних робіт.
7. Зробити висновок про виконану роботу.

3. План роботи для зняття часо-струмової характеристики

1. Для зняття даної характеристики необхідно зібрати схему рис. 1.3.

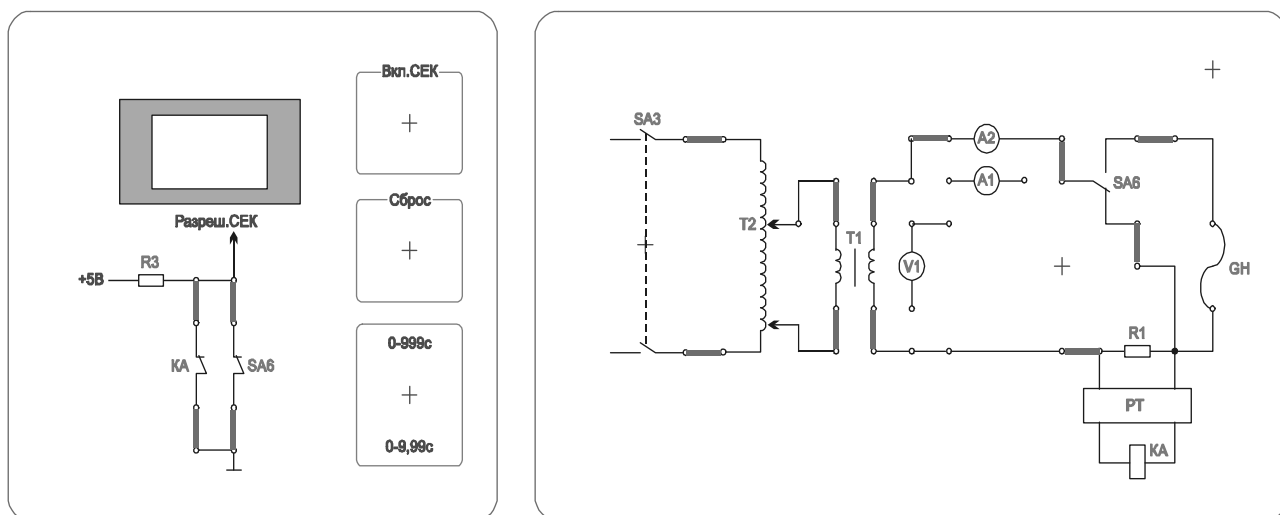


Рис. 1.3.

У тримач запобіжника встановити плавку вставку на 0,5-1,0 А , рис. 1.4 (при відсутності останніх рекомендується напаявати відрізки одножильного мідного дроту необхідного перетину, на несправну плавку вставку).



Рис. 1.4 – Зображення запобіжника

Увімкнути секундомір тумблером "Вкл. СЕК". При ненульових показаннях секундоміра зробити скидання однойменною кнопкою. Тумблер SA6 повинен знаходитися в нижньому положенні, при якому струм навантаження через запобіжник не протікає. Включити тумблером ЛАТР і поступово збільшуючи напругу, що подається на понижуючий трансформатор Т1 встановити необхідну величину струму. Зафіксувати показання приладів. Потім тумблером SA6 перемкнути ланцюг на досліджуваний запобіжник Пр. Секундомір почне відлік і зупиниться при перегорянні нитки запобіжника. Записати показання секундоміра і потім обнулити індикатори кнопкою "Скидання". Повторити дослід при різних величинах струму. Дані занести в табл. 1.1. і розрахувати температуру плавлення по формулі:

$$t_{\text{пл}} = \frac{S^2}{I^2} \cdot 10^5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де S - діаметр вставки, мм^2 ; I - значення встановлюваного струму по шкалі, А.

2. За даними дослідів побудувати в одному масштабі часо-струмові характеристики, зрівняти їх і зробити висновки.

«Результати дослідів»

Струм навантаження, I_n , А		0,5	0,6	0,8	1
Діаметр вставки, S , мм ²	Мідь	0,03	0,05	0,11	0,18
	Алюміній	0,07	0,1	0,19	0,22
Показання секундоміра t , сек		1	0,8	0,6	0,4
Розрахункова температура плавлення $t_{пл}$ °С					

4. Виконання практичного завдання

Завдання: Для захисту від струмів короткого замикання кола живлення короткозамкненого асинхронного електродвигуна потужністю P (рис. 1.5 та табл. 1.2.) використовуються плавкі запобіжники.

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. 1.3.

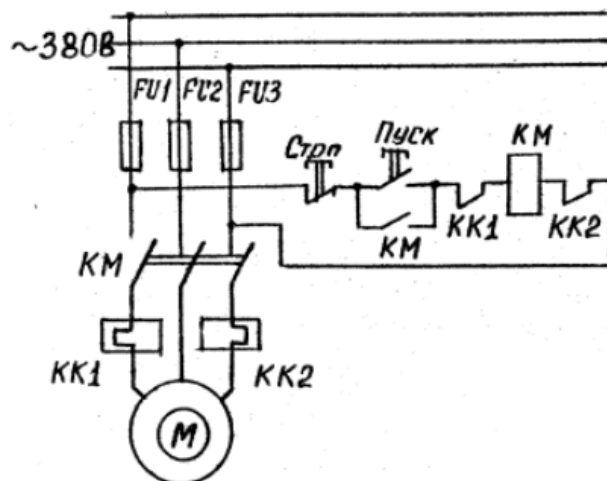


Рис. 1.5 – Схема під'єднання магнітного пускача та двигуна до мережі

4.1. Визначення номінального струму плавкої вставки.

Плавка вставка запобіжника не повинна відключати двигун при короткочасних перевантаженнях його пусковими струмами. Для двигунів величина пускового струму рівна

$$I_n = 7 \cdot I_{n_дв} .$$

Для захисту одиничних двигунів у більшості практичних випадків номінальний струм плавкої вставки рекомендується визначати зі співвідношення:

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

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

Визначення номінального струму двигуна, виконується у відповідності до його технічних даних, або за допомогою розрахунків:

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

де $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності двигуна; η - ККД двигуна (табл. 1.1).

По величині цього струму з табл. 1.3 проводиться вибір запобіжника, щоб максимальний робочий струм був не менш номінального струму двигуна й максимально близьким до нього.

Відповідно до розрахованого значення $I_{вст.ном}$ з табл. 1.3 вибирається номінальний струм плавкої вставки - найближче більше значення. Відповідно до обраного значення $I_{вст.ном}$ визначається виконання запобіжника (по його номінальному струму).

4.2. Визначення пограничного струму плавкої вставки.

Під пограничним струмом розуміють номінальний струм, при якому згорає плавка вставка, досягнувши ustalenoї 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, тому:

$$I_{погр} = (1,6...1,8) \cdot I_{вст.ном} .$$

4.3. Визначення діаметра мідної плавкої вставки.

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

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

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; $T_{\text{пл}} = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура плавлення міді; $K_T = 11 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2 \cdot \text{}^\circ\text{C}$ – коефіцієнт теплопередачі з зовнішньої поверхні вставки.

5. Контрольні питання

1. Призначення запобіжників.
2. Вимоги до матеріалу для плавких вставок.
3. Які основні елементи конструкції будь-якого запобіжника?
4. Призначення металургійного ефекту в запобіжниках.
5. Особливості роботи запобіжника при "прикордонному" струмі.
6. Основні параметри запобіжників.
7. Що таке номінальний струм запобіжника?
8. Що таке номінальний струм плавкої вставки?
9. Які матеріали використовують для виготовлення плавких вставок, їх переваги та недоліки?
10. Схема вмикання запобіжників у мережу, яка захищається.

Таблиця 1.2

«Вихідні дані до практичних робіт 1»

варіант	Тип двигуна	варіант	Тип двигуна	варіант	Тип двигуна
1	AIP56A2Y3	11	AIP100L4Y3	21	AIP200L4Y3
2	5A160S2	12	5A112MA6	22	5A112MA8
3	AIP225M8Y3	13	AIP100L8Y3	23	AIP250M4Y
4	5A200L2	14	5A160S6	24	5A160S8
5	AIP80B2Y3	15	AIP80B4Y3	25	AIP250S6Y3
6	5A80MA4	16	5AM160M2	26	5A200M8

7	AIP160S2Y3	17	AIP100L6Y3	27	AIP280M8Y3
8	5A160S4	18	5A200M6	28	5A225M8
9	AIP200M6Y3	19	AIP225M2Y3	29	AIP250S8Y3
10	5A200M4	20	5A225M6	30	5AM250M8

Таблиця № 1.3

«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

Отримані навички з дослідження часо-струмових характеристик і вибору запобіжників можуть бути використані для правильного підбору захисних пристроїв у реальних електричних мережах, що підвищить надійність роботи обладнання та безпеку експлуатації.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: Дослідження контакторів постійного і змінного струму.

Мета: ознайомитися з технічними даними й вивчити конструкцію контакторів і магнітних пускачів змінного струму; дослідити магнітні пускачі змінного струму.

1. Теоретичні відомості

Контактори - це комутаційні апарати, призначені для частих включень і відключень електричних ланцюгів при нормальних режимах роботи. Контактори застосовуються в ланцюгах напруги до 500В змінного струму і 600В постійного струму.

Контактори розподіляють на:

- електромагнітні, які спрацьовують за допомогою електромагніта;
- постійного струму - лінійні і прискорення;
- змінного струму промислової частоти;
- змінного струму підвищеної частоти (до 10 кгц).

Контактори, що служать для замикання або розмикання електричних ланцюгів, називають лінійними, а контактори, які слугують для замикання окремих щаблів пускового реостата, - прискорення.

Основні вузли будь-якого електромагнітного контактора:

- електромагнітний механізм,
- головні контакти,
- дугогасійний пристрій,
- блок-контакти.

Принцип дії контакторів полягає в наступному: при подачі напруги на обмотку електромагніта якір притягається. Рухомий контакт, пов'язаний з якорем, замикає або розмикає головний ланцюг. Дугогасійна - система забезпечує швидке гасіння дуги. Допоміжний блок-контакт використовується для узгодження роботи контактора з іншими апаратами.

Тягова характеристика електромагніта змінного струму близько підходить до протидіючої характеристики, у результаті, контактори змінного струму мають високий коефіцієнт повернення (0,6...0,7), що дає можливість здійснити захист об'єкта від спадання напруги.

В промисловості випускаються наступні основні серії контакторів змінного струму:

- контактори серії КТ на номінальні струми 75, 150, 300 й 600А і номінальні напруги 380В и 500В.

- контактори серії КИ - призначені в основному для установки в магнітних пускачах на струми 60, 100 й 150А і напругою 380В.

Контактори виконують свої функції задовільно, якщо напруга на затискачах котушки:

$$U = (0,85...1,1)U_{\text{ном}}$$

Зниження напруги нижче $0,85 U_{\text{ном}}$ зменшує силу, що втримує якір, у результаті чого при деякій напрузі відпадиння $U_{\text{відп}}$, відбувається відрив якоря від полюсів. Найменша напруга $U_{\text{спр}}$, при якому відбувається включення контактора, називають напругою спрацьовування.

Відношення:

$$K = U_{\text{відп}} / U_{\text{спр}}$$

називають коефіцієнтом повернення.

Механічною характеристикою контактора називають залежність механічних протидіючих сил від величини робочого зазору. $F_{\text{мех}} = f(\delta)$

Протидіючі сили в електромагнітних контакторах створюються за допомогою пружин.

Магнітний пускач - це контактор змінного струму, призначений для дистанційного керування і захисту від зниження напруги живильної мережі й струмів перевантаження асинхронних двигунів малої й середньої потужності.

Основним вузлом магнітного пускача, як контактора, є електромагніт змінного струму, що приводить у дію систему з контактами.

Звичайно в магнітних пускачах застосовують триполюсний контактор змінного струму, що має три головних замикаючі контакти й від одного до чотирьох допоміжних, блокувальних, або блок-контактів.

У кожух магнітного пускача, крім контактора, часто вбудовується теплове реле, що виконує струмовий захист із витримкою часу, залежної від величини струму.

Вибір магнітного пускача і контакторів здійснюється:

- за номінальною напругою мережі:

$$U_{\text{ном}} = U_{\text{мер}},$$

де $U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга котушки магнітного пускача;

- за номінальним струмом навантаження:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном нагр}},$$

де $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм магнітного пускача, контактора для конкретного режиму роботи;

- за потужністю двигуна виконавчого механізму;

- за режимом роботи;

- за числом включень у годину;

- за номінальною напругою контактів апарата:

$$U_{\text{ном конт}} \geq U_{\text{мер}},$$

- за часом включення й відключення.

Електромагнітним контактором називається пристрій для вмикання і вимикання силового електричного кола за допомогою електромагніта.

Електромагнітний контактор складається з електромагніта і контактної системи. Контакти в контакторах поділяються на головні (силові) та допоміжні (блокувальні).

Головні контакти призначені для замикання і розмикання головних кіл, по яких проходять струми навантаження електродвигунів, електронагрівачів та інших електроприймачів. Головні контакти, призначені для розриву електричного кола під навантаженням, повинні мати дугогасний пристрій. Головні контакти без дугогасних пристроїв застосовуються в основному для шунтування пускових та інших опорів (при цьому не відбувається розриву електричного кола).

Допоміжні контакти призначені для комутування кіл керування і сигналізації. Тому вони розраховані на невеликі номінальні струми (6 – 10 А). Допустима частота вмикання контакторів – до 600 – 1200 за годину. За родом керованого струму контактори бувають постійного і змінного струмів. Магнітна

система контакторів постійного струму складається із суцільних шматків електротехнічної сталі, змінного – з окремих листів електротехнічної сталі.

Для усунення вібрації електромагнітної системи при живленні втягувальної котушки змінним струмом на певних частинах електромагніта (в зоні прилягання якоря та осердя) вмонтовані короткозамкнені витки з міді або латуні. Завдяки цим виткам сила притягання електромагніта не зменшується до нуля при проходженні струму втягувальної котушки через нуль, чим усувається вібрація магнітної системи.

До спеціальних видів контакторів належать контактори із заціпкою. Їх застосовують там, де не допускається вимкнення головного кола при зниженні або зникненні напруги в колі керування (наприклад, у колах збудження синхронних машин або там, де необхідно підвищити надійність роботи контактора при тривалій його роботі). Контактори із заціпкою мають такі поєднання головних контактів: 2з; 3з; 1з+1р; 2з+1р. Замикаючі контакти призначені для комутування кіл обмоток збудження, розмикаючі – для ввімкнення розрядного опору в момент вимикання цих обмоток у мережі.

На відміну від звичайних контакторів контактор із заціпкою має дві котушки – вмикаючу і вимикаючу. У ввімкненому стані контактор утримується спеціальною заціпкою. Для його вимкнення потрібно увімкнути вимикаючу котушку, яка звільняє заціпний механізм (рис. 2.1). Механізм контактора має два види допоміжних контактів: на заціпному механізмі контакти *A* та *B*, а на валу контактора – допоміжний замикаючий контакт *B*.

Схема вмикання котушок контактора із заціпкою зображена на рис. 2.2, а. У вимкненому положенні контактора контакт *A* замкнений, контакти *B*, *B* розімкнені. При натисканні на кнопку вмикання *SB1* (див. рис. 2.2, а) вмикаюча котушка *KB* одержує живлення і контактор спрацьовує. Вал контактора повертається, важіль 3 (див. рис. 9.1) заціпки опускається і залишає рухому систему у ввімкненому стані. При цьому контакт *A* розмикається, а контакти *B*, *B* замикаються (рис. 2.1 і 2.2, а). Таким чином, вмикаюча котушка вимикається з мережі.

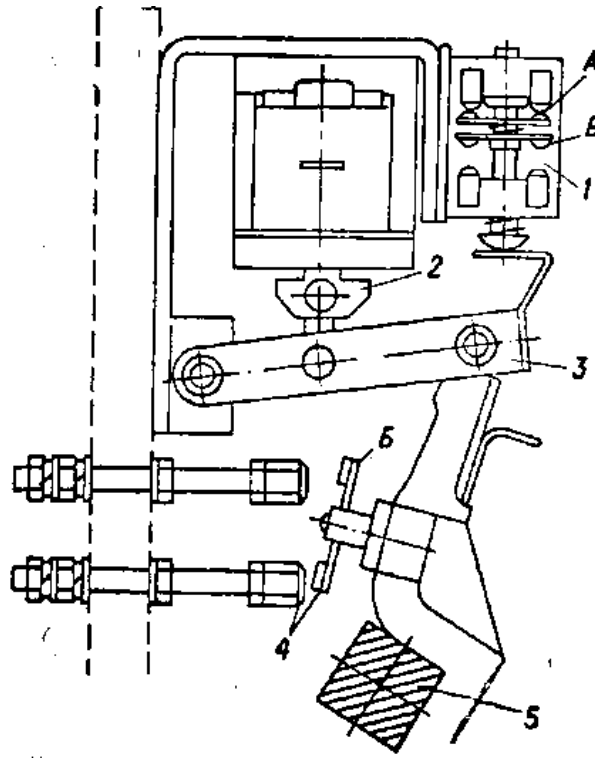


Рис. 2.1 – Защіпний механізм контактора із защіпкою: 1, *A*, *B* - допоміжні контакти защіпного механізму; 2 - якір електромагніта вимикання; 3 - важіль; 4, *B* - допоміжні контакти контактора; 5 - вал контактора

Для вимкнення контактора необхідно натиснути на кнопку *SB2*, через контакти *B* і *B* одержують живлення обидві котушки *KB* і *KO*. Втягувальна котушка притягує якір електромагніта *KB* і полегшує електромагніту *KO* звільнення важеля. Рухома система відпадає, контакти *B*, *B* розмикаються. Таким чином, котушки контактора із защіпкою працюють у короткочасному режимі, чим підвищується надійність роботи контактора.

Для підвищення надійності роботи звичайних контакторів з однією втягувальною котушкою застосовують схеми вмикання котушок із форсуванням (рис. 2.2, б, в). За схемою, зображеною на рис. 2.2, б, можна вмикати контактори постійного і змінного струму. Тут котушка живиться через резистор R_e , який у вимкненому стані контактора зашунтований його розмикаючим допоміжним контактом. При цьому котушка може мати номінальну напругу, меншу за напругу мережі (наприклад, при $U_m = 220$ В, $U_{ком} = 127$ В). У цьому випадку контактор надійно спрацьовує навіть при значному зниженні напруги живлення,

викликано, наприклад, великими пусковими струмами потужного електродвигуна. Після спрацювання контактора в коло котушки вводиться опір R_e , який обмежує струм котушки до значення, достатнього для утримання контактора у ввімкненому стані.

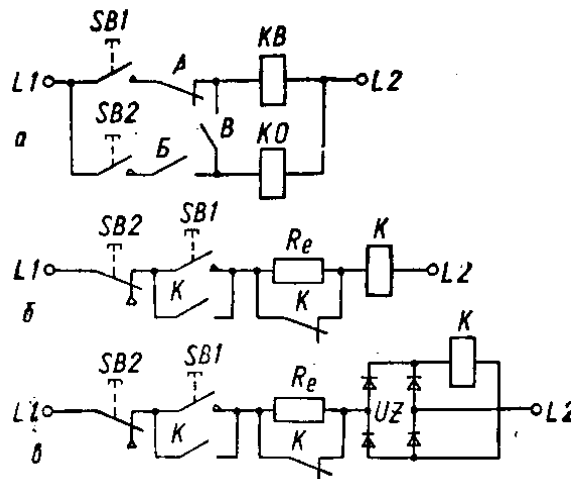


Рис. 2.2 – Спеціальні схеми вмикання котушок контакторів: а - схема вмикання котушок контакторів із заціпкою; б - схема вмикання котушки контактора із форсуванням; в - схема вмикання котушки контактора через випрямляч і з форсуванням

Схема, зображена на рис. 2.2, в, застосовується при живленні кола керування змінним струмом, але котушка контактора живиться випрямленим струмом. Ця схема надійніша за схему на рис. 2.2, б, тому що напруга утримання при постійному струмі значно нижча, ніж при змінному. Наприклад, якщо коло керування живиться напругою 220 В, то в момент вмикання на котушку буде подана напруга $U_{вмк} = K_v \cdot U_m = 0,9 \times 220 = 198$ В (тут K_v – коефіцієнт випрямлення схеми). Після спрацювання контактора в коло котушки вводиться опір R_e такий, щоб падіння напруги на котушці знизилося до 12 - 15 В. Отже, при такій схемі випадки згоряння котушки контактора практично виключаються.

На рис. 2.3 показана будова і схема вмикання втягувальної котушки герсиконового контактора КМГ. Головні (силові) 6 - 6 і допоміжні контакти 4 - 4 з феромагнітного матеріалу вмонтовані в герметичні камери 7 і 3, заповнені

захисним газом. Втягувальна котушка 1 і магнітна система 5 є спільними для головних і допоміжних контактів. Кожний полюс контактора має свою камеру.

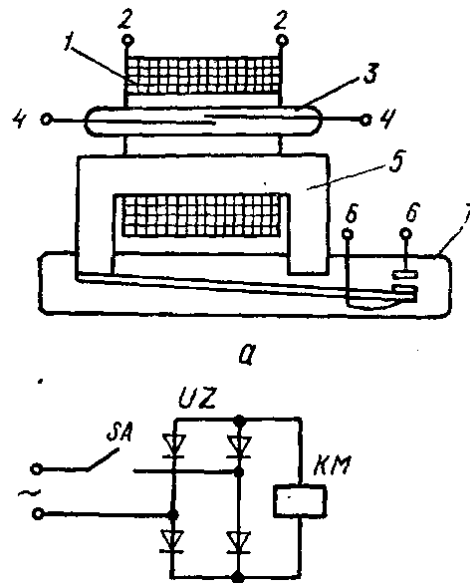


Рис. 2.3 – Будова герметичного силового контактора (герсикона): а - конструктивна схема; б - схема вмикання котушки керування; 1 - втягувальна котушка; 2 - клеми котушки; 3 - геркон; 4 - клеми геркона; 5 - магнітна система; 6 - головні контакти; 7 - герметична камера

Герметизація контактів і наявність захисного газу забезпечують їх надійну роботу при несприятливих впливах навколишнього середовища без обслуговування в процесі експлуатації. Особливістю цих контакторів є те, що їх втягувальні котушки на змінному струмі керування живляться через випрямляч для усунення вібрації контактів.

Вибирають апарати за величиною напруги, родом і величиною струму, кліматичним виконанням, умовами захисту від впливу оточуючого середовища, його відповідності технологічним вимогам та іншими показниками.

При виборі необхідно враховувати також характер і режим роботи електроприймачів. При виборі апаратів керування і захисту доцільно користуватись структурами умовних позначень апаратів, вибираючи з них те, що потрібно для конкретного застосування апарату.



Рис. 2.4 – Пускач електромагнітний серії ПМЛ

Електромагнітні пускачі серії ПМЛ (ТУ 16.644.001 - 83) (рис. 2.4) призначені для дистанційного пуску безпосередньо приєднаних до електромережі, зупинки і реверсу трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Розраховані пускачі для роботи при напрузі до 660 В частотою 50 і 60 Гц мають загальнокліматичне виконання (літера О). Ступінь захисту – IP00 та IP54. Категорія розміщення 4 (для IP00) і 2 (для IP54).

Пускачі серії ПМЛ комплектуються тепловими реле серії РТЛ. Пускачі з номінальним струмом 10, 25, 40 і 63 А повинні допускати встановлення на них для розмноження контактів допоміжних кіл контактної приставки серії ПКЛ або приставки пневматичної, в якій контакти замикаються або розмикаються з витримкою часу.

Структура позначення електромагнітних пускачів ПМЛ

$$\frac{\text{ПМЛ}}{1} - \frac{\text{X}}{2} \frac{\text{X}}{3} \frac{\text{X}}{4} \frac{\text{X}}{5} \frac{\text{XX}}{6} \frac{\text{X}}{7}$$

розшифровується так:

1– серія;

2– величина пускача за номінальним струмом головного кола: 1 – 10 А, 2 – 25А, 3 – 40 А, 4 – 63 А, 5 – 80 А, 6 – 125 А, 7 – 200 А;

3– виконання за призначенням і наявності теплового реле: 1 – нереверсивний, без теплового реле, 2 – нереверсивний з тепловим реле, 3 – реверсивний, без теплового реле, з електричною і механічним блокуванням, 6 – реверсивний з тепловим реле, з електричною і механічним блокуванням, 7 – для пуску двигунів з перемиканням обмотки статора із «зірки» на «трикутник»;

4- виконання за ступенем захисту від впливу навколишнього середовища та наявністю кнопок: 0 – IP00, 1 – IP54, з кнопкою «Реле», 2 – IP54, з кнопками «Пуск» і «Стоп», 3 - з кнопками «Пуск» і «Стоп» та сигнальною лампою;

5- виконання за кількістю контактів допоміжного кола: 0 – 1з (у пускачів на номінальні струми 10 і 25 А) та 1з + 1р (у пускачів на струми від 40 до 200 А); 1 – 1р (на струми 10 і 25 А) та 2з + 2р (на струми від 40 до 200 А); 2 – 3з + 3р (на струми від 80 до 200 А); 3 – 3з + 1р (на струми від 80 до 200 А); 4 – 5з + 1р (на струм від 80 до 200 А);

6- кліматичне виконання і категорія розміщення: О4 (для IP00), О2 (для IP54);

7- клас електричної стійкості проти спрацювання; А, Б, В.

Контактори малогабаритні.

Малогабаритні контактори змінного струму загально промислового застосування КМІ, рис. 2.5, на струм навантаження від 9 до 95А призначені для пуску і реверсування асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором на напругу до 660В. всі виконання на струм навантаження на струм навантаження 40А мають одну групу замикаючих або розмикаючих допоміжних контактів, виконання на струм навантаження більше 40А – дві групи (замикаючу і розмикаючу).



2. План роботи для вибору електромагнітних пускачів

Електромагнітні пускачі вибирають:

1. За призначенням (реверсивний, нереверсивний, для пуску асинхронних короткозамкнених двигунів з переминанням обмоток статора з “зірки” на “трикутник”) - залежно від режиму роботи і способу пуску двигуна.
2. За конструктивним виконанням (з кнопками керування, без кнопок, з сигнальною лампою, без лампи тощо) залежно від місця встановлення (окремо, в комплектному пристрої) та необхідності в сигналізації.
3. За наявністю теплових реле залежно від потреби в тепловому захисті двигуна.
4. За захищеністю від впливу оточуючого середовища, кліматичного виконання і категорією розміщення відповідно до умов, в яких він буде експлуатуватися. Пускачі, які встановлюються в оболонках комплектних пристроїв керування, повинні мати ступінь захисту IP00.
5. За номінальною робочою напругою – так, щоб номінальна робоча напруга пускача $U_{ном.p}$ була не меншою від напруги електромережі $U_{мер}$, в якій він буде працювати, тобто повинна виконуватися умова $U_{ном.p} \geq U_{мер}$.
6. За величиною (номінальним робочим струмом) – відповідно до номінального струму електродвигуна, виходячи з умови $I_{ном.p} \geq I_{дв.ном}$.
7. За умовами комутації (при категорії застосування А3 і А4) $6I_{ном.p} \geq I_{дв.ном}$.
8. За напругою витягувальної котушки пускача - відповідно до напруги кола керування, виходячи з умови $U_{кот} \geq U_{кер}$.
9. За кількістю контактів допоміжного кола - відповідно до кількості їх, указаних на принципіальній електричній схемі. (При недостатній кількості контактів допоміжного кола необхідно вибрати контактну приставку ПКЛ).

3. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Вибрати пускозахисну апаратуру для електродвигуна за даними таблиці 2.1.
3. Відповісти на контрольні питання.
4. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.
5. Зробити висновок про виконану роботу.

4. Виконання практичного завдання

Завдання: Для прямого пуску короткозамкненого асинхронного електродвигуна потужністю P , що живиться від мережі з номінальною напругою $U_{ном} = 380 \text{ В}$, використовується магнітний пускач, схема включення якого представлена на рис. 2.6.

До складу пускача входять контактор КМ і теплові реле КК1 і КК2. Визначити необхідні параметри двигуна й вибрати тип пускача. Дані для розрахунків наведені в таблиці 2.1.

Технічні дані деяких типів пускачів знайти в інтернет джерелах або в табл. 2.2.

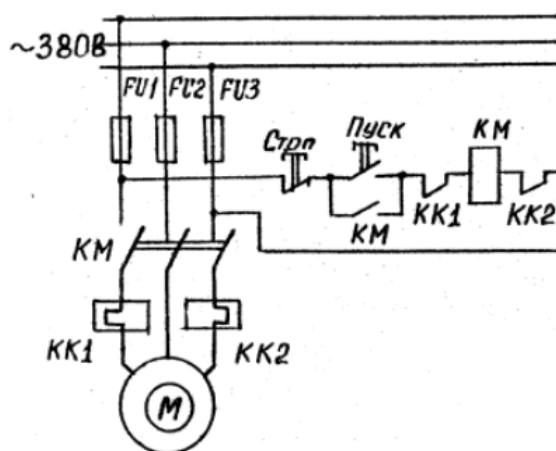


Рис. 2.6 – Схема під'єднання магнітного пускача та двигуна до мережі

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.

По величині цього струму проводиться вибір пускача таким чином, щоб максимальний робочий струм пускача (пуск електродвигунів з короткозамкненим ротором, відключення обертових двигунів при номінальному навантаженні) був не менш номінального струму двигуна й максимально близьким до нього, а саме:

- за номінальною робочою напругою – так, щоб номінальна робоча напруга пускача $U_{ном.р}$ була не меншою від напруги електромережі $U_{мер}$, в якій він буде працювати, тобто повинна виконуватися умова

$$U_{ном.р} \geq U_{мер}.$$

- за величиною (номінальним робочим струмом) – відповідно до номінального струму електродвигуна, виходячи з умови

$$I_{ном.р} \geq I_{дв.ном}.$$

- за умовами комутації (при категорії застосування А3 і А4)

$$6I_{ном.р} \geq I_{дв.ном}.$$

5. Контрольні питання

1. Призначення контакторів і магнітних пускачів.
2. Конструкції контакторів і магнітних пускачів.
3. Призначення теплового реле в магнітному пускачі.
4. Намалювати схему керування пуском асинхронного двигуна за допомогою магнітного пускача.

Таблиця 2.1

«Вихідні дані до практичних робіт 2»

варіант	Тип двигуна	варіант	Тип двигуна	варіант	Тип двигуна
---------	-------------	---------	-------------	---------	-------------

1	AIP56A2Y3	11	AIP100L4Y3	21	AIP200L4Y3
2	5A160S2	12	5A112MA6	22	5A112MA8
3	AIP225M8Y3	13	AIP100L8Y3	23	AIP250M4Y
4	5A200L2	14	5A160S6	24	5A160S8
5	AIP80B2Y3	15	AIP80B4Y3	25	AIP250S6Y3
6	5A80MA4	16	5AM160M2	26	5A200M8
7	AIP160S2Y3	17	AIP100L6Y3	27	AIP280M8Y3
8	5A160S4	18	5A200M6	28	5A225M8
9	AIP200M6Y3	19	AIP225M2Y3	29	AIP250S8Y3
10	5A200M4	20	5A225M6	30	5AM250M8

Таблиця № 2.2

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

Тип захисного виконання	Номінальний 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

Отримані знання та навички можуть бути використані для правильного вибору і монтажу пуско-захисної апаратури, що забезпечить стабільну й безпечну роботу електродвигунів та інших електроприймачів.

Практична робота сприяла закріпленню знань з теорії роботи контакторів і магнітних пускачів, розумінню їхніх конструктивних особливостей та вмінню здійснювати їх підбір і розрахунок для захисту та керування електричними колами.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Тема: Дослідження електромагнітного реле часу.

Мета: ознайомитися з конструкцією і технічними даними електромагнітного реле часу.

1. Теоретичні відомості

Реле часу- це реле, що призначене для створення незалежної витримки часу і забезпечення визначеної послідовності роботи елементів схеми. Реле часу використовується в тих випадках, коли необхідно автоматично виконати якусь дію не зразу, а через встановлений час.

Електромагнітне реле часу забезпечує витримку часу з моменту подачі сигналу керування на реле часу і моментом замикання або розмикання його контактів.

Часом спрацьовування електромагнітного реле часу називають час, що проходить із моменту замикання ланцюга котушки до повного притягання якоря або, навпаки, з моменту відключення котушки від мережі до повного відпадіння якоря. У першому випадку час спрацьовування називають часом спрацьовування на включення, а в другому випадку - часом спрацьовування на відключення.

Час спрацьовування як при включенні, так і при відключенні складається із двох складових:

$$t_{\text{спр}} = t_{\text{зр}} + t_{\text{руху}},$$

Перша складова $t_{\text{зр}}$, називана часом вирушання, визначає собою: при включенні - час, що протікає з моменту замикання ланцюга котушки до початку

руху якоря; при відключенні - час, з моменту розмикання ланцюга котушки до початку відпускання якоря.

Друга складова $t_{руху}$ - є час руху якоря до повного його притягання (при включенні) або до повного відпадиння (при відключенні).

Уповільнене спрацьовування електромагніта, як при включенні, так і відключенні від мережі може бути здійснене збільшенням або $t_{зр}$ або $t_{руху}$. У першому випадку уповільнення досягається за допомогою магнітного демпфірування, у другому - за допомогою механічного демпфірування.

Для притягання або відпускання якоря електромагнітного реле, необхідна присутність у магнітній системі певної величини магнітного потоку. Необхідна величина потоку досягається не відразу після включення або відключення реле від мережі, а через певний проміжок часу. Сповільнюючи наростання (при включенні) або спад (при відключенні) магнітного потоку, можна змінювати час притягання або відпускання якоря. Способи впливу на швидкість зміни магнітного потоку в магнітопроводі при включенні або відключенні реле і зветься магнітним демпфіруванням.

Всі способи магнітного демпфірування засновані на використанні магнітних потоків, створюваних вихровими струмами, які з'являються в масивних деталях магнітної системи реле при зміні основного магнітного потоку. При включенні вони будуть зменшувати швидкість зростання потоку в магнітопроводі, а при відключенні - швидкість спадання потоку.

Очевидно, ефективність цього методу буде тим більше, чим більше абсолютна величина основного потоку. Тому метод магнітного демпфірування дає помітне уповільнення при відключенні електромагніта, коли повітряні зазори малі й величина основного потоку велика.

З метою посилення магнітного демпфірування електромагніти, призначені для одержання витримок часу, доповнюються спеціальними, короткозамкненими котушками, що охоплюють магнітопровід. Короткозамкнена котушка, називається демпфіруючою, зазвичай виконується у вигляді масивної гільзи (мідної або алюмінієвої) або окремих коротких втулок, які насаджуються на магнітопровід.

Застосування коротких втулок дозволяє отримувати різні витримки часу при включенні залежно від їхнього місця розташування на осерді. Так, при розташуванні демпфіруючих втулок у торця осердя (поблизу робочого повітряного зазору) витримка часу при включенні буде більше, ніж при їхньому розташуванні в основі осердя. Це пояснюється тим, що в першому випадку у початкові моменти часу після включення електромагніта втулки будуть охоплюватися практично повним магнітним потоком і в них будуть наводитися великі вихрові струми. У другому ж випадку (розташування втулок в основі осердя) спочатку після включення магнітний потік буде замикатися через якір по повітрю від корпусу до осердя, минаючи сповільнюючу втулку з усіма витікаючими з цього наслідками - малими вихровими струмами, а отже, малими витримками часу. При відключенні електромагніта місце розташування втулок не має великого значення, так як тоді чи іншому випадку втулки охоплюються однаковим магнітним потоком.

Грубе східчає регулювання витримки часу можна робити шляхом зміни товщини немагнітної прокладки, встановленої на торці якоря. Товщина прокладки, не позначаючись практично на величині сталого магнітного потоку при замкненому якорі, змінює індуктивність системи й тим самим впливає на швидкість зміни потоку. Зі збільшенням товщини прокладки швидкість зміни потоку зростає і витримка часу зменшується і, навпаки, зі зменшенням товщини прокладки швидкість зміни потоку зменшується, а витримка часу зростає. Товщина прокладки береться від 0,1 мм і вище.

Плавний спосіб регулювання витримки часу полягає в зміні натягу віджимної пружини.

Обидва способи дозволяють змінювати витримку часу від декількох десятих часток секунди до декількох секунд із відносною погрешністю не більше 10%.

За допомогою магнітного демпфірування вдається отримати витримки часу порядку 0,1...0,5 с при включенні і 0,2...10 с при виключенні.

Принцип магнітного демпфірування використовуються в реле часу типів: РЕВ-800, РЕ-500, РЕ-100 та інших, що широко використовуються у схемах керування електроприводами. Регулювання витримки часу при включенні реле

часу з магнітним демпфіруванням може здійснюватись змінюванням натягу зворотної пружини і, тим самим, магнітного потоку відпускання або величиною робочого повітряного зазору (наприклад за допомогою немагнітних прокладок), який мало впливає на швидкість його зменшення. Конструктивна схема реле часу РЕВ-800 наведена на рис. 3.1.

Підвищення часу спрацьовування електромагнітних реле можна досягти підвищенням часу руху $t_{рух}$.

Час руху - це час руху якоря до повного його притягнення. Вплив на час руху здійснюється за допомогою механічного демпфірування. В таких реле часу рухомі частини електромагніту діють на контактну систему через сповільнюючий пристрій (пневматичний демпфер, часовий механізм тощо). Механічне демпфірування використовується в реле часу типів ЕВ та інших, що широко використовуються в схемах релейного захисту.

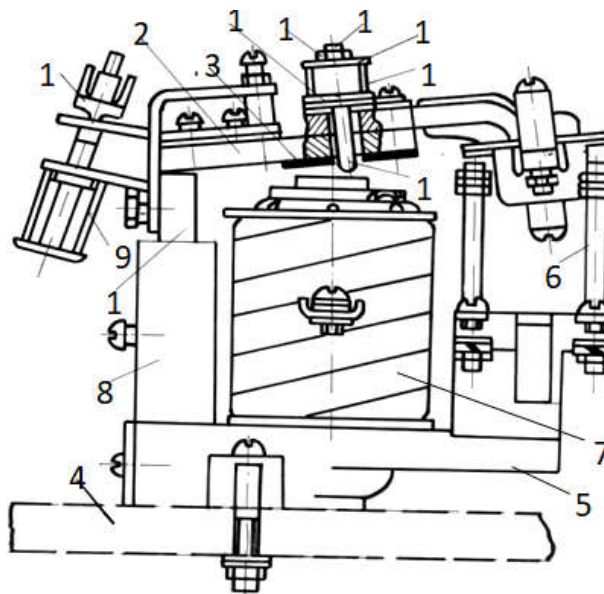


Рис. 3.1 – Конструктивна схема реле часу РЕВ-800: 1 - П-подібний магнітопровід; 2 - якор; 3 - немагнітна прокладка; 4 - плита (підґрунтя); 5 - алюмінієвий цоколь; 6 - контактна система; 7 - обмотка; 8 - короткозамкнена обмотка (гільза); 9 - зворотна пружина; 10 - регулювальна гайка; 11 - пружина; 12 - латунні штифти; 13 - гайка; 14 - шайба; 15 - шпилька

Прикладом реле часу з механічним демпфіруванням є пневматичні реле часу типу РВП. В цих реле електромагніт постійного або змінного струму впливає на контактну систему через затримуючий пристрій у вигляді пневматичного демпфера. Перевагою цих реле є те, що їх можна живити як постійним так і змінним струмом, на відміну від вищерозглянутих і незалежність часу спрацьовування від напруги і частоти живлення, температури.

Витримка часу в пневматичних реле часу здійснюється регулювальною голкою, яка змінює переріз каналу, через який повітря всмоктується у верхню порожнину пневмодемпфера. Чим більше вкручена голка, тим витримка часу більша. Ці реле дозволяють регулювати витримку часу в межах від 0,4 до 180 с з похибкою $\pm 10\%$. При повністю вкрученій голці, витримка часу складає 180 с. Конструкція реле часу з пневматичним демпфіруванням наведена на рис. 3.2.

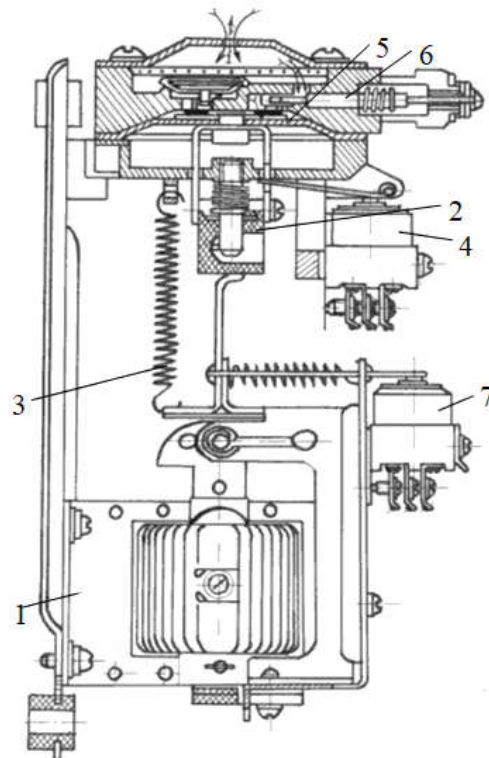


Рис. 3.2 – Реле часу з пневматичним уповільненням типу РВП: 1 - електромагніт; 2 - колодка; 3 - пружина; 4,7 - мікроперемикач; 5 - гумова діафрагма; 6 - регулювальна голка

При спрацьовуванні електромагніту 1 колодка 2 під дією пружини 3 опускається і впливає на мікроперемикач 4. Колодка 2 зв'язана з гумовою

діафрагмою 5 пневматичного утримувача. Швидкість руху колодки визначається перерізом отвору, через який засмоктується повітря у верхню порожнину пневмодемпфера. Витримка часу регулюється голкою 6, що змінює переріз цього отвору. Контактна система 7 спрацьовує без витримки часу.

Вибираючи реле часу, потрібно враховувати:

- на який період часу ви зможете запрограмувати його;
- яка напруга в побутовій мережі і який струм навантаження оптимальні для таймера, що вас зацікавив;
- ступінь захисту, якщо передбачається, що реле працюватиме, наприклад, за умов підвищеної вологості;
- розрахований прилад на монтаж із використанням розподільної коробки або його можна просто підключити до розетки;
- точність спрацьовування.

Незважаючи на різноманітність видів, моделей та модифікацій реле часу, способів включення такого приладу в електричний ланцюг будинку, квартири, майстерні чи ділянки небагато. На рис. 3.3 (див. нижче) ви бачите одну із найпростіших схем. І навантаження, і сам прилад запитані від того самого джерела. Для живлення реле "фаза" і "нуль" подаються через клеми L і N. Навантаження, "фаза" для якої вводиться через клему 2, підключена до клеми 1. "Нуль" підводиться до неї безпосередньо. Клеми 2 та 3 нормально замкнуті. Це означає, що якщо ви приєднаєте навантаження до клеми 3, а не 1, то при спрацьовуванні реле лампочки, що представляють навантаження, будуть вимикатися.

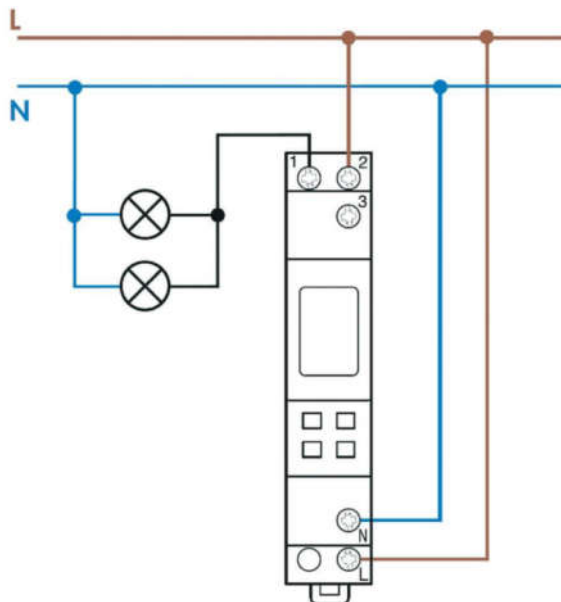


Рис. 3.3

У схемах захисту та автоматики часто потрібна витримка часу між спрацюванням двох або кількох апаратів. При автоматизації технологічних процесів також може виникнути потреба у певній часовій послідовності операцій. Для створення витримки часу є електричні апарати, звані реле часу.

Головною характеристикою реле часу є діапазон витримки часу. Для схеми електроприводу постійного струму із запуском двигуна в два ступені, час витримки реле часу можна визначити з основного рівняння руху:

$$M - M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt},$$

де M - момент двигуна, Н·м; M_c - статичний момент, Н·м; J - момент інерції, Н·м².

Для вибору витримки часу реле необхідно знати час роботи двигуна кожному щаблі пускового реостата. Для цього аналітичним методом знаходимо опір реостату на кожному щаблі.

Для ефективного та безпечного пуску двигуна при номінальному навантаженні ($M_c = M_n$) задаються струмами перемикання пускового реостату:

- максимальний струм

$$I_1 = \lambda_i \cdot I_n,$$

- струм перемикання

$$I_2 = (1,1 \div 1,5) \cdot I_H,$$

Відомо, що двигунів постійного струму паралельного порушення $M = k\Phi I_{я}$. Для схеми ДПТ паралельного збудження, при номінальній напрузі мережі живлення, похідна $k\Phi = k\Phi_H = const$, таким чином, виконується співвідношення:

$$M \equiv I_{я}$$

Визначивши значення струму I_1, I_2 , знаходимо відповідні їм моменти M_1 і M_2 .

Знайдемо час відключення опору за формулою:

$$t = \frac{J\omega_0}{M_{к.з.}} \cdot \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c},$$

де ω_0 - швидкість ідеального холостого ходу; $M_{к.з.}$ - момент короткого замикання.

Швидкість ідеального холостого ходу

$$\omega_0 = \frac{U_{НОМ}}{K\Phi_H}, c^{-1},$$

де $K\Phi_H$ - коефіцієнт двигуна, визначається за формулою

$$K\Phi_H = \frac{U_{НОМ} - I_{НОМ} \cdot R_{я}}{\omega_{НОМ}}, B \cdot c$$

де $\omega_{НОМ} = \frac{\pi \cdot n}{30}$.

При розрахунках за формулою (t) прийняти $M_{к.з.} = M_1$ для першого ступеня спрацьовування реле часу; $M_{к.з.} = 0, 75 \cdot M_1$ - для другого ступеня.

Визначивши час вимкнення реле, за довідником виберемо реле часу.

2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Вивчити конструкцію й принцип дії реле часу.
3. За допомогою інтернет джерел, виберіть та визначте тип реле, запишіть його технічні дані в таблицю, для варіанту двигуна (див. табл. 3.1).

Приклад паспортних даних ДПС:

Тип СЛ-221;

$$U_{ян} = 110 \text{ В};$$

$$n_H = 3600 - 4600 \text{ об/хв};$$

$$I_H = 0,35 \text{ А};$$

$$\eta = 33\%;$$

$$J_{дв} = 0,00055 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$M_c = 0,1 - 0,12 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

4. Опишіть пристрій та принцип дії обраного реле часу.
5. Відповісти на контрольні питання.
6. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.
7. Зробити висновок про виконану роботу.

3. Контрольні питання

1. Що таке час зрушення електромагніта?
2. У чому полягає принцип магнітного демпфірування?
3. З якою метою магнітопровід реле часу виготовлений цільним з матеріалу із малим питомим опором і малою коерцитивною силою?
4. Яке призначення масивної гільзи?
5. Яким чином можна регулювати витримку часу спрацьовування реле часу?

Таблиця 3.1

«Вихідні дані до практичних робіт 3»

Варіант	Тип двигуна	Потужність	Частота обертання
1.	Електродвигун Д 816 (150,0/450)	150.0	450
2.	Електродвигун Д 818 (186,0/450)	186.0	450
3.	Електродвигун Д 812 (75,0/475)	75.0	475
4.	Електродвигун Д 816 (160,0/490)	160.0	490

5.	Электродвигун Д 810 (55,0/500)	55.0	500
6.	Электродвигун Д 814 (115,0/500)	115.0	500
7.	Электродвигун 4ПБМ 160МГ (4,0/500-2500)	4.0	500-2500
8.	Электродвигун Д 812 (75,0/515)	75.0	515
9.	Электродвигун Д 812 (75,0/520)	75.0	520
10.	Электродвигун Д 808 (37,0/525)	37.0	525
11.	Электродвигун Д 810 (55,0/550)	55.0	550
12.	Электродвигун Д 808 (37,0/575)	37.0	575
13.	Электродвигун Д 808 (37,0/575) (220)	37.0	575
14.	Электродвигун 4ПН 225 (12,5/600- 1200)	12.5	600-1200
15.	Электродвигун Д 806 (22,0/650)	22.0	650
16.	Электродвигун Д 41 (16,0/690- 3000)	16.0	690-3000
17.	Электродвигун Д 41 (15,0/710)	15.0	710
18.	Электродвигун Д 808 (47,0/720)	47.0	720
19.	Электродвигун 4ПФМ 225МГ (22,0/750-1500)	22.0	750-1500
20.	Электродвигун 2ПБ 160МГ (2,1/750-2500)	2.1	750-2500
21.	Электродвигун Д 31 (8,0/800)	8.0	800
22.	Электродвигун Д 808 (47,0/800)	47.0	800
23.	Электродвигун 2ПБ 160МГ (2,1/800-2500)	2.1	800-2500

24.	Електро двигун Д 31 (8,0/840)	8.0	840
25.	Електро двигун П2ПМ 450-132-6 (400,0/850-1500)	400	850-1500
26.	Електро двигун Д 21 (4,5/900)	4.5	900
27.	Електро двигун Д 806 (32,0/900)	32.0	900
28.	Електро двигун 2ПН 160 (4,5/950- 2500)	4.5	950-2500
29.	Електро двигун Д 41 (24,0/970)	24.0	970
30.	Електро двигун 4ПБ 80А (0,18/1000)	0.18	1000
31.	Електро двигун П 42 (2,2/1000)	2.2	1000

Отримані знання дозволяють використовувати реле часу в автоматизації технологічних процесів та схемах керування електро двигунами. Вивчення способів регулювання витримки часу сприяє оптимізації роботи систем релейного захисту та автоматики.

Практична робота дозволила закріпити знання з теорії реле часу, дослідити їхню конструкцію та принципи роботи, а також застосувати отримані знання для аналізу технічних завдань і вибору відповідного обладнання.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

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. 4.1) 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. 4.1 – 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 струму, і в залежності від його величини розірве ланцюг живлення через якийсь час, тим самим зберігши обмотки двигуна цілими. Після подальшого усунення несправності за умови справності статора двигун може продовжити роботу.

Час, через яке спрацює реле, визначається за час-струмової характеристики конкретного реле, в загальному вигляді вона виглядає так (рис. 4.2):

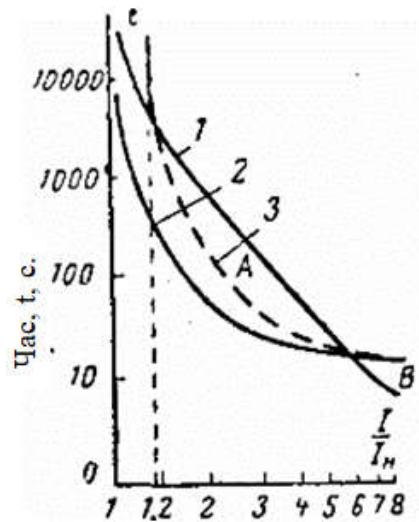


Рис. 4.2 – Характеристика часу спрацювання реле

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. 4.3.

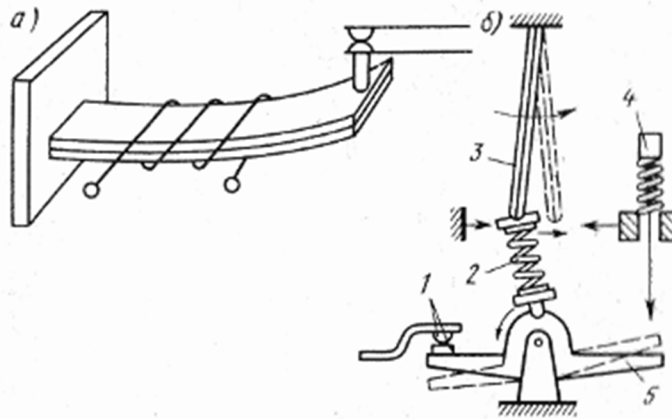


Рис. 4.3 – Будова теплового реле : а) - чутливий елемент; б) - реверсуючий контакт; 1 - контакти; 2 - пружина; 3 - біметалічна пластина; 4 - кнопка; 5 - місток повернення

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. 4.4.

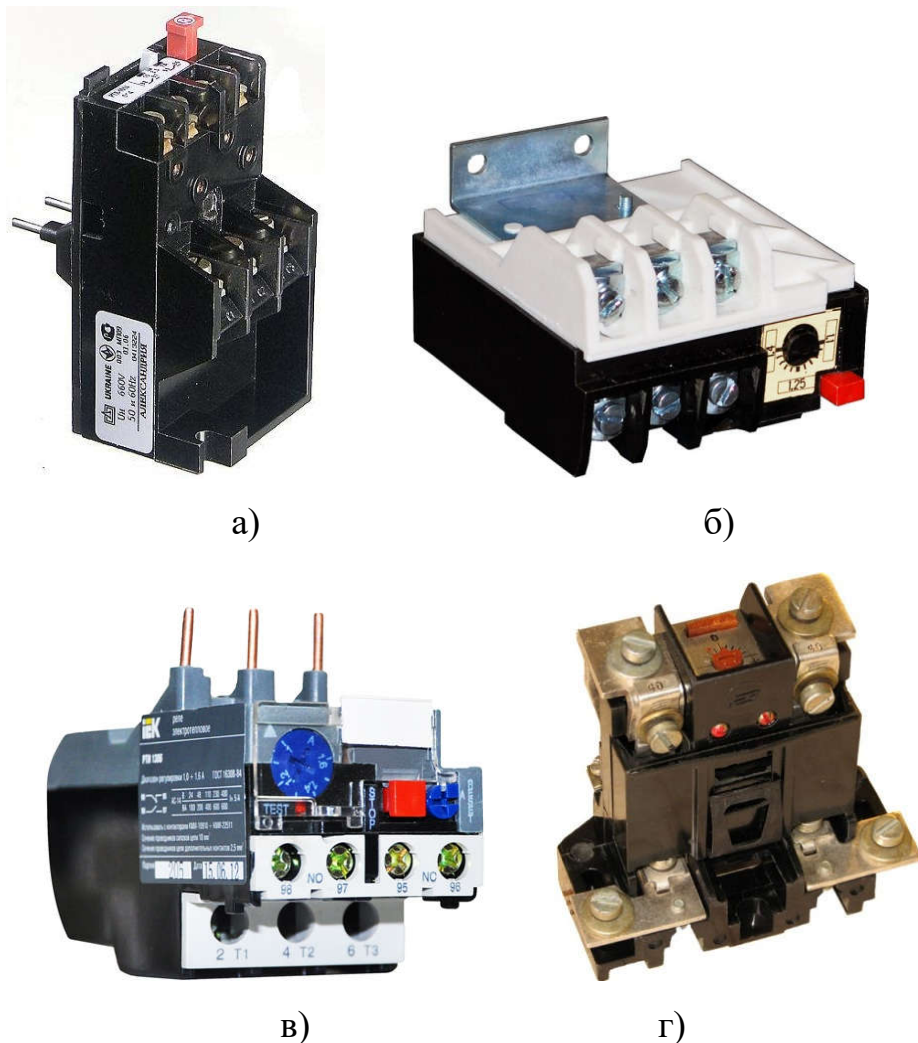


Рис. 4.4 – Види теплових реле: а) РТЛ - підходить для використання із пускачами типу ПМЛ. З набором клем КРЛ використовується як самостійний захист; б) РТТ - підходить для монтажу з пускачами ПМЕ та ПМА. Також може використовуватись як самостійне, якщо його змонтувати на спеціальну панель; в) РТІ - теплові 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. 4.5.

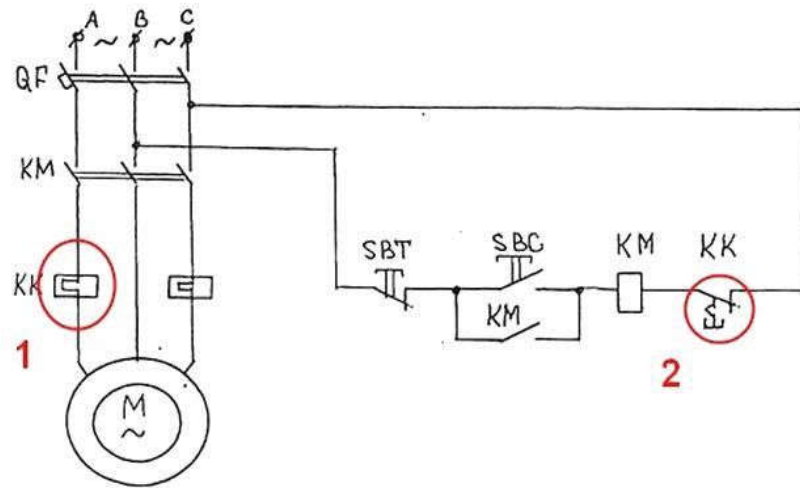


Рис. 4.5 – Схема пуску електродвигуна

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. 4.6):

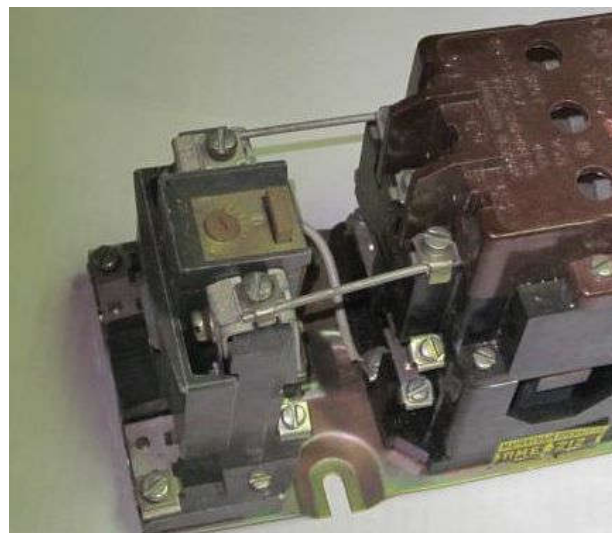


Рис. 4.6 – Схема підключення теплового реле та магнітного пускача

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. 4.7.

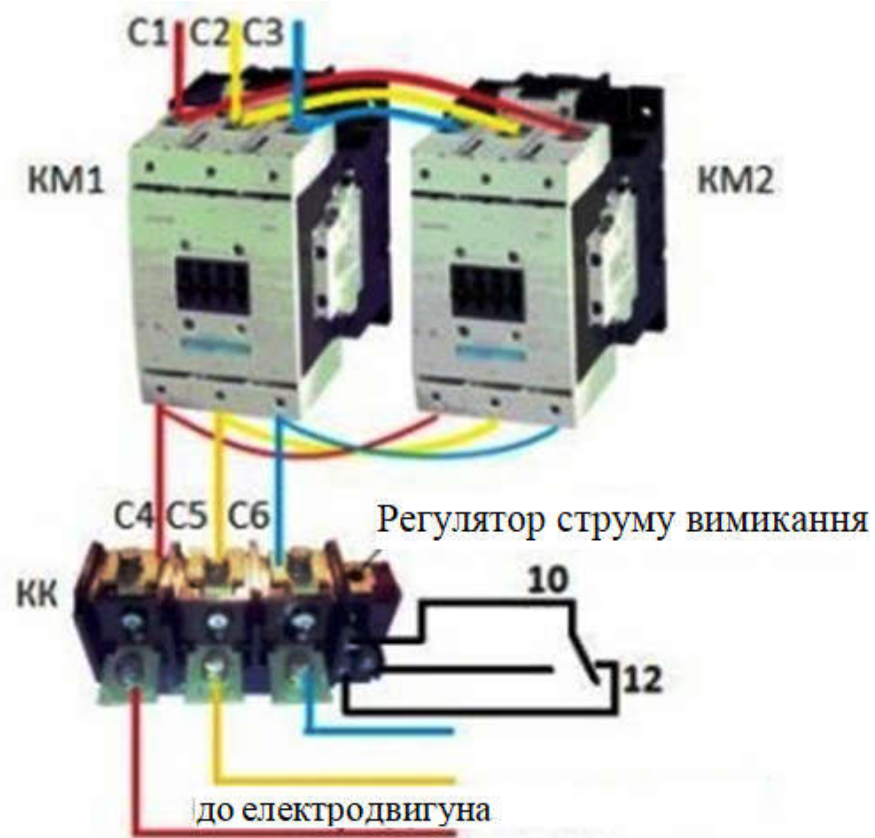


Рис. 4.7 – Реверсна схема магнітних пускачів

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. 4.8). Це, наприклад, для індикації спрацьовування теплового захисту, тобто. можна підключити лампочку-індикатор або подати сигнал на диспетчерський пульт або АСУ.

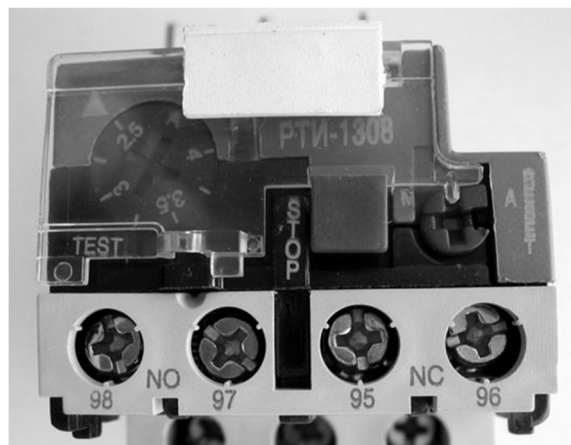


Рис. 4.8 – Вид контактів теплового реле: NO - нормально-відкритий – на індикацію; NC - нормально закритий – на пускач.

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 4.1. Параметри теплових реле в таблиці 4.2, 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:

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

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 № 4.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 4»

№ 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 №4.2

Таблиця вибору теплових реле №4				
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	

Отримані знання дозволяють коректно вибирати і налаштовувати теплові реле для захисту електродвигунів у промислових та побутових умовах, що підвищує надійність роботи обладнання й запобігає пошкодженням через перегрів.

Практична робота сприяла закріпленню знань із вибору та підключення теплових реле, дозволила детально вивчити їхню будову, принцип дії та особливості експлуатації. Це формує базові навички, необхідні для ефективної організації електробезпеки в роботі з двигунами.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Тема: Дослідження та вибір автоматичного вимикача для захисту двигуна.

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з конструкцією, характеристиками та методикою вибору низьковольтних автоматичних вимикачів.

1. Теоретичні відомості

Автоматичні вимикачі (АВ) постійного та змінного струму випускаються в одно-, дво- та триполюсному виконанні. Вони призначені для нормальної комутації та захисту електричних кіл від різних аварійних режимів: струмів короткого замикання та перевантаження, зниження чи зникнення напруги, зміни напрямку струму та інших. Пристрої, що реалізують функції захисту автоматичних вимикачів, називаються розчіплювачами.

Розчіплювачі АВ, типові схеми яких наведено на рис. 5.1 можуть реагувати різні види ушкоджень.

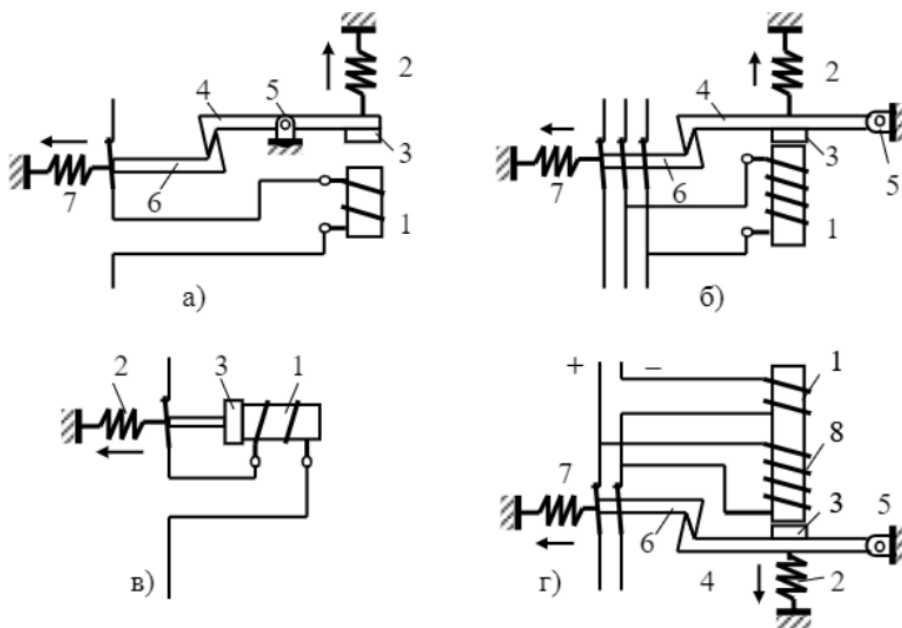


Рис. 5.1 – Схеми розчіплювачів автоматичних вимикачів: а - максимального струму; б - мінімальної напруги; в - мінімального струму; г- зворотної потужності

Розчіплювачі автоматів максимального струму (рис. 5.1-а) реагують на підвищення струму в ланцюзі понад установлене допустиме значення. У нормальному робочому положенні контакти вимикача замкнуті. Пружина 2 створює зусилля, достатнє для утримання важеля 6, механічно пов'язаного з контактами, клямкою 4. Як тільки струм перевищить встановлене значення, зусилля, розвивається електромагнітом 1. Перевищить протидія пружини 2, і притягне якір 3. Механічно пов'язана з якорем клямка 4 повернеться щодо осі 5 за годинниковою стрілкою і звільнить важіль 6. Під дією пружини 7 контакти

автоматичного вимикача розімкнуться. Шляхом регулювання натягу пружини 2 можна регулювати та уставку розчіплювача. Увімкнення автоматичного вимикача після спрацьовування здійснюється вручну.

Розчіплювачі автоматів мінімальної напруги (рис. 5.1-б) реагують на зниження нижче допустимого рівня напруги в ланцюгах, що захищаються. тому котушка електромагніта 1 вони включається в мережу паралельно. У нормальному робочому положенні зусилля, яке розвивається електромагнітом 1 більше сили протидії пружини 2. тому якір 3 притягнутий до електромагніту. а клямка 4 утримує важіль 6. Якщо напруга стане меншою за допустиму. зусилля електромагніта 1 виявиться недостатньо для утримання якоря 3, і клямка 4 повернеться навколо осі 5 за годинниковою стрілкою, звільняючи важіль 6. Під дією пружини 7 контакти розімкнуться. Уставка напруги регулюється з допомогою пружини 2. Розчеплювачі автоматів мінімального струму (рис. 5.1-в) обмежують нижню межу струму. і застосовуються в ланцюгах збудження синхронних машин і машин постійного струму. Вони утримують контакти в замкнутому положенні доти, поки струм в котушці електромагніта 1 має значення. достатнє для того, щоб притягувати якір 3, долаючи протидію пружини 2. Як тільки струм зменшиться до мінімального значення, що нормується, натяг пружини 2 стане більше сили тяжіння якоря 2 до електромагніту. контакти вимикача розімкнуться.

Розчіплювачі зворотної потужності та зворотного струму (рис. 5.1-г) застосовуються в ланцюгах постійного струму для контролю їхньої полярності. Повний магнітний потік, від якого залежить тягове зусилля електромагніта, створюється в результаті взаємодії потоків послідовної котушки 1 і паралельної котушки 8. При нормальному напрямку потужності ці потоки направлені згідно. і результуючий магнітний потік створює зусилля, достатнє для того, щоб якір 3 подолав протидію пружини 2. а клямка 4 утримувала важіль 6.

Якщо полярність струму ланцюга зміниться на протилежну. результуючий магнітний потік різко зменшиться, оскільки потоки котушок 1 і 8 у цьому випадку будуть спрямовані зустрічно. В результаті засувка 4 звільнить важіль 6. і під дією пружини 7 контакти розімкнуться і розірвуть ланцюг, що захищається.

Більшість АВ мають комбінований захист, реагує на кілька видів аварійних режимів. Пристрій універсального вимикача показано на рис. 5.2.

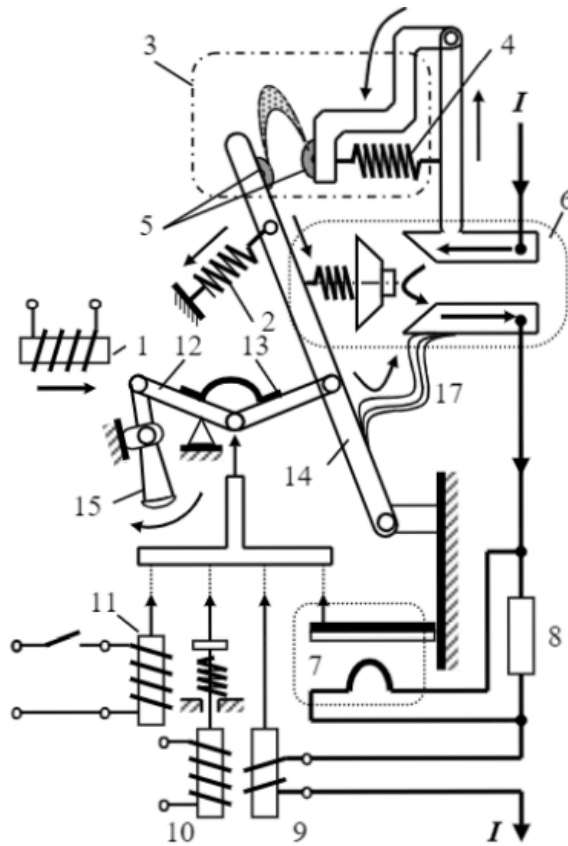


Рис. 5.2 – Пристрій універсального автоматичного вимикача

Механізм вільного розчеплення, що складається з шарнірно зв'язаних важелів 12, 13, 14 та опори забезпечує відключення, при якому швидкість розходження контактів не залежить від дій оператора. Механізм х включається вручну шляхом повороту рукоятки 15 за годинниковою стрілкою. Спочатку замикаються дугогасні контакти 5, що знаходяться в камері 3 (їх удар пом'якшується пружиною 4), потім система головних контактів 6. При цьому пружина 2 розтягується. Автоматичне відключення відбувається під впливом одного з розчіплювачів. Для захисту від тривалих, але відносно невеликих за величиною перевантажень використовується тепловий розчіплювач 7, що містить біметалеву пластину і нагрівальний елемент, підключений паралельно резистору 8.

Час спрацювання теплового розчіплювача залежить від величини струму навантаження. Розчіплювач максимального струму складається з котушки з

сердечником 9 і якоря. Якщо струм у котушці неодноразово перевищить номінальне значення, якорець притягнеться до сердечника, та перемістить механізм розчеплення вгору, виводячи важелі з «мертвого» становища. Попередньо зведена пружина 2 відтягує важіль 14 вліво і розмикає контакти вимикача. У розчеплювачі мінімальної напруги 10 також є сердечник з катушкою і якоря. Якщо напруга на котушці знаходиться у допустимих межах, якорець долає опір пружини і притягується до осердя. При зменшенні напруги пружина долає опір якоря і, впливаючи на важелі механізму розчеплення, відключає автомат. Спрацювання будь-якого з розчіплювачів призводить до «зламу» важелів, після якого автомат необхідно включати у наступній послідовності. Спочатку ручку 15 повертають до упору проти годинникової стрілки, чим зводять механізм вільного розчеплення. Важелі 12 і 13 випрямляються і створюють жорсткий зв'язок. Потім рукоятку 15 повертають у протилежному напрямку, замикаючи контакти вимикача. Важелі при цьому займають «мертве» становище. Ручне відключення проводиться поворотом рукоятки 15, дистанційне - шляхом замикання контакту ланцюга котушки електромагніта 11. Дистанційне включення можна здійснювати автоматично, за допомогою електромагніта 1.

Основними характеристиками автоматичних вимикачів є номінальна напруга ($U_{a,ном}$) та номінальний струм ($I_{a,ном}$). Номінальною напругою АВ називається напруга, у якому нормуються його технічні характеристики. Номінальним струмом називається встановлене виробником значення струму, що протікає через автоматичний вимикач при зазначеній температурі навколишнього середовища, при якому може працювати протягом необмежено тривалого часу.

Розчіплювачі автоматичних вимикачів також характеризуються номінальним струмом $I_{рц,ном}$, під яким розуміється найбільший струм, перебіг якого не спрацьовує, струмом спрацьовування $I_{рц,сп}$, та часом спрацьовування $t_{сп}$. Залежність цього часу від величини струму спрацьовування називається захисною характеристикою. Теплові розчіплювачі здійснюють максимальний струмовий захист. Поєднання теплового та електромагнітного розчіплювачів дозволяє здійснювати двоступінчастий захист. При відносно невеликих навантаженнях вона

діє із залежною витримкою часу, а за коротких замикань - без витримки часу. Як приклад на рис. 5.3 показані захисні характеристики комбінованих розчіплювачів автоматичних вимикачів широко поширеної серії А3110.

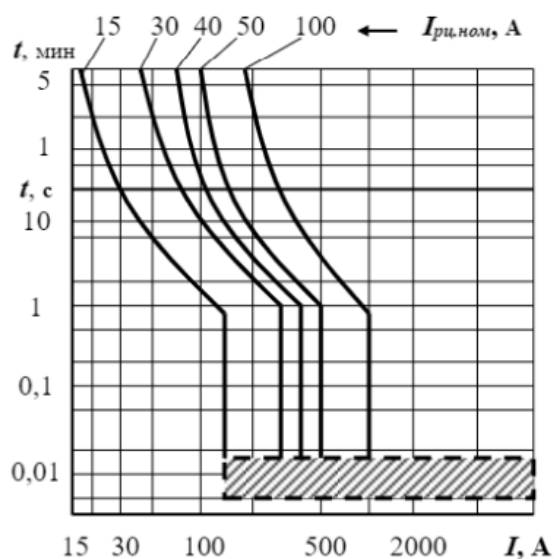


Рис. 5.3 – Захисні характеристики комбінованих розчіплювачів автоматичних вимикачів сериї А3110

Існує велика кількість автоматичних вимикачів, які різняться між собою на кшталт розчіплювачів і здійснюваних захистів. конструкції. та іншим критеріям.

Автоматичні вимикачі серії А 3700 на номінальні струми до 630 А випускаються у двох модифікаціях - селективні (С), та струмообмежуючі швидкодіючі (Б). Селективні вимикачі мають напівпровідникові розчіплювачі серії РП. які забезпечують двоступінчастий струмовий захист та можуть налаштовуватися в умовах експлуатації. Розчіплювач вимикача типу А 3790 містить три ступені струмового захисту. Перший ступінь забезпечує відключення без витримки часу (струмовий відсік) при струмах понад 20 кА. Другий ступінь - струмове відсічення з витримкою часу. дозволяє здійснювати селективний захист кількох послідовних ділянок мережі. Струмова відсікання у цьому випадку має незалежну регульовану витримку часу: 0.1: 0.25 і 0.4 с. Третій ступінь - максимальний струмовий захист, що дозволяє змінити нахил захисних характеристик розчеплювача таким чином. що при струмі, що дорівнює $6 \cdot I_{рц.ном}$

можна отримати витримки часу. рівні 4, 8 та 16 с. Усі швидкодіючі вимикачі забезпечуються напівпровідниковими розчеплювачами з струмовим відсіканням без витримки часу. Струмообмежувальний пристрій під дією електродинамічних сил розмикає контакти вимикача раніше, ніж струм короткого замикання досягає максимального значення.

Автоматичні вимикачі серії «Електрон» на номінальні струми до 6300 А і струми до 100 кА, що гранично відключаються, забезпечені регульованими напівпровідниковими розчіплювачами типу РМТ. Вони дозволяють виконувати триступінчастий струмовий захист із залежною та незалежною витримкою часу третього ступеня. Витримка часу другого ступеня може встановлюватися на 0.25: 0,45 та 0,7 с.

Автоматичні вимикачі серії ВА в залежності від їх призначення та номінального струму містять різні теплові комбінації. електромагнітних та напівпровідникових розчіплювачів. Селективні вимикачі ВА 55 та ВА 75 мають три ступені захисту та допускають дискретне регулювання номінального струму напівпровідникових розчіплювачів типу БПР. Витримки часу при струмі $6 \cdot I_{рц.ном}$ становлять 4, 8 та 16 с. Витримка часу другого ступеня захисту встановлюється 0,1: 0,2 або 0, 3 с. Не селективні вимикачі ВА 51 та ВА 52 мають електромагнітні та теплові розчіплювачі, або тільки електромагнітні. Електромагнітні розчіплювачі здійснюють перший ступінь захисту, а теплові - третій.

Вибір автоматичних вимикачів Вибір автоматичних вимикачів у загальному випадку є складним завданням, оскільки він залежить від конфігурації та параметрів ланцюгів, що захищаються. При цьому необхідні попередні розрахунки струмів короткого замикання на різних ділянках мереж та узгодження дії захисту. Загальними при виборі всіх АВ є такі вимоги:

- номінальна напруга автомата $U_{а.ном}$ не повинна бути нижчою за напругу мережі. в якій він встановлений, а його здатність, що відключає, повинна бути не нижче максимального струму короткого замикання на ділянці. який він захищає:

- номінальний струм розчіплювача І_{рц.ном} не повинен бути меншим за максимальний робочий струм І_{раб.макс.}, який може довго протікати по лінії, що захищається з урахуванням можливого перевантаження.

Розчіплювачі автоматичних вимикачів мають діяти селективно. тобто відключати тільки пошкоджену ділянку.

Селективність дії автоматичних вимикачів забезпечується узгодженням захисних характеристик їх розчіплювачів. Чим ближче до джерела живлення розташований АВ, тим більше має бути уставка струму розчіплювача, і тим вище має бути його захисна характеристика. У мережах напругою до 1 кВ необхідно узгодження селективності дії автоматичних вимикачів та запобіжників. Різноманітність умов, у яких працюють захисні апарати. призводить до того. що у деяких випадках повної селективності їх дії досягти неможливо.

Автоматичні вимикачі широко використовуються для захисту асинхронних електродвигунів. які становлять до 50% всіх споживачів електроенергії. Пусковий струм асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором у 5 - 7 разів перевищує номінальний. Крім того, необхідно враховувати можливість виникнення ударних струмів. які можуть спричинити спрацювання електромагнітних розчіплювачів автоматичних вимикачів. З урахуванням цього уставка струму електромагнітних розчіплювачів І_{роз.ем} для одного електродвигуна вибирається виходячи з умови:

$$I_{роз.ем.} \geq (1,5 - 1,8) \cdot I_{пуск.двиг.},$$

де $I_{пуск.двиг.}$ - пусковий струм двигуна.

Для груп електродвигунів користуються формулою:

$$I_{роз.ем.} \geq (1,5 - 1,8) \cdot \left(\sum_{i=1}^{\pi} I_{ном.i} + (I_{пуск.макс.} - I_{ном.макс.}) \right),$$

де $\sum_{i=1}^{\pi} I_{ном.i}$ - сума номінальних струмів одночасно працюючих двигунів;

$I_{пуск.макс.} - I_{ном.макс.}$ - різниця між максимально пусковим і максимально номінальним струмом.

Уставки теплових розчіплювачів вибираються за номінальним струмом двигуна (або групи двигунів) з урахуванням умов пуску:

$$I_{роз.теп.} \geq (1-1,5) \cdot \sum_{i=1}^{\pi} I_{ном.i} ,$$

Найменші значення коефіцієнта запасу вибираються за легких умов пуску, найбільші - за важкого пуску потужних двигунів.

Номінальний та пусковий струми (за відсутності інших даних) визначаються за формулами:

$$I_{н.дв} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi \cdot \eta} ,$$

$$I_{пуск} = K_i \cdot I_{ном.дв}$$

де $\cos\phi$ - коефіцієнт потужності двигуна; η - коефіцієнт корисної дії; $U_{ном}$ - номінальна напруга двигуна; $P_{ном}$ - номінальна потужність двигуна; K_i - кратність пускового струму.

2. Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Дано двигун з наступними технічними характеристиками: $\cos\phi$, η , $U_{ном}$, $P_{ном}$, K_i .

У відповідності до технічних характеристик та зазначеної потужності необхідно обрати автоматичний вимикач для захисту електродвигуна від коротких замикань та теплових перевантажень. Дані для виконання практичної роботи знаходяться в таблиці 5.1. Параметри автоматичних вимикачів в таблиці 5.2, однак для більш ефективного вибору можна користуватися інтернет джерелом.

Для вибору автоматичного вимикача спочатку знайдемо номінальний та пусковий струми (за відсутності інших даних) визначаються за формулами:

$$I_{н.дв} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi \cdot \eta}$$

$$I_{пуск} = K_i \cdot I_{ном.дв}$$

де $\cos\phi$ - коефіцієнт потужності двигуна; η - коефіцієнт корисної дії; $U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга двигуна; $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність двигуна; K_i - кратність пускового струму.

Після чого автоматичний вимикач вибираємо виходячи з струму електромагнітних розчіплювачів $I_{\text{роз.ем}}$:

$$I_{\text{роз.ем}} \geq (1,5 - 1,8) \cdot I_{\text{пуск.двиг.}},$$

де $I_{\text{пуск.двиг.}}$ - пусковий струм двигуна.

Уставки теплових розчіплювачів вибираються за номінальним струмом двигуна (або групи двигунів) з урахуванням умов пуску:

$$I_{\text{роз.теп}} \geq (1 - 1,5) \cdot \sum_{i=1}^{\pi} I_{\text{ном.}i},$$

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. Перерахувати типи розчіплювачів АВ та пояснити принцип їх дії.
2. Як улаштований універсальний АВ?
3. Що таке захисна характеристика АВ?
4. Що таке селективність дії АВ? Навіщо в деяких АВ застосовують три ступення захисту?
5. За якими параметрами вибираються АВ?

6. Як забезпечується захист ЕД за допомогою АВ?

Таблиця № 5.1

«Вихідні дані електродвигунів для розрахунку до практичної роботи № 5»

варіант	Тип двигуна	варіант	Тип двигуна	варіант	Тип двигуна
1	AIP56A2Y3	11	AIP100L4Y3	21	AIP200L4Y3
2	5A160S2	12	5A112MA6	22	5A112MA8
3	AIP225M8Y3	13	AIP100L8Y3	23	AIP250M4Y
4	5A200L2	14	5A160S6	24	5A160S8
5	AIP80B2Y3	15	AIP80B4Y3	25	AIP250S6Y3
6	5A80MA4	16	5AM160M2	26	5A200M8
7	AIP160S2Y3	17	AIP100L6Y3	27	AIP280M8Y3
8	5A160S4	18	5A200M6	28	5A225M8
9	AIP200M6Y3	19	AIP225M2Y3	29	AIP250S8Y3
10	5A200M4	20	5A225M6	30	5AM250M8

Таблиця №5.2

«Технічні характеристики автоматичних вимикачів»

Тип автомату	Ном. струм. автом., А	Число полюсів.	Вид роз'єднувача	Ном. струм. розет., А.
АП-50	50	3	Комбінований	1,6; 2,5; 4; 6,4;10;16;25;40;50
A3160	50	3	Комбінований	15;20;25;30;40;50
A3110	100	3	Комбінований	15;20;30;40;50;60;80;100
A3120	100	3	Комбінований	15;20;30;40;50;60;80;100

A3130	200	3	Комбинований	120;150;200
A3140	600	3	Комбинований	250;300;400;500;600
AE2030	25	3	Комбинований	0,6;0,8;1;1,25;1,6;2;2,5;3,2; 4,5;6;8;10;12;16;20;25
AE2040	63	3	Комбинований	10;12;16;20;25;32;40;50; 63;80;100
A3720	250	3	Комбинований	160; 200; 250
A3730	400	3	Комбинований	250; 320; 400

Отримані знання та навички дозволяють коректно вибирати автоматичні вимикачі для захисту електродвигунів, що є критично важливим для забезпечення безпеки й ефективної роботи електрообладнання в промислових і побутових умовах.

Практична робота сприяла закріпленню знань із вибору, налаштування та експлуатації автоматичних вимикачів, а також дозволила зрозуміти їхню важливу роль у захисті електричних систем і обладнання. Це формує міцну базу для професійного підходу до організації електрозахисту.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

Тема: Розрахунок і вибір багатошарових напівпровідникових структур - тиристорів.

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з вивчення методик розрахунку і вибору тиристорів.

1. Теоретичні відомості

Тиристор - це напівпровідниковий прилад, що має багатошарову структуру і ВАХ якого має ділянку з негативним опором. Його використовують як перемикач струму. Умовне позначення тиристора VS.

Тиристор є силовим електронним не повністю керованим ключем, який може сигналом управління переводитися тільки в провідний стан, тобто включатися. Для його виключення (при роботі на постійному струмі) необхідно приймати спеціальні заходи, що забезпечують спадання прямого струму до нуля.

Тиристорний ключ може проводити струм лише у одному напрямі, а в закритому стані здатний витримати як пряму, так і зворотну напругу.

Тиристор має чотиришарову р-п-р-п-структуру з трьома виводами: анод (А), катод (С) і керуючий електрод (G), що відображено на рис. 6.1.

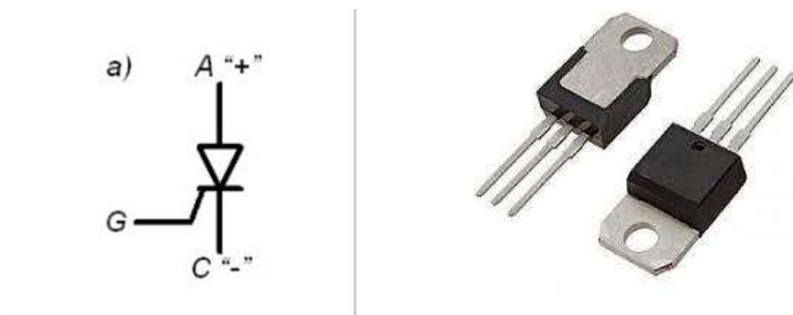


Рис. 6.1 – Умовне графічне зображення тиристора

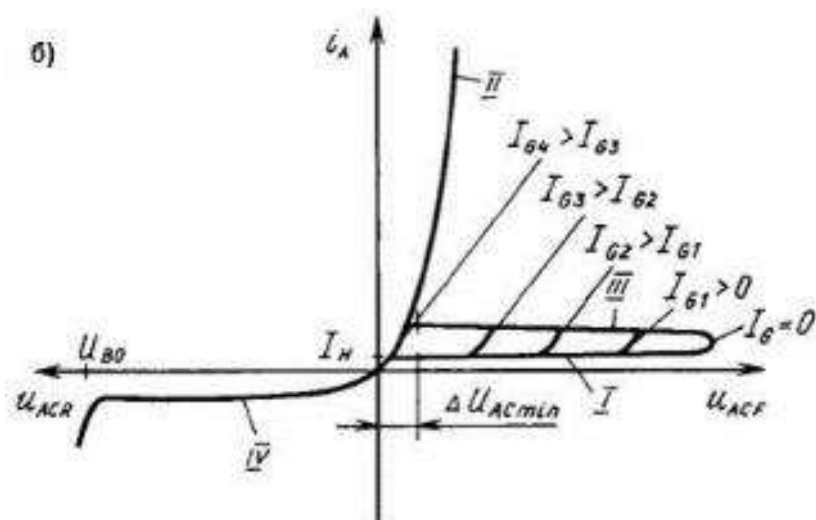


Рис. 6.2 – Вольт-амперна характеристика тиристора

На рис. 6.2 представлено сімейство вихідних статичних ВАХ при різних значеннях струму управління I_G . Гранична пряма напруга, що витримується тиристором без його включення, має максимальні значення при $I_G = 0$. При збільшенні струму I_G пряма напруга, що витримується тиристором, знижується. Ввімкненому стану тиристора відповідає гілка II, вимкненому - гілка I, процесу включення - гілка III. Утримуючий струм або струм утримання дорівнює мінімально допустимому значенню прямого струму I_A , при якому тиристор залишається в провідному стані. Цьому значенню відповідає мінімально можливе значення прямого падіння напруги на включеному тиристорі.

Гілка IV являє собою залежність струму витоку від зворотної напруги. При перевищенні зворотною напругою значення U_{BO} починається різке зростання зворотного струму, пов'язане з пробоем тиристора. Характер пробую може відповідати незворотному процесу або процесу лавинного пробую, властивого роботі напівпровідникового стабілітрона.

Тиристори є найбільш потужними електронними ключами, здатних комутувати кола з напругою до 5 кВ і струмами до 5 кА при частоті 1 кГц.

Тиристори є найбільш потужними електронними ключами, використовуваними для комутації високовольтних і потужнострумівих кіл. Проте вони мають суттєвий недолік - неповну керованість, яка проявляється в тому, що для їх виключення необхідно створити умови зниження прямого струму до нуля. Це у багатьох випадках обмежує і ускладнює використання тиристорів.

Тиристори бувають двоелектродні (або діодні) - диністори та триелектродні (або тріодні) - триністори. ВАХ диністора наведена на рис. 6.3, на якій позначено: $U_{вм}$ - напруга вмикання диністора; $I_{вм}$ - струм вмикання; $I_{ут}$ - струм утримання; $I_{зр}$ - гранично допустимий струм приладу; $U_{зр}$ - падіння напруги на диністорі, що відповідає $I_{зр}$.

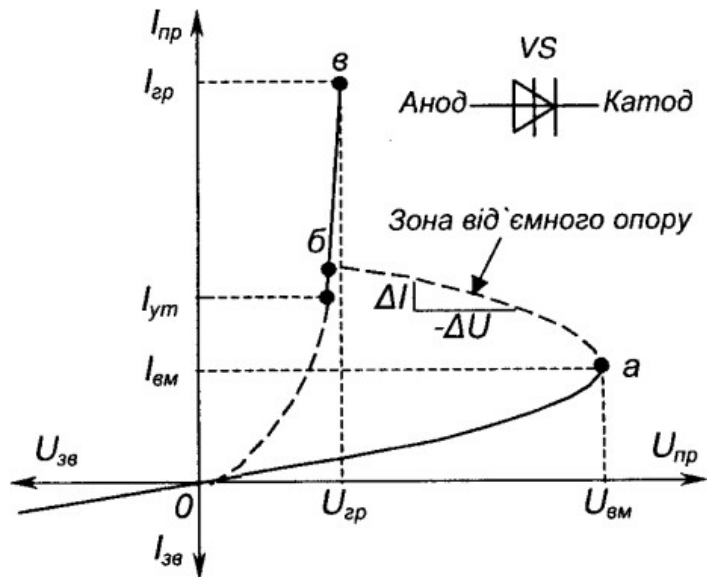


Рис. 6.3 – ВАХ диністора та його умовне позначення

Ділянка O_a ВАХ відповідає закритому стану диністора. Ділянка ab - лавиноподібному переми- канню приладу (це ділянка з від'ємним опором, бо тут $R = -\Delta U/\Delta I$ - величина від'ємна). Ділянка $бв$, подібна відрізку ВАХ діода, відповідає увімкненому стану диністора (режим насичення), вона є робочою ділянкою характеристики.

Для вимикання приладу (переведення його у непровідний стан) струм у його колі повинен стати меншим за струм утримання.

Основні параметри диністора:

- напруга вмикання диністора $U_{вт}$, що становить (20÷4000)В;
- максимальне середнє значення прямого струму при заданих умовах охолодження $I_{пр\ max}$, що становить (0,1÷2)А;
- струм утримання $I_{ут}$ - мінімальний прямий струм увімкненого диністора, при подальшому зниженні якого диністор переходить у непровідний стан, становить (0,01÷0,1)А;
- максимальне допустиме амплітудне значення зворотної напруги $U_{зв\ max}$, сягає до 1000В;
- час вмикання, тобто час переходу від закритого стану до відкритого, знаходиться у межах (1÷10)мкс.

Тиристор - це чотиришаровий перемикаючий прилад, у якого від однієї з базових зон зроблено вивід - керуючий електрод.

Структура позначення триністора (надалі - тиристор) наведені на рис. 6.4.

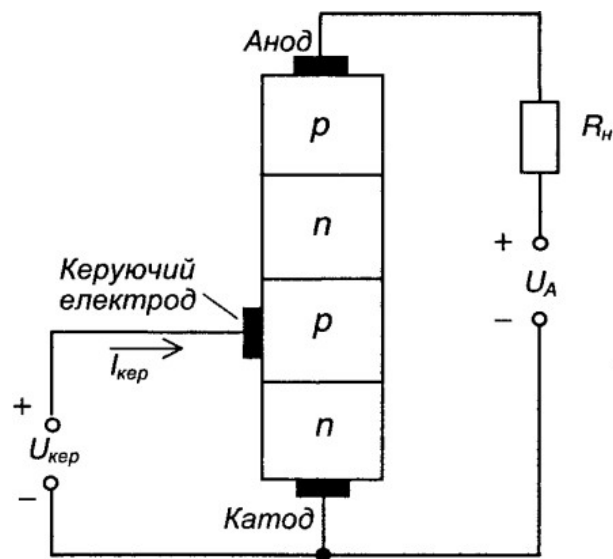


Рис. 6.4 – Структура позначення тиристора

Подаючи між керуючим електродом та катодом пряму напругу на p - n перехід, що працює у прямому напрямку, можна регулювати значення напруги вмикання $U_{вм}$. Цю головну властивість тиристора демонструє його ВАХ, яка наведена на рис. 6.5.

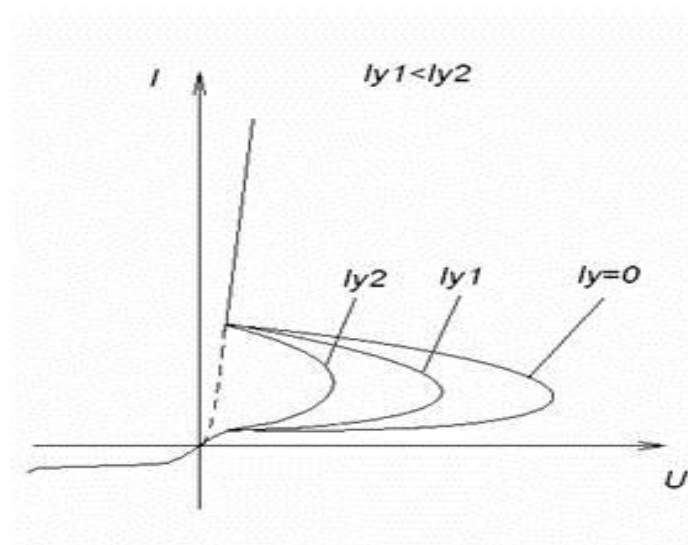


Рис. 6.5 – ВАХ тиристора

Тиристоры мають багато параметрів (біля ста). Розглянемо основні з них.

1) Статичні параметри:

- струм вмикання $I_{вм}$;
- струм утримання $I_{ут}$ (мінімальний прямий струм увімкненого тиристора за розімкненого кола керування, при подальшому зниженні якого тиристор переходить у непровідний стан), становить $(0,01 \div 0,7)A$;
- порогова напруга U_0 , сягає до 1В.

2) Граничні параметри:

-максимально допустиме значення середнього струму через тиристор за певних умов охолодження $I_{сп}$, складає $(0,1 \div 2000)A$;

- максимально допустиме амплітудне значення зворотної напруги:

$$U_{зв} = (100 \div 24000)V;$$

- струм робочого перевантаження, сягає $3I_{сп}$;
- ударний струм у відкритому стані, що не повторюється, сягає $20I_{сп}$;
- допустима середня потужність втрат у відкритому стані.

3) Динамічні параметри:

- час вмикання $\tau_{вм}$ (час переходу тиристора з непровідного стану у провідний), що становить $(1 \div 10)мкс$;

- час вимикання $\tau_{вим}$ (мінімальний проміжок часу між проходженням через нуль прямого струму та повторним прикладанням напруги до тиристора, що не викликає самовільного вмикання приладу - час відновлення запірних властивостей), становить $(10 \div 500)мкс$;

- допустима швидкість зростання відновлюваної напруги на тиристорі, що не призводить до його самовільного вмикання за рахунок ємнісного струму зміщення структури (що являє собою паразитний конденсатор) та внутрішнього додатного зворотного зв'язку $(du/dt)_{крит} = 20 \div 500V/мкс$ (для гарантованого забезпечення непере-вищення її допустимого значення паралельно з тиристором зазвичай вмикають RC- коло);

- допустима швидкість зростання прямого струму, що не призводить до

виходу тиристора з ладу зарахунок локального перегріву структури $(di/dt)_{\text{крит}} = 10 \div 70 \text{ А/мкс}$ (для гарантованого забезпечення неперевищення її допустимого значення послідовно з тиристором вмикають невелику індуктивність - дросель).

Параметри кола керування - це значення постійного та імпульсного струмів кола керування при напрузі джерела у ньому 12В, та відповідні їм падіння напруги у колі керування (для потужних тиристорів:

$$I_{\text{кер}} = (0,3 \div 0,7) \text{ А.}$$

Слід зазначити, що тривалість імпульсу керування повинна бути більшою за час вмикання тиристора - зазвичай складає $(15 \div 20)$ мкс для активного навантаження.

У випадку, коли неможливо підібрати тиристор за номінальними параметрами використовують паралельне (за $I_p > I_{np}$) або послідовне (за $U_{зв.мах.p} > U_{зв.мах}$) їх підключення у схемі. Вибір необхідної кількості підключених тиристорів визначається відповідно за попередньо вказаними формулами.

Тиристорам присвоюється позначення з чотирьох елементів:

-перший елемент – буква або цифра, що вказує вихідний матеріал (1, або Г – германій; 2, або К – кремній).

-другий елемент – буква, що вказує підклас приладу:

Н - діодні тиристори;

У - тріодні тиристори.

-третій елемент – число, перша цифра якого позначає класифікаційний номер, а наступні дві (від 1 до 99) – порядковий номер розробки.

Для першої цифри третього елементу прийняті такі класифікаційні позначення:

Діодні тиристори (Н):

- малої потужності (прямий струм до 0,3А);

- середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А);

Тріодні тиристори (У):

- не запірні малої потужності (прямий струм до 0,3А);

- не запірні середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А);

- запірні малої потужності (прямий струм до 0,3А);
 - запірні середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А);
 - не запірні симістори малої потужності (прямий струм до 0,3А);
 - не запірні симістори середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А);
- четвертий елемент – буква, що вказує різновид приладу даного типу.

2. Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Здійснити аналітичний розрахунок параметрів і вибір одноопераційного тиристора. Прийняти для розрахунку температуру робочого середовища $T_c = 25^\circ\text{C}$.

Вихідними даними для розрахунку є (табл. 6.1): U_M , B - діюче значення напруги мережі живлення; f_M , $\Gamma_{\text{ц}}$ - частота мережі живлення; R_H , O_M - опір навантаження; α , в градусах електричних - кут керування тиристорів; $U_{\text{жс}}$, B - напруга джерела живлення системи керування тиристорами.

Приклад. Дано: $R_H = 7,5\text{Ом}$; $U_{\text{жс}} = 12\text{В}$; $U_M = 380\text{В}$; $\alpha = 45^\circ$.

Знайдемо необхідні значення параметрів тиристорів.

1. Амплітуда зворотної напруги на тиристорі:

$$U_{\text{зв.т}} = \sqrt{2} U_M K_3 = \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,25 = 669,75\text{В},$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує можливі перенапруги (зазвичай приймають $K_3 = 1,25$).

Знайдемо значення середнього та амплітудного струмів, що проходять через тиристор. Для будь-якої величини кута керування величину середнього струму можна знайти за формулою:

$$I_{a0} = \frac{\sqrt{2}U_M}{\pi R_H}$$

При цьому максимальне значення струму, на яке повинен бути розрахований тиристор I_{a0} , відповідає куту керування $\alpha = 0$. Тоді:

$$I_{a0} = \frac{\sqrt{2}U_M}{\pi R_H} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{7,5 \cdot \pi} = 22,75 \text{ А}.$$

Амплітудне значення:

$$I_{am} = \frac{\sqrt{2}U_M}{R_H} = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{7,5} = 71,44 \text{ A.}$$

3. Вибираємо тиристор, що відповідає вимогам:

$$U_{зв.д} > U_{зв.т} ; \\ I_{с0} > I_{а0}$$

де $U_{зв.д}$ - допустима зворотна напруга на тиристорі, (амплітудне значення); $I_{с0}$ - середнє значення допустимого граничного струму тиристора з типовим охолоджувачем в умовах природного повітряного охолодження.

За допомогою інтернет джерел, вибираємо тиристор Т10-80, що має наступні параметри:

$$U_{зв} = 700\text{В} > 669,75\text{В}; \\ I_{с0} = 25\text{А} > 22,75\text{А}.$$

Інші параметри вибраного тиристора:

-вмикаючий струм керування $I_K = 0,15\text{А}$;

-вмикаюча напруга керування $U_K = 4\text{В}$;

-порогова напруга $U_0 = 1,02\text{В}$;

-динамічний опір у відкритому стані $R_D = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$;

-встановлений тепловий опір $R_T = 3,4^\circ \text{ C/Вт}$;

-максимально-допустима температура нагріву кристалу вентиля $T_{max \text{ дон}} = 140^\circ\text{C}$.

4. Знаходимо середнє значення струму через тиристор при заданому значенні кута керування:

$$I_a = \frac{\sqrt{2}U_M}{2\pi R_H} (1 + \cos 45^\circ) = \frac{\sqrt{2} \cdot 380}{2\pi \cdot 7,5} (1 + \cos 45^\circ) = 19,42 \text{ A.}$$

5. Знаходимо втрати потужності на тиристорі при заданому куті керування, за формулою:

$$\Delta P = U_0 I_a + R_D I_T^2$$

Отже, для $\alpha = 45^\circ$ отримаємо:

$$\Delta P = 1,02 \cdot 19,42 + 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 34,12^2 = 21,78 \text{ Вт.}$$

6. Знаходимо перегрів тиристора при заданому $\alpha = 45^\circ$:

$$\Delta T = R_T \Delta P = 3,4 \cdot 21,78 = 74,05 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7. Тоді найбільша температура напівпровідникової структури тиристора складе:

$$T_{max} = T_c + \Delta T = 25 + 74,05 = 99,05 \text{ } ^\circ\text{C} < T_{max\ доп} = 140^\circ\text{C},$$

що допускається умовою перевірки.

Для правильного вибору резистора необхідно знати величину його опору R, рассеиваемую потужність PP і додаткові умови експлуатації. Цими додатковими умовами в основному визначається вибір типу резистора.

8. Знаходимо величину опору додаткового резистора у колі керування тиристора:

$$R_{дк} = \frac{U_{ж} - U_{к}}{I_{к}} = \frac{12 - 4}{0,15} = 53,53 \text{ Ом}.$$

Користуючись інтернет джерелом, вибираємо найближче стандартне значення опору резистора- 56Ом.

Номінальне значення опору резистора вибирається найбільш близьким до розрахункового за шкалою номінальних величин постійних опорів з урахуванням допустимого розкиду. Резистори названих типів випускаються з наступними значеннями допустимих відхилень опору від номінального значення: + 5%; + 10%; + 20%. З метою зниження вартості апаратури слід прагнути вибирати резистори з найбільшим розкидом, допустимим за умовами роботи схеми.

При виборі номіналу слід переконатися, що необхідний номінал знаходиться всередині меж, передбачених для даного типу резистора. Наприклад, резистори типу ВС-0.25 мають номінальні значення в межах від 27 Ом до 5.1 мОм, резистори типу ВС-2 - від 47 Ом до 10 мОм і т.д.

9. Розрахуємо потужність, що розсіюється на обраному резисторі:

$$P_{дк} = R_{дк} I_{к}^2 = 56 \cdot 0,15^2 = 1,2 \text{ Вт}.$$

Користуючись інтернет джерелом, вибираємо резистор типу С2-33 потужністю 2Вт.

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. З яким типом керування використовується тиристор в схемі?
2. Скільки і які стани має тиристор?
3. Яким чином можна вимкнути тиристор?
4. Від чого залежить величина напруги включення тиристора?
5. Що таке струм утримання?
6. Як впливає зміна керуючого струму на ВАХ тиристора?
7. В чому полягають відмінності тиристорів і транзисторів у ключовому режимі?

Таблиця № 6.1

«Вихідні дані електродвигунів для розрахунку до практичної роботи № 6»

№ Варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_H, \text{ Ом}$	6,3	10	18	30	3,1	5,1	9,1	15	4,7	8,2
$U_{Ж}, \text{ В}$	9	12	15	17	9	10	12	17	9	12
$U_M, \text{ В}$	127	220	380	660	127	220	380	660	220	380
$\alpha, \text{ ел. гр.}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

Отримані знання дозволяють правильно розраховувати і вибирати тиристори для практичного використання в електронних і силових схемах, таких як випрямлячі, інвертори або схеми регулювання. Це сприяє ефективному проектуванню енергоефективних систем.

Практична робота сприяла закріпленню знань про тиристори, їхній вибір і розрахунок параметрів, а також дала змогу застосувати теоретичні знання для розв'язання практичних задач, що є основою для розробки сучасних електронних пристроїв.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

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

Мета: ознайомити здобувачів 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 дровоті, недротяні, металофольгові.

Дровоті – 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 метала, або сплаву метала; 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 метала, 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);

третьою 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 №7.1

«Кодовані позначення припустимих відхилень опорів»

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

По існуючій раніше системі (ДСТУ 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. 7.1, 7.2).

Таблиця №7.2

«Система позначення номінальних опорів резисторів»

Одиниця виміру	Кодоване 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 ДСТУ 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. 7. 1).

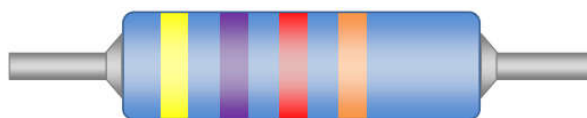


Рис. 7.1 – Маркування резисторів кольоровим кодом

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).

Кольори знаків маркування номінального опору й допусків повинні відповідати зазначеним в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

«Колір знаків маркування резисторів»

Колір знака	Номинальний 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. 7.2, 7.3, змінних – на рис. 7.4.

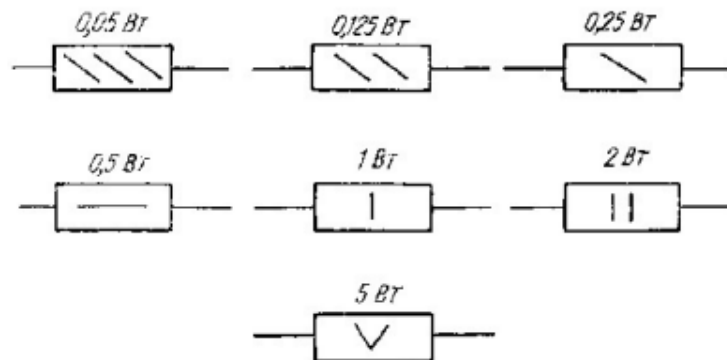


Рис. 7.2 – Умовні графічні позначення постійних резисторів різної потужності розсіювання

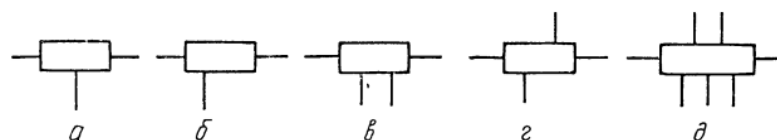


Рис. 7.3 – Резистори постійні з додатковими виводами: а - з одним симетричним, б - з одним несиметричним, в, г - із двома виводами, д - з п'ятьма виводами

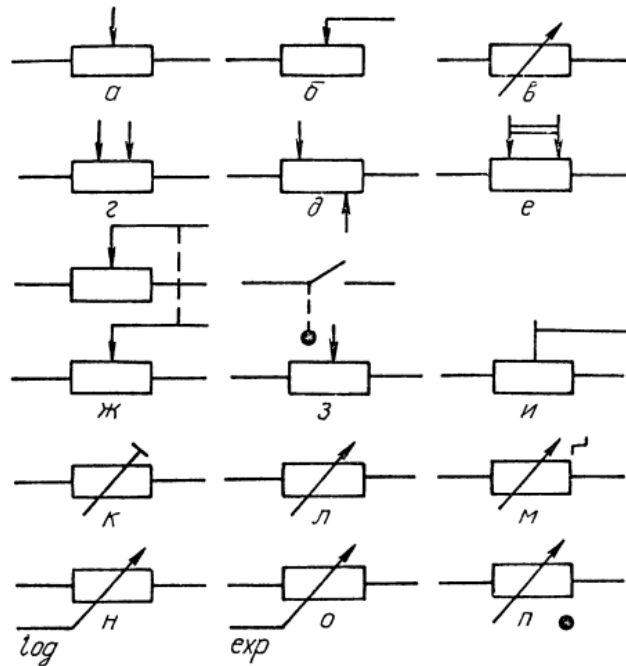


Рис. 7.4 – Умовні графічні позначення змінних резисторів: а, б - резистор змінний, в - резистор змінний у реостатному включенні, г, д - резистор змінний із двома рухливими контактами, е - резистор змінний із двома механічно зв'язаними рухливими контактами, ж - резистор змінний здвоєний, з - резистор змінний із замикаючим контактом; і, 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. Приклад виконання практичного завдання

Завдання: У пускорегульовальному 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. 7.4.

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 $r_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ 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 константанового дроту на фарфоровому каркасі.

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

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

де $K_m = 22,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні дроту; $\tau_{дон} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ - припустиме перевищення температури константанового дроту над температурою навколишнього середовища усередині реостата; F_{np} - поверхн 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:

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

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; $G_k = 8,9 \text{ г}/\text{см}^3$ - 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 формулою, 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.

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №7»

№ 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

У ході виконання практичної роботи було розглянуто процес визначення опору та навантажувальної здатності резистора при тривалому режимі роботи.

Робота дала змогу закріпити знання з визначення електричних і теплових параметрів резисторів, необхідних для забезпечення їхньої стабільної та безпечної роботи в різних режимах. Використана методика є актуальною та ефективною для проектування й аналізу електронних компонентів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

Тема. Розрахунок захисту електричної машини від міжфазних коротких замикань

Мета: засвоєння методики вибору оптимального варіанта побудови захистів асинхронних електродвигунів напругою вище 1 кВ.

1. Теоретичні відомості

Міжфазне коротке замикання - це аварійна ситуація, яка виникає внаслідок руйнування ізоляції між обмотками різних фаз електричної машини. Такий стан призводить до протікання великих струмів через обмотки, що може спричинити перегрів, руйнування ізоляції, механічні деформації обмоток, пошкодження конструктивних елементів машини та навіть пожежу.

- Причини міжфазного короткого замикання:

1. Деградація ізоляції обмоток.

- Старіння ізоляційних матеріалів через тривалий термін експлуатації.
- Перегрів обмоток під час роботи або через перевантаження.
- 2. Механічні пошкодження.
 - Вібрації під час роботи, які можуть пошкодити обмотки або їхню ізоляцію.
 - Потрапляння сторонніх предметів у зону обмоток.
- 3. Вплив зовнішнього середовища.
 - Підвищена вологість або конденсація в машині.
 - Пил, масло чи хімічні речовини, які можуть спричинити корозію ізоляції.
- 4. Перенапруга.
 - Аварійні режими в мережі, наприклад, грозові перенапруги або кидки струму.
- 5. Порушення монтажу та технічного обслуговування.
 - Погана якість з'єднань у розподільній коробці або при монтажі машини.

- Методи захисту від міжфазних коротких замикань:

1. Релейний захист.

Релейний захист є основним способом забезпечення безпеки електричних машин. Основні види релейного захисту:

Максимальний струмовий захист (МСТЗ):

- Принцип дії: реагує на перевищення струму понад заданий рівень.
- Основне застосування: виявлення струмів, які виникають при коротких замиканнях.
- Особливості:
 - Простий у налаштуванні та експлуатації.
 - Може мати залежну або незалежну витримку часу для селективного відключення.
 - Використовується для малопотужних машин.

Диференційний струмовий захист:

- Принцип дії: порівнює струми, що входять у машину, та виходять із неї. Якщо різниця струмів перевищує допустиме значення, захист спрацьовує.

- Основне застосування: захист потужних електричних машин (генераторів, двигунів великої потужності).

- Особливості:

- Висока чутливість.
- Швидке спрацювання.
- Дорожчий у реалізації.

Захист від обриву фаз:

- Принцип дії: виявляє відсутність струму в одній із фаз, що може призвести до перенапруги та пошкодження інших фаз.

- Застосування: запобігає аваріям через нерівномірність навантаження.

2. Автоматичні вимикачі з розчіплювачами.

Автоматичні вимикачі використовуються для захисту від перевантажень і коротких замикань.

Теплові розчіплювачі:

- Призначені для захисту від тривалих перевантажень.
- Працюють на основі нагрівання біметалевої пластини, яка при досягненні критичної температури розмикає ланцюг.

Електромагнітні розчіплювачі:

- Реагують на раптове значне збільшення струму (характерно для КЗ).
- Миттєво розмикають ланцюг.

Селективні автоматичні вимикачі:

- Забезпечують поетапне відключення лише пошкодженої ділянки мережі.

- Ефективні в комплексі з іншими системами захисту.

3. Запобіжники.

- Встановлюються у фазних проводах для обмеження струмів короткого замикання.

- Основна перевага: простота та швидкодія.

- Недоліки: після спрацювання потребують заміни.

4. Моніторинг стану ізоляції обмоток.

Системи контролю ізоляції:

- Постійно вимірюють опір між обмотками фаз.
- У разі зниження опору нижче допустимого рівня подають сигнал

тривоги або відключають машину.

Температурні датчики:

- Встановлюються в критичних точках обмоток для моніторингу нагрівання.
- Сигналізують про перегрів, який може призвести до пошкодження ізоляції.

Системи попередження перенапруги:

- Встановлюються в мережах, де можливі різкі коливання напруги.

5. Додаткові заходи захисту.

Регулярний технічний огляд:

- Перевірка стану ізоляції обмоток мегаомметром.
- Огляд на предмет механічних пошкоджень.
- Контроль чистоти внутрішніх частин машини, видалення пилу та бруду.

Якісний монтаж і обслуговування:

- Використання ізоляційних матеріалів, що відповідають класу напруги машини.

- Надійні з'єднання у всіх електричних ланцюгах.

Установка захисного заземлення

- Забезпечує безпеку в разі пошкодження ізоляції, запобігаючи ураженню електричним струмом.

Використання фільтрів та обмежувачів перенапруги:

- Захищають машину від перенапруг, що можуть пошкодити ізоляцію обмоток.

Вибір методу захисту.

Вибір оптимального способу захисту залежить від потужності, класу напруги та умов експлуатації машини:

1. Машини малої потужності: достатньо максимального струмового захисту та запобіжників.
2. Машини середньої потужності: рекомендується комбінований захист із використанням релейного захисту та автоматичних вимикачів.
3. Машини великої потужності: обов'язкове застосування диференційного струмового захисту, моніторингу ізоляції та селективних автоматичних вимикачів.

Значення захисту від міжфазних КЗ

Своєчасне виявлення та усунення міжфазних коротких замикань дозволяє:

- Запобігти серйозним пошкодженням обмоток і конструктивних елементів машини.
- Уникнути тривалих простоїв через ремонт.
- Забезпечити безпеку роботи персоналу.
- Зменшити витрати на експлуатацію та обслуговування електричних машин.

Одже, ефективний захист електричних машин від міжфазних КЗ - це комплексна задача, що потребує застосування сучасних методів релейного захисту, якісного технічного обслуговування та моніторингу ізоляції.

2. Приклад виконання практичного завдання

Приклад 1. Виконати захист від міжфазних замикань асинхронного електродвигуна серії А4.

Пуск двигуна – прямий від напруги живильної мережі. Двигун приймає участь у самозапуску. Установлені трансформатори струму (ТС) типу ТЛМ10- 5-82 із осердям P і коефіцієнтом трансформації $k_{\text{ТТ}} = 150/5$.

«Вихідні дані для розрахунку»

Номінальна потужність на валу двигуна, P_n	1000 кВт
Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	0,89
Номінальна напруга, U_n	6 кВ
ККД, η	0,955
Кратність пускового струму, $k_{\text{пуск.}}$	5,7
Значення струму трифазного КЗ на вводах живлення АД в мінімальному режимі роботи системи, $I_{\text{ш.мін.}}^{(3)}$	3,5 кА
Значення струму трифазного КЗ на вводах живлення АД в максимальному режимі роботи системи, $I_{\text{ш.макс.}}^{(3)}$	3,8 кА
Середня напруга на секції шин живлення двигуна, U_c	6,05 кВ
Максимальний опір струмових кіл з боку: живлення електродвигуна (за проектом), не більше нейтралі електродвигуна (за проектом), не більше	0,5 Ом 1,0 Ом
Діапазон регулювання уставок струмового відсічення та диференціального струмового відсічення (ДСВ)	від 1,00 до 65,00 А (вторинних)
Діапазон регулювання уставок диференціального захисту з гальмуванням (ДЗГ)	від 0,10 до 10,00 А
Діапазон регулювання коефіцієнта гальмування	від 0,20 до 0,70

Визначаємо значення номінального струму електродвигуна за формулою:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi}$$

$$I_n = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,955 \cdot 0,89} = 113,3 \text{ А}$$

Визначаємо каталожне значення пускового струму електродвигуна за формулою:

$$I_{\text{пуск.кат.}} = k_{\text{пуск.кат.}} \cdot I_n$$

$$I_{\text{пуск.кат.}} = 5,7 \cdot 113,3 = 646 \text{ А.}$$

Вибираємо струм спрацьовування струмового відсічення (СВ) за формулою:

$$I_{CB} \geq 2,5 \cdot I_{\text{пуск.}}$$

$$I_{CB} \geq 2,5 \cdot 646 = 1615 \text{ А,}$$

або $\frac{1615}{30} = 53,8 \text{ А}$ у вторинних значеннях – отримане значення перебуває в межах діапазону задання уставки.

Визначаємо значення струму двофазного короткого замикання (КЗ) на вводах живлення електродвигуна $I^{(2)}$ та коефіцієнта чутливості захисту при двофазному $k_{\text{ч}}^{(2)}$ за формулами:

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{ш.мін.}}^{(3)},$$

$$k_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{CB}}$$

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3500 = 3031 \text{ А,}$$

$$k_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{3031}{1612} = 1,88.$$

Коефіцієнт чутливості СВ отримали менше двох, проведемо уточнення пускового струму електродвигуна за формулами:

$$x_{\text{с.макс.}} = \frac{U_{\text{с}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ш.макс.}}^{(3)}},$$

$$x_{\text{пуск.}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{пуск.кат.}}},$$

$$I_{\text{пуск.}} = \frac{U_{\text{с}}}{\sqrt{3} \cdot (x_{\text{пуск.}} + x_{\text{с.макс.}})},$$

$$x_{\text{с.макс.}} = \frac{6050}{\sqrt{3} \cdot 3800} = 0,92 \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{пуск.}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 645} = 5,38 \text{ Ом,}$$

$$I_{\text{пуск.}} = \frac{6050}{\sqrt{3} \cdot (5,38 + 0,92)} = 555,1 \text{ А.}$$

Вибираємо струм спрацьовування СВ за формулою:

$$I_{CB} \geq 2,5 \cdot 555,1 = 1388 \text{ A.}$$

Визначаємо значення коефіцієнта чутливості захисту у разі двофазного КЗ $k_q^{(2)}$ за формулою:

$$k_q^{(2)} = \frac{3031}{1388} = 2,18.$$

Коефіцієнт чутливості СВ вийшов більше двох, тому застосовувати диференціальний захист не потрібно.

Виконуємо оцінювання максимальної похибки роботи ТС. Трансформатор струму ТЛМ10-5-82 має похибку не більше 10 % при кратності струму (щодо номінального струму трансформатора, рівного 150 А, за максимального опору струмових кіл не більше 0,5 Ом) до 17 (до 2250 А). Розрахунковий струм для перевірки точності роботи ТС становить:

$$1,1 \cdot 1388 = 1526 \text{ A,}$$

що менше припустимого 2250 А. Трансформатори струму забезпечують необхідну точність і вони придатні для застосування в колах максимального струмового відсічення.

Остаточно приймаємо $I_{CB} = 1388 \text{ A}$ або $\frac{1388}{30} = 46,27 \text{ A}$ у вторинних значеннях.

Оскільки коефіцієнт чутливості СВ невеликий, застосовуємо додатково максимальний струмовий захист (МСЗ) із уставками, розрахованими за формулами:

$$I_{МСЗ} \geq 1,5 \cdot I_{пуск.},$$

$$t_{МСЗ} = 0,1 \text{ c} \geq t_{кид.пуск.},$$

де $t_{кид.пуск.}$ - витримка часу другого ступеня МСЗ для відбудування від кидка пускового струму двигуна.

$$I_{МСЗ} \geq 1,5 \cdot 555,1 = 833 \text{ A,}$$

$$t_{МСЗ} = 0,1 \text{ c.}$$

Виконаємо розрахунки диференціального захисту для цього прикладу.

Приймаємо, що з боку нейтралі двигуна встановлені такі ж самі ТС, як і з боку живлення.

Вибираємо струм спрацьовування ДЗГ за виразом:

$$I_{ДЗГ} = (0,3 \div 1,2) I_n.$$

$$I_{ДЗГ} = 1,2 \cdot 113,3 = 136 \text{ А},$$

або $\frac{136}{30} = 4,53$ А вторинних – у межах діапазону завдання уставки.

Визначаємо коефіцієнт гальмування за:

$$\frac{I_{диф.}}{I_{гальм.}} = k_n \cdot (k_{пер.} \cdot k_{одн.} \cdot \varepsilon + 2 \cdot f + \delta),$$

де k_n - коефіцієнт надійності, рекомендовано приймати рівним 1,2, щоб урахувати можливу відмінність характеристик ТС від розрахункових у гірший бік; $k_{пер.}$ - коефіцієнт, що враховує перехідний режим ТС; $k_{одн.}$ - коефіцієнт однотипності ТС, що утворюють диференціальну схему, приймають рівним 0,5, якщо ТС мають однакову конструкцію, коефіцієнти трансформації та приблизно однакові умови роботи та вторинне навантаження, і рівним 1 в інших випадках (для дифзахисту двигунів зазвичай $k_{одн.} = 1$ внаслідок різниці довжин проводників вторинних струмових кіл); ε - похибка ТС при найбільшому струмі зовнішнього КЗ, приймають рівною 0,1; f - апаратна похибка терміналу, приймають для кожного струмового входу рівною 0,025; δ - технологічний запас, обумовлений наявністю додаткової похибки вимірювання струму терміналом, приймається рівним 0,025.

Значення $k_{пер.}$ у більшості випадків рекомендують приймати 2,5. Цей перехідний процес обумовлений тим, що після відмикання зовнішніх КЗ починається процес самозапуску відповідальних двигунів. У струмі самозапуску міститься більша аперіодична складова зі струмами низької частоти або при підключенні двигуна до напруги мережі з ЕРС двигуна, що ще не встигнула загаснути, – ці напруги можуть перебувати в протифазі. При цьому ТС можуть насичуватися та їх похибка зростає.

$$\frac{I_{диф.}}{I_{гальм.}} = 1,2 \cdot (2,5 \cdot 1 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,025 + 0,025) = 0,39$$

Перевіряємо чутливість захисту.

Знаходимо струм двофазного КЗ від енергосистеми в коробці підключення електродвигуна за мінімальної потужності енергосистеми:

$$I_k^{(2)} = 0,867 I_{ш.мін.}^{(3)}$$

$$I_k^{(2)} = 0,867 \cdot 3,5 = 3 \text{ кА.}$$

Коефіцієнт чутливості ДЗГ визначають за виразом:

$$k_{ч}^{(2)} = \frac{I_k^{(2)}}{I_{ДЗГ}}$$

$$k_{ч}^{(2)} = \frac{3031}{136} = 22,3.$$

Визначаємо значення уставки спрацьовування диференціального струмового відсічення. Струм небалансу диф-захисту, відповідний до пускового струму двигуна дорівнює:

$$I_{нб.макс.} = k_{пуск.} \cdot k_{нб.} \cdot I_n,$$

де $k_{нб.}$ - коефіцієнт, що враховує неповне насичення одного з ТС, приймають рівним 0,7.

$$I_{нб.макс.} = 5,7 \cdot 0,7 \cdot 113,3 = 452 \text{ А.}$$

де k_n - коефіцієнт надійності, приймають рівним 1,2, враховуючи, що вплив аперіодичної складової перехідного процесу послабляється за допомогою програмного забезпечення терміналу.

$$I_{ДСВ} = 1,2 \cdot 452 = 542 \text{ А,}$$

або $\frac{542}{30} = 18,1 \text{ А}$ вторинних – у межах діапазону задання уставки.

Перевіряємо чутливість захисту

$$k_{ч}^{(2)} = \frac{I_k^{(2)}}{I_{ДСВ}} = \frac{3031}{542} = 5,6$$

Захисти ДЗГ і ДСВ працюють без витримки часу. За результатами розрахунків будемо характеристику роботи захисту (рис. 8.1).

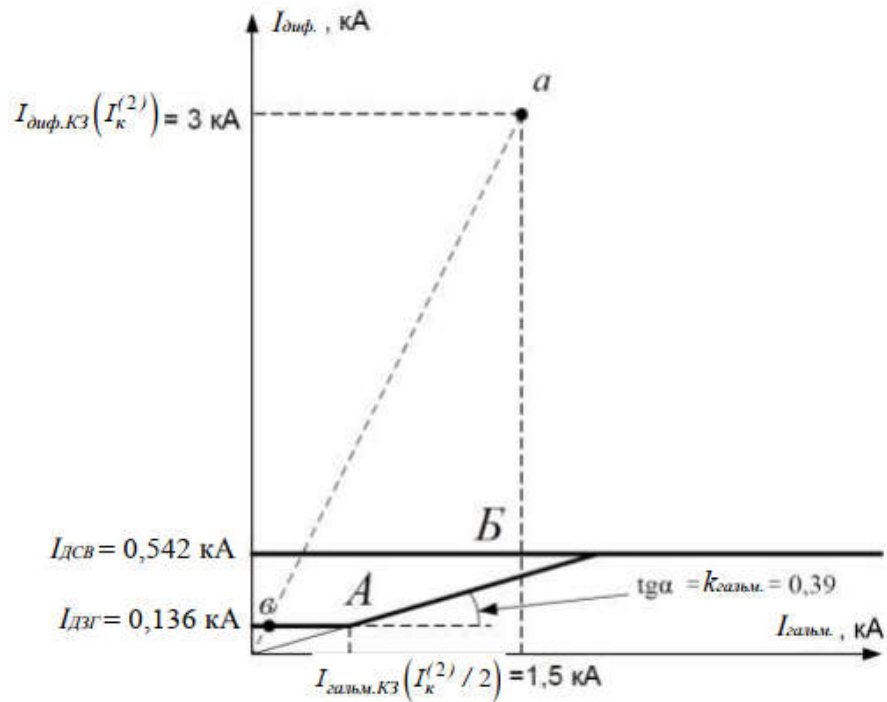


Рис. 8.1 – Характеристика роботи диференціального захисту двигуна серії А4 потужністю 1000 кВт: А - зона спрацьовування ДЗГ, В - зона спрацьовування ДСВ

У терміналі БМРЗ-УЗД є можливість використовувати функцію підвищення чутливості ДЗГ для захисту з виключенням зайвого спрацьовування пза несправності струмових кіл.

У якості уставки $I_{\text{ДЗГ}}^{\text{грубий}}$ вибираємо значення $I_{\text{ДЗГ}} = 136 \text{ А}$.

Значення уставки $I_{\text{ДЗГ}}^{\text{чутливий}}$ вибираємо менше номінального струму двигуна відповідно до:

$$I_{\text{ДЗГ}} = 0,3 \cdot 113,3 = 34 \text{ А.}$$

За результатами розрахунків, будуємо характеристику роботи захисту, наведену на рис. 8.2.

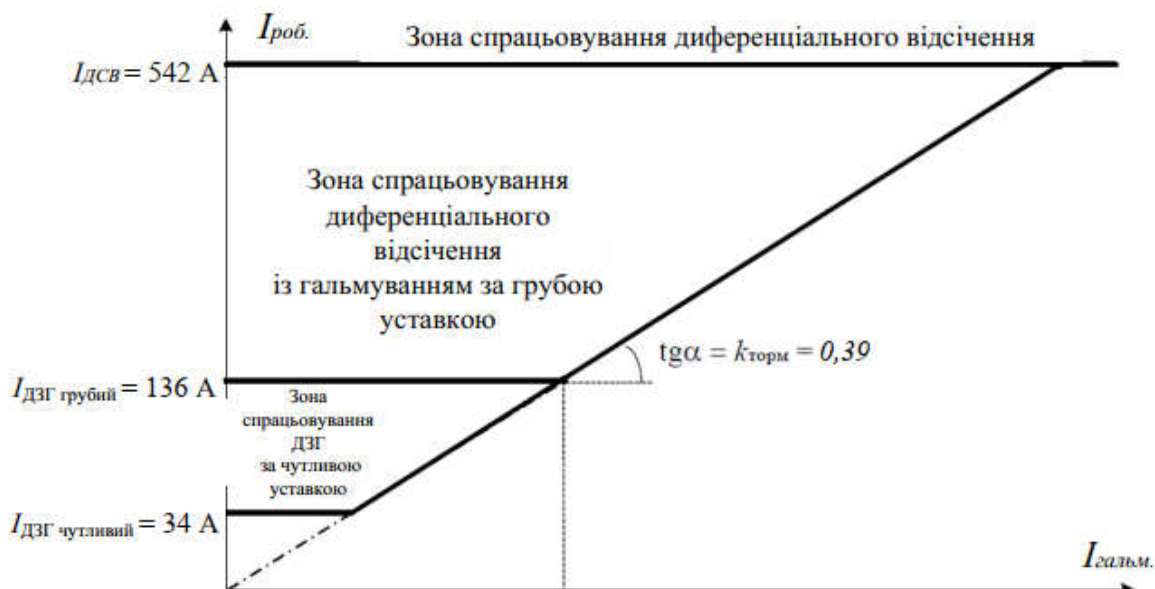


Рис. 8.2 – Характеристика диференціального захисту двигуна серії А4 потужністю 1000 кВт із використанням ДЗГ із підвищенням чутливості

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 типи захисту від коротких замикань застосовують для високовольтних асинхронних двигунів?
2. Які чинники слід враховувати під час розрахунків максимального струмового відсічення?
3. Як можна підвищити чутливість захисту?

4. В яких випадках застосовують диференціальний захист?
5. Назвіть варіанти виконання диференціального захисту.
6. Як обрати нахил гальмівної характеристики?

Таблиця № 8.2

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №8»

Варіант	Тип двигуна	Номинальна потужність P_n , кВт	$\cos \varphi$	ККД, η %	Кратність пускового струму, $k_{\text{пуск.}}$	$I_{\text{ш.мін.}}^{(3)}$ кА	$I_{\text{ш.макс.}}^{(3)}$ кА
1	A4-400XK- 4МУЗ	400	0,87	94,3	5,7	3,5	3,7
2	A4-450X- 12МУЗ	250	0,76	92	4,8	3,5	3,8
3	A4-400У- 4МУЗ	630	0,88	95,2	5,7	3,5	4,3
4	A4-450X- 4МУЗ	800	0,88	95,2	5,5	3,2	4,0
5	A4-450У- 4МУЗ	1000	0,89	95,5	5,7	3,3	4,1
6	A4-400XK- 6МУЗ	315	0,85	93,6	5,3	3,8	4,2
7	A4-400X- 6МУЗ	400	0,86	94	5,3	3,5	4,2
8	A4-400У- 6МУЗ	500	0,86	94,4	5,3	3,4	3,7
9	A4-450X- 6МУЗ	630	0,86	94,7	5,3	3,5	3,9
10	A4-450У- 800	800	0,86	95	5,3	3,7	4,0

	6МУ3						
11	A4-400X- 8МУ3	250	0,81	93	5,2	3,2	3,9
12	A4-400У- 8МУ3	315	0,82	93,4	5	3,5	3,9
13	A4-450X- 8МУ3	400	0,82	93,8	5	3,0	3,6
14	A4-400ХК- 4МТ3	315	0,885	93,9	5,8	3,5	4,1
15	A4-450У- 8МУ3	630	0,83	94,5	5	3,4	3,7
16	A4-400X- 10МУ3	200	0,76	92	4,8	3,3	3,6
17	A4-400У- 10МУ3	250	0,77	92,2	4,8	3,4	3,8
18	A4-400ХК- 4МТ3	315	0,885	93,9	5,8	3,5	3,9
19	A4-450У- 10МУ3	400	0,82	93,4	4,8	3,0	3,5
20	A4-450УD- 10МУ3	500	0,82	93,8	5,8	3,5	4,1

У ході виконання роботи було досліджено методику розрахунку та вибору оптимального захисту асинхронних електродвигунів від міжфазних коротких замикань.

Практична робота дозволила засвоїти методику розрахунків і вибору захисту від міжфазних коротких замикань, оцінити чутливість та ефективність різних видів захисту. Забезпечення надійного захисту електродвигунів є важливим елементом для безпечної та економічної роботи електрообладнання.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №9

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

Мета: ознайомити здобувачів 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.

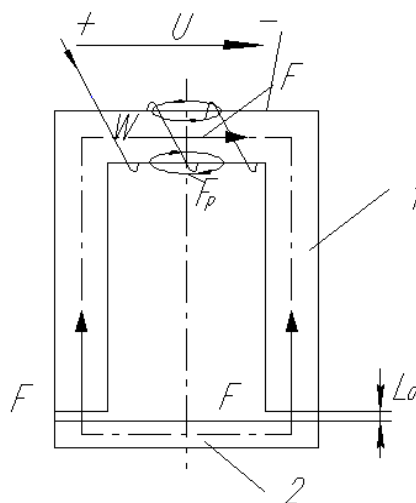


Рис. 9.1 – Схема магнітного ланцюга електромагніту

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 витріщенням 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:

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

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

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 $dW_{\text{зм}}$, 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 потягання у ψ від струму котушки I лінійна і індуктивність котушки:

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

Тут індуктивність як коефіцієнт пропорційності між потяганням 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 потягання:

$$\psi = w\Phi$$

де $\Phi = \frac{wI}{R_M}$ - 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 $\mu \neq \text{const}$, використовується поняття диференціальної індуктивності (індуктивність L стає нелінійним параметром обмотки):

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

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. Приклад 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. 9.1.

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:

$$X_{m.кз} = \frac{2\pi f}{r_b}$$

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:

$$\Phi_m = B_m ab \cdot \kappa_{з.ст}$$

де $\kappa_{з.ст}$ - 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:

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

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:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{X_{\text{м.кз}}}{R_{\text{мд2}}}$$

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

$$n = \frac{\Phi_{1\text{м}}}{\Phi_{2\text{м}}} = \frac{S_1}{S_2 \operatorname{Cos}\psi}$$

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

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

$$\Phi_{2\text{м}} = \frac{\Phi_{\text{м}}}{\sqrt{1 + n^2 + 2n \operatorname{Cos}\psi}}$$

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

$$P_{\text{сер1}} = \frac{\Phi_{1\text{м}}^2}{4\mu_0 S_1} \quad P_{\text{сер2}} = \frac{\Phi_{2\text{м}}^2}{4\mu_0 S_2}$$

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

$$P_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{сер1}}^2 + P_{\text{сер2}}^2 + P_{\text{сер1}} P_{\text{сер2}} \operatorname{Cos} 2\psi}$$

11. Пульсація електромагнітної сили:

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

12. Мінімальне значення електромагнітної сили:

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

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

Таблиця № 9.1

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 9»

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	$2,5 \cdot 10^{-4}$

У ході виконання роботи було виконано розрахунок мінімального значення електромагнітної сили, що діє у прямокутному розщепленому полюсі електромагніта, із врахуванням впливу короткозамкненого витка.

Практична робота дозволила засвоїти основи розрахунку електромагнітної сили в розщепленому полюсі електромагніта. Отримані знання сприяють розумінню роботи магнітних систем та допомагають забезпечити їх ефективну і надійну експлуатацію.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №10

Тема: Розрахунок котушки електромагніту постійного та змінного струму.

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методикою прямого розрахунку котушки електромагніта постійного та змінного струму.

1. Теоретичні відомості

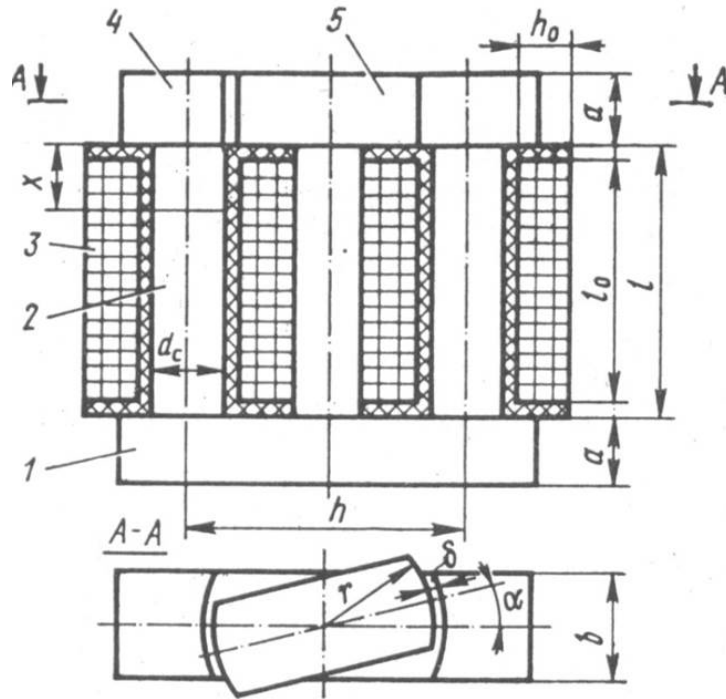


Рис. 10.1 – Електромагніт постійного струму

Для розрахунку обмотувальних параметрів електромагніту використовується наступні формули:

1. Для визначення діаметру провідника d , м:

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

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

$$F_m = K_3 F_{\text{тр}}$$

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

$$F_{\text{тр}} = K_n F_3$$

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

$$l_{\text{сер}} = \pi(d_0 + h_0)$$

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, m^2 , 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 m^2 :

$$Q_0 = h_0 \cdot l_0$$

3. Опір обмотки, Ом:

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

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:

$$P' \approx P$$

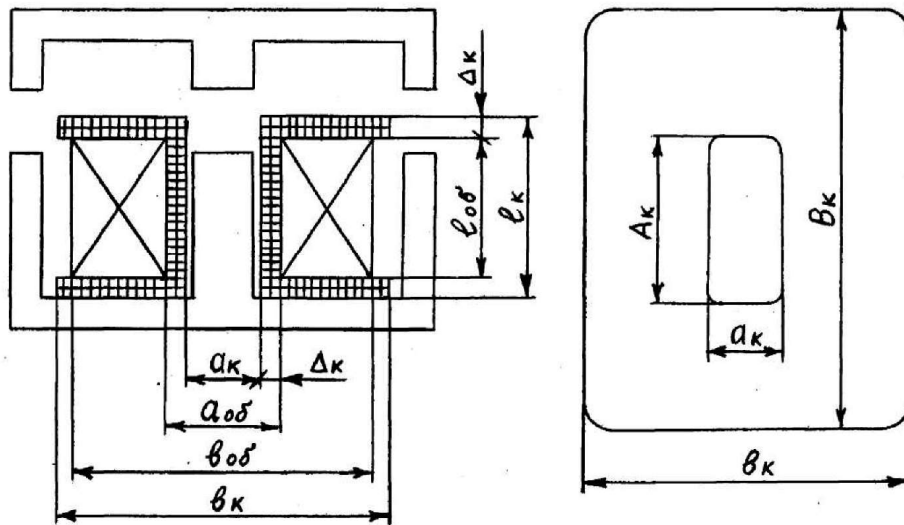


Рис. 10.2 – Електромагніт змінного струму

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:

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

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

Оскільки струм і опір можуть бути розраховані тільки після визначення числа витків, то 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 викладах зазвичай:

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

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 $j = (2-4) \cdot 10^6$ А/м² - 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. 10.2):

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

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

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

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

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

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:

$$P_{\epsilon} = I^2 \cdot R_{вт}$$

2. Порядок виконання роботи

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

3. Виконання практичного завдання

Завдання 1: Розрахувати параметри двухсекційних обмоток електромагніту, ввид якого представлений на рисунку 10.1, 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 № 10.1. 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:

$$F_m = 1000 \text{ А};$$

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

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

$$U = 12 \text{ В};$$

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

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

$$U_2 = 24 \text{ В}.$$

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

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

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 ПЕВ-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:

$$P' \approx P = 2,25 \text{ Вт}.$$

Завдання 2: Розрахувати обмотку напруги електромагніту змінного струму за вихідними даними в таблиці 10.3. Позначення геометричних розмірів котушки відповідають рисунку 10.2. Як зміняться обмотувальні дані електромагніта при зменшенні напруги джерела живлення з U_1 до U_2 . Режим роботи тривалий. Питомий електричний опір проводу прийняти рівним $\rho_0 = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. (105^0 С).

Дано:

$$A_k = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$a_k = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$B_k = 31 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$e_k = 31 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$l_k = 24 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

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

$$F_m = 410 \text{ А};$$

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

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

$$U_1 = 500 \text{ В};$$

$$U_2 = 48 \text{ В};$$

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 10.4. Обираємо провідник з неізольованого 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. 10.1):

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

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

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

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

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

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:

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

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:

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

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?
6. Електромагніти змінного струму це- ?
7. Порівняти електромагніт постійного та змінного струму.
8. Недоліки електромагніту змінного струму.
9. Конструктивні особливості електромагніту змінного струму, конструктивна схема.
10. Види електромагнітів змінного струму.

Таблиця № 10.1

«Вихідні дані для розрахунку завдання 1 до практичної роботи №10»

№ 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 № 10.2

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

$d \cdot 10^{-3}$	ПЕВ-1		ПЕВ-2	
	$d_1 \cdot 10^{-2}, M$	$K_{зм}$	$d_1 \cdot 10^{-2}, M$	$K_{зм}$
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

Таблиця № 10.3

«Вихідні дані для розрахунку завдання 2 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 №10.4

«Параметри обмотувальних провідників»

d, м 10^{-3}	q, м ² 10^{-6}	d ₁ , м×10 ⁻³			d, м 10^{-3}	q, м ² 10^{-6}	d ₁ , м×10 ⁻³		
		ПЕВ-1 ПЕВТ Л-1	ПЕВ-2 ПЕВТ Л-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

У процесі виконання роботи було розраховано основні параметри котушок електромагнітів постійного і змінного струму, зокрема:

1. Діаметр провідника, кількість витків обмотки, опір обмотки, споживану потужність та інші параметри котушок.
2. Проведено аналіз зміни обмотувальних характеристик при зміні напруги живлення.
3. Розраховано електромагнітні параметри з урахуванням впливу температури, коефіцієнтів заповнення міді, геометричних розмірів обмотки та фізичних властивостей провідника.

Практична робота дозволила ознайомитися з методикою розрахунку котушок електромагнітів постійного і змінного струму. Отримані результати підтверджують можливість точного визначення обмотувальних параметрів і їх вплив на роботу електромагнітів. Ці знання є основою для проектування ефективних електромагнітних пристроїв у різних галузях промисловості та техніки.

**ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
з дисципліни «Електричні апарати» для підготовки до практичних занять
здобувачами за першим(бакалаврським) рівнем 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 – 2 см; верху – 1,5 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.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАННЯТЬ з дисципліни «Електричні апарати»

На практичному занятті студент повинен закріпити одержані теоретичні знання і набути практичних навичок з розрахунку освітлювальних установок.

При виконанні практичних робіт з дисципліни електричне освітлення студент повинен самостійно вирішувати практичні інженерні задачі, уміти застосовувати методики розрахунку освітлення для приміщень.

Одержавши графік виконання практичних робіт з дисципліни, студент самостійно готується до кожної з них, вивчаючи відповідні розділи теоретичного матеріалу.

Для роботи студент отримує варіант індивідуального завдання і необхідну нормативно-довідкову літературу. При розрахунках студентам рекомендується використовувати мікрокалькулятори.

Студент самостійно виконує розрахунки відповідно з темою практичного заняття та при необхідності отримує допомогу викладача. Після виконання необхідних розрахунків здобувач складає звіт по роботі, який вміщує всі фактичні дані (схеми, таблиці, графіки) та аналіз результатів розрахунку. Для економії часу графіки краще виконувати на міліметровому папері.

В кінці заняття студент повинен представити викладачу результати індивідуальної роботи, при необхідності виконати необхідні виправлення та захистити практичну роботу за тематичними питаннями для одержання оцінки від викладача.

Перед захистом практичної роботи перевіряється готовність студента до практичного заняття (наявність оформленого звіту) та за темою практичного заняття, використовуючи контрольні питання, які приводяться в практичній роботі. Лише після перевірки викладачем ступеня підготовки, студент допускається до занять, і може захищати практичну роботу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основна

1. Електричні апарати : навч. посіб. / В. О. Лесько, В. О. Комар, С. В. Кравчук, О. В. Сікорська. Вінниця : ВНТУ, 2018. 102 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Lesko_2018_102.pdf.
2. Електричні апарати : конспект лекцій : у 3 ч. Ч. 2. Електричні апарати низької напруги / уклад. : І. Л. Лебединський, І. І. Борзенков. Суми : Сумський державний університет, 2020. 66 с. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/79770/3/Lebedynskiy_aparaty_nyzkoi_napruhy.pdf.
3. Жорняк Л. Б., Антонова М. В., Василевський В. В. Електричні апарати автоматики та керування. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. 414 с.
4. Електрична частина станцій та підстанцій: лабораторний практикум / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. П. Матеєнко, П. Л. Денисюк, Г. М. Гаєвська, Р. В. Вожаков. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 179 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fe0e77db-5bcf-480d-8eba-8abac7fc1c4c/content>.
5. Електричні апарати : конспект лекцій / уклад. : І. В. Гладь, Я. В. Бацала, О. І. Кіянюк. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2019. 126 с. URL: <https://files.library.nung.edu.ua/chytalnya/6844/index.html>.
6. Попрядухін В. С. Апарати керування і захисту: курс лекцій. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. 190 с.

Додаткова

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

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

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

Електронні ресурси

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

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

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

ДОДАТОК

Додаток 1

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

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

з дисципліни

“Електричні апарати ”

на тему: “Розрахунок плавкої вставки”

Допуск до виконання _____

Допуск до захисту _____

Захист _____

Виконав студент групи: Ен 1/1

(підпис)

Олексій ХАРІТОНОВ

(імя, прізвище)

Керівник:

(підпис)

Віталій МАРДЗЯВКО

(імя, прізвище)

2025

					141. Ен 1/1. 11. ПР01. ЕА	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

Навчальне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Вахоніна** Лариса Володимірівна

Мардзявко Віталій Анатолійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 7,9.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

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

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