

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**Кафедра
енергозбереження та
енергетичного менеджменту**

**Коваль В.П.
Тарасенко М.Г.
Лучейко І.Д.**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з курсу

Електричні апарати

Тернопіль
2015

Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Електричні апарати» / В.П.Коваль, М.Г.Тарасенко, І.Д. Лучейко.[Текст]. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – 75 с.

Укладачі: Коваль Вадим Петрович,
доцент
Тарасенко Микола Григорович,
професор
Лучейко І.Д.
доцент

Відповідальний за випуск Коваль Вадим Петрович
доцент

Викладено основні вимоги до підготовки та виконання лабораторних робіт з курсу «Електричні апарати», зміст і правила оформлення звіту про виконання і його захист. Подано основні теоретичні відомості для підготовки, технічні системи та обладнання, які використовуються при вимірюваннях, опис схеми установки і послідовність виконання лабораторних робіт.

Методичні вказівки призначені для студентів напрямку "Електротехніка та електротехнології".

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри енергозбереження та енергетичного менеджменту Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 6 від 28.02.2015 р.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії електромеханічного факультету Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 5 від 24.03.2015 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Лабораторна робота №1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ З ЗАТРИМКОЮ НА ВІДПУСКАННЯ.....	9
1.1. Теоретичні відомості.....	9
1.2. Схема установки.....	16
1.3. Хід роботи.....	18
1.4. Опрацювання експериментальних даних.....	20
1.5. Контрольні питання.....	21
Лабораторна робота №2 МАГНІТНІ ПУСКАЧІ І СХЕМИ ЇХ ВКЛЮЧЕННЯ..	23
2.1. Теоретичні відомості.....	23
2.2. Завдання для підготовки.....	35
2.3. Схема установки.....	36
2.4. Хід роботи.....	37
2.5. Опрацювання експериментальних даних.....	39
2.6. Контрольні питання.....	39
Лабораторна робота №3 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ РЕЛЕ СТРУМУ ТА НАПРУГИ	40
3.1. Теоретичні відомості.....	40
3.2. Схема установки.....	45
3.3. Хід роботи.....	46
3.4. Опрацювання експериментальних даних.....	48
3.5. Контрольні питання.....	48
Лабораторна робота №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПОБІЖНИКІВ І АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ.....	49
4.1. Теоретичні відомості.....	49
4.2. Завдання для підготовки.....	58
4.3. Схема установки.....	59

4.4. Хід роботи	60
4.5. Опрацювання експериментальних даних	62
4.6. Контрольні питання	62
Лабораторна робота №5 МЕХАНІЧНІ РЕЛЕ ЧАСУ	64
5.1. Теоретичні відомості.....	64
5.2. Схема установки.....	70
5.3. Хід роботи	71
5.4. Опрацювання експериментальних даних	72
5.5. Контрольні питання	73
Рекомендована література	75

ВСТУП

Виконуючи лабораторну роботу з курсу «Електричні апарати», студенти отримують відповідні навички роботи з вимірювальними приладами і технічним устаткуванням, розвивають спостережливість, привчаються глибше аналізувати фізичні процеси.

Враховуючи істотне значення лабораторних робіт, особливо для вивчення предмету «Електричні апарати», необхідно повністю виконувати всі роботи, передбачені програмою. Для цього слід дотримуватися прийнятої організації занять у лабораторії.

Як правило, лабораторні роботи виконують безпосередньо після вивчення одного або кількох розділів теоретичного курсу, оскільки вони є практичним підтвердженням теоретичних положень і висновків.

На початку першого заняття в лабораторії студенти повинні ознайомитися з технікою безпеки в лабораторії і порядком виконання лабораторних робіт, звертаючи увагу на їх загальні особливості. Після цього студенти приступають до роботи. Вказівки до виконання заданої роботи вони отримують від викладача під час бесіди або інструктажу біля кожного робочого місця.

Головне при виконанні роботи – повна самостійність. Виконуючи лабораторну роботу, студенти повинні проявляти ініціативу в подоланні труднощів. Звертатися до викладача слід лише тоді, коли вичерпані всі можливі вирішення питань про структуру тієї або іншої схеми, методикку виконання окремих етапів лабораторної роботи.

Якщо лабораторну роботу виконують одночасно три-чотири студенти, потрібно аби кожен з них мав певні завдання і виконував їх по черзі.

Можна скористатися і іншим методом, при якому схему збирає один студент, а інші стежать за роботою і весь час контролюють його. Зібрану схему перевіряють, також дотримуючись черговості.

Підготовка та допуск до лабораторних робіт. Для того, щоб студенти змогли свідомо виконувати практичні завдання в лабораторії, вони заздалегідь повинні до них підготуватися, не тільки вивчаючи теоретичну частину курсу, але і ознайомитись із методичними вказівками до виконання кожної лабораторної роботи.

Облік лабораторних робіт викладач веде в журналі на відведених для

цього сторінках. У журналі він проставляє допуск до виконання роботи, відробку та захист, враховуючи якість виконання, отримання найхарактерніших результатів, відношення студента до роботи в процесі її виконання, уміння самостійно узагальнювати результати, а також якість звіту. В звіті повинні бути схеми (рисунок панелей приладів для відповідних робіт), графіки, чітко виконані таблиці результатів, зрозуміло і лаконічно висловлений короткий опис виконання роботи й особливо висновків, що узагальнюють її результати.

Готуючись до лабораторної роботи, потрібно повторити теоретичний матеріал, користуючись рекомендованою літературою, вказаною в кінці даних методичних вказівок.

Потім студентам необхідно детально ознайомитися зі змістом роботи, переліком приладів і устаткування, з'ясувати поставлену мету, розглянути схеми з'єднання приладів, з'ясувати найприйнятніші номінали вимірювальних приладів і технічні дані устаткування, уважно прочитати розділ «Хід роботи», звернути увагу на рекомендовані електричні режими, методику виконання вимірювань і необхідних обчислень, ознайомитися з формами таблиць, в які вони записуватимуть результати вимірювань.

У результаті попередньої підготовки слід оформити звіт, в якому повинні бути:

1. Назва та мета роботи.
2. Схема установки та її короткий опис.
3. Хід роботи із таблицями результатів вимірювань і розрахунків для подальшого виконання лабораторної роботи.

На всі питання, що виникли під час підготовки, треба знайти відповідь, користуючись рекомендованою літературою. Незрозумілі питання слід обговорити з викладачем.

Під час отримання допуску до виконання лабораторної роботи потрібно представити викладачу звіт про попередню підготовку, оформлений згідно з чинними нормами та правилами, сказати назву та мету, хід роботи, описати схему установки, дати відповіді на запитання про принцип дії та будову вимірювальних приладів, які використовуються.

Виконання лабораторних робіт. Для успішного виконання лабораторних робіт у відведений за розкладом час студенти повинні точно дотримуватися основних положень, що визначають порядок і методичну послідовність дій під час лабораторних занять:

1. Кожен студент зобов'язаний виконувати вимоги внутрішнього

розпорядку, встановленого в лабораторії навчального закладу, і строго дотримуватися правил техніки безпеки під час роботи з електричними установками.

2. Лабораторні роботи студенти виконують бригадами (по 2 – 3 людини). Кожен член бригади повинен оформити звіт.

3. Лабораторні роботи проводяться за розкладом відповідно до графіка, складеного викладачем. Робочі місця в лабораторії можна міняти лише з дозволу і за вказівкою викладача.

4. Кожну лабораторну роботу виконують на певному столі, біля якого прикріплена табличка з її номером відповідно до тематики, складеної викладачем. Переставляти технічні системи й устаткування зі столу на стіл без дозволу викладача забороняється.

5. Перед виконанням завдання перш за все потрібно ознайомитися з устаткуванням і його технічними характеристиками, відповідно до вказівок, наведених в описі виконуваної роботи. Записують технічні характеристики тих деталей, приладів і устаткування, які фактично використовувалися, оскільки залежно від місцевих умов лабораторії деякі технічні системи можуть відрізнятися від вказаних в описі.

6. Перед складанням схеми кожної вимірювальної установки треба ознайомитися зі схемами вмикання приладів, чітко представляти відповідність затискачів тим або іншим точкам схеми. З'єднуючи технічні системи й апаратуру, необхідно прагнути, аби кола виходили простими й наочними, щоб контакти були щільно затиснені, а сполучні провідники були якомога коротші, але не натягнуті.

7. Після складання схеми студентам потрібно звернутись до викладача або лаборанта з проханням перевірити, чи правильно складена схема.

8. Джерела живлення вмикають тільки після дозволу викладача і в останню чергу, перед виконанням роботи, а вимикають їх після закінчення роботи в першу чергу. Якщо потрібно провести перемикання в схемі, обов'язково вимикають джерела живлення. Знову вмикати їх можна лише з дозволу викладача.

9. Забороняється залишати під напругою навчальну схему і технічні системи.

10. Про виявленні несправності приладів і апаратури повідомляють викладача. Самостійно усувати несправності забороняється.

11. Під час виконання лабораторних робіт треба дбайливо поводитися з

приладами, деталями, апаратурою й устаткуванням, маючи на увазі, що ними користуватимуться й інші студенти.

12. Результати вимірювань слід показати викладачу, після чого схему можна розібрати. Технічні системи й апаратуру треба розмістити на столі в такому порядку, в якому вони були до початку роботи.

Оформлення звіту про виконання лабораторних робіт. За кожною виконаною лабораторною роботою студент оформляє звіт. На титульній сторінці звіту треба вказати міністерство, якому підлеглий навчальний заклад, назву навчального закладу, назву кафедри, в межах якої проводиться навчання студентів, номер лабораторної роботи, тему, групу, своє прізвище, ім'я, по батькові; в окремому місці повинна бути відмітка про допуск, виконання та захист звіту.

На решті сторінках повинні бути такі дані: схеми вимірювальних установок, перелік приладів і устаткування, хід роботи; таблиці із результатами виконання роботи, графіки і діаграми; висновки за результатами вимірювань і спостережень.

Складений звіт із дотриманням вимог оформлення, студент повинен здати викладачу на наступному лабораторному занятті й бути готовим відповісти на кожне з контрольних запитань, що відносяться до виконаної роботи.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ З ЗАТРИМКОЮ НА ВІДПУСКАННЯ

Мета роботи: Вивчити принцип дії, конструкцію, зняти електричні та часові характеристики електромагнітного реле постійного струму та електромагнітного реле з затримкою на відпускання.

1.1. Теоретичні відомості

Електромагнітні реле поділяються на реле *постійного* і *реле змінного струму*. Реле постійного струму бувають *звичайні* та *із затримкою на відпускання*. Реле постійного струму з затримкою на відпускання досить часто називають *реле часу*, так як воно дає можливість створювати затримки часу на спрацювання і на відпускання.

Будова електромагнітних *реле постійного струму* показана на рис. 1.1: а – з обертовим якорем, б – з втяжним якорем. Головні деталі і вузли реле мають такі позначення: 1 – котушка на каркасі; 2 – ярмо; 3 – осердя; 4 – якір; 5 – штифт відлипання (немагнітна) прокладка; 6 – пружина зворотного руху; 7 – рухомі контакти; 8 – нерухомі контакти.

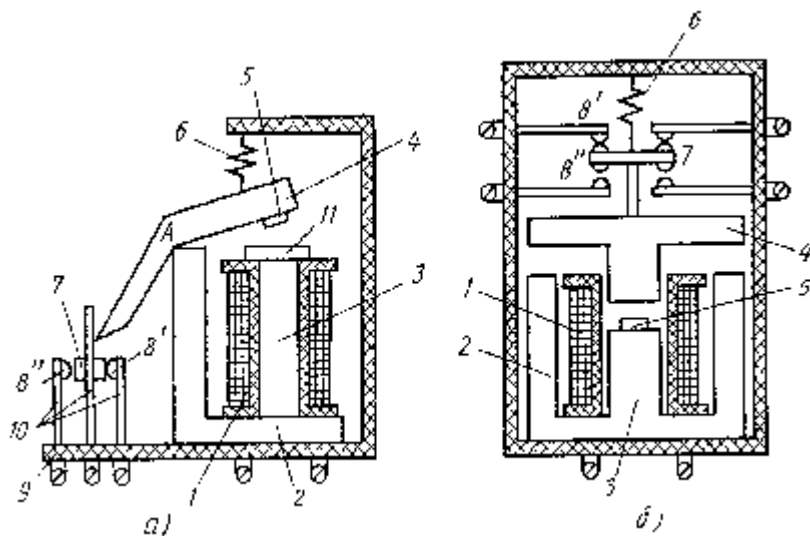


Рис. 1.1. Електромагнітні реле постійного струму

Магнітопровід електромагнітного механізму реле складається з нерухомої і рухомої частин. Рухома частина називається якорем. Нерухома частина складається з осердя, що знаходиться всередині котушки реле, і ярма — частини магнітопроводу, яка охоплює котушку.

В реле з обертовим якорем (рис. 1.1, а) електромагнітний механізм і контактний вузол закріплені на спільній ізоляційній основі 9. При протіканні струму по обмотці котушки 1, яркір 4 притягується до осердя 3 і виконує оберт відносно точки опору А. При цьому, переміщуючи рухомий контакт 7, який розмикається з нерухомим контактом 8' і замикається з нерухомим контактом 8". Контакти закріплені на плоских пружинах 10, які служать і для підключення до зовнішнього кола. Коли струм в обмотці реле зникає, яркір повертається в попередній стан.

В деяких реле це відбувається під дією сили тяжіння якоря, в деяких – під дією контактних пружин чи спеціальної пружини зворотного руху 6. Для того, щоб яркір при відсутності струму не притягувався до осердя через залишкове намагнічування магнітопроводу, на якорі встановлюється штифт відлипання 5 – пластинка з немагнітного матеріалу, що забезпечує проміжок приблизно в 0,1 мм між якорем і осердям при спрацьовуванні реле. Часто осердя має полярний кінцевик 11 для зменшення магнітного опору робочого повітряного проміжку.

В електромагнітному реле з втяжним якорем (рис. 1.1, б) при протіканні струму по обмотці котушки 1 яркір 4 втягується всередину неї до опори в осерді 3. При цьому рухомі мостові контакти 7 розмикаються з нерухомими контактами 8' і замикаються з нерухомими контактами 8". Повернення якоря 4 в попередній стан, при відсутності струму в реле, здійснюється під дією пружини зворотного руху 6. Як і в реле з обертовим якорем, для покращення якоря служить штифт відлипання 5. Для повернення якоря в початковий стан може бути використана сила тяжіння якоря.

Робота електромагнітного реле. Розглянемо послідовність роботи електромагнітного реле з моменту подачі напруги на обмотку реле до моменту відключення напруги з обмотки і повернення якоря в початковий стан. Оскільки обмотка реле має індуктивний опір, струм в ній не може змінюватись стрибком. Зміна струму (як збільшення, так і зменшення) відбувається плавно по експоненціальній кривій (рис. 1.2).

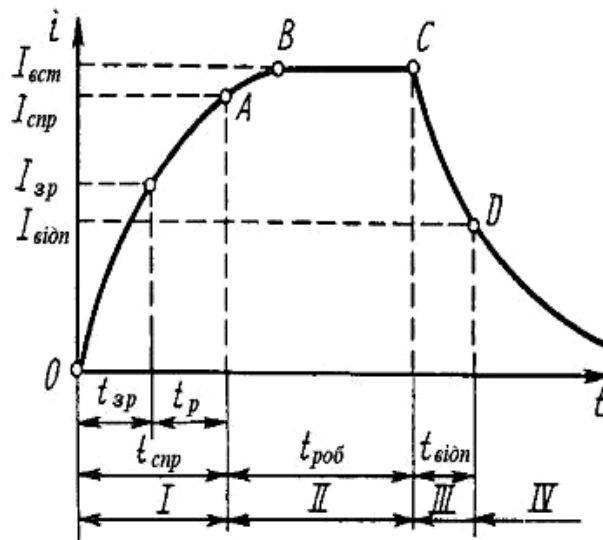


Рис. 1.2. Графік зміни струму в обмотці реле

На рис. 1.2, що показує зміну струму обмотки реле в часі, можна виділити чотири проміжки.

Проміжок 1 характеризує спрацьовування реле. Він починається з моменту подачі напруги на обмотку реле (точка O) і закінчується в момент надійного замикання контактів (точка A). На цьому проміжку відбувається спрацьовування реле і його тривалість називається часом спрацьовування $t_{спр}$. Відразу після подачі напруги струм в обмотці реле збільшується достатньо швидко, оскільки стала часу відносно мала. Стала часу котушки, яка має опір R і індуктивність L , дорівнює відношенню L/R , а поки якір не почав наближуватись до осердя, магнітне коло має великий проміжок і, виходячи з цього, індуктивність мала. Коли струм в обмотці реле досягає значення $I_{зр}$, при якому якір починає рух, проміжок починає зменшуватись, індуктивність буде збільшуватись, а швидкість наростання струму буде зменшуватись. Час спрацьовування складається з часу зрушення $t_{зр}$ і часу руху якоря t_p ($t_{спр} = t_{зр} + t_p$). В точці A струм має значення $I_{спр}$. Струм спрацьовування більший за струм зрушення, оскільки за час t_p продовжувалось його наростання.

В точці A закінчився рух якоря. Починається проміжок II, що характеризує реле в робочому стані. Тривалість цього проміжку $t_{роб}$. На початку цього проміжку струм продовжує збільшуватись. В точці B зростання струму зупиняється, його значення визначається відношенням напруги на обмотці U до активного опору обмотки R . Це струм, що встановився $I_{вст} = U/R$. Проміжок АВ необхідний для того, щоб забезпечити надійне притягування якоря до осердя, виключаючи вібрацію якоря при струсах реле. Відношення струму, що

встановився $I_{вст}$ до струму спрацювання $I_{спр}$ називається коефіцієнтом запасу реле по спрацюванню $K_{зап} = I_{вст}/I_{спр}$; $K_{зап}=1,5-2$. В цей самий час $I_{вст}$ повинен бути обмеженим з міркувань щодо нагрівання.

Проміжок III починається з моменту зняття напруги з обмотки реле. В точці С починається зменшення струму, і в точці D якір починає відходити від осердя. В цій точці струм $I_{відп}$ не забезпечує таку силу притягування, яка перевищувала б силу протидії пружини. Час відпускання складається з часу зрушення і часу руху якоря до розімкнення контактів: $t_{відп}=t_{зр}+t_{р}$. Відношення струму відпускання до струму спрацювання називається коефіцієнтом повернення: $K_{п} = I_{відп}/I_{спр}$; $K_{п}=0,4-0,8$.

На проміжку IV якір повертається в попередній стан і залишається в ньому до тих пір, поки не буде знову подана напруга на обмотку реле.

Збільшення часу спрацювання здійснюється шляхом збільшення часу початку руху (за допомогою механічного демпфування).

Розглянемо детальніше *реле постійного струму з затримкою на відпускання*.

В схемах захисту і автоматики часто необхідна витримка часу між спрацюванням двох або декількох апаратів. При автоматизації технологічних процесів також може виникнути необхідність в визначеній часовій послідовності операцій. Для створення витримки часу служать електричні апарати, які називаються реле часу.

Загальними вимогами для реле часу є:

- а) *стабільність витримки часу* при коливаннях напруги мережі, частоти живлення, температури оточуючого середовища та впливу інших факторів;
- б) *мала споживана потужність*, маса і габарити.

Повернення реле в вихідний стан відбувається, як правило, при його знеструмленні. Тому коефіцієнт повернення може бути дуже низьким.

В залежності від призначення до реле часу пред'являють різні специфічні вимоги. Для схем автоматичного керування електроприводом при великій частоті включень необхідні реле з *високою механічною зносостійкістю* – до $(5...10) \cdot 10^6$ спрацювань. Потрібні витримки часу знаходяться в межах **0,25...10с**. До цих реле не ставлять вимоги відносно високої стабільності витримки часу. Розкид часу спрацювання може досягати 10%.

Реле для захисту енергосистем повинні мати велику точність витримки часу. Ці реле спрацювають відносно рідко, тому до них не ставлять особливих

вимог по зносостійкості. *Зносостійкість реле часу захисту порядку* $(5...10) \cdot 10^3$ спрацьовувань. Витримку часу в таких реле складають **0,1...20 с**.

Для автоматизації технологічних процесів необхідні реле з великою витримкою часу від декількох хвилин до декількох годин. В цьому випадку, як правило, використовують **моторні реле часу**. В теперішній час створені також напівпровідникові реле з таким великим діапазоном витримки часу.

В електромагнітних реле часу типу РЭВ-800 (рис. 1.3) уповільнення досягається за допомогою магнітного демпфування – впливу на швидкість зміни магнітного потоку. При цьому використовуються магнітні потоки, які створюються вихровими струмами, які з'являються в масивних деталях магнітної системи при зміні основного магнітного потоку. Для цього на магнітопровід **1** реле надівають металеві гільзи або шайби (рис.1.4.). При зміні основного магнітного потоку Φ_0 , створеного струмом обмотки **3**, в гільзі **2** наводяться вихрові струми.



Рис. 1.3. Електромагнітне реле часу типу РЭВ-800

Магнітний потік, створений вихровими струмами, має напрямок (згідно закону Джоуля-Ленца), який протидіє основному потоку. Коли основний потік зменшується, напрямок потоку від вихрових струмів Φ_v співпадає з ним (рис.1.4).

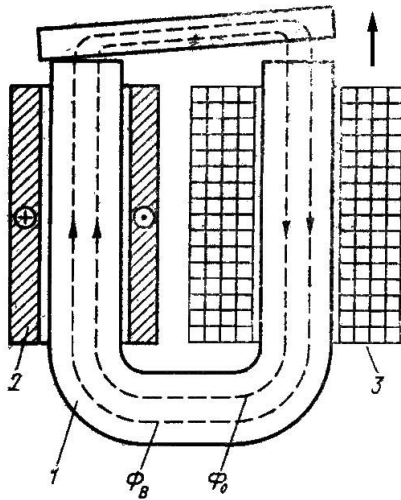


Рис.1.4. Електромагнітне реле часу

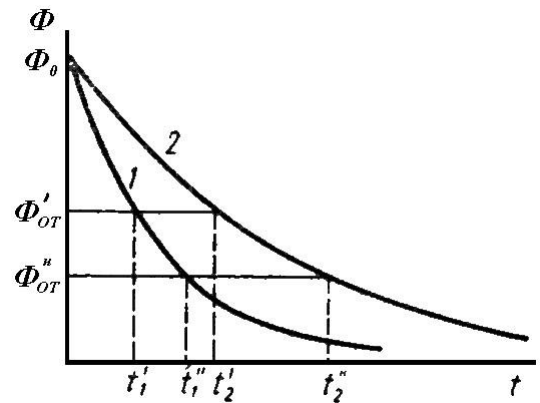


Рис.1.5. Криві зміни магнітного потоку

Ефективність цього методу тим більше, чим більше абсолютна величина основного потоку, тому найбільше уповільнення можна отримати при відключенні електромагніта, коли повітряні зазори в магнітній системі малі, а магнітний потік максимальний. При відключенні котушки електромагніта магнітний потік починає зменшуватись. Коли він стане рівним потоку відпаданя $\Phi_{від}$, починається рух якоря.

Швидкість зменшення магнітного потоку визначається **сталюю часу** реле, яку з припущеннями можна визначити за формулою:

$$\tau = \lambda / R_E \quad (1.1)$$

де: λ - результуюча магнітна провідність системи, Гн

$$\lambda = \mu_0 \cdot S / \delta$$

S – площа полюса, м² ;

δ – немагнітний зазор, м;

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн / м.

R_E – електричний опір короткозамикаючої гільзи, Ом.

На рис.1.5 представлені залежності зміни магнітного потоку при відключенні реле. Крива 1 відноситься до випадку, коли на магнітопроводі короткозамкнута гільза відсутня. Коли гільза надіта на магнітопровід, потік

спадає повільніше (крива 2) і час відключення реле збільшується при сталому потоці відпаданя. ($t_2' > t_1'$ і $t_2'' > t_1''$).

Регулювати витримку часу при відпусканні реле можна різними способами, а саме:

1. *Зміною товщини немагнітної прокладки.*

При зменшенні товщини немагнітної прокладки магнітна провідність системи збільшується, що обумовлює відповідне збільшення сталої часу. Витримка часу при цьому зростає. (див. рис.1.5).

2. *Зміною опору короткозамкнутих гільз або шайб.* Чим менше опір гільз, тим більша витримка часу. (див.рис.1.5).

3. *Зміною натягу протидіючої пружини.*

Зміна натягу проводе до зміни електромагнітної сили (відповідно і магнітного потоку), при якій якір відпадає. Якщо пружина ослаблена, то потік відпаданя буде менший, чим при затягнутій пружині.

Для того щоб витримка часу реле не залежала від величини напруги живлення, магнітне коло виготовляється сильно насиченим. Тому зниження напруги до **60%** від номінальної не приводе до помітної зміни витримки часу. Загальний вигляд досліджуваного реле часу типу РЭВ-800 представлений на рис.1.6. Магнітопровід реле виконаний із низьковуглецевої сталі і складається з осердя **7** і скоби **9**. Основа магнітної системи **1** залита алюмінієвим сплавом і створює додатковий контур для вихрових струмів, що приводе до зростання витримки часу. На скобі **9** кріпиться пластинка **11** і кутник **12**, створюючи призматичну опору якоря **6**, що підвищує його механізму зносостійкість. Котушка реле **3** встановлена на осерді і закріплена кільцем **4**. На осерді і скобі магнітної системи встановлюються зйомні *демпфери* **2** і **17** із алюмінію або міді.

Протидіюче зусилля створюється *пружиною* **16**, регулювання натягу цієї пружини здійснюється гайкою **13**. Для здійснення плавного регулювання витримки часу на якорі встановлений *вузол регулювання* **8**. Між якорем і осердям встановлена *немагнітна прокладка* **5**.

На якорі закріплена *скоба* **10**, на якій знаходиться колодка з рухомим контактами **14**. Вузол *нерухомих контактів* **15** кріпиться на магнітній системі. Контакти мають конструкцію, яка дозволяє проводити їх перескладання.

Межі регулювання витримки часу даного реле при відключенні котушки **0,8 - 2,5 с**. Споживана потужність котушки не більше **25 Вт**. Точність по часу

спрацювання $\pm 10\%$ при температурі оточуючого середовища $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ і напрузі на котушці не менше $0,6 \cdot U_{\text{ном.}}$. Номінальний струм контактів 10A .

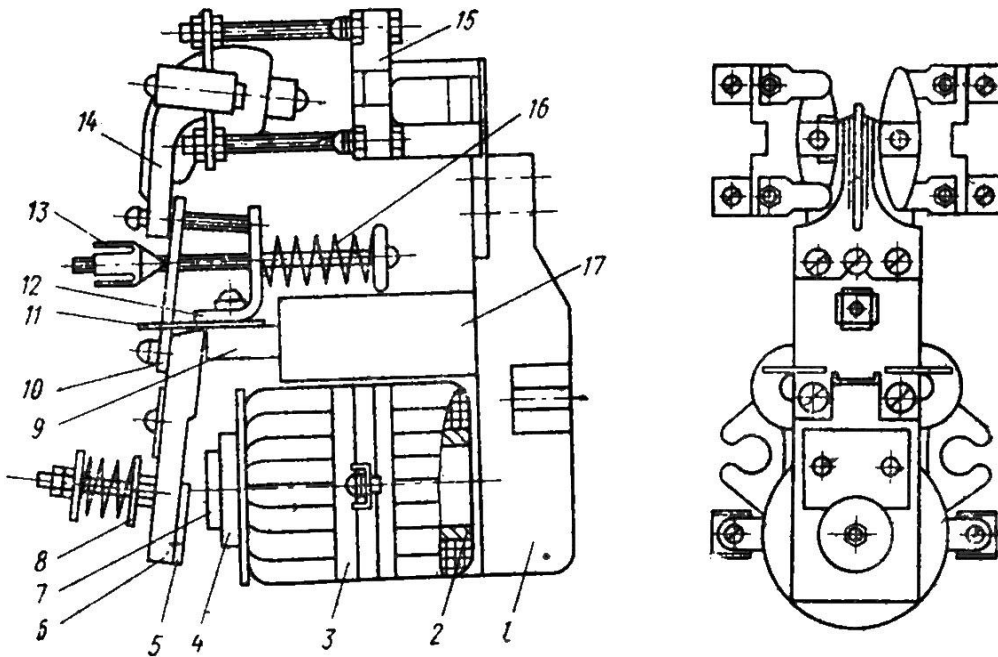


Рис.1.6. Загальний вигляд електромагнітного реле часу типу РЭВ-800.

1.2. Схема установки

Дослідна установка складається з лабораторного стенду на якому розміщені електромагнітне реле і електромагнітне реле з затримкою на відпускання (реле часу з електромагнітним уповільненням (рис. 1.7, 1.8). Для визначення часових характеристик використовують лічильник часу (рис. 1.9).

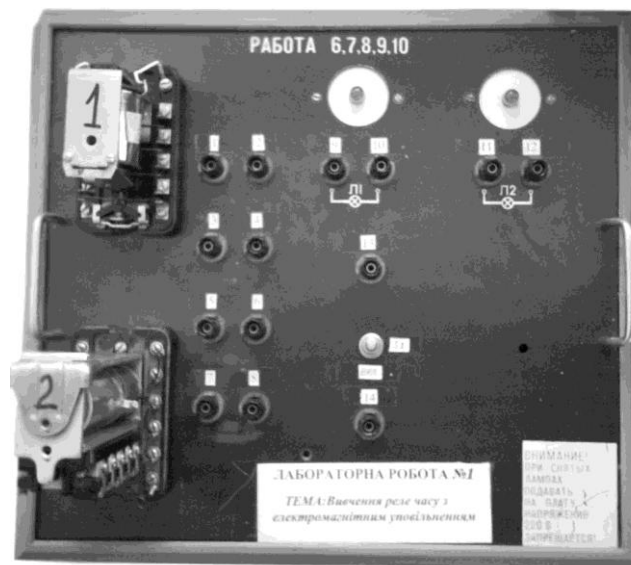


Рис. 1.7. Лабораторний стенд

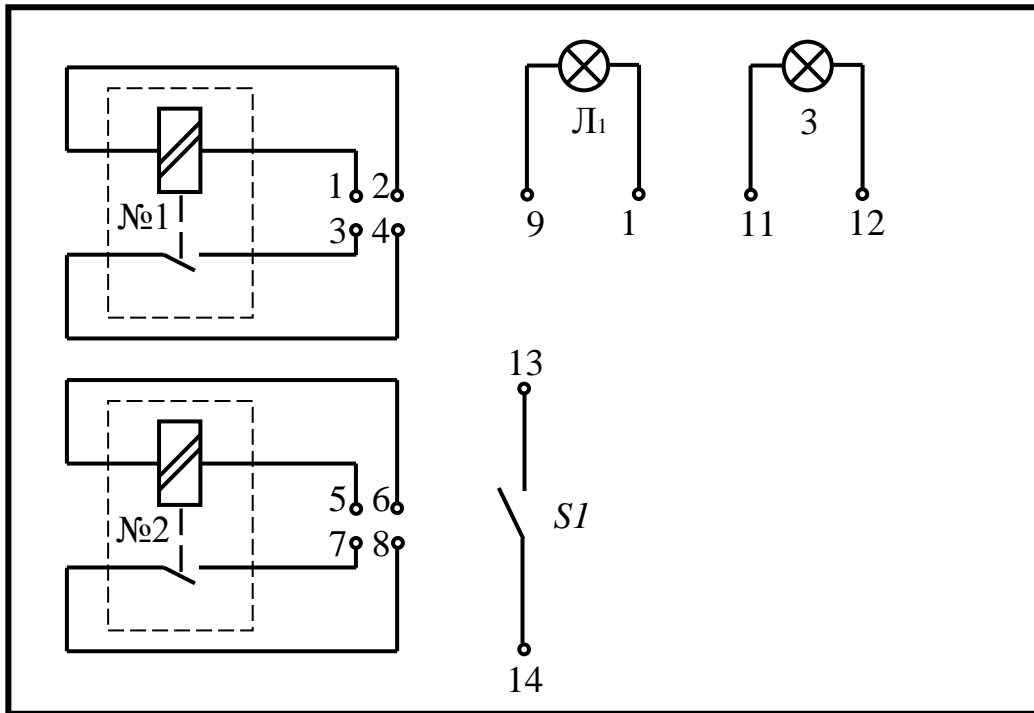


Рис. 1.8. Схема електричних з'єднань у лабораторному стенді



Рис. 1.9. Лічильник часу

1.3. Хід роботи

Дослідження вольт-амперних характеристик

1. Зібрати електричну установку згідно схеми на рис.1.10

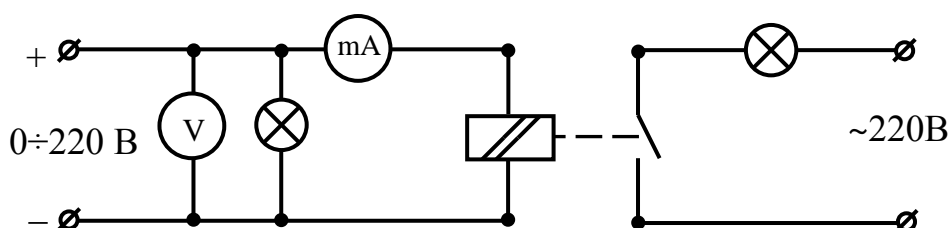


Рис. 1.10. Дослідження U, I спрацювання, відпускання реле

2. Після перевірки, включити живлення і плавно збільшуючи постійну напругу добитися спрацювання електромагнітного реле. Зняти покази приладів і занести в таблицю $U_{\text{спр}}$ - напругу спрацювання і $I_{\text{спр}}$ - струм спрацювання реле.

3. Виставити номінальну напругу згідно паспорта реле, зняти покази приладів і занести в таблицю $I_{\text{ном}}$ і $U_{\text{ном}}$.

4. Плавно зменшуючи напругу живлення добитися відпускання реле. Зняти покази приладів і занести в таблицю $U_{\text{відп}}$ - напругу відпускання і $I_{\text{відп}}$ - струм відпускання.

5. Досліди провести по три рази для реле № 1 і реле № 2

Таблиця 1.1

Дослідження вольт амперних характеристик електромагнітних реле

Реле		$U_{\text{спр}}, \text{В}$	$I_{\text{спр}}, \text{mA}$	$U_{\text{відп}}, \text{В}$	$I_{\text{відп}}, \text{mA}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$I_{\text{ном}}, \text{mA}$
Реле № 1	1						
	2						
	3						
Реле № 2	1						
	2						
	3						

Дослідження часових характеристик

6. Зібрати схему рис. 1.11.

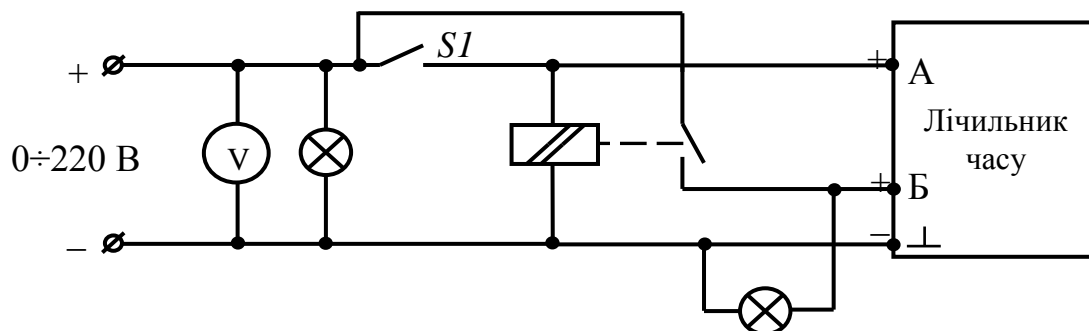


Рис. 1.11. Дослідження часу спрацювання реле

7. Після перевірки викладачем включити живлення і визначити час спрацювання при різних напругах. Отримані дані занести в таблицю 1.2. Досліди провести для реле № 1 і реле № 2 по три рази для часу спрацювання і часу відпускання, для різних значень напруги.

Таблиця 1.2

Залежність часу спрацювання і відпускання електромагнітного реле від напруги

Реле			$0,8U_n$	$0,9U_n$	U_n	$1,1U_n$
Реле № 1	$U_{живл}, В$					
	$t_{спр.}, сек$	1				
		2				
		3				
	$t_{від.}, сек$	1				
		2				
3						
Реле № 2	$U_{живл}, В$					
	$t_{спр.}, сек$	1				
		2				
		3				
	$t_{від.}, сек$	1				
		2				
3						

8. Зібрати схему рис. 1.12.

9. Після перевірки викладачем включити живлення і визначити час відпускання при різних напругах. Отримані дані занести в таблицю 4.2.

10. Замалювати у звіт реле постійного струму в розрізі з розмірами. Переписати паспортні дані і дані котушки.

11. Замалювати у звіт реле постійного струму з затримкою на відпускання в розрізі. Переписати паспортні дані і дані котушки.

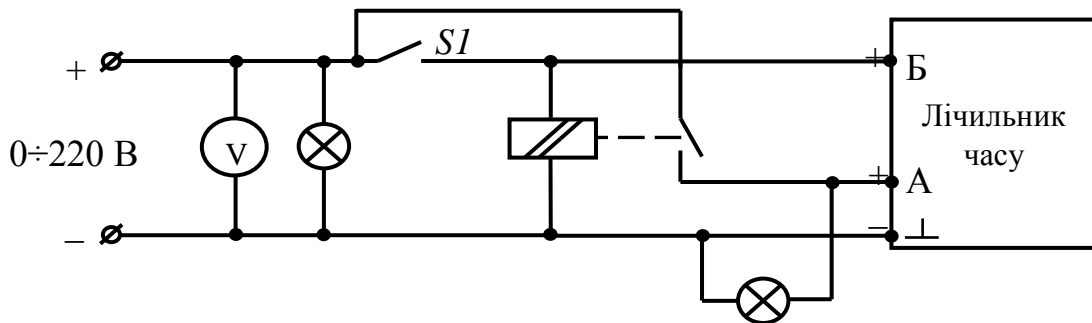


Рис. 1.12. Дослідження часу відпускання реле

1.4. Опрацювання експериментальних даних

1. Обрахувати середні значення напруг струмів і потужностей і занести в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Дослідження вольт амперних характеристик електромагнітних реле

Реле	$U_{спр.}$, В	$I_{спр.}$, mA	$P_{спр.}$, Вт	$U_{відп.}$, В	$I_{відп.}$, mA	$P_{відп.}$, Вт	$U_{ном.}$, В	$I_{ном.}$, mA	$P_{ном.}$, Вт
Реле № 1									
Реле № 2									

2. Обрахувати середні значення часу спрацювання і відпускання і занести в табл. 1.5.

Таблиця 1.5.

Залежність середнього часу спрацювання і відпускання електромагнітного реле від напруги

Реле		$0,8U_n$	$0,9U_n$	U_n	$1,1U_n$
Реле № 1	$U_{живл}, В$				
	$t_{спр.}, сек$				
	$t_{від.}, сек$				
Реле № 2	$U_{живл}, В$				
	$t_{спр.}, сек$				
	$t_{від.}, сек$				

3. Обрахувати густину струму в мідному проводі.

4. Нарисувати схему вмикання та розрахувати величину додаткового опору для зменшення енергоспоживання реле постійного струму після спрацювання. Відомо, що резистор вмикається послідовно із котушкою лише на час спрацювання, а потім шунтується нормально замкнутими контактами реле.

Прийняти $I_{ном} > 1,1 \cdot I_{відп.}$

5. Обрахувати яка кількість тепла виділиться на котушці за добу.

6. Зробити висновок по роботі.

1.5. Контрольні питання

1. Будова і принцип дії електромагнітних реле постійного струму.
2. Основні електротехнічні і часові характеристики електромагнітних реле постійного струму.
3. Електромагнітні реле спрацьовують від струму чи від напруги?
4. Яке отримано в результаті вимірювань співвідношення між напругою спрацювання відпускання і номінальною.
5. Електромагнітні реле постійного струму з затримкою на відпускання (ре часу), їх конструкція і принцип дії.
6. Де використовується реле часу ?
7. Назвіть основні загальні вимоги до реле часу ?
8. Дайте визначення поняттю „ час спрацювання реле” ?
9. В чому полягає принцип магнітного демпфування ?

10. Від чого залежить швидкість зміни магнітного потоку ?
11. Від чого залежить стала часу реле ?
12. Як впливає на витримку часу заміна мідного демпфера на алюмінієвий ?
13. Обґрунтуйте, вплив на витримку часу збільшення температури оточуючого середовища ?
14. Яке призначення масивної основи реле ?
15. Як впливає на витримку часу товщина немагнітної прокладки і затягування протидіючої пружини ?
16. Зобразити схему для дослідження електричних характеристик електромагнітних реле часу.
17. Від чого залежить напруга і струм спрацювання електромагнітних реле постійного струму.
18. Що буде якщо включити електромагнітне реле постійного струму на змінний?

Лабораторна робота №2

МАГНІТНІ ПУСКАЧІ І СХЕМИ ЇХ ВКЛЮЧЕННЯ

Мета роботи: Вивчити принципи дії і конструкцію магнітного пускача. Визначити основні технічні параметри магнітного пускача. Дослідження схем включення магнітного пускача.

2.1. Теоретичні відомості

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

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

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

- для пуску безпосереднім підключенням до мережі та зупинки (відключення) електродвигуна (нереверсивні пускачі);
- для пуску, зупинки і реверсу електродвигуна (реверсивні пускачі). Крім цього, пускачі в виконанні з тепловим реле здійснюють також захист керованих електродвигунів від перевантажень неприпустимої тривалості робочого циклу.

Магнітні пускачі відкритого виконання призначені для установки на панелях, у закритих шафах та інших місцях, захищених від попадання пилу і сторонніх предметів.

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

Магнітні пускачі пилоблизконепроникного виконання використовують як для внутрішнього, так і для зовнішнього встановлення в місцях, захищених від сонячних променів і від дощу (під навісом).

Досить часто магнітні пускачі використовують і без теплових реле. Дуже важко провести чітку границю між контактором та магнітним пускачем. Проте, є певні відмінності в будові цих апаратів і, як правило, в позначеннях магнітних пускачів є літери ПМ (рис. 2.1) або ПА, а контакторів – КТ (рис.2.2). Також

контактори, як правило, використовуються на струми 50-250 А (магнітні пускачі – до 40 А) і мають більші розміри, порівняно з магнітними пускачами. Контактор має дугогасильну камеру на відміну від магнітного пускача. І, нарешті, остання відмінність – це наявність у контактора більше трьох силових контактів, оскільки, згідно визначення, контактор використовується для комутації будь-яких силових кіл, а магнітний пускач – для пуску, зупинки, реверсу трьохфазних двигунів. Дізнатися відомості про електричний апарат можна також за допомогою довідників. Хоча в сучасному виробництві такі відмінності дуже сильно згладжуються – чітких позначень немає, будова мало чим відрізняється і в довідниках можуть бути відсутні відомості. Найкраще визначати згідно заводської назви.



Рис. 2.1. Магнітний пускач ПМ-S-25



Рис. 2.2. Контактор малогабаритний

Розрізняють контактори з прямоходовою магнітною системою та з поворотним якорем.

Магнітні пускачі, як правило, побудовані з прямоходовою магнітною системою, хоча і зустрічаються з поворотним якорем (ПА). Розглянемо контактор з прямоходовою магнітною системою та магнітний пускач серії ПМА (рис.2.3).



Рис. 2.3. Магнітний пускач ПМА

Принцип дії та будова контактора з прямоходовою магнітною системою.

У контакторах з прямоходовою магнітною системою (рис. 2.4) нерухомою частиною є осердя 7 з котушкою 6, які встановлюються нерухомо на основі 9. Рухомою частиною контактора є якір 4, який зв'язаний з головними рухомими та допоміжними контактами.

При подачі напруги на котушку контактора виникає магнітне поле, під дією якого рухома магнітна система притягується до нерухомої. Тобто якір притягується до осердя, а рухомі контакти — до нерухомих. Таким чином забезпечується проходження електричного струму в силовому й допоміжному колі контактора. На головні та допоміжні контакти контактора встановлено пружини для створення необхідного натискування і зменшення перехідного опору контактів. Допоміжні розмикаючі й замикаючі контакти призначені для роботи в електричних колах керування.

При розмиканні головних контактів на великих струмах виникає електрична дуга, яка може призвести до руйнування контактної системи. Тому головні контакти контактора, що працюють при великих силах струму

обладнують дугогасильними камерами з жаростійкого ізоляційного матеріалу. В контактора на рис 2.4 вони відсутні.

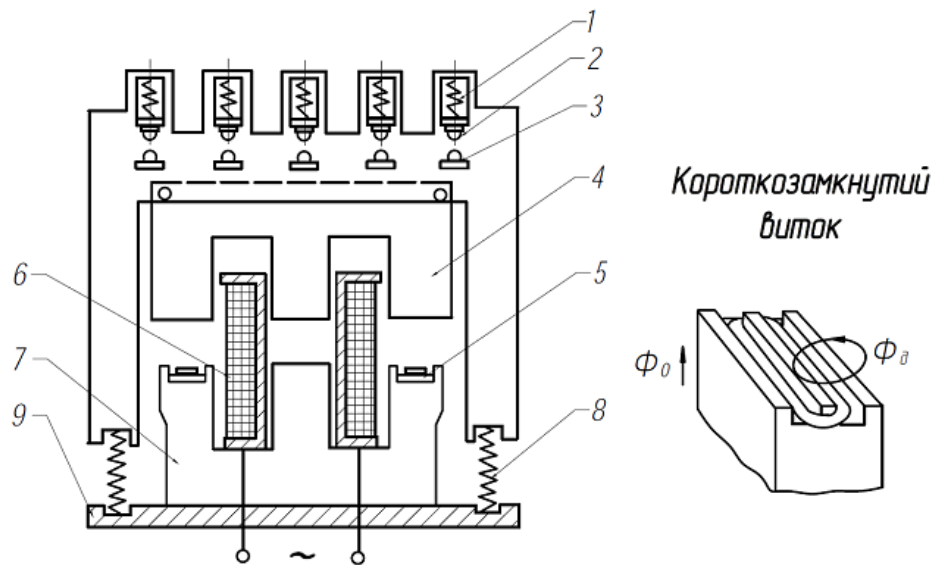


Рис. 2.4. Принципова схема електромагнітного контактора з прямоходовою магнітною системою: а — будова магнітного контактора; б — короткозамкнений виток у магнітній системі контактора; 1 і 8 — пружини; 2 — рухомі контакти; 3 — нерухомі контакти; 4 — яркір; 5 — короткозамкнений виток; 6 — котушка; 7 — осердя; 9 — основа

У контакторах постійного струму осердя і яркір виконують суцільнометалевими, а у контакторах змінного струму — шихтованими, тобто набраними з окремих ізольованих пластин електротехнічної сталі.

При проходженні змінного струму по котушці контактора у магнітній системі виникає магнітний потік, який періодично проходить через нуль. Це викликає вібрацію та гудіння магнітної системи, оскільки контактор живиться змінним струмом. Щоб зменшити це явище, на торці осердя контактора змінного струму встановлюють мідний короткозамкнений виток (див. рис. 2.4). Він охоплює приблизно 1/3 площі торця осердя контактора. Коли основний магнітний потік проходить через нуль, його величина швидко змінюється і тому в короткозамкненому витку утворюється максимальна е.р.с. У цьому разі короткозамкнений виток є вторинною обмоткою трансформатора. У короткозамкненому витку е.р.с. утворює струм, що сприяє утворенню магнітного потоку Φ_{σ} , який замикається через осердя та яркір і перешкоджає відпаданню ярка при переході основного потоку через нуль. Таким чином зменшується вібрація магнітної системи контактора.

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

Принцип дії та будова магнітного пускача серії ПМА

Будова та принцип дії аналогічні розглянутому вище контактору з прямоходовою магнітною системою. Різницею є наявність додаткових контактів (блок – контактів) нормально замкнутих і нормально розімкнутих, що слугують для управління вторинним колом пускача, а також лише три силових контакти – це і є однією з основних відмінностей між контактором та магнітним пускачем (рис. 2.5).

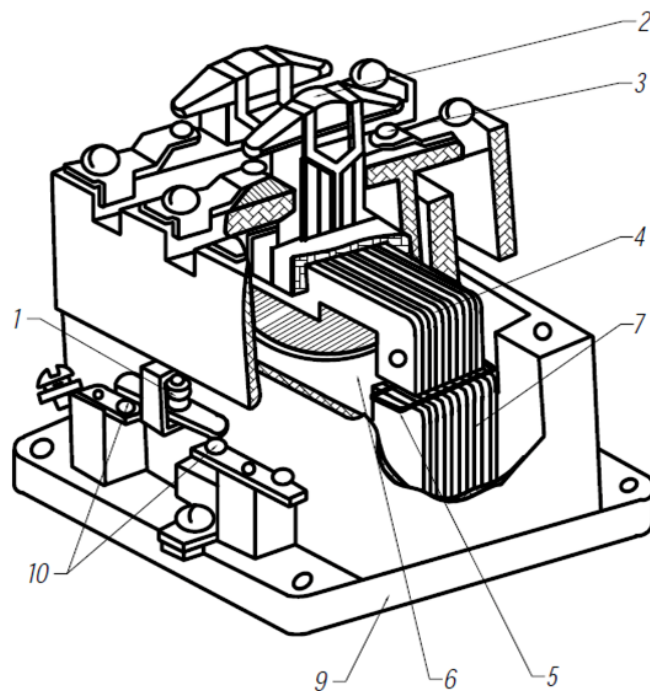


Рис. 2.5. Магнітний пускач серії ПМА: 1 — пружина; 2 — рухомі контакти; 3 — нерухомі контакти; 4 — якір; 5 — короткозамкнений виток; 6 — котушка; 7 — осердя; 9 — основа

При підключенні магнітного пускача або контактора до електричного кола слід звертати увагу на номінальну напругу котушки. Котушки магнітних пускачів та контакторів виготовляють на напруги 24; 36; 127; 220; 380 В.

Особливості умов роботи пускача полягають в наступному. При включенні асинхронного двигуна пусковий струм досягає 6-7 кратного значення від номінального. В таких умовах навіть незначна вібрація контактів часто приведе до виходу їх з ладу. Після розгону двигуна струм зменшується до номінального значення. При відключенні двигуна, який обертається, напруга на контактах магнітного пускача (МП) складає 15...20% від номінального, тобто

умови роботи контактів полегшені. МП серії ПМА випускають на номінальні струми головного кола 25, 40, 63, 100, 160А.

Котушка МП підключається до джерела змінної напруги. На відміну від електромагнітів постійного струму котушка електромагніта на змінному струмі має активний так і індуктивний опір. Сила струму в котушці електромагніта.

$$I = U / \sqrt{R^2 + X_L^2} = U / \sqrt{R^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot W^2 \cdot \lambda)^2}$$

де U – напруга на котушці, В;
 R - активний опір котушки, Ом;
 X_L - індуктивний опір котушки, Ом;
 f - частота мереж живлення, Гц;
 W – число витків котушки;
 λ - магнітна провідність електромагніта, 1/Гн.

Магнітна провідність електромагніта визначається в основному повітряним зазором між якорем і осердям, і спрощено її можна визначити з формули

$$\lambda = \mu_0 \cdot S / \delta$$

де S – площа полюса, м²
 δ - повітряний зазор, м.

Таким чином струм, який протікає по котушці при незмінній напрузі, залежить від значення повітряного зазору електромагніта.

При подачі напруги на котушку електромагніта через неї проходить пусковий струм, значно більшої величини, ніж в номінальному режимі, внаслідок більшого початкового повітряного зазору. При русі якоря цей зазор, а разом з ним і струм, зменшується. В притягнутому стані якоря по котушці протікає струм, в декілька разів менший пускового.

Принцип дії та будова теплового реле ТРН (рис.2.6)

Широкого поширення набули термореле з біметалічною пластиною. У основі роботи реле теплового лежить явище деформації біметалічної пластини при її нагріві. Прогинаючись, біметалічна пластина своїм вільним кінцем впливає на контактну систему. Біметалічна пластина складається з двох пластин, одна з яких має більший температурний коефіцієнт розширення, а інша – менший. У місці прилягання один до одного пластини жорстко скріплені

між собою прокатом в гарячому стані або зварюванням. При нагріванні відбувається вигин пластини з великим температурним коефіцієнтом розширення у бік матеріалу з меншим. Нагрів біметалічного елемента може виконуватися від тепла, що виділяється в пластині, за рахунок протікання струму навантаження і від спеціального нагрівача, по якому протікає струм навантаження. Кращі характеристики досягаються при використанні комбінованого нагріву, коли пластина нагрівається і за рахунок тепла, що виділяється струмом, що проходить через біметал, і за рахунок тепла, що виділяється спеціальним нагрівачем. В нашому випадку в реле ТРН використовується лише спеціальний нагрівач.



Рис. 2.6. Теплове реле ТРН

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

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

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

Теплові елементи реле ТРН-8А (ТРН-10А) складаються з термобіметалічної пластини із закріпленням на ній незмінним нагрівачем, а

теплові елементи реле решти типів – з термобіметалічної пластини з розташованим під нею змінним нагрівачем, прикріпленим двома гвинтами до силових затисків реле. Нагрівачі закривають легкознімною кришкою, яка стримується пружиною.

Схема пристрою і принципу роботи реле показана на рис. 2.7. Реле складається з нагрівального елемента 1, що включається послідовно в одну з фаз ланцюга електродвигуна, біметалічної пластини 2, що утримує спусковий механізм 4, 5, нормально замкнутих контактів 8, 9, які включаються послідовно в ланцюг котушки пускача. При збільшенні струму в результаті перевантаження двигуна температура нагрівального елемента зростає.

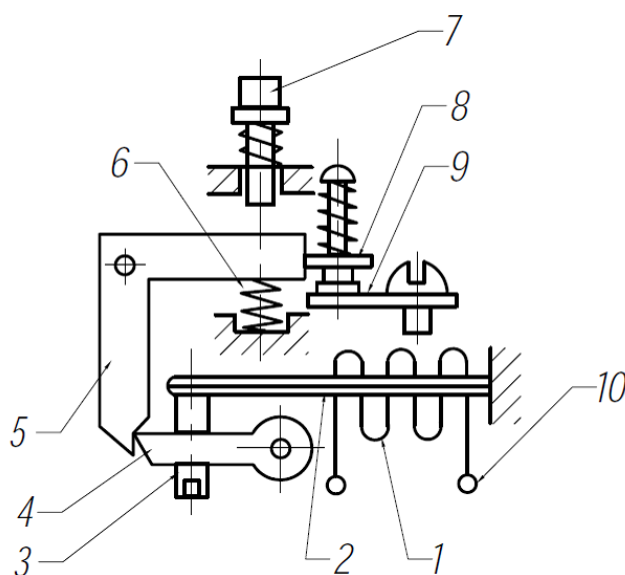


Рис. 2.7. Теплове реле ТРН: 1 – нагрівач; 2 – біметалева пластина; 3 – регулювальний гвинт; 4 – защіпка; 5 – важіль; 6 – пружина; 7 – кнопка повернення; 8 – рухомий контакт; 9 – нерухомий контакт; 10 – вивід нагрівача

Під впливом тепла, що виділяється нагрівачем термобіметалічний елемент деформується, його ліва частина, відхиляючись убік впливає на розмикаючі контакти і розриває ланцюг живлення утримуючої котушки, внаслідок чого пускач відключається. Теплове реле забезпечене пристроєм для ручного повернення контактів, після закінчення часу, необхідного для охолодження термобіметалічного елемента після спрацювання, що складається з системи важелів, керованих кнопкою 7. Встановлюваний в тепловому реле нагрівач є змінною деталлю і підбирається по номінальному струму електродвигуна, що захищається. Струм спрацювання реле може змінюватися в певних межах за допомогою регулятора 3 уставок струму. Межі регулювання струму

спрацьовування вказані на шкалі уставок струму, розташованій у верхній частині реле.

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

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

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

Межі регулювання номінального струму уставки (при крайніх положеннях регуляторів) складають для реле ТРН-8А і ТРН-10А $(0,8 \dots 1,25) I_n$, а для реле решти типів – $(0,75 \dots 1,3) I_n$.

Тип реле і номінальний струм теплового елемента вибирають з умов, аби максимальний струм тривалого режиму реле (з даним тепловим елементом) був не менш номінального струму електродвигуна, що захищається, струм уставки реле дорівнював номінальному струму електродвигуна (або дещо більше цього струму – в межах 5%), а запас на регулювання струму уставки як у бік його збільшення, так і у бік зменшення був невеликим. Струм уставки визначається з того, що кожне з 10 ділень уставки (по 5 ділень вліво і вправо від нульової позначки) відповідає в середньому 5% номінального струму теплового елемента.

Сема підключення асинхронного двигуна через магнітний пускач (не реверсивна схема)

Схема (рис.2.8) складається: з QF - автоматичного вимикача; KM1 - магнітного пускача; P - теплового реле; M - асинхронного двигуна; ПР - запобіжника; кнопки управління (С-стоп, Пуск). Розглянемо роботу схеми в динаміці.

Живлення подається автоматичним вимикачем QF. При нажатті на кнопку «Пуск» подається напруга на котушку KM1 - магнітного пускача. Магнітний пускач спрацьовує і своїми нормально розімкненими, силовими

контактами подає напругу на двигун. Для того щоб не утримувати кнопку «Пуск» і щоб двигун працював, потрібно її зашунтувати, нормально розімкненим блок контактом КМ₁ - магнітного пускача.

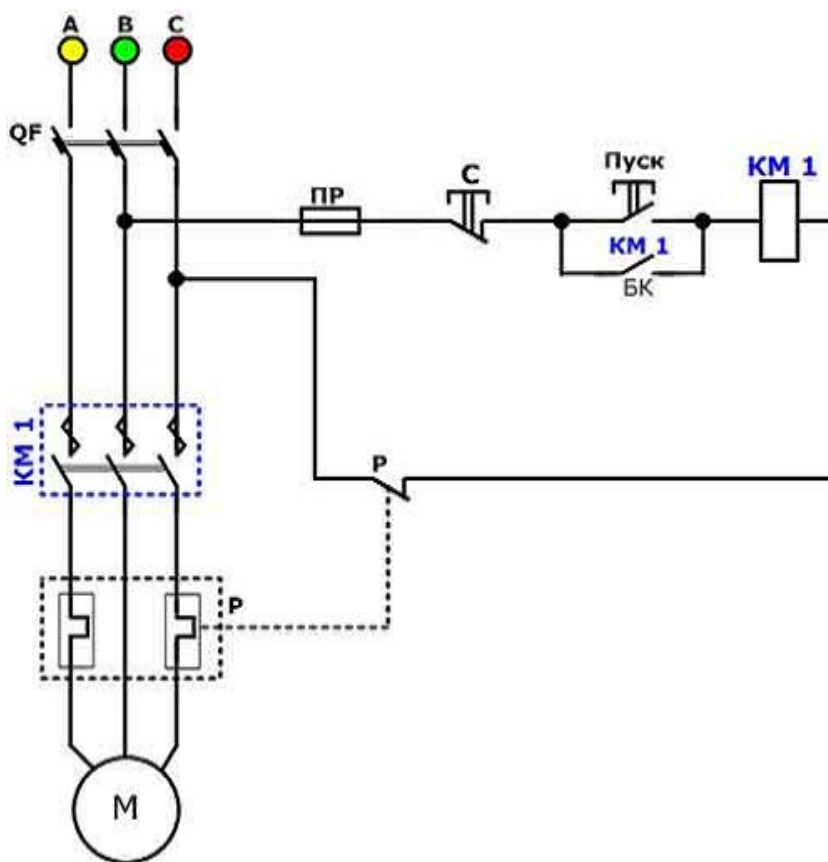


Рис. 2.8. Не реверсивна схема підключення магнітного пускача

При спрацьовуванні пускача блок контакт замикається і кнопку «Пуск» можна відпустити, а струм буде протікати через блок контакт КМ₁.

Для відключення двигуна потрібно натиснути кнопку «С - стоп», нормально замкнутий контакт розмикається і припиняється подача напруги до котушки КМ₁, осердя пускача під дією пружин повертається у вихідне положення, відповідно контакти повертаються в нормальний, розімкнутий, стан, відключаючи двигун. При спрацьовуванні теплового реле - «Р», розмикається нормально замкнутий контакт «Р», відключення відбувається аналогічно.

Реверсивна схема включення магнітного пускача з котушкою 380В.

Схема складається аналогічно як і не реверсивна, єдине, що додатково використовується кнопка реверсу і другий магнітний пускач (рис.2.9).

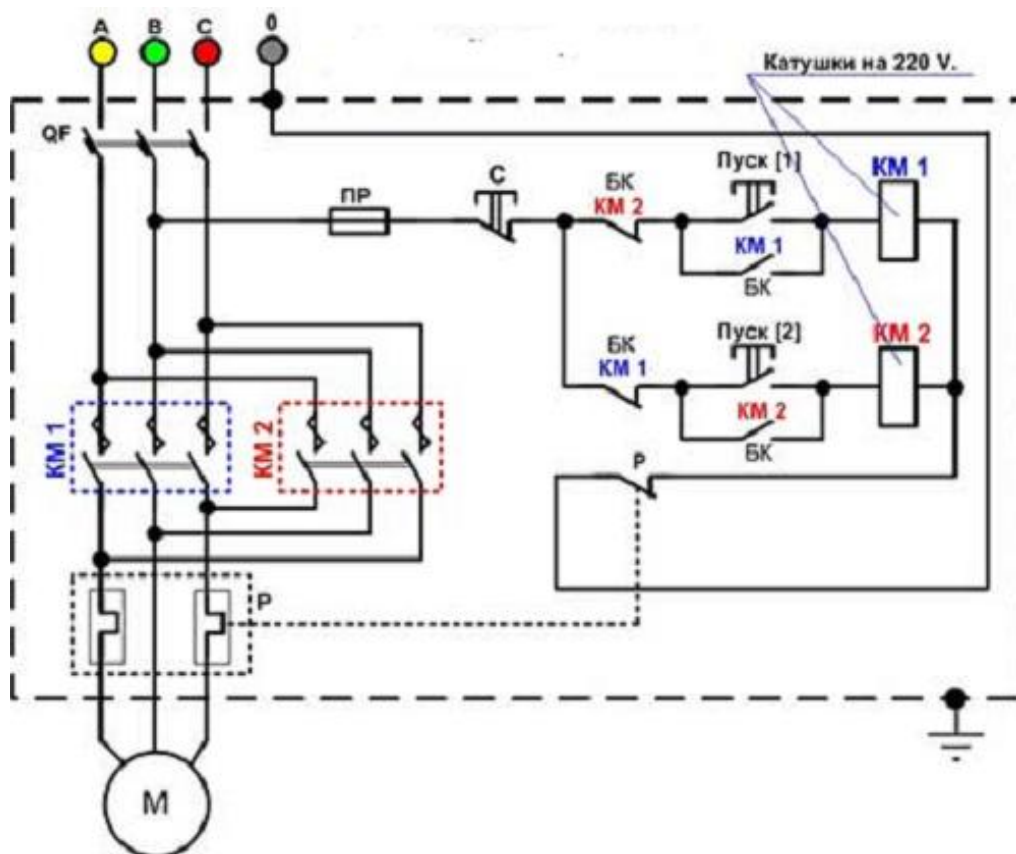


Рис. 2.9. Реверсивна схема підключення магнітного пускача

Принцип роботи схеми дещо складніший. Розглянемо його в динаміці. Тут реверс двигуна здійснюється за рахунок перевертання місцями двох фаз. При цьому потрібно здійснити блокування, яке б не давало включитися другому пускачу, якщо перший знаходиться в роботі і навпаки. Якщо включити два пускача одночасно то відбудеться КЗ (коротке замикання) на силових контактах пускача.

Для подачі живлення на схему, потрібно включити автоматичний вимикач QF. Потім натисненням кнопки «Пуск [1]» подається напруга на КМ1 котушку пускача, пускач спрацьовує. Силowymi контактами включає двигун, при цьому шунтується пускова кнопка «Пуск [1]».

Блокування другого пускача КМ2 здійснюється, нормально замкнутим блок контактом КМ1. При спрацьовуванні першого пускача, розмикається блок контакт КМ1 тим самим розмикає коло котушки другого магнітного пускача КМ2.

Щоб здійснити реверс двигуна, його необхідно відключити. Відключається двигун, натисканням на кнопку «С - стоп». При цьому

знімається напруга з котушки, яка перебувала в роботі. Пускач і блок контакти під дією пружин повертаються у вихідне положення.

Схема готова до реверсу. Натискається кнопка «Пуск [2]». Подається напруга на котушку КМ2, пускач КМ2 спрацьовує і включає двигун в протилежному напрямку обертання. Кнопка «Пуск [2]» шунтується блоком контактом КМ2, а нормально замкнутий блок контакт КМ2 розмикається і блокує готовність котушки магнітного пускача - КМ1.

При спрацьовуванні теплового реле - «Р», розмикається нормально замкнутий контакт «Р», відключення відбувається аналогічно.

Принцип роботи схеми магнітного пускача з котушкою на 380В той же, що і з котушкою на 220В.

При підвищених вимогах безпеки (підвищена вологість у приміщенні) досить просто застосувати пускач з котушкою наприклад, на 24 В. А напруга живлення електрообладнання при цьому може складати 380 В

Технічні дані пускачів серії ПМА

Номінальні струми, напруги та значення потужностей керованих електродвигунів приведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1

Технічні дані пускачів серії ПМА

Величи на пускачах	Номінальний струм, А	Найбільша потужність керованого двигуна, кВт, при різних напругах, В			
		220	380	500	660
3	40	11,0	18,5	22	18,5
4	63	18,5	30,5	45	37,5
5	100	30,5	55,0	75	55,0
6	160	45,0	75,0	110	50,0

Допустима частота включень в режимі нормальних комутацій при відносній тривалості і включень ПВ 40% пускачів третьої та четвертої величин - 1200, п'ятої та шостої величини - 600 включення в час.

Механічна зносостійкість пускачів третьої та четвертої величин $16 \cdot 10^6$, а п'ятої та шостої величини $10 \cdot 10^6$ циклів.

Потужності, які споживаються включаючими котушками пускачів при номінальній напрузі приведені в табл.2.2.

Час спрацювання контактора пускача 3 величини (40 А) *не більше 20 мс* при подачі номінальної напруги на котушку. Встановлені в пусках теплові реле спрацьовують за час *не більше 20 хв.* при струмі, рівному 1,2 від номінального струму теплового елемента.

Таблиця 2.2

Потужності, які споживаються включаючими котушками пускачів при номінальній напрузі

Величина пускача	Потужність котушки, В·А	
	при включенні	при утриманні
3	200	30
4	280	45
5	320	45
6	500	74

Включення і нормальна робота пускача забезпечуються при напрузі на затискачах котушки 85...110 % від номінального. Якір електромагніта повинен утримуватися в повністю притягнутому положенні (допускається різке гудіння електромагніту) при зниженні напруги до 70 % від номінального.

При напрузі на котушці 60% від номінального контактора не повинен включатися. Номінальний струм контактів допоміжного кола 6,3 А – для третьої, четвертої і п'ятої величин пускачів і 10А – для пускачів шостої величини.

2.2. Завдання для підготовки

Розрахувати струм, який протікає через обмотку котушки магнітного пускача, якщо відомі площа полюса електромагніту S , повітряний зазор δ , $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м; кількість витків обмотки котушки W , частота мережі живлення f , напруга мережі U . Активний опір котушки R .

Числові значення заданих величин по варіантах приведені в табл. 2.3

Вихідні дані

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S, \text{мм}^2$	40	45	50	60	60	40	30	35	50
$\delta, \text{мм}$	1	1,5	2	0,5	3,0	3,2	3,7	3,8	0,5
W	1000	4000	1000	50	400	200	1500	1900	70
$f, \text{Гц}$	50	60	150	400	50	60	150	60	400
$U, \text{В}$	127	220	110	36	24	12	150	180	42
$R, \text{Ом}$	500	610	310	210	720	630	390	200	200

№ варіанту	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$S, \text{мм}^2$	45	42	36	38	50	52	60	64	30
$\delta, \text{мм}$	1,1	1,8	2,5	3	27	2,8	2,5	2,6	0,2
W	500	500	300	200	100	800	900	1000	100
$f, \text{Гц}$	1000	50	60	100	400	50	60	200	200
$U, \text{В}$	80	60	40	36	12	100	110	127	36
$R, \text{Ом}$	100	800	780	620	310	400	380	250	100

2.3. Схема установки

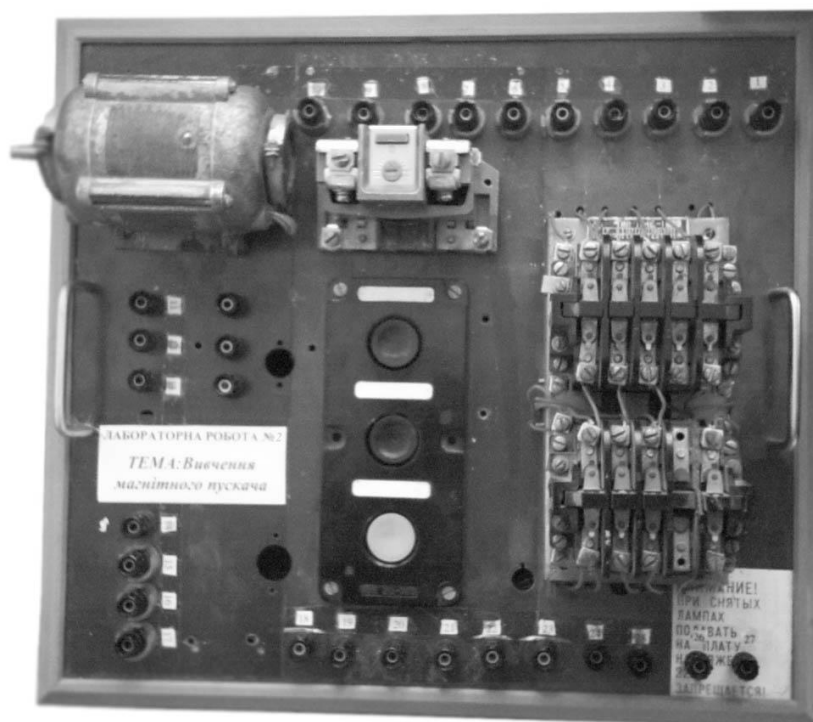


Рис. 2.10. Зовнішній вигляд установки

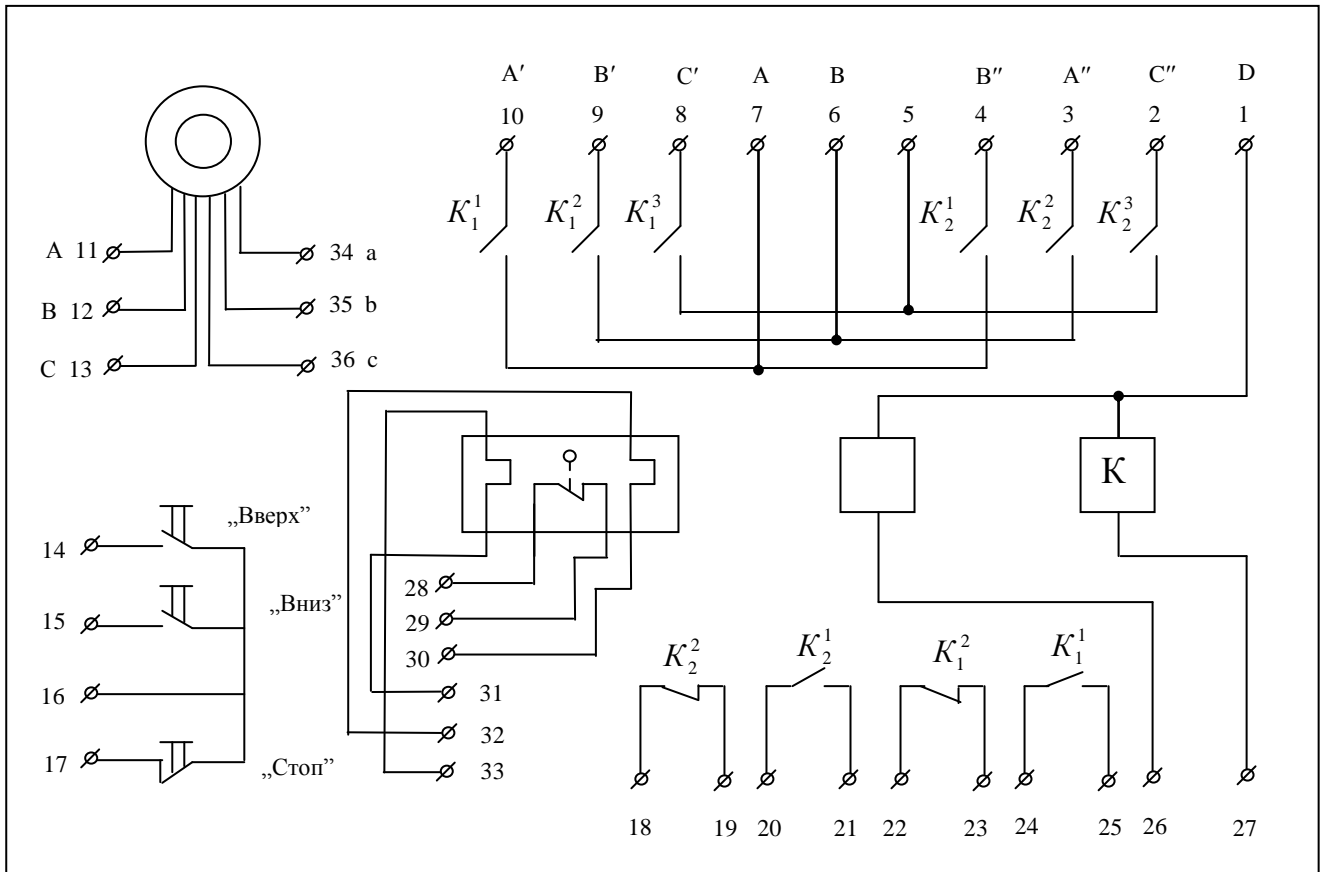


Рис. 2.10. Електрична схема установки

2.4. Хід роботи

1. Зібрати схему (рис. 2.11) окремо з кожним магнітним пускатем і визначити напругу U і струм I спрацювання і відпускання МП. Визначити струм при номінальній напрузі. Отримані дані записати у таблицю 2.4.

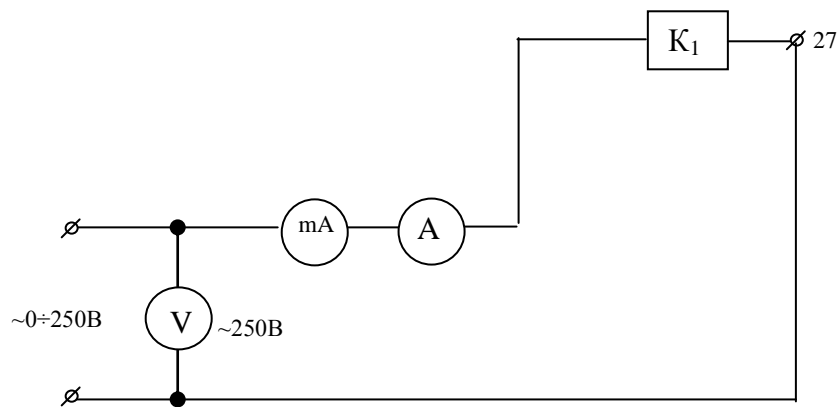


Рис. 2.11. Схема для вимірювання електричних характеристик магнітного пускача

Таблиця 2.4

Результати вимірювань

№ МП	№ експ	$I_{спр}, A$	$U_{спр}, B$	$I_{ном}, A$	$U_{ном}, B$	$I_{відп}, A$	$U_{відп}, B$	$R, Ом$
№ 1	1							
	2							
	3							
Середнє								
№ 2	1							
	2							
	3							
Середнє								

2. Записати паспортні дані магнітного пускача у звіт.
3. Виміряти активний опір котушок магнітного пускача.
4. Зібрати реверсивну схему магнітного пускача (рис. 2.12) і перевірити її у дії.
5. Виміряти струм у фазному проводі і напругу на тепловому реле.

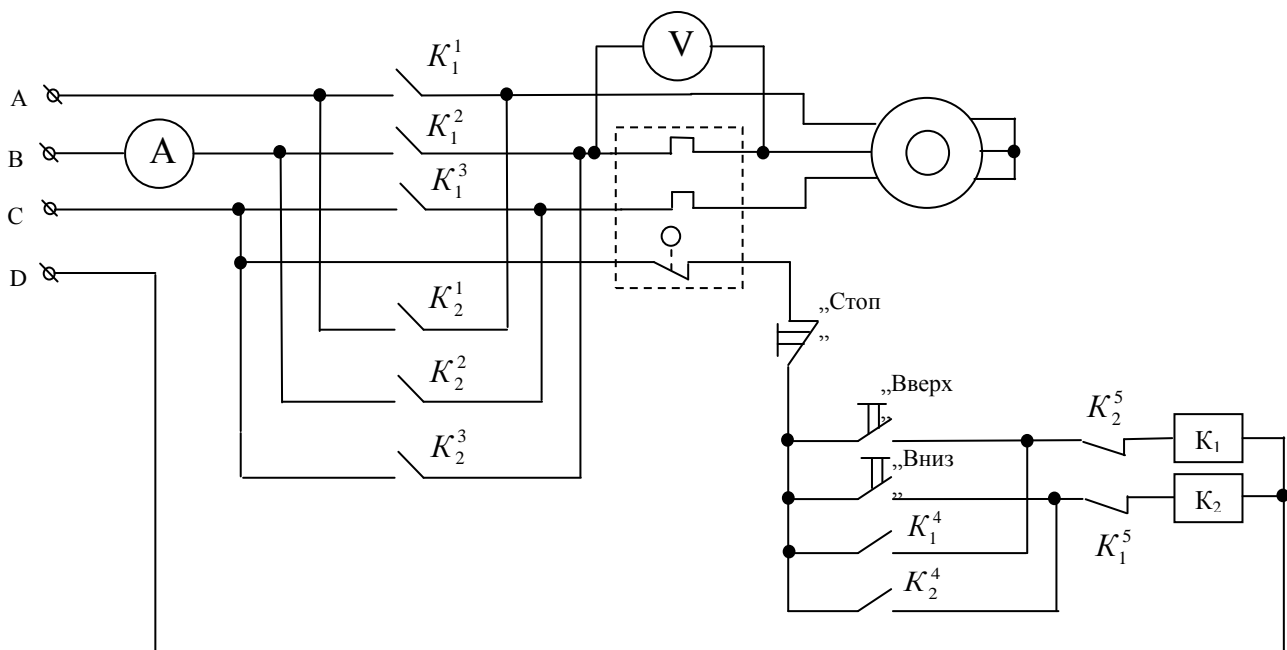


Рис. 2.12. Реверсивна схема магнітного пускача

2.5. Опрацювання експериментальних даних

1. Обчислити активну і повну потужність МП при спрацюванні і номінальній напрузі.
2. Обчислити $\cos\varphi$.
3. Обчислити активну потужність яка втрачається на тепловому реле.

2.6. Контрольні питання

1. Що таке контактор?
2. Що таке магнітний пускач?
3. Де використовуються магнітні пускачі?
4. Чому магнітопровід електромагнітів змінного струму набирають із окремих пластин сталі?
5. Які особливості роботи пускача при керуванні асинхронним двигуном?
6. Як впливає повітряний зазор в магнітній системі на струм в котушці електромагніта?
7. З якою метою разом з магнітним пускачем використовуються теплові реле?
8. В чому суть несправності, якщо при натисканні на кнопку SB2 двигун включається, а після зняття тиску – відключається?
9. Розкажіть будову магнітного пускача.
10. Розкажіть будову теплового реле.
11. Як визначити силу струму в котушці електромагніта?
12. Які особливості умов роботи магнітного пускача?
13. Намалюйте схему для визначення параметрів магнітного пускача.
14. Намалюйте схему включення нереверсивного магнітного пускача.
15. Намалюйте реверсивну схему включення магнітного пускача з тепловим захистом.
16. На яких елементах системи запуску і контролю двигуна відбуваються втрати потужності і від чого вони залежать?
17. Вхідні і вихідні електричні характеристики магнітних пускачів.

Лабораторна робота №3

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ РЕЛЕ СТРУМУ ТА НАПРУГИ

Мета роботи: Вивчити будову та принцип дії електромагнітного реле струму РТ-40, та напруги РН-53. Визначити основні технічні параметри і порівняти їх з паспортними даними

3.1. Теоретичні відомості

Реле струму РТ-40 та реле напруги РН-53 використовуються для релейного захисту та протиаварійної автоматики. Реле струму реагує на підвищення струму а реле напруги на підвищення напруги в колі яке контролюється.

В реле РТ-40 (РН-53) використано один з різновидів електромагнітних систем, яку називають системою з поперечним переміщенням якоря (рис.3.1). Магнітна система реле складається з П-подібного шихтованого магнітопровода 5 і F- подібного якоря 3, який обертається на двох на півосях 6. Якір реле утримується в початковому положенні за допомогою протидіючої спіральної пружини 7, один кінець якої зв'язаний з якорем, а другий з покажчиком установки 8.

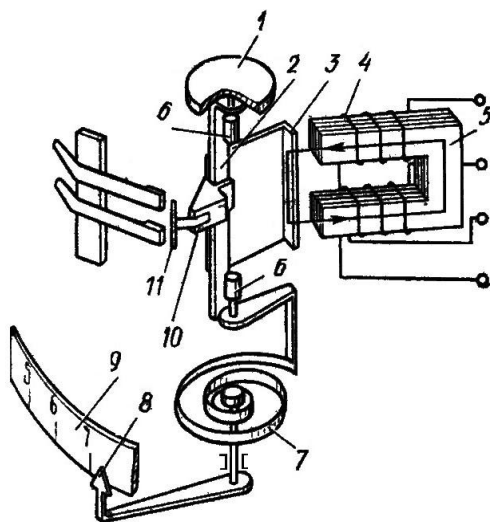


Рис. 3.1. – Реле струму РТ-40

При повертанні покажчика установка змінюється протидіючий момент пружини і відповідно струм спрацьовування реле. Необхідне положення покажчика визначається по поділкам, нанесеним на шкалі 9. На якорі закріплена пластмасова колодка 10 з рухомим контактним містком 11. В

верхній частині скоби 2, зв'язаної з якорем, закріплений порожній барабанчик 1. Він має всередині радіальні перегородки, які заповнені сухим кварцовим піском.

При будь-якому прискоренні рухомої системи піщинки піску починають рухатися і частина енергії, яку отримав якір, витрачається на подолання сил тертя між ними. Це приводить до значного зниження вібрацій рухомої системи від змінної складової тягової сили електромагніта і зменшує вібрацію контактів при їх зіткненні.

На магнітопроводі розташовані котушки 4, кінці яких виведені на затискачі цоколя реле. Перестановкою перемичок на цих затискачах можна здійснювати паралельне і послідовне з'єднання обмоток котушок і відповідно змінювати величину установок спрацьовування в два рази. Цифри, нанесені на шкалі, відповідають послідовному з'єднанню обмоток. Всі елементи реле змонтовані на рамці із алюмінієвого сплаву, яка закріплена на пластмасовому цоколі і закрита прозорим кожухом.

При проходженні струму по обмотці реле створюється магнітний потік, який замикається через осердя і якір. Потік, який пронизує якір, намагнічує його. Електромагнітна сила, пропорційна квадрату магнітного потоку, протягує якір до полюсів осердя, при цьому контакти реле замикаються.

Кут повороту якоря 2 реле обмежений упорами 1 і 3 (рис.3.2). Якщо забрати правий упор 1, то під дією електромагнітного моменту якір займе положення, яке відповідає найбільшому значенню магнітного потоку в повітряному зазорі, тобто повернеться на кут 90° . При цьому електромагнітний момент буде дорівнювати нулю.

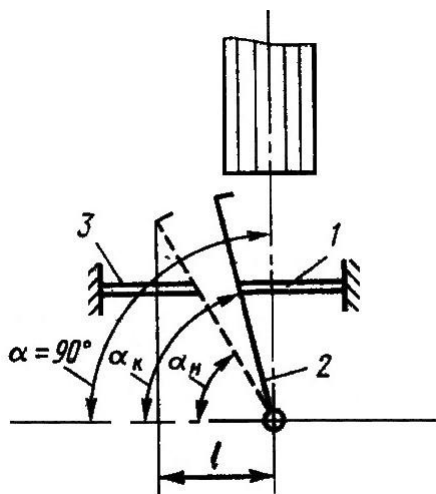


Рис. 3.2. Положення якоря під полюсами реле

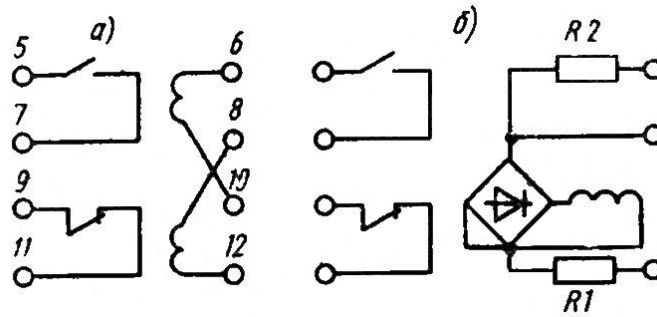


Рис. 3.3. Схема внутрішніх з'єднань:
а – реле струму; б – реле напруги

Для забезпечення необхідного натиску на контакти, робота реле повинна здійснюватись в визначених межах кутів повороту якоря. Для реле РТ-40 (РН-53) кут повороту якоря встановлюється приблизно 60° в початковому положенні ($\alpha_n=60^\circ$) і 75° в кінцевому положенні якоря ($\alpha_k=75^\circ$) див. рис. 3.2.

Конструкція реле напруги аналогічна конструкції реле струму. У реле напруги відсутній барабанчик, який гасить вібрацію рухомої системи. Для зниження вібрації обмотка реле підключається до кола, яке контролюється, через діодний міст а паралельно котушці досить часто включається конденсатор. Для розширення діапазону вимірювань послідовно включені додаткові резистори R1 і R2. Схема внутрішніх з'єднань реле приведена на рис 3.3. Реле має два діапазони установок. В діапазоні менших установок обмотка реле підключається до кола, яке контролюється, через додатковий резистор R1, а в діапазоні великих установок - через послідовно з'єднані резистори R1 і R2.

Розглянута конструкція реле має відносно високий коефіцієнт повернення – не менше 0,8. Коефіцієнтом повернення називається відношення параметра повернення до параметра спрацювання.

Кратність струму це коефіцієнт, який показує, в скільки раз струм в обмотці реле більше струму уставки.

Значення вхідного параметра X (напруги, струму), при якому відбувається спрацювання реле, називається параметром (напругою, струмом) спрацювання (рис.3.4).

До тих пір, поки $X < X_{сп}$, вихідний параметр Y дорівнює нулю (або Y_{min}). При $X = X_{сп}$ вихідний параметр скачком змінюється від Y_{min} до Y_{max} . Відбувається спрацювання реле. Якщо після спрацювання реле зменшувати значення вхідного параметра, то при $X \leq X_{відп}$ відбувається стрибкоподібне повернення вихідного параметра від значення Y_{max} до 0 –

відпускання реле. Відношення $X_{\text{відп}} / X_{\text{сп}}$ називається коефіцієнтом повернення.

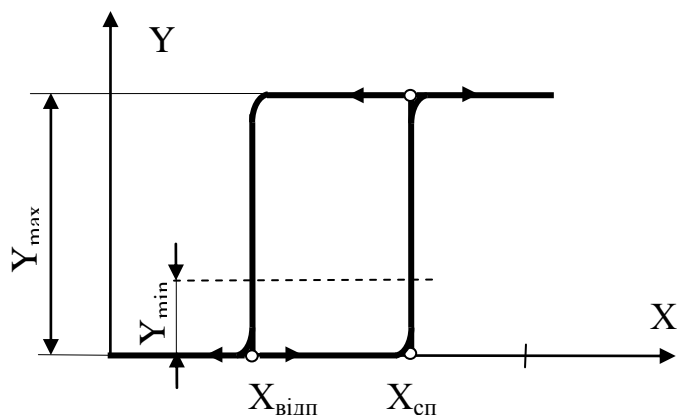


Рис. 3.4. Залежність між вхідними і вихідними параметрами

Технічні дані реле РТ-40

Реле випускаються дев'яти виконань з установками по струму від 0,05 А до 200 А. Коефіцієнт повернення реле не менше 0,85 на першій уставці і не менше 0,8 на решті установок. Похибка спрацьовування реле відносно уставки не більше $\pm 5\%$. Час замикання замикаючого контакту не більше 0,1 с при струмі $1,2 I_{\text{сп}}$ і не більше 0,03 с при $I=3 \cdot I_{\text{сп}}$. Потужність, яку споживає реле, залежить від виконання реле і при струмі уставки складає 0,2 ВА. Реле має один замикаючий і один розмикаючий контакти. Контакти реле комутують в колі постійного струму індуктивне навантаження (зі сталою часу $\leq 0,005\text{с}$) потужність 60 Вт, в колі змінного струму (при коефіцієнті потужності не менше 0,5) на навантаження потужністю 300 ВА при напрузі від 24 до 250 В і струмі до 2А.

Реле напруги РН-53

Реле напруги (РН) контролює величину напруги в установці, та при досягненні її заданого значення (уставки) спрацьовує та подає сигнал до схеми керування. РН електромагнітного принципу дії можуть працювати в колах як змінного, так і постійного струму. Розраховане на включення під напругу мережі безпосередньо або через трансформатор напруги. Конструкція реле аналогічна конструкції струмових реле.

Будова реле серії РН-50 наведена на рис. 3.5.

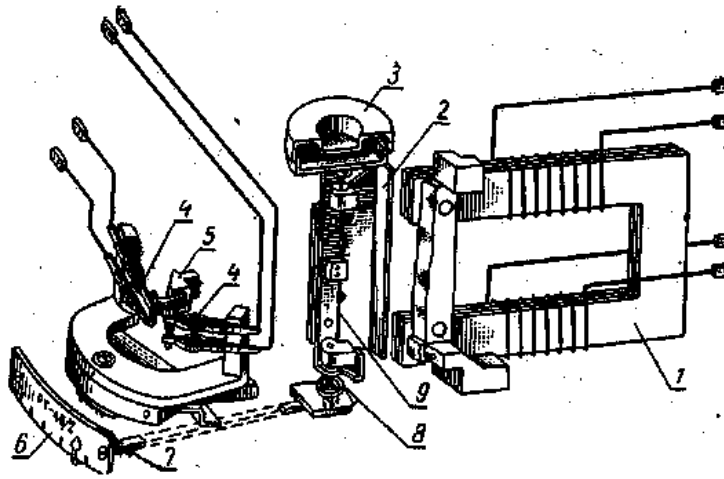


Рис. 3.5. Будова реле струму РТ та напруги РН

1- електромагніт, 2 – якір, 3 – заспокоювач коливань, 4 – нерухомий контакт, 5 – рухомий контакт, 6 – шкала для встановлення напруг спрацювання, 7 – повідок для регулювання напруг спрацювання, 8 – протидіюча пружина, 9 – вісь якоря

Відмінністю реле РН – 50 від РТ – 40 є те, що котушки РН – 50 мають більшу кількість витків з дроту малого перерізу. В реле РН – 50 активний опір перевищує реактивний. Це необхідно для надійної роботи реле. Підключається РН – 50 до мережі або трансформатора струму як вольтметр.

Реле напруги характеризується наступними параметрами: напругою спрацювання $U_{спр}$, напругою повернення $U_{п}$, коефіцієнтом повернення $k_{п}$.

Напруга спрацювання $U_{спр}$ – це напруга при якій реле замикає нормально розімкнені контакти.

Напруга повернення $U_{п}$ – це напруга при якій реле розмикає замкнені контакти.

Коефіцієнт повернення $k_{п}$ – це відношення напруги повернення до напруги спрацювання.

В реле напруги РН – 50 обмотки змінного струму включаються в мережу за допомогою випрямляючого мосту, який складається з чотирьох напівпровідникових діодів та додаткового опору (рис. 3.3, б).

Обмотки реле можуть з'єднуватися паралельно чи послідовно.

Реле РН – 50 застосовується в основному як реле мінімальної напруги, тобто реле яке реагує на зменшення напруги нижче допустимої норми або зникнення напруги.

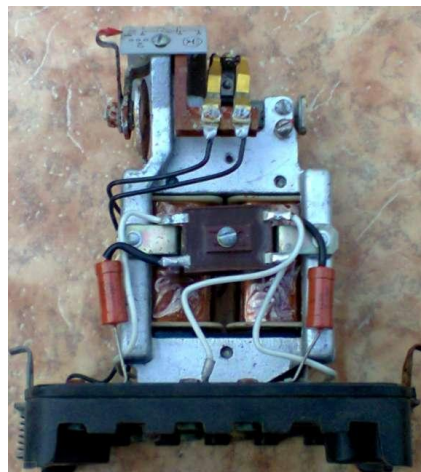
Напряга спрацювання реле регулюється зміною натягування пружини та переключенням з'єднання котушок реле. В позначеннях реле верхня межа спрацювання показується дробом. *Наприклад:* реле РН – 50/100 може бути встановлено на напругу спрацювання від 25 В до 100 В.

Для реле максимальної напруги РН – 53 максимальні межі напруг спрацювання складають 15 - 400 В.

Зовнішній вигляд реле зображено на рис. 3.6.



РТ-40



РН – 53

Рис.3.6. Реле максимальної напруги РН – 53 та реле струму РТ-40

3.2. Схема установки

На рисунку 3.7 показано зовнішній вигляд установки а на рис. 3.8 її електричну схему.

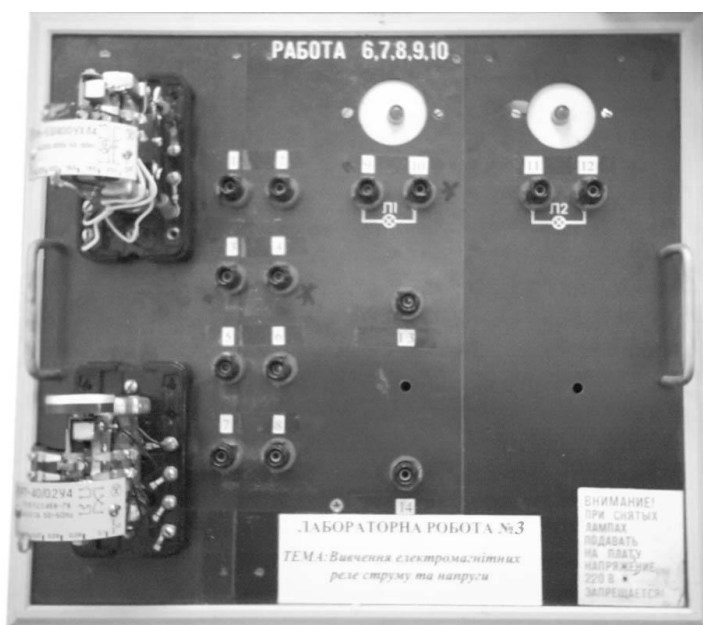


Рис. 3.7. Зовнішній вигляд дослідної установки

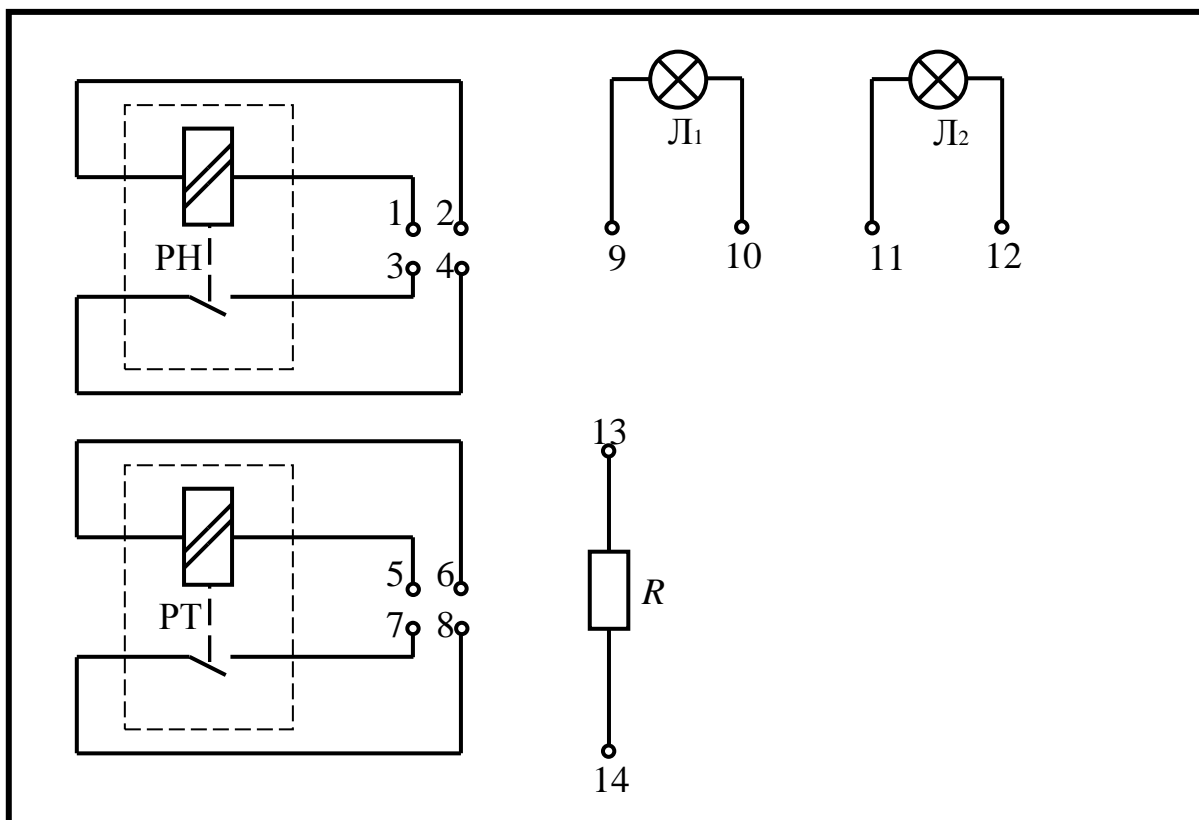


Рис. 3.8. Електрична схема дослідної установки

Дослідна установка складається з (див. рис. 3.7, 3.8):

- реле напруги РН;
- реле струму РТ;
- 2-х індикаторних ламп-світлодіодів Л1, Л2;
- резистора навантаження $R=750\Omega$, 50Вт.

(резистор використовується як навантаження при дослідженні реле струму)

3.3. Хід роботи

1. Ознайомитися зі схемою внутрішніх з'єднань та технічними даними, вказаними на таблиці реле РТ-40, РН-53. Замалювати у звіт конструкцію реле з поясненнями, електричну схему, параметри елементів, розміри магнітопроводу та обмоточні дані котушок.

2. Зібрати схему (рис. 3.9.), встановити задану викладачем напругу, визначити напругу і струм спрацювання та відпускання реле напруги. Отримані дані занести в таблицю. Виміряти електричний опір обмоток реле.

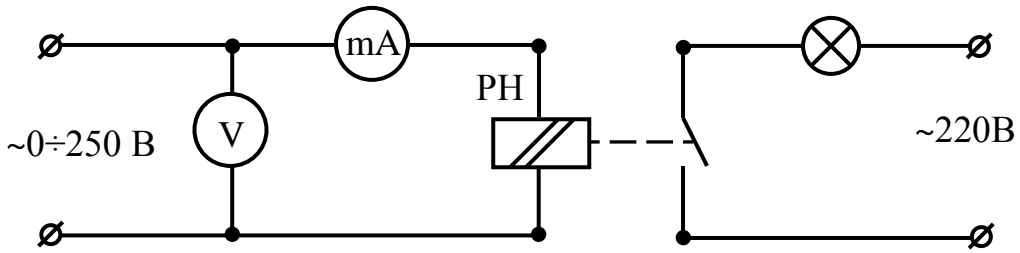


Рис. 3.9. Дослідження U , I спрацювання, відпускання РН.

3. Зібрати схему (рис. 3.10.), встановити заданий викладачем струм, визначити напругу і струм спрацювання та відпускання реле струму. Отримані дані занести в таблицю. Виміряти електричний опір обмоток реле.

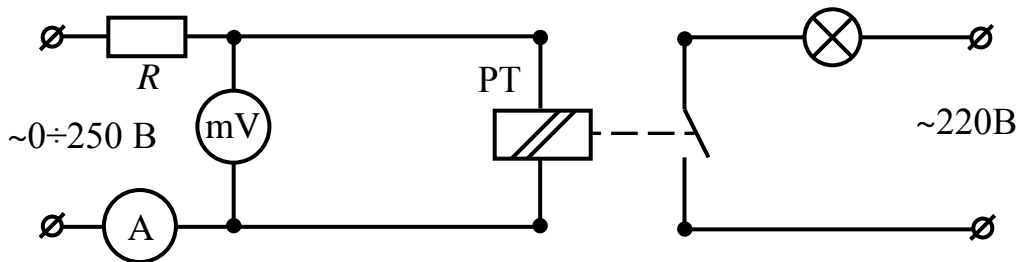


Рис. 3.10. Дослідження U , I спрацювання, відпускання РТ.

Таблиця 3.1

Дослідження реле напруги

Реле напруги	$U_{сп.},$ В	$I_{сп.},$ А	$U_{відп.},$ В	$I_{відп.},$ А	Коеф-нт повернення	S, В*А	Р, Вт	Задані викладачем	Похибка вимір.	Похибка реле
Середнє зн.										

Таблиця 3.2

Дослідження реле струму

Реле струму	$U_{сп.},$ В	$I_{сп.},$ А	$U_{відп.},$ В	$I_{відп.},$ А	Коеф-нт повернення	S, В*А	Р, Вт	Задані викладачем	Похибка вимір.	Похибка реле
Середнє зн.										

Визначення параметрів проводити при плавній зміні струму чи напруги, спрацювання і відпускання.

Спрацювання реле контролювати по стану сигнальної лампи.

3.4. Опрацювання експериментальних даних

1. Визначити повну і активну потужність, яку споживає реле та коефіцієнт повернення.
2. Знайти відносну похибку вимірювання і відносну похибку реле.
3. Розрахувати активні потужності які виділяються на кожному елементі реле напруги.

3.5. Контрольні питання

1. Визначення реле струму і реле напруги.
2. Розкажіть будову і принцип дії реле струму.
3. Розкажіть будову і принцип дії реле напруги.
4. Для чого використовують реле струму та реле напруги?
5. Намалюйте схеми включення реле струму і напруги з навантаженням.
6. Намалюйте схему внутрішніх з'єднань реле струму і напруги.
7. Яким чином здійснюється регулювання струму і напруги спрацювання?
8. Чому при паралельному з'єднанні обмоток струм спрацювання зростає в 2 рази ніж при послідовному?
9. Що називається коефіцієнтом повернення і як він визначається?
10. Як впливає на струм спрацювання зустрічне з'єднання обмоток?
11. Який рід струму проходить по котушці реле струму і реле напруги.
12. Чи спрацює реле напруги при подачі на нього постійного струму і чи будуть при цьому виміри відповідати дійсності?
13. Чи спрацює реле струму при подачі на нього постійного струму і чи будуть при цьому виміри відповідати дійсності?
14. Намалювати схему включення реле струму і реле напруги через трансформатори струму і напруги.
15. Розрахувати для заданого реле струму кількість тепла яка виділяється на кожному з елементів на протязі доби.

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПОБІЖНИКІВ І АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ

Мета роботи: вивчити будову і принцип дії запобіжників і автоматичних вимикачів. Дослідити струмо-часові характеристики спрацювання запобіжників і автоматичних вимикачів.

4.1. Теоретичні відомості

Запобіжники – це електричні апарати, призначені для захисту електричних кіл від струмових перевантажень і короткого замикання. Це – найпростіші і найпоширеніші електричні апарати, що захищають систему від перевантажень.

Запобіжники спрацьовують, як правило, від струмів, що мають величину від 1мА до 1000 А. В історії електротехніки це – перші електричні апарати для захисту від короткого замикання.

До запобіжників висувають наступні вимоги:

1. Часо-струмова характеристика запобіжника повинна проходити нижче, але якомога ближче до часо-струмової характеристики об'єкта, який захищають.

2. Час спрацювання запобіжника при КЗ повинен бути мінімально можливим, особливо під час захисту напівпровідникових приладів.

3. Запобіжники повинні працювати зі струмообмеженням (у деяких дугогасильних пристроях після виникнення дуги її опір так швидко зростає, що струм у ланцюзі починає зменшуватися за рахунок цього опору і не досягає максимально можливого значення. Такий процес вимикання називається процесом зі струмообмеженням).

4. Запобіжники повинні забезпечувати селективність захисту.

5. Характеристики запобіжника повинні бути стабільними, а технологічний розкид їх параметрів не повинен порушувати надійність захисту.

6. Запобіжники повинні мати високу здатність вимикання.

Конструкція запобіжника повинна забезпечувати можливість швидкої та зручної заміни плавкої вставки при її перегоранні.

Запобіжники поділяються на:

- 1) запобіжники низької напруги (до 660 В при $I =$ до 1000 А);
- 2) запобіжники високої напруги (до 35 кВ при $I =$ до 15кА).

Основними елементами запобіжника є:

- плавка вставка, що включається послідовно із колом, яке захищається;
- дугогасильний пристрій;

Запобіжники при спрацюванні проходять через декілька стадій:

- 1) нагрівання вставки до температури плавлення;
- 2) плавлення і випаровування вставки;
- 3) поява і гасіння дуги.

На рис. 4.1 показано різновиди запобіжників низької напруги:

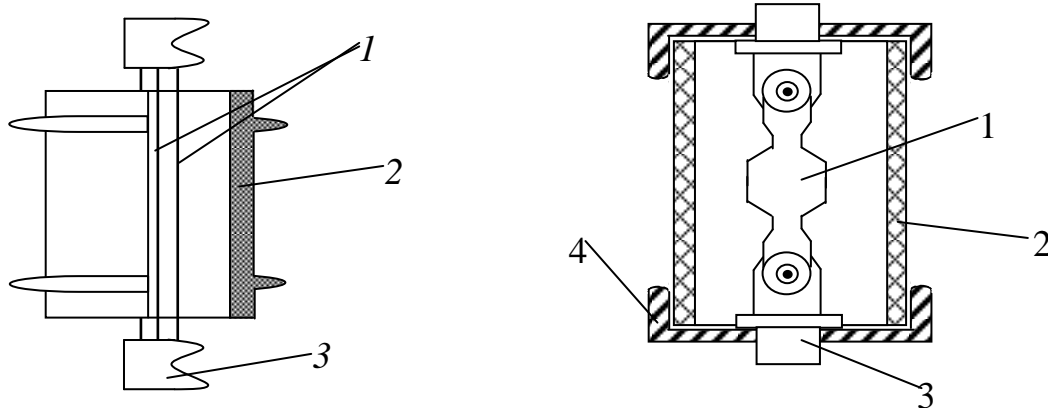


Рис. 4.1. Конструкція запобіжників.

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| а) 1 – цинкова пластина (вставка); | б) 1 – вставка; |
| 2 – фібротрубка; | 2 – фарфорова трубка; |
| 3 – електроди. | 3 – електрод; |
| | 4 – захисний ковпачок. |

Найбільш розповсюджені матеріали вставок: Cu , Zn , Al , Pl , Ag .

Срібні вставки найбільш стабільні, але дорогі.

Zn і Pb мають високу чутливість, але і великий опір.

Якщо треба забезпечити тривалу витримку часу, наприклад, при перевантаженнях, то застосовують плавкі вставки із Zn і Pb . Вони є стабільні і мають великий потенціал іонізації, що сприяє гасінню дуги. Їх негативна сторона – значний питомий електричний опір, а значить, великі затрати матеріалу, щоб отримати потрібне невелике значення опору вставки.

Al – вставки застосовують для економії дорогих матеріалів. Великий опір окисної плівки *Al* затрудняє реалізацію роз'ємних контактів на цьому матеріалі.

Сu – вставки покривають шаром олова, щоб зберегти стабільність їх перерізу, інакше він зменшиться за рахунок окислення, а значить, стабільність характеристики понизиться.

Конструкція плавкої вставки

Плавкі вставки роблять у вигляді набору окремих дротів або у вигляді пластин із фігурними вирізами, – які забезпечують необхідну конфігурацію температурного поля. Наприклад, на звужених ділянках вставки виділяється більше теплоти, чим на ширших.



Рис 4.2

Така форма сприяє дугогасінню; вона необхідна для того, щоб теплота виділялася в цих звужених областях, і при перевантаженнях запобіжник перегорів або розплавлявся в зазначених місцях.

Можлива також така конструкція запобіжника, що при певних формах плавкої вставки електродинамічні сили розривають її раніше, ніж вона розплавиться.

Запобіжники з гасінням дуги в закритому просторі

Запобіжники на струми до 60 А можуть мати спрощену конструкцію. Так, на рис. 4.3, а зображено запобіжник типу ПР-2. У ньому плавка вставка 1 притискається до латунної обойми 4 ковпачком 5, що є вихідним контактом, а на рис. 4.3, б приєднується до контактних ножів за допомогою болтів. Плавка вставка 1 штампується з цинку, що є легкоплавким та стійким до корозії матеріалом. Зазначена форма вставки дозволяє одержати сприятливу часо-струмову (захисну) характеристику.

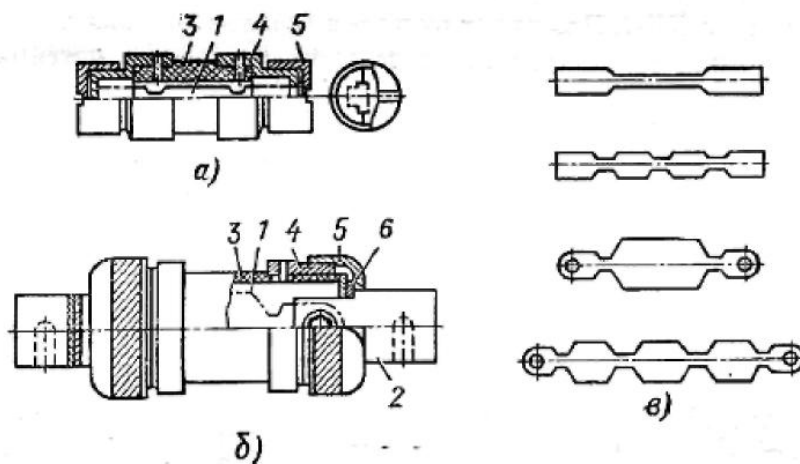


Рис. 4.3. Запобіжник типу ПР-2

Вставка розташовується в герметичному трубчастому патроні, що складається з фібрового циліндра 3, латунної обойми 4 і латунного ковпачка 5.

При відключенні згоряють звужені перешийки плавкої вставки, після чого виникає дуга. Під дією температури дуги фіброві стінки патрона виділяють газ, у результаті чого тиск у патроні за частки напівперіоду піднімається до 4..8 МПа. За рахунок збільшення тиску піднімається вольт-амперна характеристика дуги, що сприяє її швидкому гасінню.

Плавка вставка може мати від одного до кількох звужень (рис. 4.3, в) залежно від номінальної напруги. Звужені ділянки вставки сприяють швидкому її плавленню при КЗ та створюють ефект струмообмеження.

Запобіжники працюють безшумно, без викиду полум'я й газів, що дозволяє встановлювати їх на близькій відстані один від одного.

Залежно від номінального струму випускається кілька габаритів патронів різних діаметрів. У патроні кожного габариту можуть встановлюватися вставки на різні номінальні струми. Так, у патроні на номінальний струм 15 А можуть бути встановлені вставки на струм 6, 10 і 15 А.

Запобіжники типу ПР-2 мають струмообмеженням. Так, у ланцюзі зі струмом КЗ 50000 А плавка вставка на номінальний струм 6 А перегорить при струмі всього 400 А. Однак, чим більший номінальний струм, тим менший ефект струмообмеження. При номінальному струмі 600 А струмообмеження відсутнє, тому що дуга горить увесь напівперіод.

В побуті, де струми часто не перевищують кількох ампер, застосовують більш прості запобіжники (рис. 4.4). Їх відмінність від розглянутих вище полягає у відсутності фібрового циліндра (використовують скло, кераміку), а також більш простій будові плавкої вставки (тонка нитка).



Рис. 4.4. Запобіжники

Запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем

Ці запобіжники більш досконалі, ніж запобіжники ПР-2. Часто вони мають покажчик спрацьовування. Розглянемо типову конструкцію

запобіжників даного типу (рис. 4.5). Корпус квадратного перерізу 1 запобіжника виготовляється з міцного фарфору чи стеатиту. Усередині корпусу розташовані стрічкові плавкі вставки 2 і наповнювач – кварцовий пісок 3. Плавкі вставки приварюють до диска 4, що кріпиться до пластин 5, з'єднаних із ножовими контактами 9. Пластини 5 кріпляться до корпусу гвинтами.

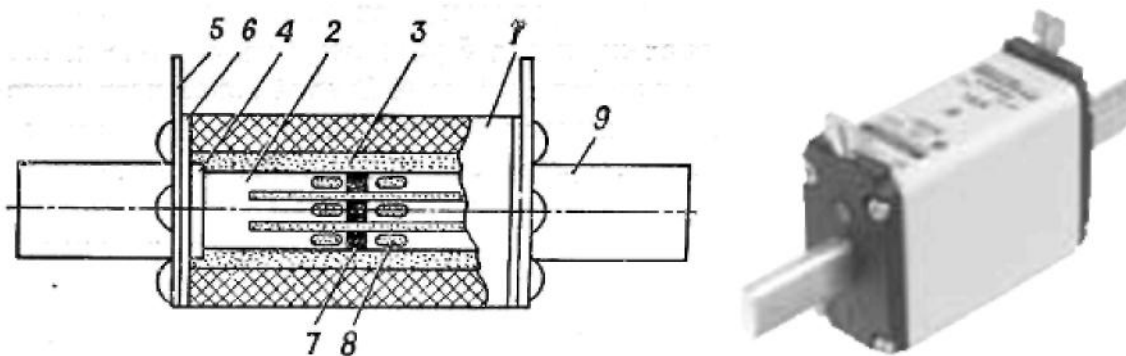


Рис. 4.5. Запобіжник із дрібнозернистим наповнювачем

Як наповнювач використовують кварцовий пісок чи гранули із зернами певного розміру та вологістю. Зерна кварцового піску мають високу теплопровідність і добре розвинуту поверхню охолодження.

Плавка вставка виконується переважно з мідної стрічки завтовшки 0,1..0,2 мм. Для одержання струмообмеження вставка має звуження в перерізі.

Плавка вставка розділена на три рівнобіжні стрічки для більш повного використання наповнювача. Застосування тонкої стрічки, ефективне тепловідведення від звужених ділянок дозволяють вибрати невеликий мінімальний переріз вставки для даного номінального струму, що забезпечує високу здатність струмообмеження. З'єднання декількох звужених ділянок послідовно сприяє уповільненню зростання струму після плавлення вставки, тому що зростає напруга на дузі запобіжника. Для зниження температури плавлення на вставки наносяться олов'яні смужки (металургійний ефект).

При КЗ плавка вставка згорає і дуга виникає у каналі, утвореному зернами наповнювача. Після спрацьовування запобіжника плавкі вставки разом із диском замінюють, після чого патрон засипають піском. Для герметизації патрона під пластини кладеться азбестова прокладка, що захищає пісок від зволоження. При номінальному струмі 40 А та нижче запобіжник має більш просту конструкцію.

Запобіжники часто мають покажчик спрацьовування. При згорянні плавкої вставки звільняється спеціальна пружина, що викидає кольоровий

показчик у закслений отвір. Після спрацьовування запобіжника замінюється циліндр зі згорілою плавкою вставкою й сигнальним пристроєм.

Автоматичні вимикачі

Автоматичні вимикачі – це електричні апарати, призначені для захисту електричних мереж при перевантаженнях, коротких замиканнях, зміні напруги живлення, шляхом автоматичного вимикання електричних кіл, а також для нечастих (до 6 раз в годину) включень і виключень електричних кіл або пусків і зупинок електродвигунів.

В автоматах використовують принцип моментального ввімкнення, коли замикання та розмикання контактів здійснюється заздалегідь зведеною пружиною. При цьому швидкість руху контактів достатньо висока та не залежить від швидкості вмикаючої рукоятки. Елементами захисту є тепловий розчеплювач, який нагрівається струмом, та електромагнітний розчеплювач. Для вмикання автомата варто привести його пружину у зведений стан.

Зовнішній вигляд деяких сучасних автоматичних вимикачів зображено на рис. 4.6. На рис. 4.7 у розрізі показано автоматичний вимикач серії М фірми «ABB».



Рис.4.6. Автоматичні вимикачі

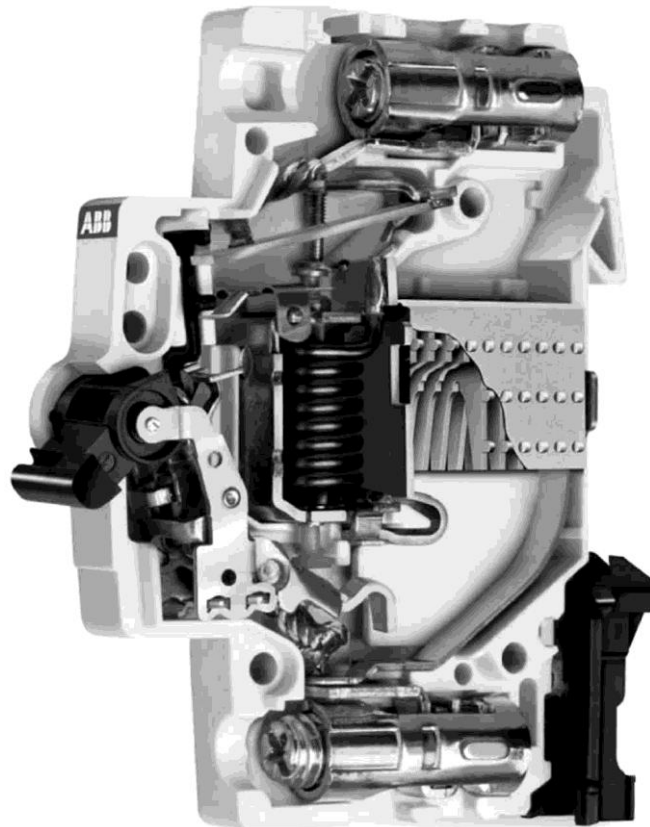


Рис.4.7. Автоматичний вимикач серії М фірми «АВВ» в розрізі

Автоматичний вимикач АП-50

Автоматичний вимикач складається з наступних основних вузлів: механізму керування, контактної системи, дугогасильного пристрою і розчеплювачів максимального струму (рис.4.8)

Вузли автоматичного вимикача розміщені на пластмасовій основі. Зверху основа закривається кришкою 11, знизу – дном. Механізм керування (важіль 3, пружина механізму повернення 9, траверса 15) побудований на принципі вільного розчеплення, забезпечує миттєве розмикання контактів. Відключення автоматичного вимикача при струмах перенавантаження і струмах короткого замикання відбувається автоматично і не залежить від того, утримується чи не утримується кнопка у включеному стані.

Тепловий розчеплювач 17 забезпечує обернену залежність від струму витримки часу спрацювання в зоні переневаантажень, а електромагнітний розчеплювач 16 – миттєве спрацювання (відсічку) в зоні струмів короткого замикання.

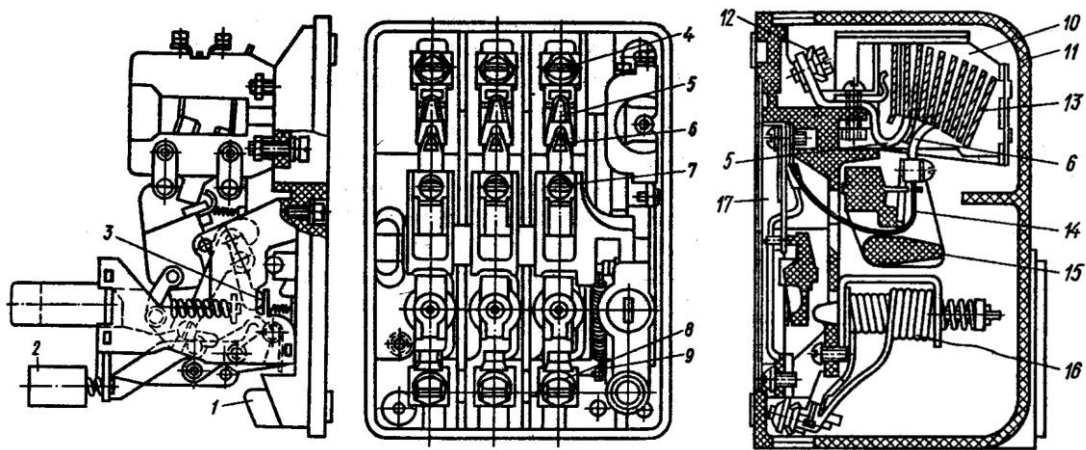


Рис. 4.8. Автоматичний вимикач АП-50

1 – основа; 2 – кнопка „стоп”; 3 – важіль; 4, 7, 8 – гвинти; 5 – нерухомий контакт; 6 – рухомий контакт; 9 – пружина механізму повернення; 10 – дугогасильна камера; 11 – кришка; 12 – виводи; 13 – сталеві пластини; 14 – гнучке з’єднання; 15 – траверса; 16 та 17 – електромагнітний та тепловий розчеплювач

Теплові розчеплювачі (при температурі оточуючого середовища $+ 25^{\circ}\text{C}$) з холодного стану, при проходженні змінного однофазного струму частотою 50 Гц одночасно у всіх полюсах, допускають, не відключаючисю на протязі 1 години, роботу автоматичного вимикача при струмі $1,1 \cdot I_n$ і відключають його при струмі $1,35 \cdot I_n$ на протязі 30 хв., а при струмі $6 \cdot I_n$ за час від 1,5 до 10 сек. Автоматичний вимикач допускає повторне включення через 2 хв. після відключення його тепловим розчеплювачем. При струмі відсічки електромагнітні розчеплювачі відключають автоматичний вимикач миттєво. Розчеплювач мінімальної напруги не заважає включенню автоматичного вимикача при зниженні напруги до 80 % від номінального значення і відключає його при зниженні напруги на 35 % і менше від номінального значення.

Механічна зносостійкість автоматичних вимикачів 50000 виключень і відключень.

Автоматичний вимикач сучасного виробництва

Автоматичний вимикач сучасного виробництва (з максимальними струмами 6,3-100 А) (рис. 4.9) для монтажу на DIN-рейку конструктивно виконаний у діелектричному корпусі. Включення-відключення проводиться важелем 1 на рисунку 4.9, проводи приєднуються до гвинтових клем 2. Защівка

9 фіксує корпус вимикача на DIN-рейці і дозволяє при необхідності легко його зняти (для цього потрібно відтягнути засувку, вставивши викрутку в петлю засувки). Комутацію кола здійснюють рухомий 3 і нерухомий 4 контакти. Рухомий контакт підпружинений, пружина забезпечує зусилля для швидкого розчеплення контактів. Механізм розчеплення приводиться в дію одним з двох розчіплювачів: тепловим або магнітним.

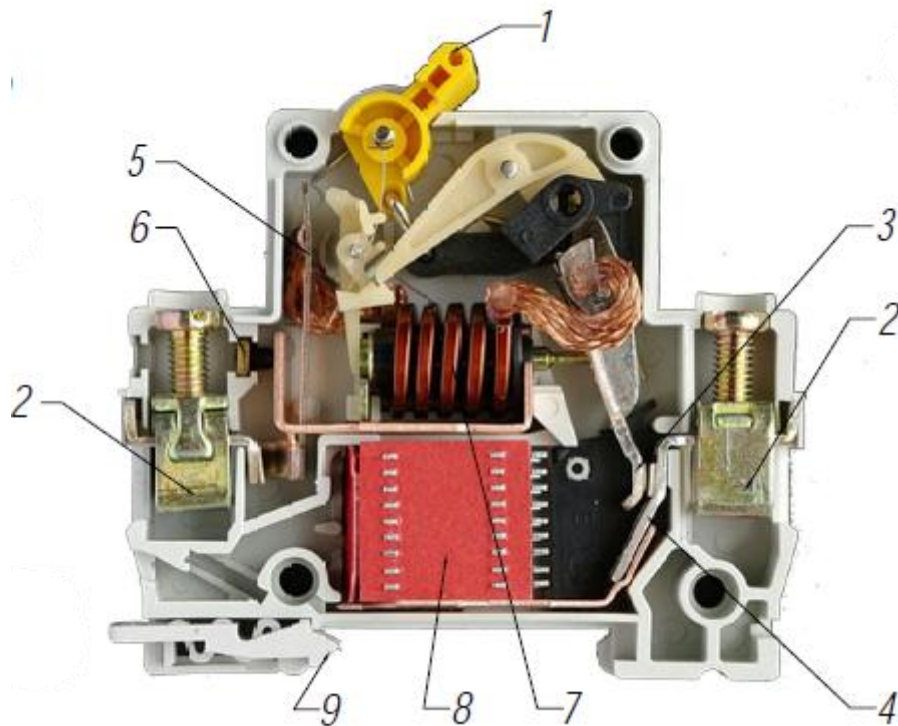


Рис. 4.9. Автоматичний вимикач ВА47-29: 1 – важіль, 2 – гвинтові клеми, 3, 4 – рухомий і нерухомий контакти, 5 – біметалева пластина, 6 – регулювальний гвинт, 7 – соленоїд, 8 – дугогасна решітка, 9 – защіпка для DIN – рейки

Тепловий розчіплювач являє собою біметалеву пластину 5, що нагрівається протікаючим струмом. При протіканні струму вище допустимого значення біметалева пластина вигинається і приводить в дію механізм розчеплення. Час спрацьовування залежить від струму (часострумова характеристика) і може змінюватися від секунд до години. Мінімальний струм, при якому має спрацьовувати за час не більше 1 години (при $I_n \leq 63$ А) або 2 годин (при $I_n > 63$ А), ГОСТ Р 50345-99. Тепловий роз'єднувач, становить 1,45 від номінального струму запобіжника. Налаштування струму спрацьовування виконується в процесі виготовлення регулюючим гвинтом 6. На відміну від плавкого запобіжника, автоматичний вимикач готовий до наступного використання після охолодження пластини.

Магнітний (миттєвий) розчіплювач являє собою соленоїд 7, рухомий сердечник якого також може приводити в дію механізм розчеплення. Струм, що проходить через вимикач, тече по обмотці соленоїда і викликає втягування осердя при перевищенні заданого порогу. Миттєвий роз'єднувач, на відміну від теплового, спрацьовує дуже швидко (частки секунди), але при значно більшому перевищенні струму: в $2 \div 10$ разів від номіналу, залежно від типу (автоматичні вимикачі поділяються на типи А, В, С і D залежно від чутливості миттєвого розчіплювача).

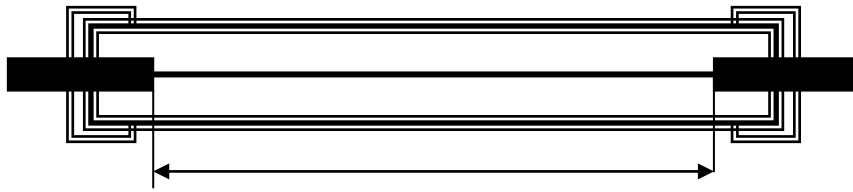
4.2. Завдання для підготовки

1. Підготуватися теоретично по будові і принципу дії запобіжників і автоматичних вимикачів використовуючи методичні вказівки і рекомендовану літературу.

2. Перемалювати у звіт електричну схему установки і показати з'єднання контактів установки, приборів, та живлення.

3. Розрахувати втрати потужності на запобіжнику ПР-2 згідно заданих варіантів.

№ вар.	Струм	Матеріал плавкої вст.	№ вар.	Струм	Матеріал плавкої вст.
1	5	Мідь	21	50	Мідь
2	5	Свинець	22	50	Свинець
3	5	Алюміній	23	50	Алюміній
4	5	Цинк	24	50	Цинк
5	10	Мідь	25	60	Мідь
6	10	Свинець	26	60	Свинець
7	10	Алюміній	27	60	Алюміній
8	10	Цинк	28	60	Цинк
9	20	Мідь	29	70	Мідь
10	20	Свинець	30	70	Свинець
11	20	Алюміній	31	70	Алюміній
12	20	Цинк	32	70	Цинк
13	30	Мідь	33	80	Мідь
14	30	Свинець	34	80	Свинець
15	30	Алюміній	35	80	Алюміній
16	30	Цинк	36	80	Цинк
17	40	Мідь	37	90	Мідь
18	40	Свинець	38	90	Свинець
19	40	Алюміній	39	90	Алюміній
20	40	Цинк	40	90	Цинк



70 мм

Рис. 4.10. Запобіжник

4.3. Схема установки

Дослідна установка складається з (рис. 4.11):

- трансформатора;
- перемикача;
- автоматичного вимикача;
- плавкої вставки.

Електрична схема дослідної установки приведена на рис. 4.12.

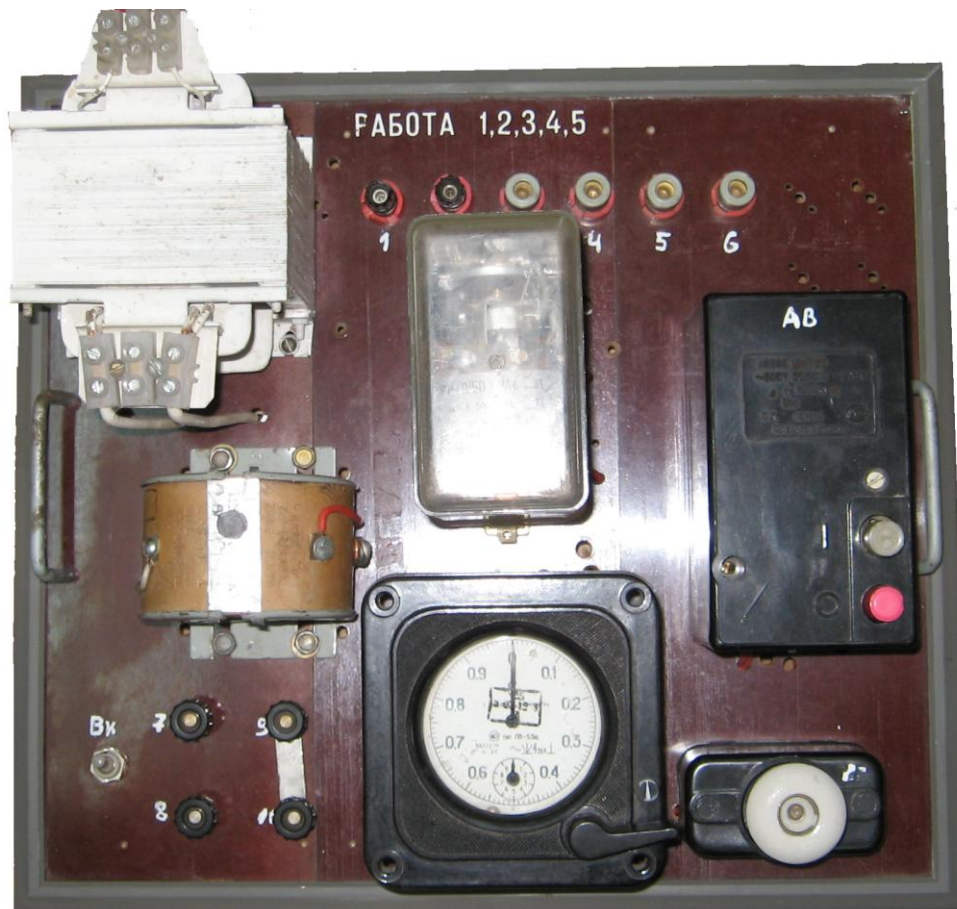


Рис 4.11. Зовнішній вигляд дослідної установки.

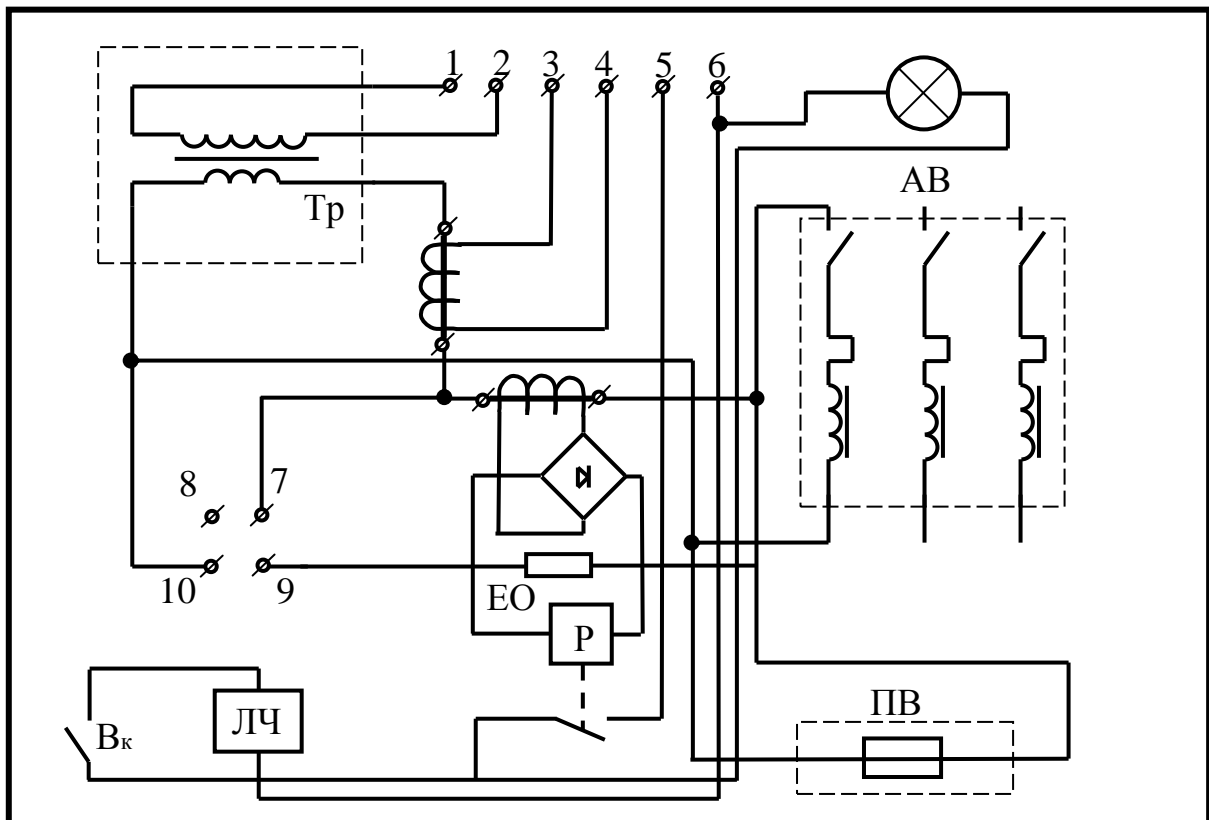


Рис. 4.12. Електрична схема дослідної установки

4.4. Хід роботи

1. Зібрати дослідну схему (рис. 4.13.).
2. Плавно збільшуючи напругу автотрансформатора визначити струм перегорання 3-х різних плавких вставок. Отримані результати занести у табл. 4.1.
3. Перемалювати у звіт геометричні розміри запобіжника у розрізі та записати його технічні дані.
4. Для автоматичних вимикачів визначити час спрацювання захисту при різній кратності струму перевантаження. Отримані результати занести у табл. 4.2.
5. Записати у звіт технічні характеристики автоматичного вимикача і замалювати його конструкцію з поясненнями.

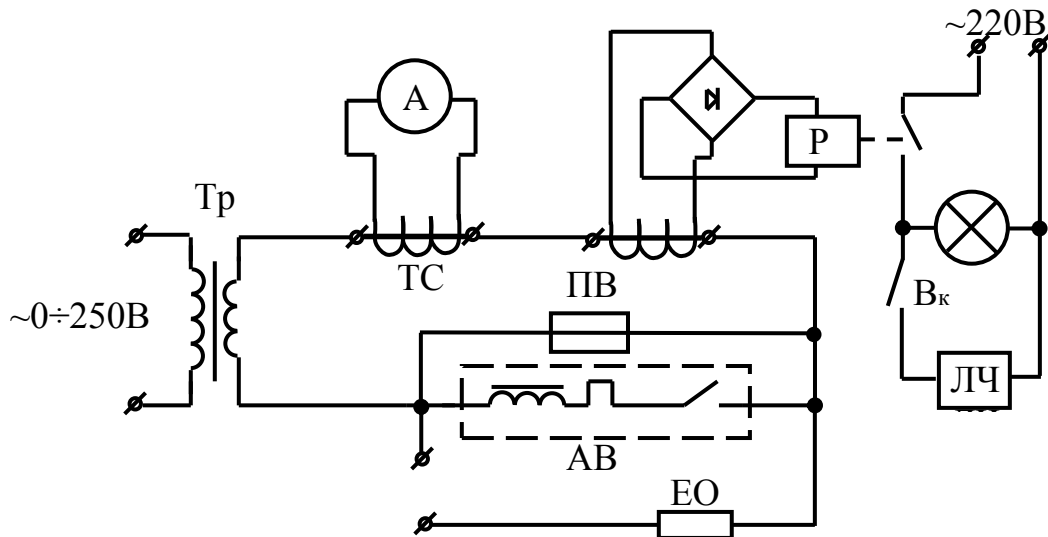


Рис. 4.13. Дослідна схема

Таблиця 4.1.

Результати дослідження плавких вставок

Плавка вставка	D, мм.	Матеріал	I _{пл.} табл.	I _{пл.} отрим.		I _{пл.} сер.	Похибка відн. вим.	Похибка відн. зап.	P _{втр.} , Вт
				1	2				
1				1					
				2					
				3					
2				1					
				2					
				3					
3				1					
				2					
				3					

Таблиця 4.2.

Результати дослідження автоматичних вимикачів

Автоматичний вимикач	Струм спрацювання теплового захисту I _т , А	Струм спрацювання електромагнітного захисту I _е , А	Час спрацювання захисту, с.	
			при, 1,5*I _н	
			при, 1,5*I _н	
			при, 2*I _н	
			при, 4*I _н	
			при, 8*I _н	

4.5. Опрацювання експериментальних даних

1. Дослідні дані спрацювання запобіжників занести в таблицю. 4.1 і порівняти з стандартними даними для вибраних діаметрів проводів.
2. Розрахувати втрати потужності $P_{\text{втр}}$ на плавкій вставці запобіжника.
3. Дослідні дані спрацювання автоматичних вимикачів занести в таблицю. 4.2.
4. На основі отриманих даних побудувати струмо-часову характеристику автоматичного вимикача.
5. Визначити похибку спрацювання захисту.
6. За результатами проведених дослідів зробити висновки.

4.6. Контрольні питання

1. Будова та принцип дії запобіжників.
2. Яке призначення запобіжників?
3. Матеріали виготовлення плавких вставок і їх характеристики.
4. Конструкції високовольтних запобіжників.
5. Конструкції швидкодіючих запобіжників.
6. Методи гасіння дуги в запобіжниках.
7. Будова та принцип дії автоматичних вимикачів.
8. Назвіть основні елементи конструкції автоматичних вимикачів.
9. Яким чином відбувається автоматичне вимикання автомата при перевантаженнях?
10. Якими номінальними параметрами характеризуються автоматичні вимикачі?
11. Принцип дії будова і призначення теплового розчеплювача в автоматичних вимикачах.
12. Принцип дії будова і призначення електромагнітного розчеплювача в автоматичних вимикачах.
13. Яка основна задача дугогасильної камери і її конструкції в автоматичних вимикачах?
14. Розрахувати втрати потужності на заданому запобіжнику.
15. Однополюсні, двополюсні та триполюсні автоматичні вимикачі.

16. Які параметри впливають на струм і час перегорання плавкої вставки запобіжника.
17. Які параметри впливають на час спрацювання автоматичного вимикача.

Лабораторна робота №5

МЕХАНІЧНІ РЕЛЕ ЧАСУ

Мета роботи: вивчити будову і дослідити основні характеристики моторних реле часу, пневматичних реле часу, та реле часу з годинниковим механізмом.

5.1. Теоретичні відомості

У схемах захисту та автоматики часто потрібно витримка часу між спрацьовуваннями двох або декількох апаратів. Для створення витримки часу служать електричні апарати, що називаються реле часу.

До реле часу пред'являються наступні загальні вимоги:

- стабільність витримки часу при коливаннях величини і частоти напруги живлення, температури навколишнього середовища і дії інших факторів;
- малі споживана потужність, маса і габарити.

У залежності від області застосування до реле часу пред'являються різні специфічні вимоги. Для схем автоматичного керування електроприводом при великій частоті включень потрібні реле з високою механічною зносостійкістю - до $(5-10) 10^6$ спрацьовувань. Необхідні витримки часу знаходяться в межах 0,25-10 с. До цих реле не пред'являються вимоги високої стабільності витримки часу. Розкид часу спрацьовування може досягати 10%.

Реле повинні працювати у виробничих умовах при наявності інтенсивних механічних впливів.

Реле для захисту енергосистем повинні мати більшу точність витримки часу. Ці реле працюють відносно рідко, тому до них не пред'являються особливі вимоги щодо зносостійкості. Зносостійкість реле часу захисту порядку $(5-10) 10^3$ спрацьовувань. Витримки часу таких реле часу складають 0,1-20 с.

Для автоматизації технологічних процесів необхідні реле з великою витримкою часу - від декількох хвилин до декількох годин. В даний час створені напівпровідникові реле, що задовольняють зазначеним вимогам.

В енерговикористанні широко використовують пневматичні реле часу серії РВП. Реле складається з електромагнітного приводу 1 (рис.5.1) і пневматичної приставки, що містить контакти з часовою затримкою.

Герметична камера 8 пневматичної приставки з'єднується з атмосферою

через малий дроселюючий отвір 6. Корпус закритий плоскою еластичною мембраною 4, виготовленою з силіконової резини. Мембрана з'єднана з штоком 10, який вільно спирається на яркі електромагніта. При замиканні керуючого контакту електромагніт 1 втягує свій яркі. Шток 10, позбавлений опори, під дією пружини 9 повільно опускається вниз по мірі заповнення камери повітрям через отвір 6. В кінці ходу штока важіль 3 перемикає контакти мікроперемикача 2.

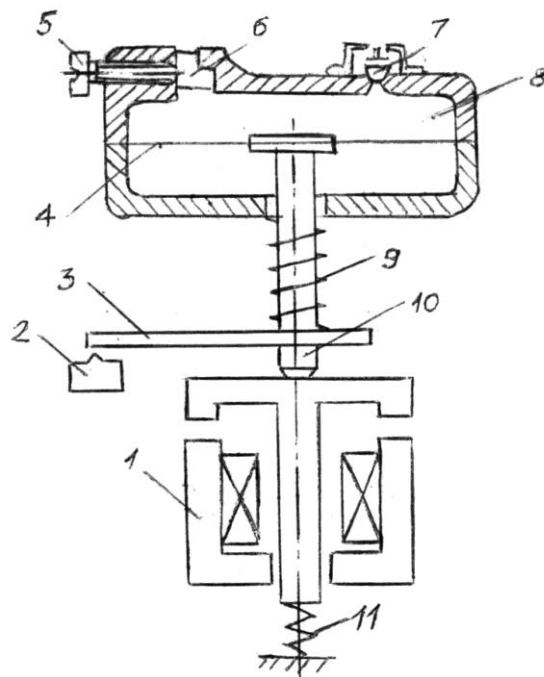


Рис. 5.1. Реле часу з пневматичним уповільнювачем

Повернення реле в початкове положення проходить при знеструмленій обмотці електромагніту під дією пружини 11. При цьому повітря з пневматичної камери миттєво витісняється через зворотній клапан 7. Витримку часу реле можна змінювати за допомогою гвинта 5 в межах від 0,4 до 180 с.

Пневматична приставка універсальна і дозволяє отримати витримку часу після розмикання керуючого контакту. Для цього електромагніт повертають на 180 градусів. Існують виконання реле з двома пневматичними приставками і спільним електромагнітним приводом. Таке реле забезпечує дві незалежні витримки часу після замикання і розмикання керуючого контакту.

Робота пневматичного реле часу не залежить від коливань напруги мережі, але точність роботи пневматичного демпфера невелика. Нормована похибка реле 10-15%, механічна стійкість реле проти спрацювання 4,0-6,3

млн. циклів в залежності від виконання.

Пневматичне реле РВП, яке часто застосовується в схемах електроприводу металоріжучих станків і інших механізмів, зображено на рис.5.2. При спрацюванні електромагніта 1 колодка 2 під дією пружини опускається і натискає на мікроперимикач 4. Колодка 2 зв'язана з гумовою діафрагмою 5 пневматичного уповільнювача. Швидкість руху колодки визначається січенням отвору, через який втягується повітря в верхню порожнину уповільнювача. Витримка часу регулюється голкою 6, яка змінює переріз цього отвору. Контактна система 7 спрацьовує без витримки часу. Контактна система мікроперимикача допускає тривалий струм 3А, при змінній напрузі 380 В.

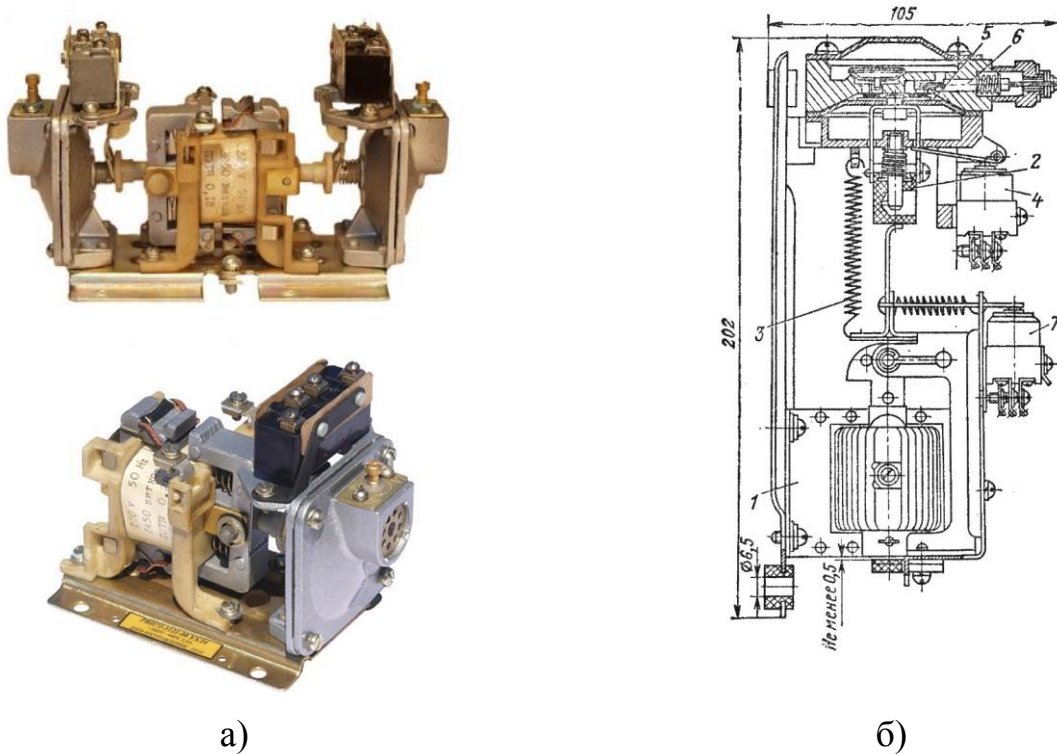


Рис. 5.2. Реле часу з пневматичним уповільнювачем РВП. а) зовнішній вигляд реле РВП; б) схематичне зображення реле

Для отримання великих витримок часу, нараховуючих десятки хвилин і годин, використовують моторні реле часу (рис. 5.3), основані на інтегруючих властивостях електродвигунів. Свою назву вони отримали через те, що механізм витримки часу приводиться в рух від спеціального електродвигуна. Зазвичай використовують синхронні мікродвигуни або двигуни постійного струму, забезпечені пристроями для автоматичного підтримування заданої

швидкості обертання. Основними частинами моторного реле часу є: електродвигун з редуктором, зчіплюючий електромагніт і кулачок (профільна шайба) з контактами. Принцип пристрою реле пояснює схема рис. 5.3.

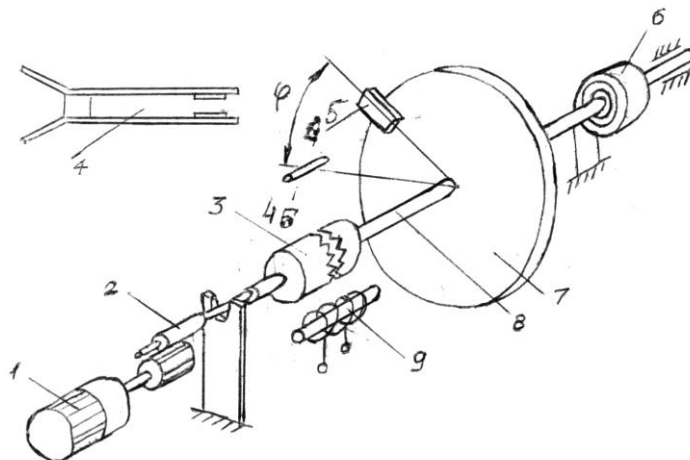


Рис. 5.4. Моторне реле часу

Розглянемо принцип дії моторного реле часу, приведенного на рис.5.3. При подачі керуючого сигналу вмикається електромагніт 9, який перемикає муфту зчеплення 3. Рух від синхронного двигуна 1 через редуктор 2 передається на вал 8, на якому закріплено кулачок 7 з упором 5. В кінцевому положенні упор 5 виконує перемикання контактної системи 4. Оскільки вал 8 обертається повільно, контактний вузол доповнюють системою важелів, які забезпечують миттєве перемикання контактів. Після відрахунку витримки часу, електромагніт 9 відключається від мережі, муфта розчеплюється і під дією повертаючої пружини 6 кулачок 7 повертається в вихідне положення. В деяких модифікаціях реле швидкість руху при повертанні обмежується відцентровим гальмом. Витримку часу моторного реле регулюють зміною початкового положення кулачка або передаточного числа редуктора.

Існують багатоланкові реле, в яких на валу 8 в різних положеннях закріплено декілька кулачків, які забезпечують незалежні витримки часу. Точність роботи моторного реле часу пов'язана з коливанням частоти мережі, кінематичними похибками передаточного механізму, розкидом спрацювань контактної системи. Похибка може досягати 10-15 % , механічна стійкість реле проти спрацювання порядку 1000 циклів вмикання/вимикання.

На рис. 5.4 та рис. 5.5 показано зовнішній вигляд та кінематичну схему реле часу з мікродвигуном на прикладі реле серії ВС-10. Зміною початкового положення дисків зі шкалою часу і упорами, які переключають за допомогою кулачків контакти, можна задати потрібний час спрацювання реле. Межі

регулювання уставок визначаються передавальним числом редуктора.



Рис. 5.4. Реле ВС-10

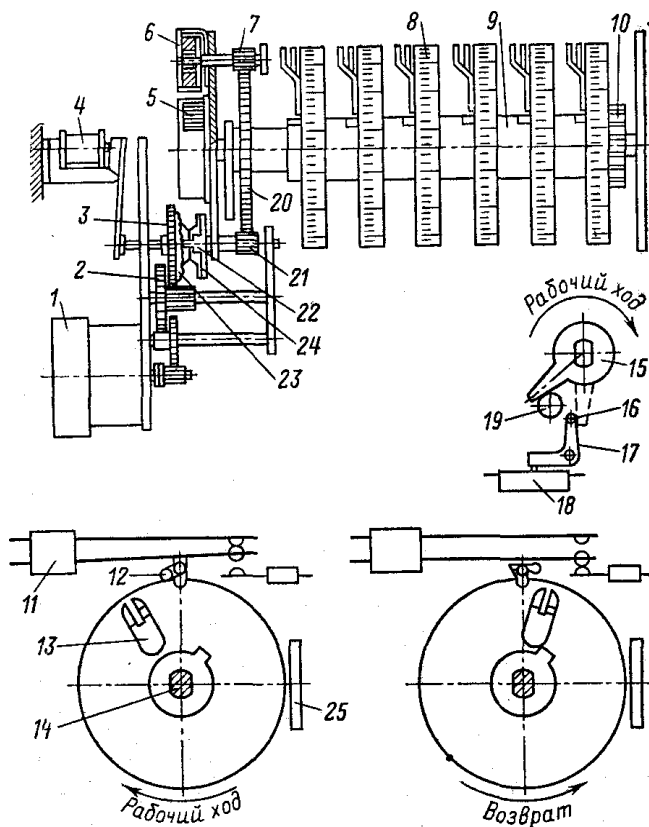


Рис. 5.5. Кінематична схема реле ВС-10:

1 – синхронний двигун; 2 – редуктор; 3, 22 – диски зчеплення; 4 – електромагніт; 5 – поворотна пружина; 6 – відцентровий гальмо; 7, 21 – трібки; 8 – шкала; 9 – втулка; 10 – затискна гайка; 11 – контактна система; 12 – кулачок; 13, 19 – упори; 14 – головна вісь; 15, 17 – важелі; 16 – палець; 18 –

кінцевий вимикач; 20 – шестерня; 23 – вісь зчеплення; 24 – пружина; 25 – візир

Реле часу з годинниковим механізмом (рис. 5.6) мають електромагнітний привід, роль якого зводиться до звільнення робочої пружини і її підзарядки при вмиканні реле.

Годинниковий механізм (рис. 5.7), оснащений анкерним ходом, переміщає упор, який в кінці витримки часу діє на контактний вузол. В кінематичному колі годинникового механізму встановлюють кулькову або храпову муфту односторонньої дії. Це необхідно для повернення упору у вихідне положення під дією потужної пружини після вмикання електромагніту. Годинникові реле часу складні по конструкції, але дозволяють отримати великі витримки часу з великою точністю. Недолік таких механічних реле мала механічна стійкість.



Рис. 5.6. Реле часу з годинниковим механізмом РВ-200

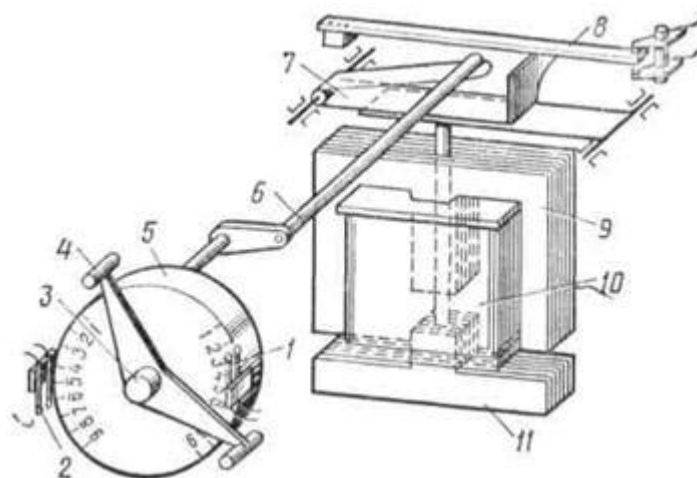


Рис. 5.7. Будова реле часу типу ЭВ-215

1,2 – нерухомі контакти, 3 – важіль годинникового механізму, 4 – рухомі контакти, 5 – годинниковий механізм, 6,7 – система важилів, 8 – контакти миттєвої дії, 9 – ярмо, 10 – обмотка, 11 – якір

5.2. Схема установки

Дослідна установка складається з (рис. 5.8, 5.9):

- пневматичного реле часу;
- реле часу з годинниковим механізмом;
- 2-х ламп розжарювання.

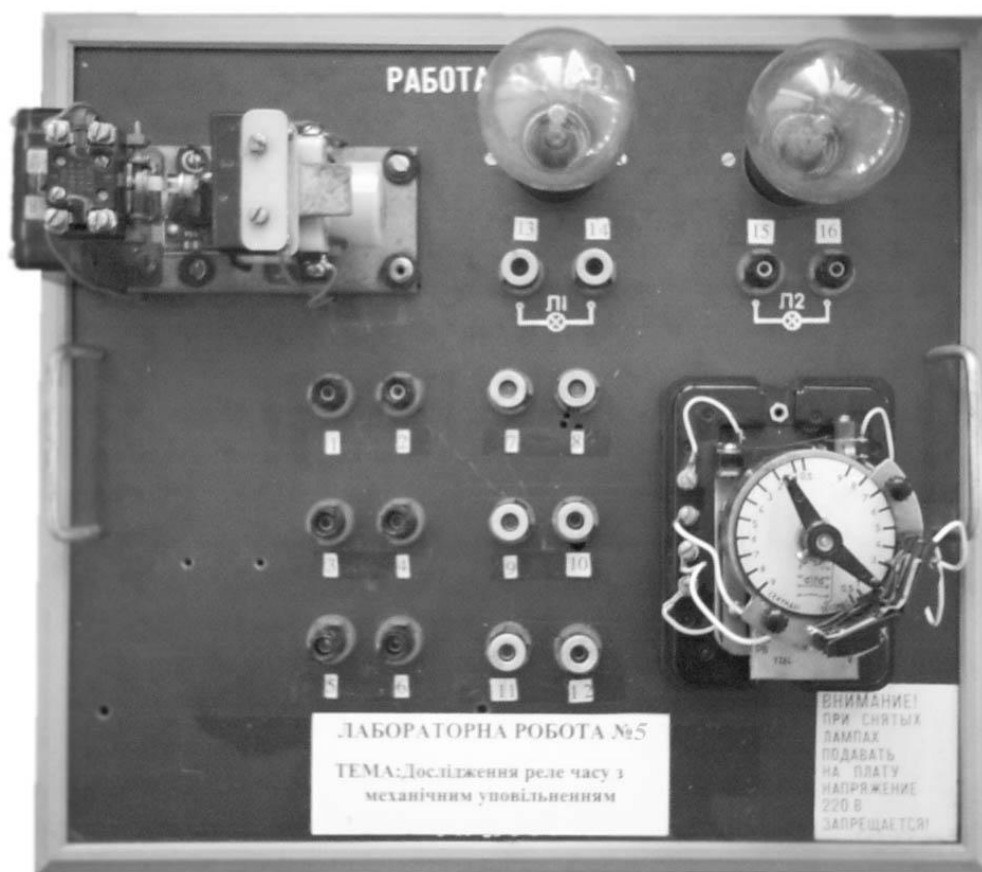


Рис. 5.8. Зовнішній вигляд лабораторної установки

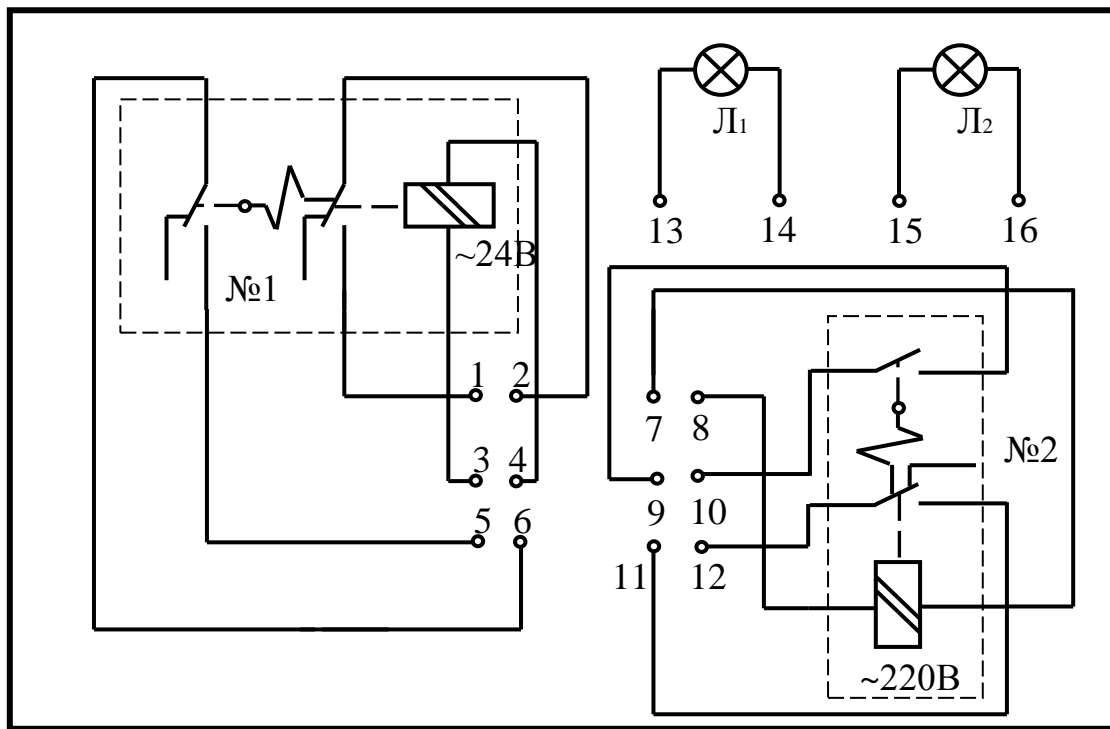


Рис. 5.9. Електрична схема лабораторної установки. Реле часу пневматичне (№1) і з годинниковим механізмом (№2)

5.3. Хід роботи

Дослідження реле часу з годинниковим механізмом

1. Зібрати схему (рис. 5.10.) для дослідження реле часу з годинниковим механізмом.
2. Зняти покази вольтметра і амперметра при номінальній напрузі.
3. Встановити час спрацьовування, який задає викладач. Подати напругу на реле і відрахувати час спрацьовування з допомогою секундоміра по часу загоряння і погасання ламп Л1, Л2. Дослід повторити не менше 3-х раз. Результати занести в таблицю.
4. Переписати у звіт електротехнічні дані реле часу.
5. Заміряти активний опір котушки електромагніту.
6. Перемалювати у звіт реле часу з поясненнями.
7. Замалювати у звіт розміри магнітопроводу і розміри повітряного зазору котушки і її обмоточні дані.

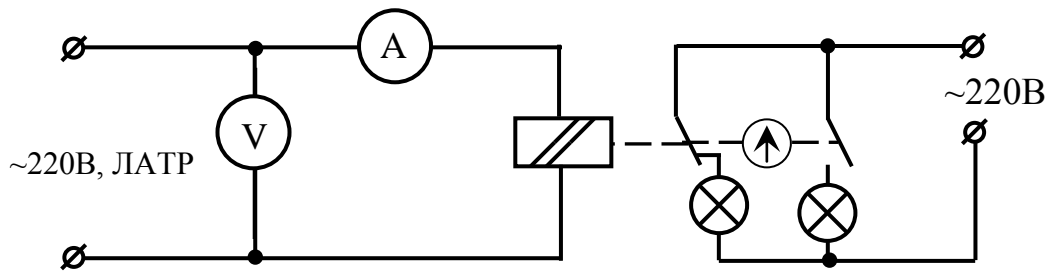


Рис. 5.10. Дослідження реле часу з годинниковим механізмом

Дослідження пневматичного реле часу

1. Зібрати схему (рис.5.11)
2. Зняти покази вольтметра і амперметра.
3. Змінюючи величину дроселюючого отвору встановити час спрацьовування, який задає викладач. Подати напругу на реле і відрахувати час спрацьовування з допомогою секундоміра по часу загорання і погасання ламп Л1, Л2. Дослід повторити не менше 3 раз. Результати занести в таблицю.
4. Переписати у звіт електротехнічні дані реле.
5. Заміряти активний опір котушки електромагніту.
6. Перемалювати у звіт реле часу з поясненнями.
7. Замалювати у звіт розміри магнітопроводу і розміри повітряного зазору котушки і її обмоточні дані.

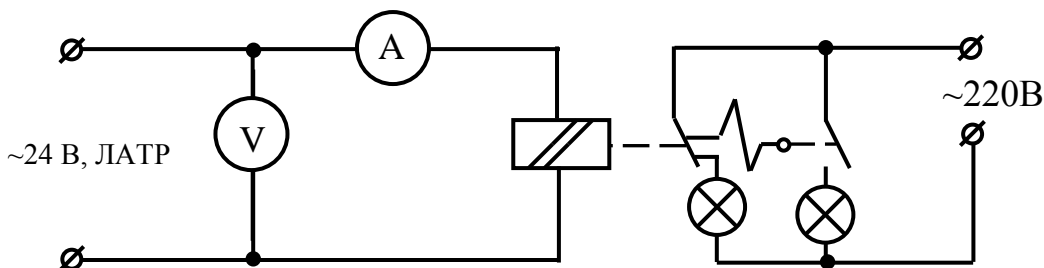


Рис. 5.11. Дослідження пневматичного реле часу

5.4. Опрацювання експериментальних даних

1. Провести потрібні розрахунки і занести в таблицю 5.1.
2. Обчислити потужності електромагніту реле часу.
3. Обчислити яку необхідно прикласти постійну напругу щоб забезпечити номінальний режим роботи реле часу.

4. Обчислити відносну похибку реле часу при вимірюванні.
5. Обчислити похибку відносно заданого викладачем значення.
6. Обчислити густину струму в котушці.

Таблиця 5.1.

Результати вимірів і обчислень для механічних реле часу

Реле часу	$\sim U, В$	$\sim I, А$	$R, Ом$	$P, Вт$	S, V^*A	$\cos \varphi$	$- U_{ном}, В$	$j, А/мм^2$	$t_{задано}, С$		$t_{зам}, С$	$t_{середнє}, С$	Відносна похибка вим.	Відносна похибка реле часу
Пневматичне										t_1				
										t_2				
										t_3				
З годинниковим механізмом										t_1				
										t_2				
										t_3				

За результатами проведених дослідів і обрахунків зробити висновки.

5.5. Контрольні питання

1. Розказати про будову і принцип дії реле часу з пневматичним уповільненням.
2. Як змінювати час спрацювання реле часу з годинниковим механізмом.
3. Для чого можна застосувати реле часу? Навести приклади.
4. Розказати про будову і принцип дії моторного реле часу.
5. Які витримки часу дозволяє реалізувати:
 - пневматичне реле;
 - моторне реле;
 - реле часу з годинниковим механізмом.
6. Розказати про будову і принцип дії реле часу з годинниковим механізмом.
7. Як змінювати час спрацювання пневматичних реле?
8. Як змінювати час спрацювання моторних реле часу.
9. Зібрати схему запропоновану викладачем.
10. Які з механічних реле часу дозволяють отримати найбільшу точність?

11. Як змінюється струм при спрацюванні пневматичного, моторного і реле часу з годинниковим механізмом?
12. Чи можна включати на постійну напругу моторне реле часу і реле часу з годинниковим механізмом і що при цьому зміниться?
13. Чи можна включати на постійну напругу пневматичне реле часу і що при цьому зміниться?
14. Порівняти електротехнічні і часові характеристики механічних реле часу.

Рекомендована література

1. Буткевич Г. В. Основы теории электрических аппаратов. - М.: "Высшая школа", 1970 г.
2. Таев И. С. Электрические аппараты. Общая теория. – М.: "Энергия", 1977 г.
3. Родштейн Л. А. Электрические аппараты. 4-е изд., перераб. и допол. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989 г. – 299 с., ил.
4. Михайлов О. П., Стоколов В. Е. Электрические аппараты и средства автоматизации. — М.: Машиностроение, 1982 г.
5. Таев И. С. Электрические аппараты автоматики и управления. – М.: "Высшая школа", 1975 г.
6. Таев И. С. Электрические аппараты управления. – М.: "Высшая школа", 1984 г.
7. Бабилов М. А. Электрические аппараты. В 3 частях. М.-Л., Госэнергоиздат, 1963 г.
8. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. 3-е изд., перераб. и допол. – М.: Энергоатомиздат, 1988 г. – 720 с., ил.
9. Инструкция по эксплуатации АП50, АП50Г. Типография ім. Анохіна г.Петрозаводск, 56с.
10. Вернер В.В. Электромонтёр-ремонтник. 7-е изд. Перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987-223с.
11. Электрическая часть станций и подстанций. /Под ред. Васильева А. А. –М.: Энергия, 1985.
12. Чунихин А. А., Жаворонков М. А. Аппараты высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
13. Алиев И.И., Абрамов М.В. Электрические аппараты: Справочник, Радиософт, 2004.
14. Кузнецов Р.С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В. – Москва: Энергия, 1970.
15. Буркевич Г. В., Дегтярь В. Г., Сливинская А. Г. Задачник по электрическим аппаратам.– М.: Высшая школа, 1987.