

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних та контрольних робіт
студентами всіх форм навчання при вивченні
дисципліни «Електричні апарати керування»
для підготовки бакалаврів за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
з подальшим навчанням за освітньою програмою
«Електричні та електронні апарати»**

Методичні вказівки до виконання лабораторних та контрольних робіт студентами всіх форм навчання при вивченні дисципліни «Електричні апарати керування» для підготовки бакалаврів за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з подальшим навчанням за освітньою програмою «Електричні та електронні апарати» / Укл.: Жорняк Л.Б., Василевський В.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 86 с.

Укладачі: Л. Б. Жорняк, доцент, к.т.н.
В. В. Василевський, інженер

Рецензент: О.В. Близняков, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.

Затверджено
на засіданні НМК ЕТФ
протокол №3
від 20.04.2017

Затверджено
на засіданні кафедри
"ЕЕА", протокол №1
від 19.04.2017

ЗМІСТ

ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ЩОДО ВИКОНАННЯ, ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАХИСТУ ЗВІТІВ ПРО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	4
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 КОНТАКТОР . ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	6
1.1 Мета роботи.....	6
1.2 Загальні відомості.....	6
1.3 Опис лабораторного обладнання	14
1.4 Завдання.....	16
1.5 Методичні вказівки.....	16
1.6 Контрольні питання.....	20
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10 КОНТАКТОР ЗМІННОГО СТРУМУ.....	21
2.1 Мета роботи.....	21
2.2 Загальні відомості	21
2.3 Підготовка до роботи.....	27
2.4 Завдання.....	27
2.5 Матеріал, інструменти, прилади, обладнання.....	27
2.6 Методичні вказівки.....	27
2.7 Зміст звіту.....	32
2.8 Питання для самоперевірки.....	32
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ РЕЛЕ ЧАСУ З МАГНІТНИМ ТА МЕХАНІЧНИМ ДЕМПФУВАННЯМ.....	32
3.1 Мета роботи.....	32
3.2 Загальні відомості.....	33
3.3 Опис лабораторного обладнання.....	35
3.4 Завдання.....	36
3.5 Методичні вказівки.....	36
3.6 Питання для самоперевірки.....	40
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12 БІМЕТАЛЕВІ ТЕПЛОВІ РЕЛЕ.....	40
4.1 Мета роботи.....	40
4.2 Загальні відомості.....	40
4.3 Підготовка до роботи.....	50

4.4 Матеріал, інструменти, прилади, обладнання.....	50
4.5 Методичні вказівки.....	50
4.6 Зміст звіту.....	51
4.7 Питання для самоперевірки.....	51
5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13 АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ.....	52
5.1 Мета роботи.....	52
5.2 Загальні відомості.....	52
5.3 Опис лабораторного обладнання.....	56
5.4 Завдання.....	57
5.5. Методичні вказівки.....	57
5.6 Контрольні питання.....	60
6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14 МАГНІТНИЙ ПУСКАЧ.....	60
6.1 Мета роботи.....	60
6.2 Загальні відомості.....	60
6.3 Опис лабораторного обладнання.....	63
6.4 Завдання.....	64
6.5 Методичні вказівки.....	64
6.6 Контрольні питання.....	69
7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15 ТИРИСТОРНИЙ КОНТАКТОР ЗМІННОГО СТРУМУ.....	69
7.1 Мета роботи.....	69
7.2 Загальні відомості.....	69
7.3 Опис лабораторного обладнання.....	74
7.4 Завдання.....	76
7.5 Методичні вказівки.....	76
7.6 Питання для самоперевірки.....	78
8 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ «РОЗРОБКА ДУГОГАСНОЇ КАМЕРИ КОНТАКТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ».....	80
8.1 Мета роботи.....	80
8.2 Завдання.....	80
8.3 Методичні вказівки.....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	84

ВСТУП.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ЩОДО ВИКОНАННЯ, ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАХИСТУ ЗВІТІВ ПРО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Виконання лабораторної роботи складається з роботи студента у лабораторії, а також із самостійної роботи. Активна самостійна робота є визначальним чинником ефективного сприйняття змісту лабораторних занять.

Звіти про виконання лабораторних робіт складаються окремо кожним студентом в одному зошиті, або в друкованому вигляді.

Зміст кожного звіту включає:

- мета роботи, предмет дослідження;
- завдання щодо виконання лабораторної роботи;
- електрична схема проведення дослідів;
- таблиці дослідних даних;
- графіки залежностей, побудованих за дослідними даними;
- висновки по роботі.

Захист звітів про виконання лабораторних робіт здійснюється членами бригади одночасно, але контрольні запитання та оцінку якості виконання кожним студентом отримує окремо.

Студенти, які не захистили два звіти про виконання лабораторних робіт, до наступної роботи не допускаються.

Студенти, які не виконали всі лабораторні роботи або не захистили всі звіти про виконання лабораторних робіт, передбачених навчальним планом та навчальною програмою, не допускаються до заліку та екзамену.

Примітки:

1. Виконання лабораторних робіт у лабораторії здійснюється за розкладом, затвердженим проректором з навчальної роботи.

2. Відпрацьовування пропущених робіт у лабораторії здійснюється перед модульним тижнем за окремим розкладом, затвердженим завідувачем кафедри.

3. Проведення дослідів під час виконання лабораторної роботи здійснюється членами бригади разом.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

КОНТАКТОР ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Тривалість лабораторного заняття - 2 години

1.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи, що виконується, є вивчення принципу дії і конструкції основних елементів контактора постійного струму, а також експериментальне дослідження його основних параметрів та характеристик.

1.2 Загальні відомості

Контактор - це електричний апарат, призначений для частих комутацій струмів навантаження силових електричних кіл, а також нечастих комутацій струмів, що перевищують струм навантаження у декілька разів (до 10I_{ном}), наприклад, пуск і вимикання загальмованого двигуна. Контактори не використовуються для вимикання струму короткого замикання.

Основними параметрами контакторів, по яких здійснюється їх вибір для роботи в тих чи інших електрообладнаннях є:

- а) номінальний струм;
- б) номінальна напруга;
- в) механічна зносостійкість - визначає допустиму кількість комутацій без ремонту або заміни будь-яких його вузлів чи деталей (без урахування електричного зносу головних контактів контактора в результаті дії електричної дуги);
- г) комутаційна спроможність - визначає допустиму кількість комутацій при заданих параметрах електричного кола, які задаються категорією застосування; комутаційна спроможність визначається відносно двох режимів:
 - 1) режим нормальних комутацій, який визначає комутаційну зносостійкість при заданій частоті комутацій; цей режим визначає роботу здатність контактора при комутації струмів навантаження в силових колах;
 - 2) режим рідких комутацій, який визначає спроможність

контактора вимикати струми, що виникають при перевантаженнях або пускові струми двигунів;

д) час включення і відключення - розрізняють власний і повний час включення (відключення); під власним часом включення контактора розуміють час з моменту подачі команди на включення до моменту зіткнення його головних контактів; повний час включення складається з власного часу та часу, необхідного для опрацювання провалу контактів і утворення контактного натиснення; під власним часом відключення контактора розуміють час з моменту подачі команди на відключення (вимикання обмотки електромагнітного приводу) до початку розмикання контактів; повний час відключення складається з власного часу відключення та часу гасіння дуги на головних контактах.

В залежності від роду струму, що комутується розрізняють контактори постійного струму і контактори змінного струму. Головними елементами конструкції контакторів є: струмопровідний контур; система головних контактів, що здійснюють комутацію силового кола; дугогасна система, яка здійснює гасіння електричної дуги при вимиканні кола; електромагнітний привод - здійснює дистанційне включення контактора, його відключення здійснюється при вимиканні обмотки приводу під дією пружини, що вимикає, система допоміжних контактів, яка призначена для комутації кіл керування, блокування тощо.

Предметом дослідження даної лабораторної роботи є контактор постійного струму серії КПВ-600. Вони використовуються для комутації силових кіл генераторів та двигунів постійного струму невеликої та середньої потужності.

Досліджуваний контактор - це двопозиційний апарат з самоповерненням, призначений для частих комутацій струмів силових електричних кіл при нормальних режимах роботи електрообладнання.

Контактор має два комутаційних положення, що відповідають включеному та відключеному його станам. Для включення контактора найбільш широко застосовується електромагнітний привід. Повернення контактора у відключений стан (самоповернення) відбувається після відключення котушки електромагніту під дією зворотної пружини, маси рухомої системи або при сумісній дії цих факторів.

Електромагнітні контактори можуть використовуватися не

тільки для комутації кола по команді оператора, але так само для захисту від зниження напруги в мережі. При зниженій напрузі електромагніт не в змозі утримувати рухома систему контактора і тому відключається.

Контактори постійного струму комутують кола постійного струму і мають, як правило; електромагніт також постійного струму.

Номінативним струмом контактора називається струм, комутований його головними контактами. Він лежить в межах від одиниць до кількох сотень ампер. Номінативна напруга контактора - це напруга, що комутується головними контактами контактора. Вона може складати 220, 440 і 750 В при постійному струмі.

При кожному включенні і відключенні контактора відбувається знос як контактів (в основному через вплив електричної дуги), так і всього контактора в цілому. Розрізняють механічну і комутаційну зносостійкість. Механічна зносостійкість визначається числом включень (відключень) контактора без ремонту та заміни його вузлів і деталей. Струм в колі головних контактів при цьому дорівнює нулю. Сучасні контактори мають дуже високі вимоги до механічної зносостійкості (10 ... 20 мільйонів операцій).

Комутаційна зносостійкість визначається числом включень і відключень кола зі струмом, після якого потрібна заміна зношених контактів. Комутаційна зносостійкість сучасних контакторів має близько (0,5 ... 2) мільйонів операцій.

Час включення і відключення контактора можна розділити на власний і повний час включення (відключення). Під власним часом включення контактора розуміють час з моменту подачі команди на включення до моменту дотику контактів контактора. Повний час включення складається з власного часу плюс час, необхідний для вибору провалу контактів. Під власним часом відключення контактора розуміють час від моменту подачі команди на відключення (момент відключення котушки електромагніту) до початку розбіжності контактів. Повний час відключення складається з власного часу відключення плюс час гасіння дуги на головних контактах.

Окрім високих механічної та комутаційної зносостійкостей контактори повинні мати малу масу та розміри. Зона вихлопу розігрітих газів дуги повинна бути якомога малою, що дозволяє скоротити розміри всього пристрою в цілому. Деталі, що найбільш швидко піддаються зносу, мають легко замінитися.

Конструкції контакторів удосконалюються перш за все з метою підвищення їх зносостійкості, а також досягнення простоти і зручності при монтажі та експлуатації. Природно, що собівартість апарату має бути якомога низькою. Для підвищення механічної зносостійкості апаратів використовують такі основні заходи:

- перехід на призматичні опори, що самостійно встановлюються;

- використання пари "метал-пластмаса" у якості деталей тертя;

- поліпшення співвідношення між характеристиками тягової та протидії;

- усунення ударів в опорах і т.п.

Комутаційну зносостійкість можна підвищити за умови:

- а) зменшення або відключення часу існування дуги між рухомими та нерухомими контактами;

- б) зниження моменту інерції рухомих частин;

- в) використання зносостійких матеріалів;

- г) зменшення вібрації контактів при включенні;

- д) використання досконалої дугогасної системи.

Найбільш досконалими контакторами постійного струму для важкого режиму роботи можна вважати контактори серії КПВ-600. На їх прикладі пропонується вивчення основних вузлів, принцип дії і конструкцію контактора постійного струму (рисунок 1.1).

Контактор має такі основні вузли: контактну систему, дугогасну систему, електромагнітний механізм, систему допоміжних контактів.

Основою конструкції контактора є скоба магнітопроводу 6, на котрій монтуються, а також проходять відповідне регулювання всі елементи та вузли контактора. Контактор закріплюється на панелі декількома болтами, що пов'язані зі скобою 6. На цій скобі встановлено ізоляційна пластмасова основа 1, що тримає на собі дугогасну систему. На скобі також встановлені котушка електромагніта 20 із осердям та якорем 17, на хвостовику якого за допомогою скоби 8 закріплена система рухомого контакту 7 разом із контактною пружиною 12, а також гнучкий струмопровідний зв'язок 10.

Контактор вмикається при поданні напруги на котушку 20. Якщо зняти напругу з котушки, контактор буде розімкнений. Необхідна швидкість руху рухомої системи при відключенні створюється силою зворотної пружини 13, силою контактних пружин,

а також моментом, що визначається вагою рухомої системи.

Електрична дуга, що виникає між контактами 1 та 7, видувається на дугогасні рога 2 і 11. Вона гаситься в щільовій камері 14. Розтягнення дуги до критичної довжини (при якій вона гасне) здійснюється системою магнітного дуття з котушкою 3, осердям і сталевими боковими пластинами 15.

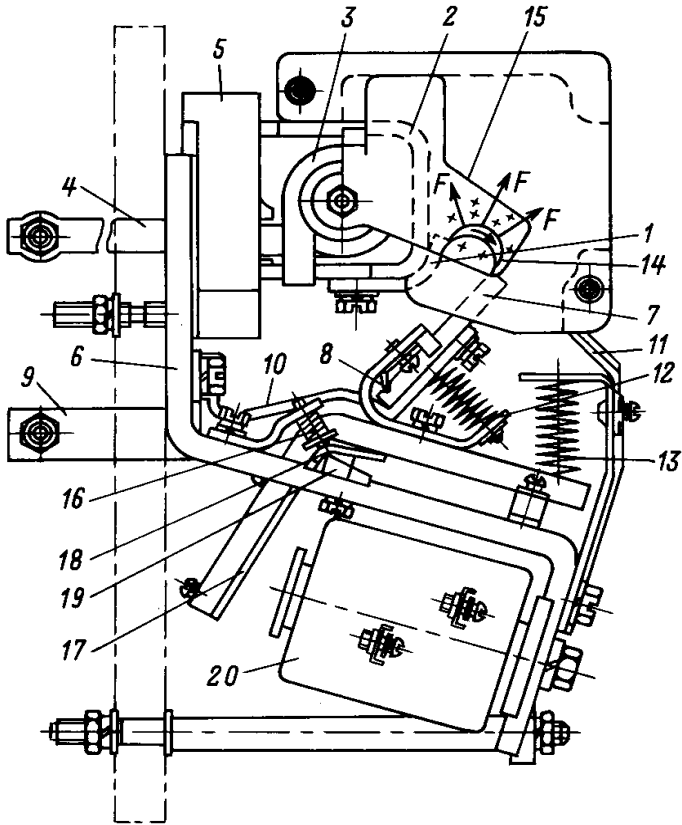


Рисунок 1.1 - Контактор постійного струму

Вертикальне розташування ізоляційних деталей зменшує скупчення пилу на них за умови експлуатації та забезпечує високу електричну міцність ізоляції. Контактор має високу механічну зносостійкість – більш ніж 20 млн. циклів спрацювання.

Контактори серії КПВ-600 випускалися з номінативними струмами 63...630 А. Вони призначені для комутації силових електричних кіл у більшості при напрузі 220 В. Але при нечастих спрацьовуваннях вони можуть комутувати кола з напругою до 400...600 В. Контактори серії КПВ-600 мають таку особливість конструкції, що електричний зв'язок рухомого контакту 9 з корпусом (скобою магнітопроводу 18).

Тягова та протидіюча характеристики контактора постійного струму – це одні з основних характеристик. Залежність зусилля, що створюється електромагнітом, від робочого повітряного зазору $F=f(\delta)$ (або залежність моменту від кута розхилу якоря $M=f(d)$) називається тяговою характеристикою контактора. Електромагнітна сила, що розвивається контактором, має забезпечувати надійне його включення при напрузі мережі не менше $0,85 \cdot U_H$. Для приведення в дію контактора необхідно подолати його сили протидії. Під характеристикою протидії контактора розуміють залежність сумарної сили опору, що протидіє переміщенню рухомої системи, від ходу якоря. Типові для контакторів тягові $F_c=f(\delta)$ і характеристики протидії $F_{np}=f(\delta)$ показані на рисуюнок 1.2.

Сили мають бути приведені до робочого повітряного зазору δ електромагніту. Зазор δ_2 відповідає відпущеному стану якоря, а зазор δ_0 - притягнутому стану якоря електромагніта контактора. Сумарна сила опору складається з сили протидії пружини, що відключає (зворотної), ваги рухомої системи, сил тертя в підшипниках і шарнірах між рухомими деталями, сил контактних пружин, що протидіють. При цьому сили пружин і ваги, що протидіють, не змінюють напрямку дії незалежно від напрямку переміщення якоря; сили тертя змінюють свій напрямку в залежності від напрямку руху якоря

$$F_{i\delta} = F_{2,4} \pm F_1 \pm F_3,$$

де $F_{2,4}$ - зусилля, що створюються відключають і контактними пружинами;

F_1 - вага рухомої системи в залежності від конструкції може

протидіяти (+) або допомагати включенню (-);

F_3 - сили тертя; при включенні - (+), при відключенні - (-)

У загальному випадку протидіюча характеристика являє собою ламану лінію $abcd$ (рисунок 1.2). На рисунок 1.2 показаний найбільш простий випадок характеристики протидії без урахування сил, що утворюються пружинами допоміжних контактів.

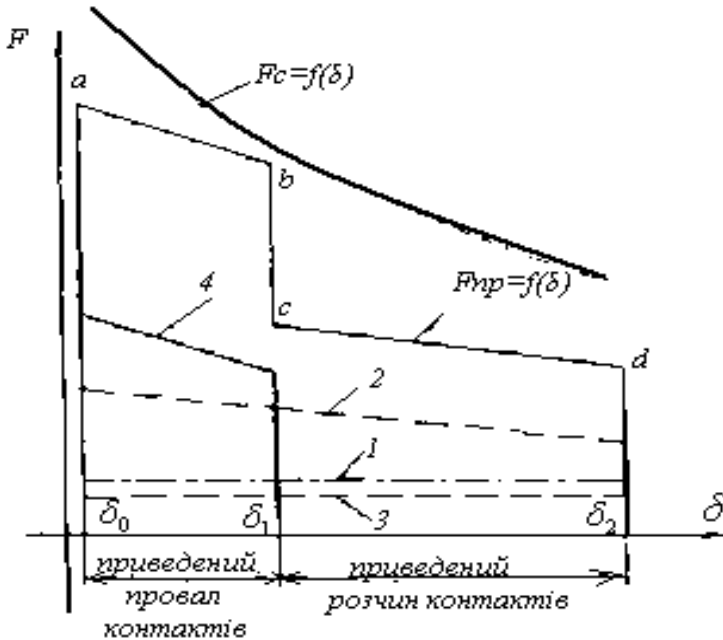


Рисунок 1.2 - Тягова $F_c=f(\delta)$ та протидіюча $F_{np}=f(\delta)$ характеристики контактора

У точці δ_2 діють: вага рухомої системи (крива 1), сила попереднього стиснення зворотної пружини (крива 2) і сили тертя (крива 3). Під час руху якоря сила F_{np} зростає в результаті додаткового стиснення відключає (поворотної) пружини. У точці δ_1 контакти торкаються, при цьому F_{np} зростає стрибкоподібно в результаті початкового стиснення, а потім - плавно за рахунок

додаatkового стиснення контактних пружин (крива 4). Відстань $\delta_1 - \delta_2$ відповідає розхилу контактів контактора, приведеному до осі електромагніту; $\delta_0 - \delta_1$ відповідає провалу контактів, приведених також до осі електромагніту. Тягова характеристика являє собою залежність сили тяжіння електромагніту від зазору (або відповідно залежність моменту тяжіння від кута повороту якоря).

Розрізняють статичну і динамічну тягові характеристики.

Статична тягова характеристика $F_c = f(\delta)$ характеризує тягове зусилля електромагніту контактора при фіксованому положенні якоря. Під час руху якоря змінюється індуктивність системи та динамічна характеристика $F_{дин} = f(\delta)$ буде дещо відрізнятися від статичної, зберігаючи в основному свій характер. Наприклад, при включенні контактора його динамічна характеристика буде знаходитися трохи нижче статичної.

Для забезпечення чіткого та надійного включення контактора тягова характеристика повинна лежати вище протидії і відповідати їй. З цієї точки зору різниця сил повинна бути досить великою. Те ж саме необхідно для забезпечення надійного включення електромагніту при зниженні напруги. Слід зауважити, що чим більше інтервал між тяговою характеристикою і протидії, тим менше коефіцієнт повертання \hat{e}_i , дорівнює відношенню струму відпускання електромагніту до струму спрацьовування. У контактора зазвичай $\hat{e}_i = 0,3 \dots 0,6$. З іншого боку, різниця площ, обмежених кривою $F_{дин} = f(\delta)$ (за грубою оцінкою слід розглядати криві $F_c = f(\delta)$ і $F_{пр} = f(\delta)$), визначає надлишок кінематичної енергії рухомої системи контактора, який витрачається на удари в деталях, вібрацію контактів і т.і. Ці фактори знижують зносостійкість контакторів.

Тягова сила електромагніту розраховується за так звану енергетичну формулою:

$$F = \frac{1}{2} (IW)^2 \delta \frac{dG\delta}{d\delta}, \quad (1.1)$$

де $(IW)^2 \delta$ - сила, що намагнічує, припадає на повітряний зазор, А;

$G\delta$ - магнітна провідність робочого зазору, Гн,

δ - робочий повітряний зазор, м.

Для однорідного магнітного поля в повітряному зазорі (яке може бути в умовах малих зазорів δ при значній площі полюсів S) маємо

$$G_{\delta} = \frac{\mu_0 S}{\delta}; \quad \frac{dG \cdot \delta}{d\delta} = -\frac{\mu_0 \cdot S}{\delta^2}.$$

Після підстановки в (1.1) отримаємо формулу Максвелла для електромагнітної тягової сили.

$$F = \frac{\Phi^2 \delta}{2\mu_0 S}; \quad \text{або} \quad F = \frac{B^2 \delta S}{2\mu_0}.$$

Продовж зменшення δ значення сили різко зростає, причому $\delta = 0$, сила має нескінченно велике значення. Насправді, при $\delta = 0$ величина потоку в системі визначається магнітним опором кола, яке різко зростає в міру насичення магнітопроводу, і сила має кінцеве значення. Різкий вигин експериментальної тягової характеристики, знятої на даному лабораторному стенді при $\delta = 4$ мм, пояснюється наявністю контактних пружин. Динамометр, по якому проводиться відлік, показує різницю між F_c і силою попереднього натискання пружин контактів.

1.3 Опис лабораторного обладнання

Принципова електрична схема дослідження контактора складається зі стандартного блока живлення, що є на всіх лабораторних столах і лабораторного обладнання, яка підключається до блоку живлення за допомогою коротких перемичок. Решта схеми зібрана і змонтована на гетинаксовій панелі. Контактор, що досліджується в роботі, закріплений на лицевій її частині. Живлення на обмотку контактора подається через мілісекундомір Ф-209, який підключається до лабораторного обладнання за допомогою роз'ємних контактів Х. Вимірювання часу спрацювання виконується за допомогою вимірювання власного часу включення і відключення контактора. Для вимірювання струму в колі керування контактора в

режимі амперметра використовується настільний універсальний прилад РА.

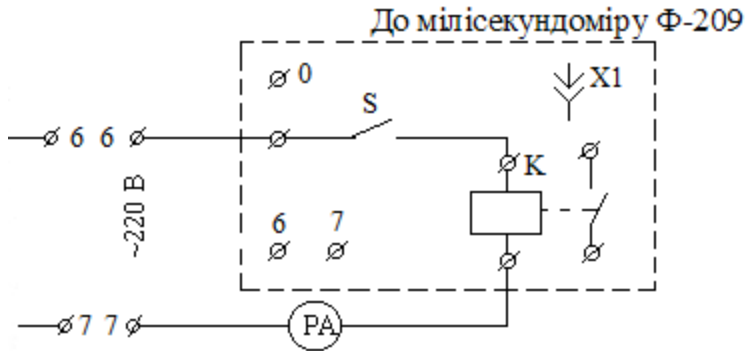


Рисунок 1.3 - Схема лабораторного обладнання

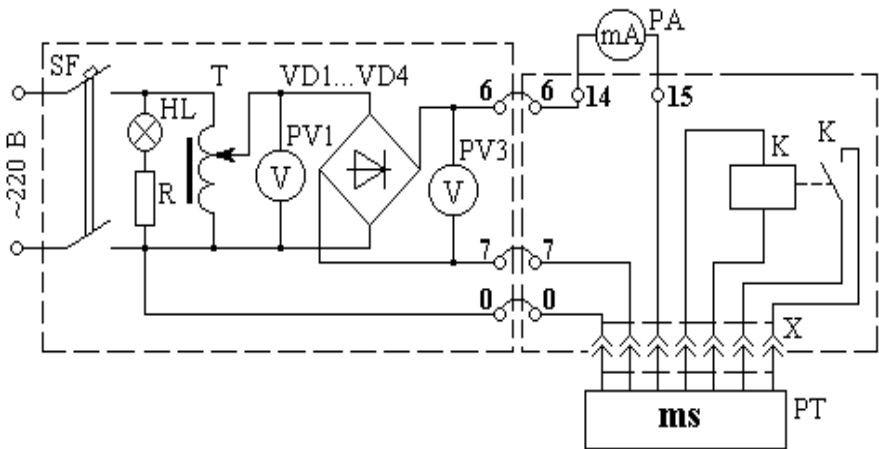


Рисунок 1.4 - Електрична схема дослідження контактора

Живлення на лабораторне обладнання подається вмиканням автоматичного вимикача SF, при цьому повинна загорітися сигнальна лампочка HL. Регулювання напруги живлення здійснюється за допомогою автотрансформатора Т.

1.4 Завдання

1.4.1 Вивчити конструкцію контактора КПВ-600, визначити параметри його головного кола та кола керування і зобразити його кінематичну схему.

1.4.2 Експериментально визначити коефіцієнти звороту і запасу контактора, а також потужність, що споживається контактором у включеному положенні.

1.4.3 Зняти характеристику протидіючих сил та тягову характеристику контактора (згідно зі схемою на рисунок 1.3).

1.4.4 Експериментально визначити залежність струму у котушці електромагніта від величини робочого повітряного зазору електромагніта.

1.4.5 Експериментально визначити залежність власного часу включення і відключення контактора від величини напруги живлення (відповідно зібрати схему, що зображена на рис.1.4).

1.5 Методичні вказівки

1.5.1 Параметри головного кола контактора та кола його керування визначаються за даними, що вказані на щитку контактора і обмотки. Конструкцію контактора КПВ-600 вивчити за [1, стор. 313]. Кінематичну схему контактора скласти шляхом визначення взаємного переміщення його рухомих частин, рухаючи вручну якір до стикання з осердям. Обладнання при цьому повинне бути відключене.

1.5.2 Для зняття характеристики протидіючих сил (виконання п.1.4.3) необхідно відключити стенд. Ця характеристика знімається за характерними точками. Приєднати динамометр до важеля, що з'єднаний з якорем контактора, тягнути за ручку динамометра вгору. В момент, коли якір починає рухатись, зафіксувати показання динамометра (ділянка $\delta_2 d$ на рис.1.2). Наступне показання динамометру зафіксувати в момент торкання головних контактів (ділянка dc). При подальшому натягуванні динамометру, якір залишається нерухомим аж до тих пір, коли приложена до динамометру сила не подолає попереднє стискання контактних пружин. У момент початку продовження руху якоря зафіксувати показання динамометру (ділянка cb). При виборі провалу контактів протидіюча сила буде збільшуватися за рахунок жорсткості

контактних пружин. У момент торкання якоря та полюсного наконечника зафіксувати показання динамометра (ділянка *ba*).

1.5.3 Для зняття тягової характеристики контактора (виконання п.п.1.4.3 та 1.4.4) необхідно зібрати схему лабораторного обладнання за рис.1.3. Після перевірки зібраної схеми викладачем встановити одну з обмежувальних прокладок, що забезпечують необхідний повітряний зазор між якорем та осереддям. Встановити автотрансформатор на 0. Увімкнути автомат SF на стенді. Автотрансформатором Т за прибором PV3 встановити напругу 220 В. Увімкнути перемикач S та, прикладаючи зусилля через динамометр до важеля (тягнути вниз), зафіксувати показання динамометра в момент відриву рухомої частини електромагніту. Показання динамометра помножується на співвідношення плечей (вісь обертання якоря – точка прикладання динамометру та вісь обертання якоря – вісь електромагніта. Відповідно до кінематичної схеми. Встановити наступну прокладку. Увімкнути та повторити вимірювання для усіх повітряних зазорів між якорем та серцевиною. За отриманими даними побудувати тягову характеристику.

1.5.4 Для виконання п. 1.4.2 завдання необхідно:

- а) встановити автотрансформатор Т в нульове положення;
- б) увімкнути автомат SF, при цьому повинна загорітися сигнальна лампочка HL;
- в) плавно збільшуючи напругу живлення автотрансформатором Т, зафіксувати напругу і струм при яких відбувається включення контактора;
- г) продовжуючи збільшувати напругу, довести її до номінального значення (220 В) і визначити струм та потужність, що споживається електромагнітним приводом у включеному положенні контактора;
- е) знижуючи напругу, зафіксувати напругу і струм, при яких відбувається відключення контактора;
- ж) пункти г-е повторити не менше трьох разів, отримані дані занести до таблицю 1.1;
- з) встановити автотрансформатор Т в нульове положення, вимкнути автомат SF.

Таблиця 1.1 - Параметри включення і відключення контактора.

№пп	$U_{\text{вкл}}, \text{В}$	$I_{\text{вкл}}, \text{А}$	$U_{\text{н}}, \text{В}$	$I_{\text{н}}, \text{А}$	$U_{\text{викл}}, \text{В}$	$I_{\text{викл}}, \text{А}$	$P_{\text{спож}}, \text{Вт}$	$K_{\text{зв}}$	$K_{\text{з}}$
1									
2									
3									
Середнє									

1.5.5 Для виконання п. 1.4.5 завдання необхідно розібрати попередньо зібрану схему, а потім за схемою, зображеною на рис.1.4:

а) з'єднати лабораторного обладнання з блоком живлення короткими перемичками 0-0, 6-6 та 7-7;

б) за допомогою роз'ємних контактів Х підключити мілісекундомір Ф-209 до лабораторної панелі;

в) підключити настільний універсальний прилад до клем 14 та 15 та встановити його в режим амперметра з потрібною межею вимірювання.

1.5.6 Вимірювання власного часу включення контактора здійснюється в такій послідовності:

а) підключити шнур живлення мілісекундоміра Ф-209 до розетки "220 В" і увімкнути його кнопкою "Сеть";

б) скинути показання мілісекундоміра натисненням кнопки "Сброс", увімкнути кнопку "Вибрация", перемикач "Режим работы" встановити в положення "1" і прогріти прилад впродовж 5 хв.;

в) увімкнути автомат SF і за допомогою автотрансформатора Т встановити задану напругу, яка повинна бути більшою за напругу включення контактора (див. п. 1.4.2 завдання);

г) увімкнути тумблерний вимикач "Пуск", після включення контактора зняти показання мілісекундоміра і занести їх до таблиці 1.2;

д) вимкнути вимикач "Пуск", скинути показання мілісекундоміра кнопкою "Сброс" і повторити вимірювання при цій же напрузі живлення;

е) виміряти власний час включення контактора при інших значеннях напруги згідно з пп. в-д.

1.5.7 Вимірювання власного часу відключення контактора здійснюється в такій послідовності:

а) перемикач "Режим работы" встановити положення "3";

б) автотрансформатором Т встановити напругу, яка достатня для його включення (див. п. 1.4.5) і включити контактор за допомогою вимикача "Пуск";

в) встановити задану напругу на обмотці контактора, скинути показання мілісекундоміра кнопкою "Сброс" і вимкнути вимикач "Пуск";

г) після відключення контактора зняти показання мілісекундоміра і занести їх до таблиці 1.3;

д) пункти б-д повторити не менше трьох разів, не змінюючи напруги;

е) виміряти власний час відключення контактора при інших напругах.

Таблиця 1.2 - Власний час включення контактора.

Напруга живлення, В					
	90	00	10	20	30
№ випробування					
1					
2					
3					
Середнє					

Таблиця 1.3 - Власний час відключення контактора

Напруга живлення, В					
	90	00	10	20	30
№ випробування					
1					
2					
3					
Середнє					

Відімкнути стенд, відключити мілісекундомір від стенду та лабораторного обладнання.

1.5.8 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

- а) найменування та мету роботи;
- б) кінематичну схему контактора;
- в) електричну схему дослідження контактора (лабораторне обладнання);
- г) таблиці з експериментальними даними досліджень і побудовані за ними графічні залежності у відповідності до завдання;
- е) висновки по роботі.

1.6 Контрольні питання

1.6.1 Що таке контактор і які його основні функції?

1.6.2 Назвіть основні параметри контакторів?

1.6.3 Що таке механічна зносостійкість контактора?

1.6.4 Що таке комутаційна зносостійкість контактора?

1.6.5 Основні елементи конструкції контактора і їх функції.

1.6.6 Принцип роботи дугогасної системи контакторів постійного струму серії КПВ-600.

1.6.7 Що таке власний час включення (відключення) контактора?

1.6.8 Поясніть залежність власного часу включення (відключення) від величини напруги живлення.

1.6.9 Що таке повний час включення (відключення) контактора і чим воно відрізняється від власного?

1.6.10 Поясніть залежність струму в обмотці приводу контактора від величини робочого повітряного зазору.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10 КОНТАКТОР ЗМІННОГО СТРУМУ

Тривалість лабораторного заняття - 4 години.

2.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії, конструкцію і основні вузли контактора змінного струму серії КТ-6013, його призначення; навчитися розшифровувати позначення серії контакторів, визначати кількість контактних затискачів струмоведучих контуру, регулювати початкове натискання контактної пружини, розхил і провал контактів, будувати кінематичну схему і характеристику протидіючих сил контактора, пояснювати залежність струму в котушці електромагніта до контактора змінного струму в функції робочого повітряного зазору.

2.2 Загальні відомості

У лабораторній роботі вивчається і досліджується контактор змінного струму серії КТ-6013. Це двохпозиційний апарат з самоповерненням, призначений для дистанційного включення і відключення електричних кіл з номінальною напругою до 660 В, з частотою 50 Гц в загальнопромислових стаціонарних електроприводах. Схема включення контактора КТ-6013 для пуску і зупинення асинхронного двигуна показана на рисунку 2.1.

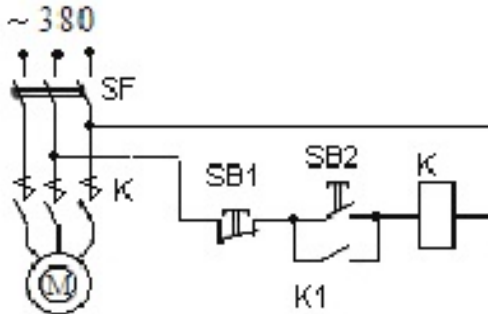


Рисунок 2.1 - Схема пуску і зупинення асинхронного двигуна за допомогою контактора



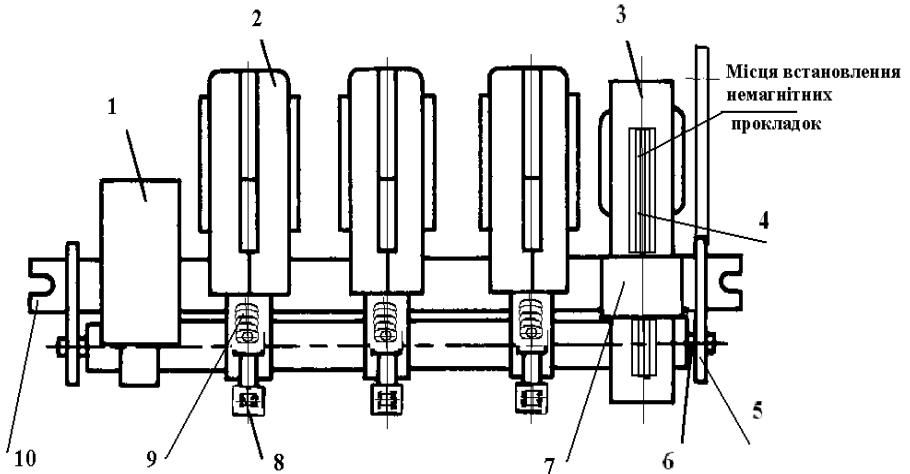
Примітка. Буква "с" додається для позначення типу в тому випадку, коли головні контакти виконуються з металокерамічними накладками на основі срібла. Індекс "ХЛ" додається для позначення типу контакторів, призначених для експлуатації в районах з холодним кліматом. Контактори серії КТ-6000 та КТП-6000 виконуються з замикаючими головними контактами і деіонним гасінням дуги.

Головні контакти контакторів - пальцевого типу, виготовлені з міді. У разі, коли контактори призначені для нечастих комутацій кола (для роботи в тривалому режимі), бажано використовувати контакти з накладками на основі срібла. Загальний вид триполюсного контактора КТ-6000 показано на рисунку 2.2.

Контактор серії КТ-6000 і КТ-7000 випускаються тільки з котушками змінного струму, а контактори серії КТП-6000 - з котушками постійного струму. Контактори серії КТ-6000, КТП-6000 поворотного типу.

На рисунку 2.3 зображено контактну-дугогасну систему контактора КТП-6000. Рухомий контакт 4 з пружиною 8 укріплений на контактотримачі 9. Рухомий контакт 1 і якір магнітопроводу електромагніта пов'язані між собою валом 6 (див. рисунок 2.2). Відключення контактів відбувається за рахунок дії контактних пружин і маси рухомих частин контактора. Контактна пружина 8, так само як і в контакторі постійного струму, має попереднє стиснення, яке на 30-50% менше остаточного контактного натискання. Всі деталі апарату укріплені на

ізоляційної рейці 10 (рисунок 2.2). Важіль 5 рухомих контактів, що укріплені на валу 6, покритий ізоляційним матеріалом.



1 - блок допоміжних контактів;

2 - дугогасні камери;

3 - електромагніт;

4 - якір магнітопроводу;

5 - важіль;

6 - вал;

7 - упор;

8 - скоба з місцем розташування динамометру для визначення сили попереднього стиснення контактної пружини;

9 - контактна пружина;

10 - рейка.

Рисунок 2.2 - Схема контактора серії КТ 6000

Контактори серії КТ-6000 та КТП-6000 (рисунок 2.3) мають систему дугогасіння, яка складається з дугогасної котушки 2, магнітопроводу 15, рога 13 нерухомого контакту 3 і дугогасної камери 1. Обмотка 8 включена в послідовно з нерухомим контактом 12 і рухомих контактом 1 (одна половина камери знята).

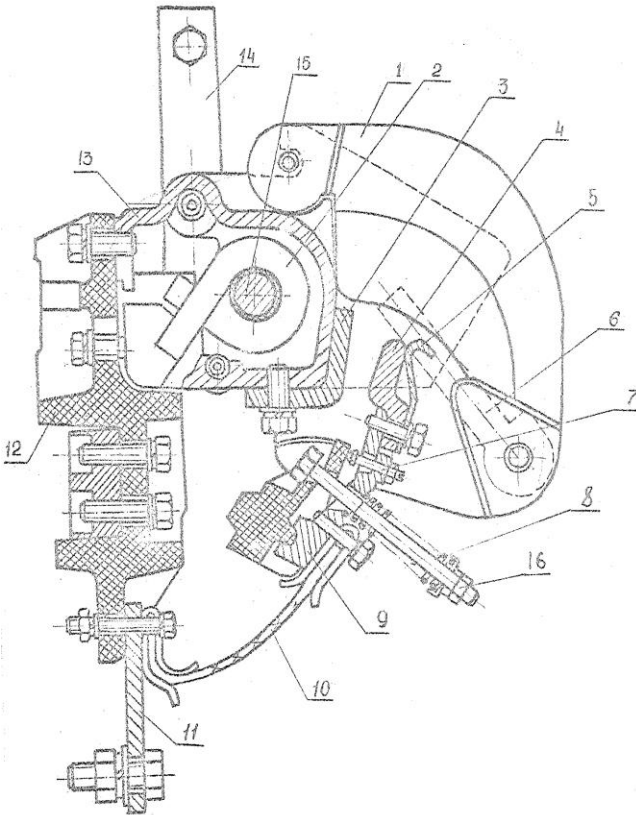


Рисунок 2.3 - Контактно-дугогасна система контактора КТП-6000

Головні контакти підключаються до зовнішнього електричного кола виводами 11 і 14. Рухомий контакт 4 з'єднується з виводом 11 за допомогою гнучкого зв'язку 7. Для підвищення точності обладнання контактного натискання після заміни контактів тиск, що утворюється контактною пружиною, може регулюватися затягуванням гайок 16.

Вісь обертання рухомого контакту збігається з віссю обертання рухомої системи, в зв'язку з чим контакти не мають прослизання і перекату. Рухомий контакт обертається на циліндричному виступі, пластмасового контактотримача.

Дугогасний пристрій змонтовано на пластмасовій колодці 12, що встановлена на рейці контактора. У нижній частині цієї колодки прикріплений вивід 11, з'єднаний з рухомим контактом гнучким з'єднанням 10. Вивід нерухомого контакту 3 припаяний до дугогасної катушки 2. Щоки магнітопроводу дугогасної системи ізольовані від струмопровідних частин і кріпляться до рога 13 нерухомого контакту. Дугогасна камера утримується щоками магнітопроводу дугогасної системи. Для фіксації камери на одній з щік розроблена плоска пружина 6, в отвір якої входить спеціальна гайка камери.

Контактори допускають встановлення двох замикаючих і двох розмикаючих, або трьох замикаючих допоміжних контактів, змонтованих окремим вузлом (рисунок 2.4). Вузол допоміжних контактів складається з пресованого корпусу 6 з нерухомими контактами і пресованої траверси 10, що пересуває рухомі контакти (містки). Переміщення траверси відбувається в металевих напрямляючих. Нижня направляюча виконана знімною, завдяки чому траверса може бути вийнята з корпусу для огляду чи зачистки контактів. Затискачі допоміжних контактів розраховані на приєднання прямих кінців провіднику (без кілець).

У конструкції допоміжних контактів передбачено регулювання розхилів і провалів, для чого між скобою 9 і корпусом 6 встановлюється прокладка 7 з насічкою. Така ж сама насічка існує на корпусі 6, що дозволяє зсувати корпус відносно скоби 9 при відпущених гвинтах 8, що кріплять, і надійно його фіксувати при затягуванні гвинтів.

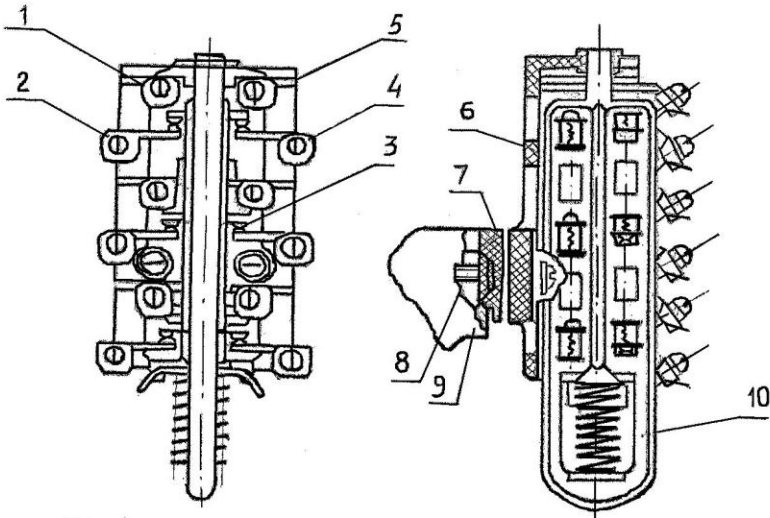
У контакторах розрізняють власний і повний час включення і відключення.

Власний час відключення - це інтервал часу з моменту подачі команди на відключення до моменту припинення торкання контактів полюса, що розмикає останнім.

Повний час відключення - інтервал часу з моменту подачі команди на відключення до моменту припинення струму у всіх полюсах апарату.

Власний час включення - інтервал часу з моменту подачі команди на включення контактної апарату до моменту торкання одного з контактів.

Час включення апарату - інтервал часу з моменту подачі команди на включення контактної апарату до моменту появи заданих умов для проходження струму в його головному колі.



- 1, 2, 4, 5 - пластина контактна;
 3 - контактний місток;
 6 - корпус;7-прокладка;
 8 - гвинт;9-скоба; 10 - траверса.

Рисунок 2.4 - Вузол допоміжних контактів

Механічна зносостійкість визначається числом включень (відключень) контактора без ремонту і заміни його вузлів і деталей без струму в колі головних і вільних контактів. Для сучасних апаратів механічна зносостійкість визначається числом $(10 \dots 20) \cdot 10^6$ операцій, для КТ-6013 з найбільшою допустимою частотою включень $1200 \dots 10 \cdot 10^6$ циклів, з частотою $600 \dots 5 \cdot 10^6$ циклів.

Комутаційна зносостійкість визначається числом включень і відключень кола зі струмом, після якого потрібна заміна зношених контактів; для КТ-6013 вона становить $200 \cdot 10^3$ циклів. Хоча в сучасних апаратах комутаційна зносостійкість може сягати $(2 \dots 3) \cdot 10^6$ операцій.

Напруга (струм) спрацьовування це є найменша напруга (струм) на затискачах котушки електромагніту, при якому якір починає переміщатися до повного притиснення до осердя без проміжних зупинок.

2.3 Підготовка до роботи

У домашню підготовку до роботи входить оформлення заготовки звіту, що містить мету роботи, схему електричної лабораторного обладнання, а також ознайомлення з теоретичними питаннями по розділу "Загальні відомості" і рекомендованої літератури.

Схему обладнання для проведення досліджень показано на рисунку 2.5, де прийняті такі позначення:

- Т - автотрансформатор;
- РТ - електромеханічний секундомір;
- PW – ватметр;
- HL1, HL2, HL3 - неонові лампи (сигнальні);
- R1, R2, R3 - опори;
- S1 - вимикач пакетний;
- S2 - перемикач трипозиційний;
- К - котушка контактора;
- K1, K2, K3 - головні контакти контактора;
- K4 - допоміжний контакт контактора;
- S4 - перемикач кнопковий;
- S3 - вимикач однополюсний;
- SF - автоматичний повітряний вимикач.

2.4 Завдання

2.4.1. Ознайомитися з конструкцією контактора КТ-6013.

2.4.2. Визначити кількість контактних затискачів струмоведучого контуру (на одному полюсі).

2.4.3. Відрегулювати початкове натискання, розхил і провал контактів згідно з паспортними даними.

2.4.4. Домогтися одночасного спрацьовування головних контактів контактора.

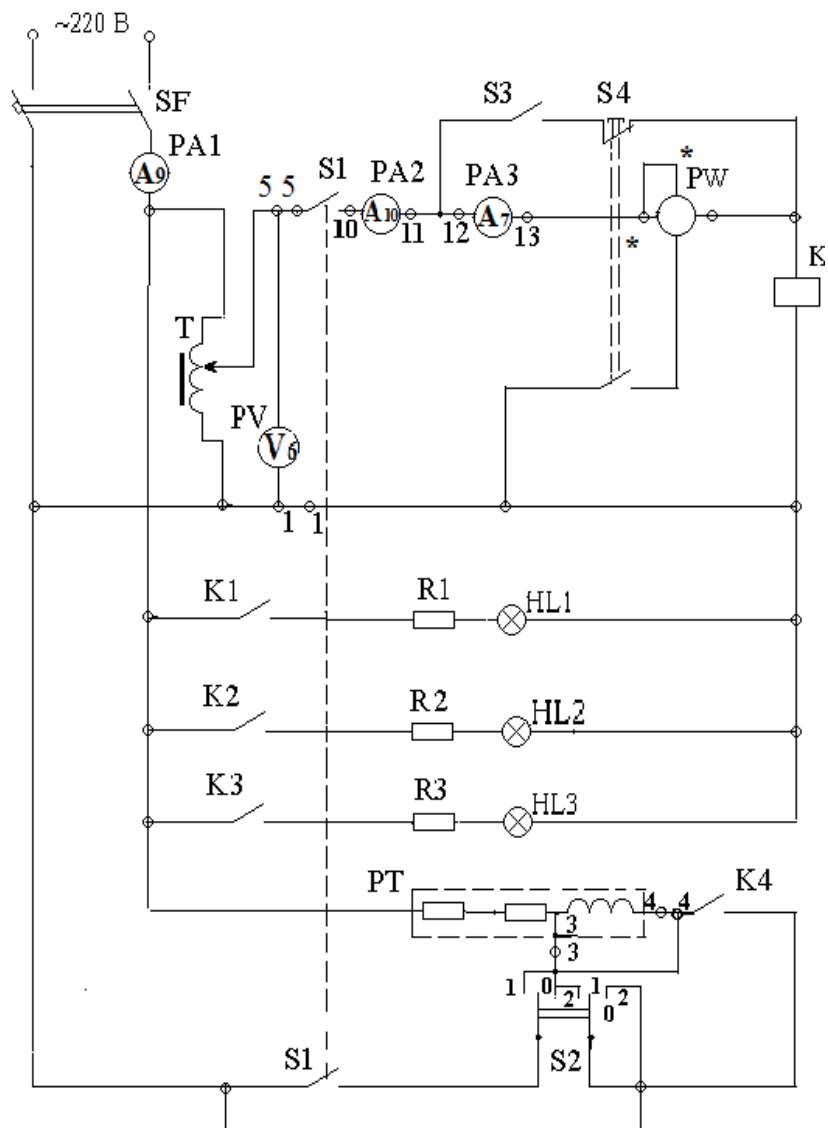


Рисунок 2.5 - Схема электрична лабораторного обладнання

Рису-

2.4.5. Скласти кінематичну схему апарату.

2.4.6. Виміряти кінцеве стиснення контактної пружини.

2.4.7. Побудувати характеристику протидіючих сил.

2.4.8. Визначити коефіцієнт повертання контактів.

2.4.9 Зняти і побудувати залежність струму та індуктивності катушки контактора у функції робочого повітряного зазору.

2.4.10. Визначити власний час включення і відключення контактора.

2.5 Матеріал, інструменти, прилади, обладнання

Лабораторний стенд з контактором КТ-6013; немагнітні прокладки товщиною 1, 3, 5, ... 10 мм; динамометр; викрутка.

2.6 Методичні вказівки

Для виконання п. 3 завдання необхідно уважно вивчити рисунки 2.6, 2.7. Відвернути гайку 2, гвинтом 1 встановити розхил контактів $A=7,5 \dots 8,5$ мм.

Включити контактор за допомогою важеля 5 (див. рисунок 2.2), щупом виміряти зазор "Б". Якщо $B = 1,7 \dots 2$ мм, провал встановлено правильно, якщо ні, то гвинтом 1 відрегулювати його. При цьому має змінитися і розхил контактів. Його необхідно відрегулювати за допомогою упору 7 (див. рисунок 2.2), повертаючи останній на 90° навколо вісі.

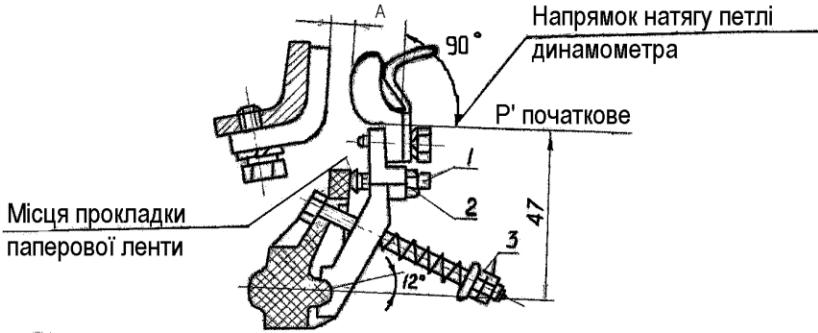
Початкове натискання контактів перевіряється при розімкнених контактах таким чином: тонка паперова стрічка вкладається між виступом валу і регульовальним гвинтом 1 (рисунок 2.6), потім натягом динамометра визначається зусилля, при якому легко витягується смужка паперу. Це зусилля має дорівнювати $7 \dots 15$ Н. Регулюється початкове натискання контактної пружини гайкою і контргайкою 3.

Сила попереднього стискання контактної пружини перераховується за співвідношенням плечей згідно до кінематичної схеми.

Неодноразність торкання дозволяється до 0,3 мм, причому досягається це дорегулюванням провалів гвинтом 1 (рисунок 2.6).

Для виконання п.6 завдання необхідно включити контактор і динамометром (аналогічно визначенню початкового натискання контактів) визначити зусилля, при якому лампочка HL1 (HL2, HL3) гасне.

Потім за співвідношенням плечей привести це зусилля до вісі контактною пружини.



- 1 – гвинт, що регулює провал;
- 2 – контргайка;
- 3 – гайка та контргайка пружини.

Рисунок 2.6 - Перевірка початкового натискання

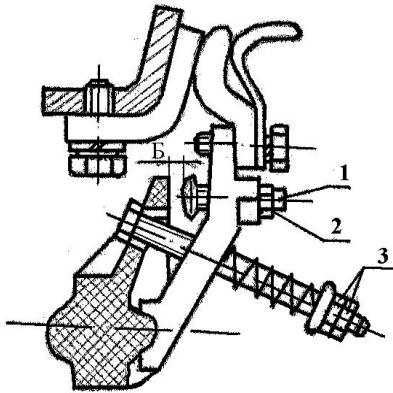


Рисунок 2.7 - Зазор "Б", що контролює провал

Для побудови характеристики протидіючих сил (см. п.2.4.7) необхідно визначити початкове і кінцеве значення протидіючих сил при виборі розхилу контактів. Початкове значення протидіючих сил визначити натягом динамометра, закріпленого на важелі 9 до початку

зрушення контакту (визначається візуально). Кінцеве значення протидіючих сил визначити так само динамометром до моменту дотику контактів (загоряється хоча б одна сигнальна лампа HL1, HL2, HL3).

Потім ці зусилля привести до вісі робочого повітряного зазору. При виконанні п.9 необхідно важелем включити контактор і, притримуючи важіль 9 рукою, включити S1. Натиснувши кнопку S4, зафіксувати показання приладів і занести в таблицю. Вимкнути S1 та S4. Зазор задається прокладками з немагнітного матеріалу. Прокладки встановлюються між якорем 4 і осердям магнітопроводу електромагніта (див. рисунок 2. 2).

Це випробування необхідно виконувати швидко, щоб уникнути перегріву котушки!

Для вимірювання власного часу включення контактора за п. 10 перемикач S2 поставити в положення "1". Увімкнути та вимкнути кілька разів S1, не скидаючи показників секундоміра. Сумарний час розділити на кількість включень S1 при напрузі котушки, що дорівнює 220 В.

Власний час відключення виміряти аналогічно, тільки перемикач S2 поставити в положення "2".

Параметри котушки змінного струму розрахувати, виходячи зі схеми на рисунку 2.8.

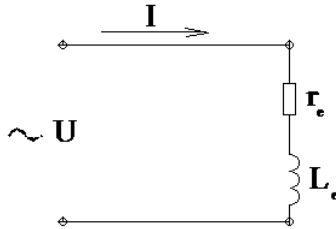


Рисунок 2.8 - Схема заміщення котушки електромагніту із сталевим осердям

$$Z = \frac{U}{I}; \quad \cos \varphi = \frac{W}{U \cdot I}; \quad \omega = 2\pi f;$$

$$r_e = Z \cdot \cos \varphi; \quad L_e = \frac{Z}{\omega} \sin \varphi,$$

де Z – повний опір обмотки.

2.7 Зміст звіту

2.7.1. Мета роботи та завдання.

2.7.2. Схема лабораторного обладнання.

2.7.3. Кінематична схема контактора КТ-6000.

2.7.4. Результати розрахунків і дослідів в табличній та графічній формах.

2.7.5. Характеристика протидіючих сил.

2.7.6. Висновки і результати з питань завдання.

2.8 Питання для самоперевірки

2.8.1. Поясніть принцип дії та призначення основних вузлів контактора.

2.8.2. Чим пояснити вібрацію якоря (сильне гудіння) при встановленні у робочому повітряному зазорі магнітопроводу немагнітних прокладок?

2.8.3. Поясніть залежності $L = f(\delta)$ і $I = f(\delta)$,

2.8.4. Порівняйте $F_e = f(\delta)$ електромагнітів постійного і змінного струмів.

2.8.5. Яким чином можна регулювати зазор і провал головних і допоміжних контактів?

2.8.6. Які дугогасні системи застосовуються в контакторах змінного струму?

2.8.7. Чим пояснити ефективність гасіння дуги в щільовій камері; в дугогасній решітці?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ РЕЛЕ ЧАСУ З МАГНІТНИМ ТА МЕХАНІЧНИМ ДЕМПФУВАННЯМ

Тривалість лабораторного заняття - 2 години.

3.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчити основні принципи утворення витримки часу електромагнітних реле, а також експериментально підтвердити

основні методи регулювання часу спрацьовування і часу відпускання реле часу, що серійно виробляються.

3.2 Загальні відомості

Реле часу представляють собою логічні реле з нормованим часом спрацьовування. Вони призначені для утворення заданих витримок часу під час передачі сигналів з одного кола в інший і набули широкого розповсюдження в схемах автоматизованого електропривода, пристроях автоматики, телемеханіки, релейного захисту, тощо.

Серед реле часу найбільш широкого розповсюдження набули електромагнітні реле часу, в яких використовуються магнітні системи постійного і змінного струму. Час спрацьовування $t_{спр}$ електромагнітних реле як при включенні, так і при відключенні має дві складові:

$$t_{спр} = t_{зр} + t_p,$$

де $t_{зр}$ - час зрушення;

t_p - час руху.

Час зрушення - представляє собою прошарок часу з моменту подачі на обмотку (при включенні реле) або зняття з обмотки (при відключенні реле) живлення до початку безпосереднього руху рухомих частин реле, тобто це час нерухомого стану якоря під час зміни магнітного потоку при включенні або відключенні обмотки реле.

Час руху – це час руху до повного його притягнення (при включенні реле) або до повного його відпадання (при відключенні реле).

Зменшення часу спрацьовування реле здійснюється за рахунок збільшення часу зрушення $t_{зр}$ або часу руху t_p . В першому випадку збільшення часу зрушення (а отже і часу спрацьовування реле) може здійснюватись за рахунок магнітного демпфування, а у другому - за рахунок механічного демпфування.

Магнітним демпфуванням називається спосіб впливу на швидкість змінення магнітного потоку в магнітопроводі при включенні або відключенні реле. Принцип магнітного демпфування заснований на використанні магнітних потоків, що утворюються вихровими струмами, які з'являються у масивних деталях магнітопроводу при змінюванні основного магнітного потоку. Магнітні потоки вихрових струмів у відповідності з правилом Ленца направлені по відношенню до основного магнітного потоку таким чином, щоб підтримати попередній

стан магнітної системи. Отже, при включенні або відключенні обмотки вони зменшують швидкість змінювання магнітного потоку. Ефективність магнітного демпфування тим вище, чим вище абсолютна величина основного магнітного потоку, тому більший ефект досягається при вимиканні електромагнітного реле часу. Це пояснюється тим, що при притягнутому якорі магнітний потік значно більше, ніж при відпущеному. Для підсилення магнітного демпфування електромагніти доповнюються короткозамкненими (демпфуючими) витками, які виконуються в більшості випадків у вигляді масивних мідних або алюмінієвих гільз або обмоток, які насаджуються на магнітопровід і підвищують вихрові струми. Найбільший ефект при найменшій витраті матеріалу досягається, якщо довжина гільзи дорівнює довжині осердя.

За допомогою магнітного демпфування вдається отримати витримку часу порядку 0,1...0,5 с при включенні і 0,2...10 с при відключенні. Принцип магнітного демпфування використовується в реле часу типів РЭВ-800, РЭ-500, РЭ-100 та інших, що широко використовуються для керування електроприводами.

Регулювання витримки часу при відключенні реле часу з магнітним демпфування може здійснюватись зміненням натягу зворотної пружини і, тим самим, магнітного потоку відпускання або величиною робочого повітряного зазору (наприклад за допомогою немагнітних прокладок), який мало впливає на сталий магнітний потік, але суттєво впливає на швидкість його зменшення. Підвищення часу спрацьовування електромагнітного реле часу може також забезпечуватись підвищенням часу руху t_p . Час руху представляє собою час руху якорю реле до повного його притягнення. Вплив на час руху реле здійснюється, головним чином, за допомогою механічного демпфування. В таких реле часу рухомі частини електромагніту діють на контактну систему через сповільнюючий пристрій (пневматичний демпфер, часовий механізм тощо). Механічне демпфування використовується в реле часу типів ЭВ-110, ЭВ-120, ЭВ - 130 та ін., що широко використовуються в схемах релейного захисту. Способи регулювання часу спрацьовування реле часу з механічним демпфуванням різноманітні і визначаються конкретною конструкцією реле.

Предметом дослідження даної лабораторної роботи є електромагнітні реле часу типу РЭ-511, в якому використовується принцип магнітного демпфування, і ЭВ-130, в якому витримка часу утворюється за допомогою часового механізму.

3.3 Опис лабораторного обладнання

Обладнання для дослідження реле часу складається зі стандартного блоку живлення, що є на всіх лабораторних столах, і лабораторного обладнання. Реле часу, що досліджуються у роботі, закріплені на передній частині гетинаксової панелі лабораторного обладнання. Принципова електрична схема дослідження реле часу показана на рисунку 3.1. Лабораторне обладнання підключається до блоку живлення за допомогою коротких провідників. Решта схема зібрана і змонтована на лабораторній панелі. Для вимірювання часу спрацьовування реле використовується електромеханічний секундомір РТ, встановлений на панелі блоку живлення. Коло керування реле часу К1 (РЭ-511) вмикається і вимикається тумблером S2, а К2 (ЭВ-130) – тумблером S1.

Живлення на лабораторне обладнання подається включенням автоматичного вимикача SF, встановленого на панелі блоку живлення, при цьому запалюється сигнальна лампочка HL. Регулювання напруги живлення здійснюється за допомогою автотрансформатора Т.

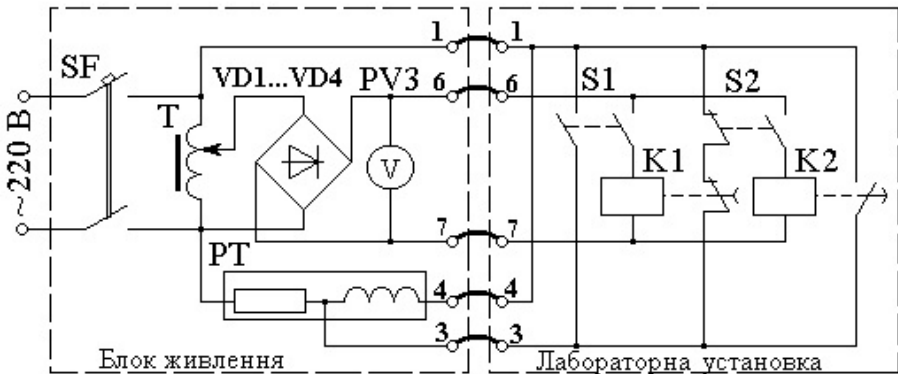


Рисунок 3.1 - Електрична схема дослідження реле часу

При вимірюванні часу спрацьовування реле К1 при відключенні схема працює таким чином. У знеструмленому стані електромеханічний секундомір РТ не працює тому, що його обмотка зашунтована контактами, що розмикаються, реле К1. При вмиканні S2 контакти реле К1 розмикаються, але РТ не працює, бо його обмотка шунтується контактами S2. При вимиканні S2 електросекундомір РТ працює до

тих пір, поки його обмотка не буде зашунтована контактами, що розмикаються, реле К1, тобто не відбудеться спрацьовування реле.

При вимірюванні часу спрацьовування реле К2 при включенні схема працює таким чином. У початковому положенні обмотка РТ зашунтована контактом тумблера S1. При його вмиканні подається живлення на обмотку К2 і починає працювати РТ тому, що друга пара контактів S1 працює на розмикання. При замиканні контакту, що замикається, реле К2 обмотка РТ шунтується і він припиняє працювати.

3.4 Завдання

3.4.1 Вивчити принципи утворення витримки часу за допомогою магнітного і механічного демпфування.

3.4.2 Вивчити роботу схеми лабораторного обладнання при вимірюванні часу спрацьовування досліджуваних реле часу.

3.4.3 Вивчити конструкцію реле часу з магнітним демпфуванням РЭ-511. Вказати у звіті основні його елементи і їх призначення.

3.4.4 Експериментально визначити залежності часу спрацьовування при включенні реле РЭ-511 від натягу зворотної пружини, величини робочого повітряного зазору і напруги живлення. Побудувати графіки отриманих залежностей.

3.4.5 Вивчити конструкцію реле часу з механічним демпфуванням ЭВ-130. Вказати у звіті його основні елементи і їх призначення.

3.4.6 Експериментально визначити залежність часу спрацьовування при включенні реле ЭВ-130 від його уставки по часу, а також відносну похибку його уставок (середнє значення). Побудувати графік отриманої залежності.

3.5 Методичні вказівки

3.5.1 При виконанні п. 3.4.1 завдання слід користуватись матеріалами лекції по відповідній темі, розділом "Предмет дослідження" та рекомендованою літературою.

3.5.2 Схема лабораторного обладнання і принцип її роботи подані у розділі 3.3 "Опис лабораторного обладнання"

3.5.3 При виконанні пп. 3.4.3 і 3.4.6 слід користуватись рекомендованою літературою. Зокрема, опис конструкції РЭ-511 надано у [1,

стор. 370], опис конструкції ЭВ-122 (аналогічне досліджуваному) надано у [8, стор. 78].

3.5.4 Для виконання експериментальної частини роботи необхідно підключити лабораторну обладнання до блоку живлення, з'єднавши за допомогою коротких провідників відповідно клеми: 1-1, 3-3, 4-4, 6-6 і 7-7.

3.5.5 Виконання п. 3.4.4 завдання здійснюється у такій послідовності:

а) встановити заданий натяг зворотної пружини реле, який регулюється ступенево за допомогою пластин товщиною 1,5 мм; пластини закладаються поміж фігурної гайки і шайби; натяг пружини вимірюється кількістю встановлених пластин n ;

б) встановити задану величину робочого повітряного зазору, яка регулюється за допомогою немагнітних (латунних або мідних) прокладок товщиною 0,1; 0,2; 0,4 і 0,6 мм, що закладаються у щілину, що закріплена на якорі;

в) увімкнути автомат SF, при цьому повинна запалитись сигнальна лампочка HL;

г) увімкнути S2 і, підвищуючи напругу живлення за допомогою автотрансформатора Т, домогтись спрацьовування реле часу;

д) за допомогою автотрансформатора Т встановити задану величину напруги живлення;

е) встановити стрілку РТ на нуль;

ж) вимкнути S2 і зняти показання РТ;

з) вимкнути автомат SF;

и) виконуючи послідовно пункти а-з, зняти залежність у відповідності до п. 3.4.4 завдання, заносючи показання до таблиць 3.1, 3.2 і 3.3;

к) після зняття всіх залежностей необхідно вимкнути автомат SF і встановити автотрансформатор Т на нуль.

Таблиця 3.1 - Залежність часу спрацьовування реле від натягу зворотної пружини

$\delta = \underline{\hspace{2cm}}$ мм; $U_{ж} = \underline{\hspace{2cm}}$ В (задаються викладачем).

Натяг пружини, n	0	1	2	3	4	5
Час спрацьовування, с						

3.5.6 Виконання п. 3.4.6 завдання здійснюється в такій послідовності:

а) встановити задану уставку часу спрацьовування реле ЭВ-130; це здійснюється обладнанням і фіксуванням контактів реле в одному з положень у відповідності до уставки, що визначається за шкалою (пластмасовий покажчик ставиться проти відповідної риски на шкалі);

Таблиця 3.2 - Залежність часу спрацьовування реле від робочого повітряного зазору

$n = \underline{\hspace{2cm}}$; $U_{ж} = \underline{\hspace{2cm}}$ В (задаються викладачем).

Повітряний зазор, мм	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Час спрацьовування, с						

Таблиця 3.3 - Залежність часу спрацьовування реле від напруги живлення

$n = \underline{\hspace{2cm}}$; $\delta = \underline{\hspace{2cm}}$ мм (задаються викладачем).

Напруга живлення, В	50	80	120	150	200	220
Час спрацьовування, с						

б) увімкнути автомат SF і за допомогою автотрансформатора Т встановити за приладом PV3 номінальну напругу обмотки реле, яка дорівнює 220 В;

в) скинути показання мілісекундоміра РТ;

- г) увімкнути S1 і після зупинення стрілки РТ зафіксувати його показання і занести їх до таблиці 3.4;
- д) вимкнути S1 і автомат SF;
- е) виконуючи послідовно пп. а-д, зняти залежність у відповідності до завдання;
- ж) визначити абсолютну та відносну похибки відповідно за такими формулами:

$$\Delta t = |t_{\text{спр}} - t_y|; \quad \delta_t = \frac{\Delta t}{t_y},$$

де t_y - уставка часу спрацьовування;

- з) результати розрахунків занести до таблицю 3.4.

3.5.7 Після зняття залежності необхідно встановити автотрансформатор Т на нуль і вимкнути автомат SF.

3.5.8 Отримані експериментальні залежності необхідно узгодити з викладачем, після чого розібрати схему.

Таблиця 3.4 - Залежність часу спрацьовування і похибки від уставки реле часу ЭВ-134

Уставка часу спрацьовування, с	,5						
Час спрацьовування, с							
Абсолютна похибка, с							
Відносна похибка, %							

3.5.9 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

- а) найменування та мету роботи;
- б) електричну схему дослідження реле часу;
- в) експериментальні дані у вигляді таблиць і побудовані за ними графічні залежності;
- г) розрахунок похибок уставок спрацьовування реле часу з механічним демпфуванням;
- д) висновки по роботі.

3.6 Питання для самоперевірки

3.6.1 Що таке реле часу і де вони використовуються?

3.6.2 Які складові має час спрацьовування електромагнітного реле?

3.6.3 Якими способами можна збільшити час спрацьовування електромагнітних реле?

3.6.4 В чому полягає принцип магнітного демпфування?

3.6.5 Як можна регулювати час спрацьовування реле з магнітним демпфуванням?

3.6.6 Поясніть залежності $t_{спр} = f(n)$; $t_{спр} = f(\delta)$ і $t_{спр} = f(U_{ж})$;

3.6.7 Яким чином здійснюється механічне демпфування в реле часу?

3.6.8 Поясніть наявність похибки спрацьовування реле часу з механічним демпфуванням.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12 БІМЕТАЛЕВІ ТЕПЛОВІ РЕЛЕ

Тривалість лабораторного заняття - 4 години.

4.1 Мета роботи

Ознайомитися з принциповим виконанням теплових реле; вивчити конструкцію і зняти дослідним шляхом часошумову характеристику реле типу ТРН-25; засвоїти принцип дії теплових реле всіх типів, види нагрівання біметалевих пластин, що використовуються в теплових реле; матеріали, що використовуються для виготовлення біметалевих пластин; способи регулювання струму спрацьовування теплових реле у вузькому та широкому діапазонах; навчитися відображати схему включення теплового реле захисту електродвигуна; знімати і будувати часошумову характеристику теплового реле.

4.2 Загальні відомості

Довготривалість електричного обладнання в значній мірі залежить від перевантажень, яким воно піддається під час роботи. Якщо термін служби електродвигуна в нормальному режимі експлуатації дорівнює 20 рокам, то при його тепловому перевантаженні на 180% термін служби двигуна зменшується до одного місяця. Для захисту

електричного обладнання, зокрема електродвигунів, від нагріву за рахунок струмів перевантаження, яке є вищим за допустиме значення, найбільш широке розповсюдження отримали теплове реле з біметалевими пластинами. Схема включення теплового реле захисту асинхронного двигуна з КЗ ротором показана на рисунку 4.1. Основний елемент теплового реле – є біметалева пластина, яка виконана з двох металів, що мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення. Метал з більшим коефіцієнтом лінійного розширення α_1 називається активним, а з малим коефіцієнтом α_2 – пасивним.

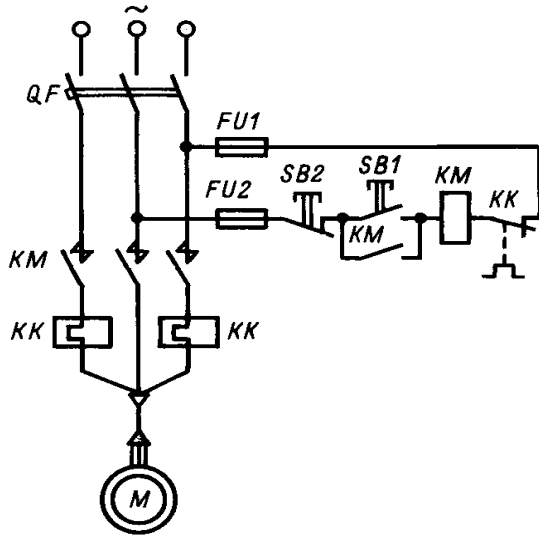


Рисунок 4.1- Схема включення та захисту електродвигуна від перевантаження за допомогою теплового реле

У місці накладання одна до одної пластини жорстко закріплені в результаті прокату в гарячому стані або зварювання.

Якщо закріпити нерухомо один кінець такої пластини і нагріти, відбудеться згинання пластини у бік пасивного шару. Саме це явище використовується у теплових реле, терморегуляторах і т.і.

Максимальний прогин незакріпленого кінця біметалевої пластини розраховується за формулою:

$$X_{\text{вд}} \frac{3}{4} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \frac{l^2 \cdot \tau}{\delta}, \dots \quad (4.1)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти лінійного розширення відповідно до активного та пасивного шарів, $1/^\circ\text{C}$;

l - довжина пластини, мм;

τ - перевищення температури нагріву пластини над температурою навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$;

δ - сумарна товщина пластини, мм.

Вільний кінець пластини розвиває таку силу:

$$F = \frac{3}{16} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \frac{b \cdot \delta^2}{l} \cdot E \cdot \tau, \dots \quad (4.2)$$

де b - ширина пластини, мм;

E - середній модуль пружності пластини Н / мм²;

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2}.$$

З рівнянь (4.1), (4.2) виходить, що прогин і сила тим більше, чим більше різниця $(\alpha_1 - \alpha_2)$. Для активних шарів застосовуються залізо-нікельмолібденові сплави, що мають $\alpha = (18..19) \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$, а також сплави на мідній основі: латунь, константан, алюмінієва та берилієва бронза з $\alpha = (16..23) \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Для пасивних шарів набули поширення залізонікелеві сплави з 36% - м вмістом нікелю $\alpha = (1..7) \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Біметалеві пластини можуть нагріватися електричним струмом, що протікає безпосередньо пластиною (безпосереднє нагрівання), а також від окремих нагрівальних елементів (непряме нагрівання). У деяких апаратах поєднуються безпосереднє і непряме нагрівання (комбіноване нагрівання).

При безпосередньому нагріванні широке регулювання струму спрацьовування теплового реле здійснюється добиранням відповідних опорів (шунтів), що вмикаються паралельно біметалевій пластині.

Широке регулювання струму спрацьовування при непрямому нагріванні зазвичай виконується за допомогою заміни нагрівальних елементів.

Регулювання струму спрацьовування в невеликих межах досягається зміною:

- прогину біметалевої пластини, необхідного для спрацьовування механізму, що відключає;

- зусилля, що розвиває біметалева пластина.

В реле ТРН-25 можливий прогин біметалевої пластини регулюється за допомогою ексцентрика 3. Діапазон регулювання струму уставки $\pm 25\% \cdot I_n$.

До основних вимог, що пред'являються до конструкцій теплових реле, відносяться:

- 1) мала залежність уставки спрацьовування від температури навколишнього середовища;

- 2) швидке розмикання і замикання контактів в колі. Крім того, в замкнутих контактах має бути забезпечено достатнє натискання.

Перша вимога зазвичай задовольняється підвищенням робочої температури біметалевого пристрою, при якому воно спрацьовує. Друга вимога в сучасних конструкціях задовольняється, як правило, за допомогою пружин - циліндричних, гвинтових або пластинчастих.

На рисунках 4.2 показано декілька принципів конструктивних виконань біметалевих механізмів теплових реле.

Розмикання контактів 9 у механізмі, що зображений на рисунку 4.2, а), відбувається під дією пружини 1 в той час, коли біметалева пластина 3, що згинається при нагріванні, звільнить засувку 5. Біметалева пластина нагрівається елементом 4. Упор 2 обмежує хід засувки 5 при розмиканні контактів. Даний механізм не забезпечує автоматичного замикання контактів після охолодження біметалевої пластини. Повернення реле у початкове положення здійснюється вручну натисканням на кнопку 6, що комплектується пружиною 7.

За допомогою регулювального важеля 8 змінюється відстань, на яку має прогнутися біметалева пластина, щоб звільнити засувку 5. Чим більше відстань x , тим більший струм в нагрівальному елементі, при якому реле спрацьовує за один і той же час.

Робота механізму, що зображена на рисунку 4.2, б), аналогічна роботі згаданого механізму.

Пластинчатий елемент 8 нагріває біметалеву пластину 7, яка згинаючись, повертає рамку 9, жорстко з'єднану з термокомпенсатором 6. Термокомпенсатор стискає пружину 4 і знімає засувку 5 з упору 2, звільнивши тим самим пружину 10, яка, виштовхуючи вгору ізоляційну траверсу, розімкне контакти 11. Зворотнє замикання контактів здійснюється вручну натисканням на траверсу 1 (після охолодження біметалевої пластини), при цьому засувка 5 встановлюється на упор 2. Струм уставки реле в невеликому діапазоні регулюється зміною відстані між засувкою 5 і термокомпенсатором 6 за допомогою пристрою ексцентрика, що оснащений покажчиком 3. При повороті покажчика упор 2 переміщується, змінюючи відстань від засувки 5 до термокомпенсатора 6.

Термокомпенсатор 6 являє собою звичайну біметалеву пластину і служить для зниження впливу температури навколишнього середовища на струм уставки реле. Зі зміною температури навколишнього середовища термокомпенсатор вигинається в бік, зворотній вигину біметалевої пластини 7.

У механізмі (рисунок 4.2, в) розмикання контактів 2 здійснюється пластинчатою пружиною 6, зусилля якої при згинанні біметалевої пластини 4 на певне значення стрибком змінює свій напрямок. Пластина 4 нагрівається елементом 5.

Залежно від розташування упору 3 даний механізм може повертатися у початкове положення автоматично при охолодженні пластини 4. Важелем 1 змінюється вигин пружини 6, за рахунок чого змінюється струм, при якому спрацьовує реле. До числа основних недоліків такого механізму слід віднести зниження натискання в контакті 2 в залежності від вигину біметалевої пластини 4.

У механізмі (рисунок 4.2, г) при нагріванні за рахунок елемента 4 біметалева пластина 3 спочатку випрямляється. При цьому планка 5 відхиляється, і пружина 2 розтягується. Після того, як пластина 3 почне прогинатися у зворотній бік, її зусилля співпадає з зусиллям пружини 2 і відбувається швидкий вигин пластини і розмикання контактів 7. Упор 6 обмежує розхил контактів, а за допомогою гвинта 1 можна змінювати в певних межах струм спрацьовування реле та його часоструміву характеристику.

У механізмі, зображеному на рисунку 4.2, д), залежно від вигину біметалевої пластини 4 змінюється напрямок дії пружини, що була попередньо стиснута 9, відносно вісі обертання контактної колодки 1.

В холодному стані край пластини 4 притиснутий до упору 8, і зусилля пружини буде діяти на замикання контактів 10. З нагріванням елемента 5 вона разом з верхнім краєм пружини буде згинатися в бік упору 2. Напрямок зусилля пружини 9 буде змінюватися, і вона буде діяти на розмикання контактів під час переходу через центральну вісьову лінію колодки 1.

Струм спрацьовування реле регулюється важелем 6, що перетавляється по зубчатому сектору 7, фіксують його положення. При пересуванні важеля 6 змінюється вигин біметалевої пластини.

Повернення реле в початкове положення може статися автоматично при охолодженні пластини. Однак, якщо прибрати упор 11, то при спрацьовуванні контактна колодка може повернутися так, що повернення в початкове положення буде неможливо. У конструкціях таких реле передбачена кнопка повернення 3.

Механізм В.А. Олексіївського (рисунок 4.2, е) являє собою конструктивне поєднання біметалевого елемента 1 із стрибаючою контактною групою 5. В холодному стані біметалева пластинка притиснута до верхнього упору 2 плоскою пружиною-ресоркою 3, яка другим краєм здійснює натискання в контакт 5. Ресорка може вільно повертатися в місцях її кріплення до пластини та колодки з контактами. З нагрівом біметалевої пластини, її зусилля на кінці долає зусилля ресорки, і пластинка почне вигинатися. Як тільки край ресорки, закріплений на пластині, опиниться нижче края, який закріплений на контактній колодці, відбудеться розмикання контактів.

Рухомий контакт буде притиснутий ресоркою до упору 4. Залежно від розташування упору 4 механізм буде зручним поверненням або з самозворотом. Якщо упор 4 розташований нижче ніж упор 2, то при охолодженні пластини відбудеться автоматичне замикання контактів 5. В іншому випадку можливе лише ручне повернення у початкове положення. Сила струму спрацьовування в механізмі В.Л. Олексіївського регулюється зміною довжини ресорки 3. С цією метою на краях ресорки зроблено декілька спеціальних просечек, за допомогою яких вона натягується на виступи біметалевої пластини 1, а також контактної колодки 6.

Основна характеристика теплових реле - їх часострумова характеристика, що показує, як змінюється час спрацьовування в залежності зміни струму в колі. У загальному випадку часострумова характеристика має гіперболічний характер. Захист електричних пристроїв

відбудеться в тому випадку, коли часострумова характеристика теплового реле розташовується трохи нижче захисної характеристики електричного пристрою на всьому діапазоні можливих струмів перевантаження.

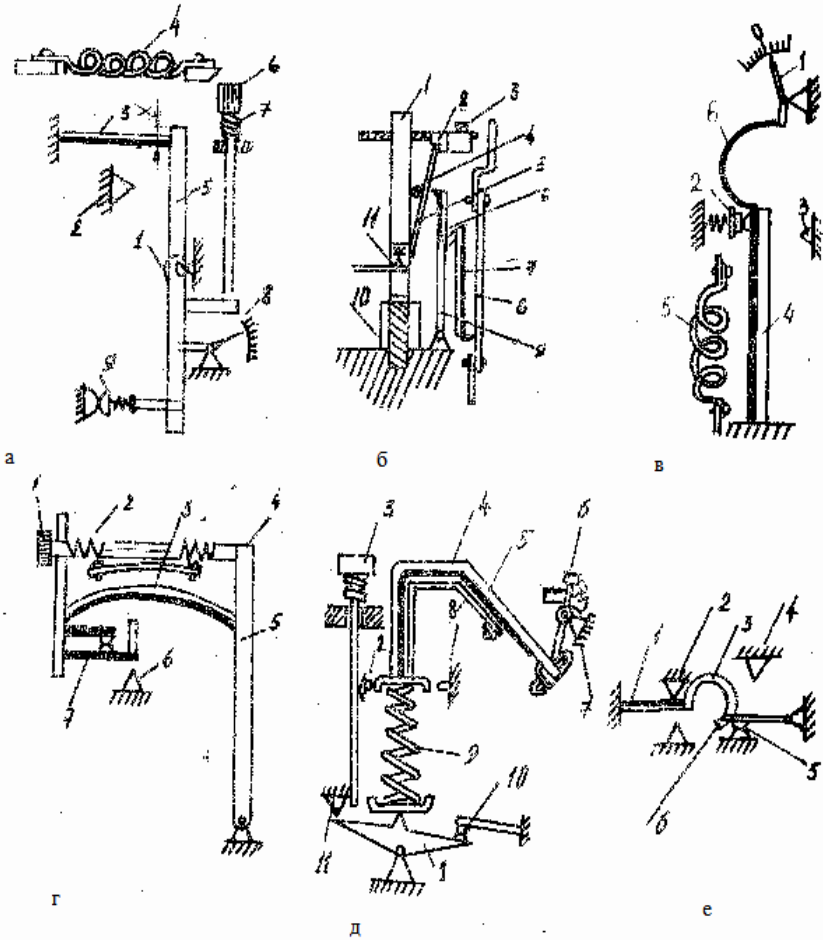
Для захисту електричного пристрою від струмового перевантаження широке застосування знайшли теплові реле типів ТРА, ТРВ, ТРП, РТ, ТРН, ТРТ.

Реле ТРА служить для захисту двигунів малої та середньої потужностей змінного і постійного струмів за важких умов пуску (тривалий пусковий режим, велика кратність пускового струму). Випускається до 23-х виконань на номінальні струми 7... 215 А.

Реле ТРА і ТРВ мають комбіновану систему нагріву з плоскими ніхромовими нагрівальними елементами, що з'єднані паралельно з біметалевою пластинною. Починаючи з 50 А і вище, застосовуються шунти, які підключаються зовні паралельно пакету біметалевих і ніхромових пластин. Шунти мають дев'ять виконань, однакових для реле типів ТРА і ТРВ.

В якості біметалевого механізму в реле цих типів прийнятий механізм В.А. Олексіївського (рисунок 4.2, е), що забезпечує повернення у початкове положення після спрацьовування протягом не більше 3 хвилин. Контакти реле забезпечують відключення струму до 1 А при 220 постійного струму і 10 А при 380 В змінного струму. Розташування реле на пристрої довільне.

Реле серії РТ (РТ-1 і РТ-3) є апаратами в більшості відкритого виконання (реле РТ-1 має також і закриті виконання) з непрямою системою нагрівання. Принциповий пристрій механізму реле цієї серії є аналогічний механізму, показаному на рисунку 4.2, а). Широке регулювання струму спрацьовування проводиться заміною нагрівального елемента 4 реле. Усього виготовляється 56 номерів нагрівальних елементів на номінальні струми 0,64...40 А. Вибір необхідного номера нагрівального елемента здійснюється за спеціальною таблицею. Реле не спрацьовує при пуску електродвигунів, що мають кратність пускового струму $K = 7$ і тривалість пуску 1,5 с, у тому випадку, коли до і після пуску електродвигуна через реле протікає струм, що дорівнює номінальному струму цього нагрівача.



а, б - механізми зі звільняємою засувкою;
 в - механізми зі стрибаючим контактом;
 г - механізм зі стрибаючою біметалевою пластиною;
 д - механізм зі зміною напрямку сили циліндричної пружини;
 е - механізм В. А. Олексійського.

Рисунок 4.2 - Ескізи біметалевих механізмів теплових реле

Реле ТРВ служить для захисту двигунів з легкими умовами пуску. Випускається до 20-ти виконань на номінальні струми 7... 200 А.

Теплові реле серії ТРП на струми 1...600 А в більшості випадків використовуються в магнітних пускачах типу ПА. Вони виготовляються однополюсними на номінальні струми 25, 60, 80, 150, 600 А. Принциповий пристрій біметалічного механізму зображено на рисунку 4.2, д). Реле ТРП (за винятком ТРП-600, що не має нагрівача) мають комбінований нагрів. З'єднання біметалевої пластини та нагрівача виконується паралельним. Повільне змінення струму спрацьовування в межах (0,75 ... 1,25) I_n проводиться переводом пружинного важеля по зубчастому сектору, що фіксує його положення. Більш широке змінення струму уставки проводиться заміною нагрівального елемента. Коло керування може виконуватися з одним розмикаючими або з одним замикаючим контактом. Контакти допускають розмикання кола змінного струму напругою до 500 В і струмом до 10 А і кола постійного струму напругою $U = 220$ В і струмом $I = 0,5$ А. Теплові реле серії ТРН струмами 0,4 ... 40 А двофазні з термокомпенсацією в більшості випадків використовуються в магнітних пускачах серії ПМИ, П6 і ПА-300. Всі теплові реле цієї серії мають непрямий нагрів за допомогою пластинчастих ніхромових нагрівачів. Принциповий пристрій реле ТРН показано на рисунку 4.2, б).

Реле ТРН має симетричне компоновку двох теплових елементів, включених у дві фази головного кола електродвигуна. Передбачено залежний вплив струму кожного полюса на механізм, який замикає контакти. Регулювання номінального струму уставки за допомогою ексцентрикового пристрою провадиться в межах (0,75 ... 1,25) I_n .

Теплові реле серії ТРТ-100 на струми 1,75 ... 550 А застосовуються в магнітних пускачах типу ПМ і магнітних станціях керування. Серія реле ТРТ-100 складається з п'яти типів, кожний з яких має ряд виконань. Реле 1-го типу (окрім реле ТРТ-115) мають безпосередній нагрів, а реле 2-го, 3-го і 4-го типів, а також ТРТ-115 мають плоскі нагрівачі, які додатково підігрівають біметалеву пластину. Нагрівачі можуть бути включені з біметалевою пластиною послідовно, паралельно, послідовно-паралельно. Реле 5-го типу нагрівачів не мають і виготовляються разом з трансформатором струму.

Електрична схема для зняття часоштовової характеристики досліджуваного реле показана на рисунку 4.3.

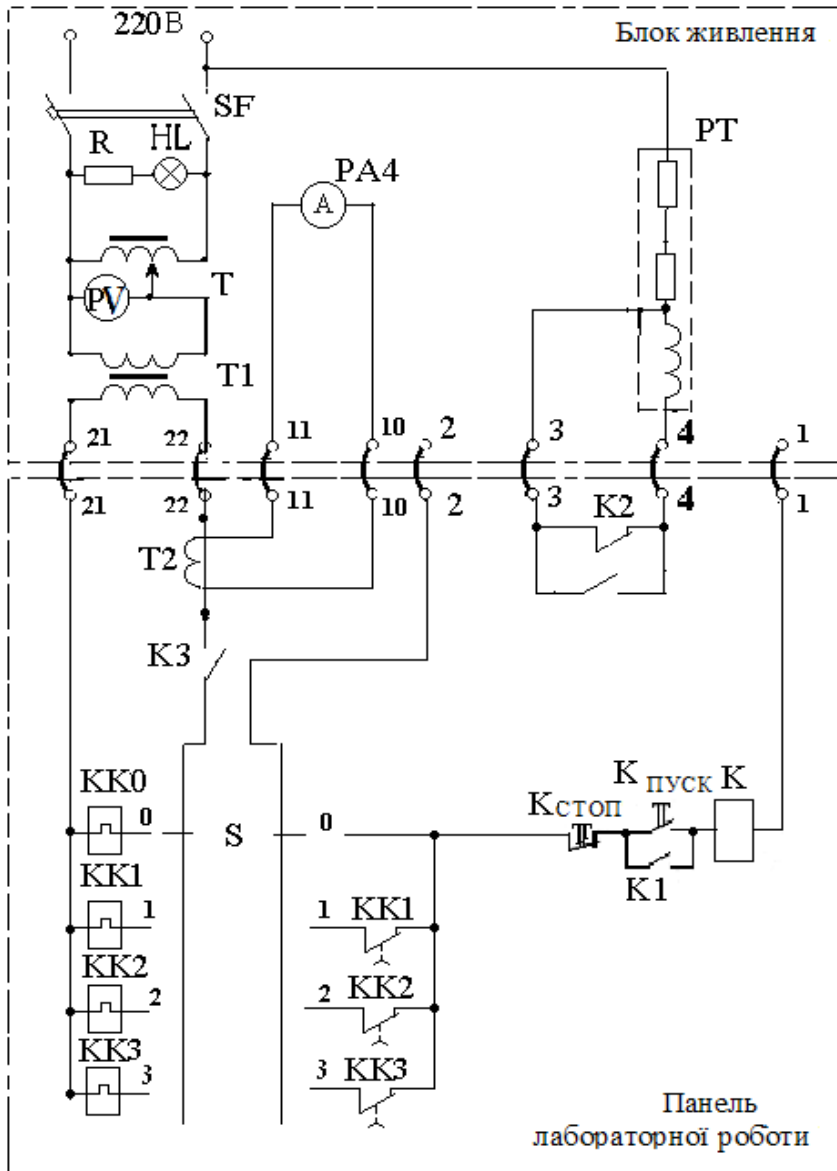


Рисунок 4.3 - Електрична схема випробувань теплових реле

У схемі передбачені чотири реле з однаковими нагрівальними елементами КК0, КК1, КК2, КК3 з метою прискорення процесу зняття часострумової характеристики. Нагрівальний елемент КК0 служить для виставлення необхідного значення струму. Часострумова характеристика знімається на реле КК1, КК2, КК3.

4.3 Підготовка до роботи

При домашній підготовці до роботи слід ознайомитися з теоретичними питаннями, викладеними в підрозділі "Загальні відомості" і виконати заготовку до лабораторної роботи. Вона містить назву роботи; мету роботи; схему включення та захисту електродвигуна від перевантажень за допомогою теплових реле; заготовку таблиці.

4.4 Матеріал, інструменти, прилади, обладнання

Стенд з тепловими реле типу ТРН-25 та органами керування згідно з принциповою електричною схемою випробувань; з'єднувальні провідники - 7 шт.

4.5 Методичні вказівки

Для експериментального визначення часострумової характеристики реле типу ТРН необхідно:

- а) вивести автотрансформатор на нуль;
- б) перемикач S поставити в нульове положення, включити автомат SF;
- в) включити кнопку "Пуск" і, повільно збільшуючи струм за допомогою автотрансформатора, довести його до значення відповідно до таблицю 4.1 (по приладу РА 4 показання струму помножені на 3);
- г) натиснути кнопку "СТОП";
- д) перемикач S перевести в положення "1". На реле КК1 гвинт ексцентрика 3 встановлений крайнє праве положення (-);
- е) показання електросекундоміра звести на нуль. Натиснути кнопку "ПУСК" і стежити за показаннями електросекундоміра (один оборот маленької стрілки сягає 10 с). Автотрансформатором Т підтримувати встановлене початкове значення струму. Записати показан-

ня електросекундоміра в таблицю 4.1 після його зупинки при спрацьовуванні реле;

ж) перемикач S перевести в положення "2". На реле КК2 гвинт ексцентрика встановлений в крайнє ліве положення (+). Показання електросекундоміра звести на нуль і повторити п.б;

з) перемикач S перевести в положення "0". Включити кнопку "ПУСК" і виставити нове значення струму згідно із таблицю 4.1.

к) повторити випробування, починаючи з п.г), але вже з реле РТЗ, ексцентрик якого зорієнтований у крайнє праве положення (-);

л) повторювати випробування для нових значень струму, починаючи з п. п. г) та ж), послідовно при цьому переключати послідовно реле КК1 (або КК3 при охолодженні КК1) та КК2. Показання заносити у таблицю 4.1 у відповідну строчку.

Таблиця 4.1

Ексцентрик у крайньому положенні (-)	I, А	6	8	10	12	15
	с					
Ексцентрик у крайньому положенні (+)	I, А	6	8	10	12	15
	с					

4.6 Зміст звіту

4.6.1. Мета роботи.

4.6.2. Схема включення та захисту електродвигуна від перевантажень з допомогою теплових реле.

4.6.3. Результати досліджень (див. таблицю 4.1) і побудовані по них часоструміві характеристики.

4.6.4. Виводи по роботі.

4.7 Питання для самоперевірки

4.7.1. Принцип роботи теплових реле (рисунок 4.2).

4.7.2. Які види нагріву біметалевих пластин застосовуються в теплових реле?

4.7.3. Які матеріали застосовуються для виготовлення біметалевих пластин?

4.7.4. Як регулюється струм спрацьовування теплового реле з безпосереднім і непрямим нагріваннями у великому і малому діапазонах?

4.7.5. Які впливають довжина, товщина і ширина пластини на зусилля і прогин пластини?

4.7.6. Які вимоги пред'являються до теплових реле?

4.7.7. Для чого необхідний термокомпенсатор теплового реле і як він працює?

4.7.8. Нарисуйте і поясніть схему захисту електродвигуна від перевантажень за допомогою теплових реле.

4.7.9. Як узгоджуються часострумкові характеристики теплового реле із характеристиками захищаємого об'єкта?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13 АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ

Тривалість лабораторного заняття - 2 години.

5.1 Мета роботи

Метою лабораторної роботи є вивчити конструкцію автоматичного вимикача АП-50, принципи роботи і будову окремих його елементів, а також експериментально визначити робочі характеристики розчеплювачів.

5.2 Загальні відомості

Автоматичний вимикач (автомат) - це електричний апарат, призначений для автоматичного вимикання електричних кіл при виникненні аварійної ситуації, а також для нечастих оперативних комутацій струму навантаження. Автоматичні вимикачі виконують функції захисту електрообладнання від коротких замикань, перевантаження, недопустимого зниження або зникнення напруги. За допомогою автоматичних вимикачів виконуються також оперативні комутації кола в межах номінального навантаження, їх нерідко використовують замість

магнітних пускачів для нечастого пуску асинхронних двигунів. В такому випадку вони замінюють також запобіжники, виконуючи функцію захисту електрообладнання від коротких замикань. Основні параметри автоматичних вимикачів такі:

а) номінативний струм;
 б) номінативна напруга;
 в) механічна і комутаційна зносостійкість, але необхідно зазначити, що автоматичні вимикачі у кількісному відношенні мають значно меншу механічну і комутаційну зносостійкість в порівнянні з контакторами;

г) гранична комутаційна спроможність - це спроможність автоматичних вимикачів надійно вимикати електричне коло при виникненні короткого замикання; у кількісному відношенні вона визначає максимальне діюче значення струму, яке автомат спроможний надійно вимкнути, залишаючись у справному і роботоспроможному стані;

д) час спрацьовування (швидкодія): розрізняють власний час спрацьовування автомата, який являє собою проміжок часу з моменту початку к.з. до початку розмикання його головних контактів, а також повний час спрацьовування (до повного вимикання кола), тобто враховує також час горіння дуги.

Найбільш розповсюджені автоматичні вимикачі, до яких не виставляють особливі вимоги стосовно швидкодії, це є універсальні та установочні автомати, час спрацьовування яких лежить у межах 10 - 100 мс. Універсальні автомати не мають захисного корпусу і, як правило, встановлюються у шафах низької напруги розподільчих пристроїв. Вони мають, зазвичай, два види захисту: максимально струмовий і захист від зникнення або зниження напруги. Установочні автомати мають пластмасовий захисний корпус і можуть встановлюватись у громадських будівлях і житлових приміщеннях, вони мають тільки максимально струмовий захист. Інших принципових відмін між універсальними і установочними автоматами немає.

Для захисту силових напівпровідникових приладів і пристроїв на їх засаді використовуються швидкодючі автоматичні вимикачі, тому що широко розповсюджені універсальні автомати не можуть забезпечити їх захист внаслідок недостатньої швидкодії. Власний час спрацьовування швидкодючих автоматів складає 0,5...5 мс; вони мають властивість струмообмеження при к.з.

Основними елементами автоматичних вимикачів є:

- а) контактнo-дугогасна система;
- б) механізм вільного розчеплення;
- в) розчеплювачі для захисту електроустаткування від перевантажень та коротких замикань;
- г) привод - автомати з номінальним струмом до 100 А мають ручне керування; автомати з більшим номінальним струмом мають електромагнітний або електродвигунний приводи.

Одними з найбільш розповсюджених установочних автоматів є автоматичні вимикачі серії АП-50 з ручним керуванням, номінальним струмом до 50 А, номінальною напругою до 220 В (в колах постійного струму) і до 500 В (в колах змінного струму). Автомати серії АП-50 розрізняються: за кількістю полюсів (двох- і триполюсні); за наявністю розчеплювачів максимального струму на кожному полюсі (МТ - електромагнітні і теплові, М - електромагнітні, Т - теплові); за номінальним струмом розчеплювачів автомати серії АП-50 мають виконання за всім рядом стандартних значень (1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 25; 40; 50 А); за кратністю спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача), наявністю додаткових розчеплювачів та ін.

Предметом дослідження у роботі є автомат АП-50-3МТ - триполюсний, з розчеплювачем максимального струму (М - електромагнітним і Т - тепловим), номінативним струмом розчеплювача - 1,6 А, струмом спрацьовування (уставкою) відсічки, який дорівнює 11-кратному значенню номінативного струму розчеплювача. Конструктивна схема автомата показана на рисунку 5.1. Автомат має пластмасовий корпус 3, закріплений на цоколі 2, де змонтовані всі складові автомата: комутуючий пристрій, який складається з нерухомих 4 і рухомих контактів 5; кнопка включення 8, по положенню якої може бути визначене положення контактів (при включеному положенні автомата кнопка включення втоплена, при виключеному - виступає з кришки); дугогасний пристрій, який являє собою деіонні ґратки, що складаються з ряду сталених обміднених пластин 6 товщиною 2-3 мм з повітряним і прошарками між ними.

Механізм вільного розчеплення 7 забезпечує розмикання контактів з постійною швидкістю, незалежною від швидкості руху кнопки вимикання 12. Він забезпечує також відключення автомата при включенні його на наявне к.з. при натиснутій кнопці включення.

Принцип дії теплових розчеплювачів 1 аналогічний принципу дії теплових реле. Ці розчеплювачі застосовуються для захисту від

струмів перевантаження з витримкою часу, що має зворотною залежність від струму. Для захисту електропристрою часострумova характеристика теплового розчеплювача автомата має розташовуватися нижче такої ж характеристики захищеного пристрою. Бажано, щоб вони лежали якомога ближче одна до одної. При спрацьовуванні тепловий розчеплювач тисне на вимикальну планку 11, внаслідок чого спрацьовує механізм вільного розчеплення і розмикає головні контакти автомата.

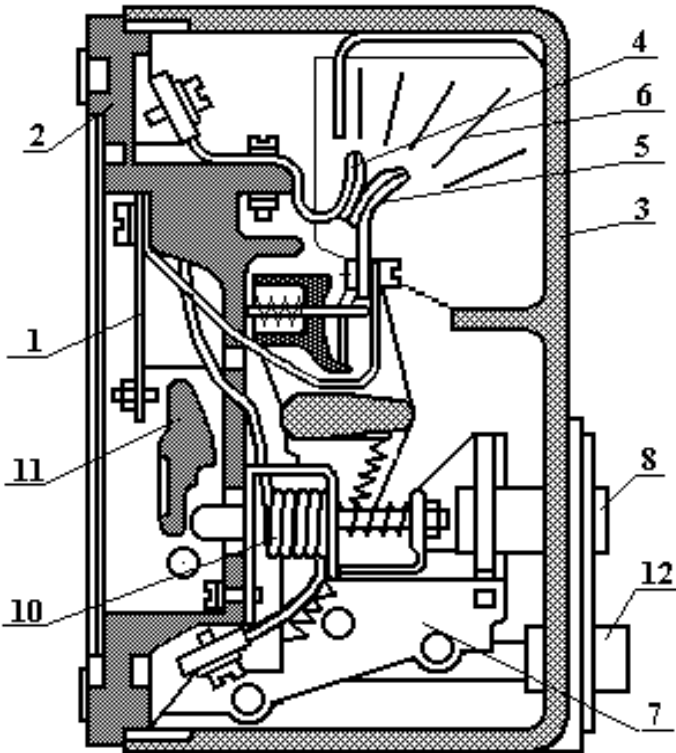


Рисунок 5.1- Конструктивна схема автоматичного вимикача АП-50

Електромагнітний розчеплювач являє собою електромагнітну котушку 10 з рухомим осердям. Якщо величина струму достатня для його спрацьовування, осердя затягується і тисне на вимикальну планку 11, яка пов'язана з механізмом вільного розчеплення, і також розмикає головні контакти автомата.

В автоматі передбачена можливість регулювання у невеликих межах уставки (струму спрацьовування) розчеплювачів за допомогою важеля 7, який обертає вимикальну планку 11.

5.3 Опис лабораторного обладнання

На лицевій частині панелі лабораторного стенда встановлені автомат SF1, що досліджується, а також демонстраційний зразок автомата (без пластмасового корпусу), для вивчення конструкції. Реальний автомат на кожному полюсі має тепловий і електромагнітний розчеплювач, включені послідовно з головними контактами. Але для виконання досліджень автомат частково реконструйовано: один з полюсів містить тільки тепловий розчеплювач (електромагнітний вилучено), а другий - тільки електромагнітний (вилучено тепловий).

Принципова електрична схема дослідження автоматичного вимикача надана на рисунку 5.2. Схема містить стандартний блок живлення і лабораторну обладнання, що з'єднуються між собою за допомогою коротких провідників. Решта схеми зібрана на звороті лабораторної панелі. Для вимірювання власного часу спрацьовування автомата використовується електромеханічний секундомір РТ, встановлений на панелі блока живлення. Коло автомата SF1, що досліджується, комутується пакетним вимикачем S1, його контактами комутується також коло електросекундоміра РТ. За допомогою пакетного перемикача S2 здійснюється перемикання розчеплювачів.

Живлення лабораторної схеми здійснюється вмиканням автомата SF. Регулювання напруги живлення здійснюється за допомогою автотрансформатора Т, яке подається в схему через знижувальний трансформатор Т1.

5.5.2 Для зняття часострумової характеристики теплового розчеплювача необхідно:

а) підключити лабораторну обладнання до блоку живлення, з'єднавши за допомогою коротких провідників відповідно такі клеми: 1-1, 4-4, 10-10, 11-11, 21-21 і 22-22;

б) перемикач S2, розташований на лабораторній панелі встановити у положення "1"; S1 - у положення "откл";

в) встановити автотрансформатор у нульове положення;

г) увімкнути автомат SF, розташований на панелі блока живлення, при цьому повинна загорітися сигнальна лампочка HL;

д) вимикач S1 встановити у положення "вкл" і за допомогою автотрансформатора Т встановити задане значення струму в межах 6...15 А згідно з таблицею 5.1 (по амперметру PA8, розташованому у верхній частині стенда, його показання треба помножувати на 3), після чого встановити S1 у положення "откл";

е) увімкнути досліджуєми автомат SF1, розташований на панелі лабораторного обладнання;

ж) вивести показання секундоміра РТ у нульове положення, після чого перемикач S2 встановити у положення "2", увімкнути S1 і досліджувати показання РТ до спрацьовування теплового розчеплювача (один оборот маленької стрілки РТ складає 10 с); якщо показання амперметра не відповідають встановленій величині струму, необхідно за допомогою автотрансформатора Т скорегувати його до заданого значення;

з) вимкнути вимикач S1 і дати охолонути нагрівачеві теплового розчеплювача впродовж 3-5 хв.;

к) повторити пп. д)-з) при інших значеннях струму, заносючи показання РТ до таблицю 5.1;

л) вимкнути S1.

5.5.3 Для вимірювання часу спрацьовування електромагнітного розчеплювача необхідно:

а) перемикач S2 поставити у положення "1";

б) увімкнути S1 і за допомогою автотрансформатора Т встановити струм спрацьовування згідно із паспортними даними автомата АП-50 (по амперметру PA8) і вимкнути S1;

Таблиця 5.1 - Час спрацьовування теплового розчеплювача

Кратність струму перевантаження, $K = \frac{I}{I_t}$	4	5	6	8
Час спрацьовування, с				

в) перемикач S2 встановити у положення "2" і вивести на нуль показання РТ;

г) увімкнути досліджуемий автомат SF1;

д) S1 встановити у положення "вкл", при цьому повинно відбутися практично миттєве автоматичне вимикання кола за допомогою електромагнітного розчеплювача;

е) S1 встановити у положення "откл";

ж) не скидаючи показань РТ повторити пп. г)-е) не менше 5 разів;

з) середнє значення часу спрацьовування електромагнітного розчеплювача визначити, поділивши сумарний час спрацьовування на кількість вимикань.

5.5.4 Вимкнути S1, встановити автотрансформатор Т у нульове положення і вимкнути автомат SF.

5.5.5 Узгодити отримані дані з викладачем, після чого розібрати схему.

5.5.6 Захисну характеристику автомата побудувати за даними таблиці 5.1, враховуючи параметри спрацьовування теплового та електромагнітного розчеплювачів.

5.5.7 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

а) найменування та мету роботи;

б) визначені паспортні дані досліджуваного автомата;

в) електричну схему досліду (лабораторна обладнання);

г) експериментальні дані у табличній формі;

д) побудовану захисну характеристику автомата;

е) висновки по роботі.

5.6 Контрольні питання

- 5.6.1 Для чого призначені автоматичні вимикачі і які функції вони виконують?
- 5.6.2 Назвіть основні параметри автоматичних вимикачів.
- 5.6.3 Що таке гранична комутаційна спроможність автомата?
- 5.6.4 Що таке власний (повний) час спрацьовування автомата?
- 5.6.5 Для чого призначені швидкодіючі автоматичні вимикачі?
- 5.6.6 Назвіть основні елементи конструкції автоматичних вимикачів і їх призначення.
- 5.6.7 У чому полягає принцип роботи теплових (електромагнітних) розчеплювачів.
- 5.6.8 Назвіть особливості конструкції установочних автоматів серії АП-50.
- 5.6.9 Як здійснюється гасіння дуги в автоматах серії АП-50?
- 5.6.10 Яке призначення має механізм вільного розчеплення?

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14 МАГНІТНИЙ ПУСКАЧ

Тривалість лабораторного заняття - 4 години

6.1 Мета роботи

Головною метою лабораторної роботи є вивчити конструкцію магнітного пускача, а також принципи дії, побудову і характеристики його окремих елементів.

6.2 Загальні відомості

Магнітний пускач - це комутаційний апарат, призначений для частих пусків і вимикань асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором. Магнітний пускач містить у собі, як правило, триполюсний контактор змінного струму і теплове реле. Принципова схема запуску і керування АД за допомогою магнітного пускача показана на рисунку 6.1.

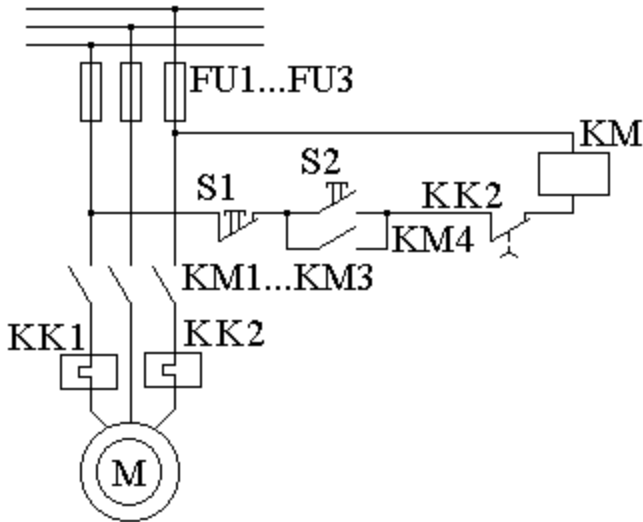


Рисунок 6.1 - Схема пуску і керування асинхронного двигуна

Для захисту від коротких замикань в схемі використовуються плавкі запобіжники FU1, FU2 і FU3. Коло керування магнітного пускача живиться лінійною напругою, що подається на керуєний двигун М. Пуск двигуна здійснюється натисненням кнопки SB1 ("Пуск"), внаслідок чого отримує живлення обмотка електромагнітного привода пускача КМ. Після його спрацювання замикаються головні контакти пускача КМ1-КМ3, а також допоміжний контакт КМ4, який здійснює блокування (шунтування) кнопки SB1 ("Пуск"), оскільки вона має зворот у початкове положення при знятті зусилля. Вимикання двигуна здійснюється натисненням кнопки SB2 ("Стоп"), внаслідок чого знімається живлення з обмотки КМ. Після спрацювання привода розмикаються головні контакти КМ1-КМ3 і допоміжний контакт КМ4.

Основними параметрами контактної системи комутаційних апаратів, в тому числі і контакторів магнітних пускачів є розхил і провал контактів. Розхил контактів - це відстань між повністю розімкненими контактами.

Провал контактів - це хід рухомої системи електромагніта при замкнених контактах, або шлях, який би пройшов рухомий контакт, якщо забрати нерухомий.

В магнітних пускачах серії ПМЛ, як правило, не використовуються спеціальні дугогасні пристрої. Гасіння дуги в них здійснюється за рахунок двох послідовних розривів на кожному полюсі, що забезпечується містковою контактною системою та необхідним розтином контактів. Висока комутаційна зносостійкість контактора магнітного пускача забезпечується дугостійкими металокерамічними контактними напайками і необхідним провалом контактів.

В процесі експлуатації досить часто відбувається обрив однієї з фаз напруги живлення, наприклад, внаслідок перегорання одного з запобіжників при однофазному короткому замиканні. В такому випадку двигун продовжує отримувати живлення тільки від двох фаз, і струм в статорі різко зростає. Щоб уникнути виходу зі строю двигуна має спрацювати теплове реле КК1 або КК2, контакти яких вимикають коло обмотки пускача КМ і тим самим захищають двигун від перевантаження. Основним елементом теплового реле є біметалічна пластина, яка складається з двох металів, які мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення. Метал з більшим коефіцієнтом лінійного розширення називають активним, з малим - пасивним. Пластини жорстко скріплені між собою гарячою прокаткою або зварюванням. Якщо закріпити непорушно один кінець такої пластини і нагріти, відбудеться вигин пластини в бік пасивного елемента. Саме це явище використовується в теплових реле, терморегуляторах, тощо. Біметалеві пластини можуть нагріватись електричним струмом, що протікає по пластинках (безпосередній нагрів), а також від окремих нагрівальних елементів (непрямий нагрів). В деяких апаратах поєднуються безпосередній та непрямий нагрів (комбінований нагрів). Основним недоліком теплових реле є вплив на струм спрацьовування температури навколишнього середовища. Для його уникнення в теплових реле використовують термокомпенсатор. У найпростішому випадку він представляє собою звичайну біметалеву пластину, яка вигинається в бік, протилежний вигину основної біметалевої пластини.

Основною характеристикою теплового реле є його часострумова характеристика, яка представляє собою залежність часу спрацьовування реле від величини струму, який протікає по нагрівачу. Захист буде забезпечуватись лише у тому випадку, коли часострумова характеристика теплового реле розташовується нижче за характеристики об'єкту, що захищається, на всьому діапазоні можливих переванта-

жень. Теплове реле не повинно спрацьовувати при можливих в експлуатації технологічних перевантаженнях (наприклад пуску АД).

Предметом дослідження в даній лабораторній роботі є магнітний пускач серії ПМЛ, призначений для роботи в мережі змінного струму напругою до 660 В, при номінальних струмах від 10 до 200 А в залежності від типовиконання. Комутаційна зносостійкість пускачів серії ПМЛ визначається категорією застосування і складає від $320 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^6$ циклів "включення-відключення". Система головних контактів магнітного пускача, що досліджується в роботі, містить 3 полюси; система допоміжних контактів виконується у вигляді окремого блока і може мати в залежності від типовиконання до 4 контактів. Стикання головних і допоміжних контактів здійснюється за допомогою електромагнітного привода прямоходового типу з Ш-образним магнітопроводом. Магнітні пускачі серії ПМЛ комплектуються триполюсним тепловим реле типа РТЛ, яке має температурний компенсатор, механізм для прискореного спрацьовування реле при обриві фази, регулятором струму неспрацьовування і ручним зворотним механізмом.

6.3 Опис лабораторного обладнання

Магнітний пускач, що досліджується разом з пристроєм для вимірювання розхилу та провалу контактів, змонтовано на гетинаксовій панелі (рисунок 6.2).

Принципова схема лабораторного обладнання надана на рисунку 6.3. Лабораторне обладнання підключається до блоку живлення короткими перемичками. Живлення схеми відбувається після включення автоматичного вимикача SF.

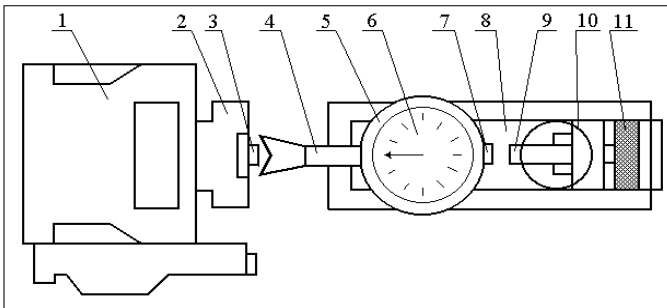


Рисунок 6.2 - Зовнішній вигляд лабораторного обладнання

6.4 Завдання

6.4.1 Вивчити конструкцію магнітного пускача серії ПМЛ і роботу схеми пуску і керування АД за допомогою магнітного пускача.

6.4.2 Експериментально визначити коефіцієнти звороту і запасу магнітного пускача.

6.4.3 Виміряти розхил і провал головних та допоміжних контактів магнітного пускача.

6.4.4 Зняти часотривову характеристику теплового реле РТЛ і побудувати її графік.

6.4.5 Зробити висновки по роботі.

6.5 Методичні вказівки

6.5.1 Конструкцію магнітного пускача серії ПМЛ вивчити по [1, стор. 326]. Схема пуску АД і її робота описані у розділі "6.1 Загальні відомості".

6.5.2 Для виконання експериментальної частини роботи необхідно зібрати схему, з'єднавши клеми 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 10-10, 11-11, 21-21 і 22-22 лабораторної панелі і стенда з блоком живлення та вимірювальними приладами.

6.5.3 Для виконання п. 6.4.2 завдання необхідно:

а) встановити автотрансформатор Т у нульове положення;

б) перемикачі S1 і S2 встановити у положення "1"; S3, S4 і S5 - у нульове положення;

в) увімкнути автомат SF, при цьому має загорітися сигнальна лампочка HL;

г) плавно підвищуючи напругу за допомогою автотрансформатора Т, зафіксувати по приладу PV2 напругу, яка призводить до включення контактора Увкл;

д) плавно знижуючи напругу, зафіксувати напругу, при якій контактор магнітного пускача виключається Увикл;

е) встановити автотрансформатор Т у нульове положення і вимкнути автомат SF;

ж) коефіцієнти звороту і запасу визначити за формулою

$$K_{ca} = \frac{U_{\dot{a}\dot{e}\dot{e}\dot{e}}}{U_{\dot{a}\dot{e}\dot{e}}};$$

з) отримані дані занести до таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 - Параметри включення и відключення контактора

Uвкл,В	Uвикл,В	Uн,В	Кзв	Кз

6.5.4 Для виконання п. 6.4.3 завдання необхідно встановити перемикачі S1 - S5 у нульове положення, увімкнути автомат SF і встановити за допомогою автотрансформатора Т напругу 220 В (по приладу PV2).

6.5.5 Визначення розхилу контактів здійснюється у такій послідовності:

а) перемикач S3 встановити у положення "2";

б) відкрутити стопорний гвинт 10 (див. рис.6.2) і довести рухому траверсу 8 до магнітного пускача (до стикання штока 4 з траверсою контактотримача 3);

в) стопорним гвинтом 10 зафіксувати рухому траверсу 8;

г) обертаючи обідок індикатора переміщення 6, встановити нуль проти його стрілки;

д) обертаючи гвинт 11 за часовою стрілкою, провести відлік розхилу за шкалою індикатора до загоряння сигнальних ламп HL1, HL2 і HL3, заносючи отримані дані до таблиці 6.2.

6.5.6 Розхили допоміжних контактів KM4, KM5 і KM7, а також провал допоміжного контакту KM6 провести аналогічно, поставивши перемикач S3 у положення "1". Отримані дані занести до таблицю 6.2.

6.5.7 Визначення провалу головних контактів здійснюється в такій послідовності:

а) перемикач S2 поставити у положення "1", а перемикач S3 у положення "2";

б) увімкнути пускач, поставивши перемикач S1 у положення "2";

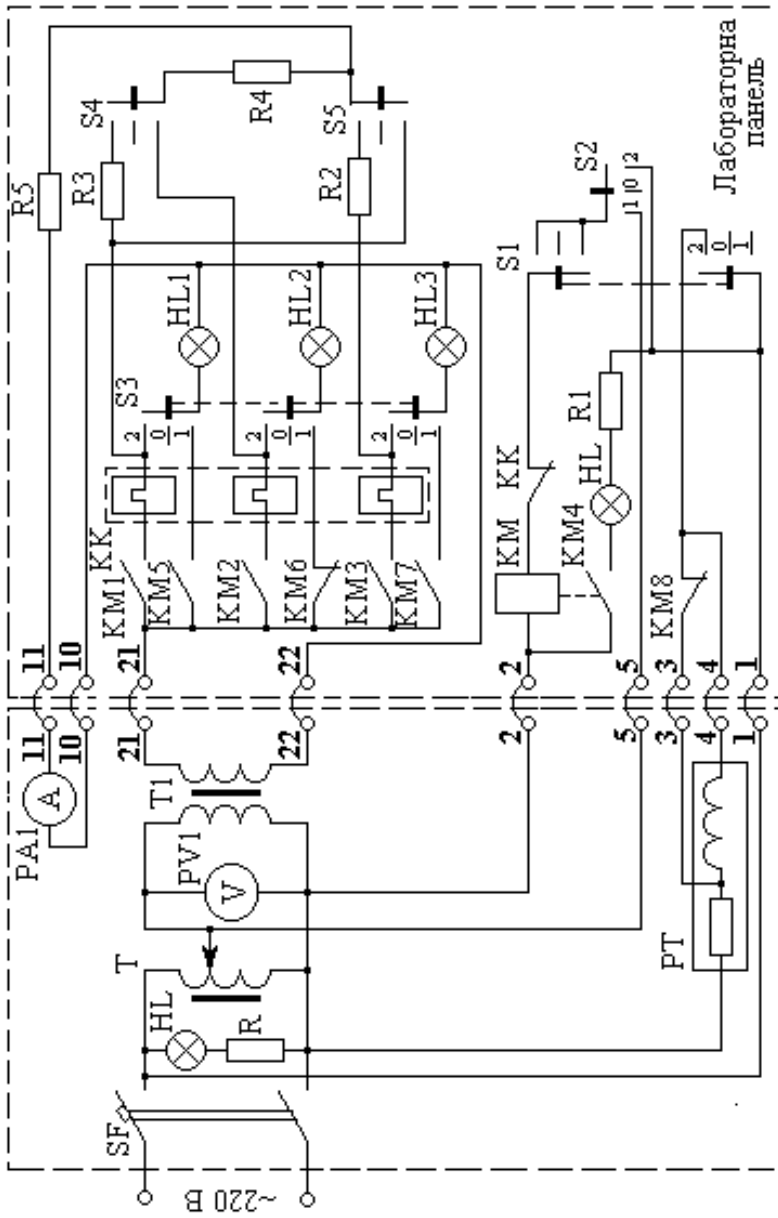


Рисунок 6.3 - Принципова схема дослідження магнітного пускача

Таблиця 6.2 - Величини розтину і провалу головних і допоміжних контактів

Параметри	Головні контакти			Допоміжні контакти			
	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5	КМ6	КМ7
Розхил контактів, мм							
Провал контактів, мм							

в) довести рухому траверсу 8 (див. рисунок 6.2) до стикання штока 4 з траверсою контактотримача 3 и зафіксувати її стопорним гвинтом 10;

г) індикатор переміщення 6 встановити на нуль, гвинтом 11 довести штокхач 10 до зіткнення зі штоком 7;

д) вимкнути пускач, поставивши перемикач S1 у положення "0";

е) обертаючи гвинт 11 проти часової стрілки, зафіксувати показання індикатора переміщення в момент згасання ламп HL, HL1, HL2 і HL3;

ж) отримані дані занести до таблицю 6.2.

6.5.8 Провали допоміжних контактів КМ4, КМ5 і КМ7, а також розхил КМ6 визначити аналогічно, встановивши перемикач S3 у положення "1".

6.5.9 Виконання п. 6.4.4 завдання здійснюється у такій послідовності:

а) перемикач S1 встановити у положення "2"; перемикачі S2, S3 та S4 - у положення "0", а перемикач S5 - у положення "0";

б) встановити теплове реле у початкове положення, натиснувши кнопку 13 теплового реле (див. рисунок 6.2);

в) за допомогою автотрансформатора Т встановити напругу 220 В (по приладу PV2);

г) перемикач S2 поставити у положення "2", а S4 - у положення "1"; скинути показання електросекундоміра РТ у нульове положення;

д) встановити перемикач S1 у положення "2" і по приладу PA8 (амперметр змінного струму 10 А) зафіксувати величину струму перевантаження;

е) після спрацьовування теплового реле зафіксувати показання електросекундоміра (один оборот маленької стрілки - 10 с);

ж) встановити перемикач S1 у положення "0";

з) дати можливість охолонути теплому реле впродовж 5-8 хвилин, після чого встановити його у початкове положення кнопкою 13 (див. рисунок 6.2);

к) встановити перемикач S4 у положення "2", S1 перемикнути у положення "2" і повторити дослід при новому значенні струму перевантаження;

л) встановити перемикач S4 у положення "0" і зняти ще дві точки часошумової характеристики, встановлюючи по чергово перемикач S5 у положення "1" и "2";

м) часошумову характеристику побудувати у відносних одиницях

$$t_{\text{спр}} = f\left(\frac{I}{I_y}\right),$$

де I - величина струму перевантаження під час проведення експерименту;

I_y - струм уставки спрацьовування теплового реле.

6.5.10 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

а) мету роботи та завдання;

б) схему керування і захисту асинхронного двигуна;

в) визначені коефіцієнти звороту і запасу пускача;

г) результати вимірювання розтину і провалу контактів;

д) часошумова характеристика у вигляді таблиці і графічній формі;

е) висновки по роботі.

6.6 Контрольні питання

6.6.1 Що таке магнітний пускач і які функції він виконує?

6.6.2 Поясніть роботу схеми пуску та захисту АД за допомогою магнітного пускача.

6.6.3 Що таке розхил (провал) контактів і для чого він потрібен?

6.6.4 Назвіть основні вузли магнітного пускача та поясніть їх призначення.

6.6.5 Як здійснюється гасіння електричної дуги в контакторі магнітного пускача при вимиканні кола?

6.6.6 Яким чином здійснюється захист АД при перевантаженнях?

6.6.7 Поясніть принцип дії теплового реле.

6.6.8 Назвіть основні вузли теплового реле та поясніть їх призначення.

6.6.9 Яким чином регулюється уставка струму спрацьовування теплового реле?

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15 ТИРИСТОРНИЙ КОНТАКТОР ЗМІННОГО СТРУМУ

Тривалість лабораторного заняття – 2 години

7.1 Мета роботи

Вивчення принципу дії тиристорних пускачів. Дослідження однофазного тиристорного контактора з електромагнітним захистом.

7.2 Загальні відомості

Поряд з контактними комутаційними апаратами промисловістю виробляються та експлуатуються в електрообладнаннях апарати на напівпровідникових пристроях, зокрема тиристорні контактори. Вони використовуються для пуску, реверсу та відключення асинхронних двигунів, інших активних та активно-індуктивних навантажень.

Робота тиристорних контакторів заснована на властивості тиристорів в широких межах змінювати провідність та знаходитись у двох станах: включеному та виключеному.

Включення тиристора здійснюється сигналами управління, а відключення при зниженні анодного струму до струму вдержання (практично до нульового значення). Зокрема, в колах змінного струму це відбувається при природному переході струму через нульове значення.

Тиристор може проводити струм впродовж одного напівперіоду, тому для управління навантаженням у кожній фазі апарату вмикають

по два тиристора зустрінчно-паралельно. Тиристорні контактори використовують як для однофазних, так і для трифазних навантажень, а виконані можуть бути на тиристорах, семісторах та діодах. Варіанти схем силових тиристорних ключів надані на рисунках 7.1 та 7.2.

Кожний з тиристорів пропускає струм на протязі одного напівперіоду, тому допустимий струм через навантаження має діюче значення таке:

$$I_n \leq \frac{\pi}{\sqrt{2}} I_{тип}$$

де $I_{тип}$ – допустиме середнє значення струму через тиристор.

Для схем із семісторами та тиристорами, що проводять струм протягом двох напівперіодів, допустимий струм навантаження такий:

$$I_n \leq \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{тип}$$

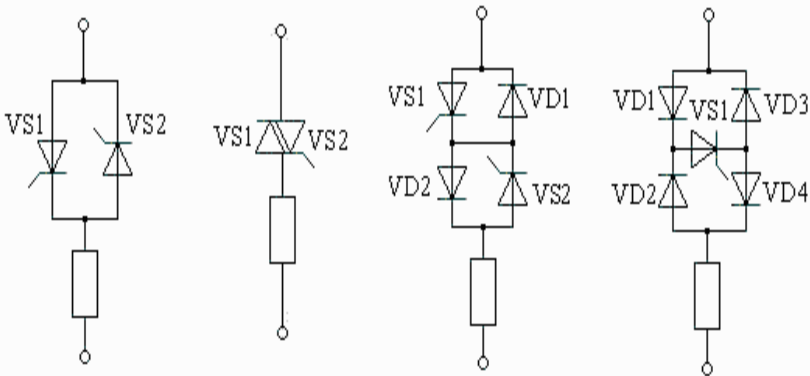


Рисунок 7.1 – Принципіальні схеми однофазних тиристорних ключів змінного струму

Максимальна зворотна напруга тиристора має бути не менша за амплітудне значення напруги мережі:

$$U_{обр} \geq K_3 \sqrt{2} U_c,$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, враховуючий можливі комутаційні перенапруження напруження у мережі.

Для комутуючих пристроїв із зустрічно-паралельним включенням тиристорів, яке використовується найбільш часто, простий та ефективний пристрій управління може бути створений шляхом з'єднання управляючих електродів з їх анодами (або управляючих електродів між собою, що, з точки зору процесу, що триває, майже еквівалентно) за допомогою будь-якого ключа.

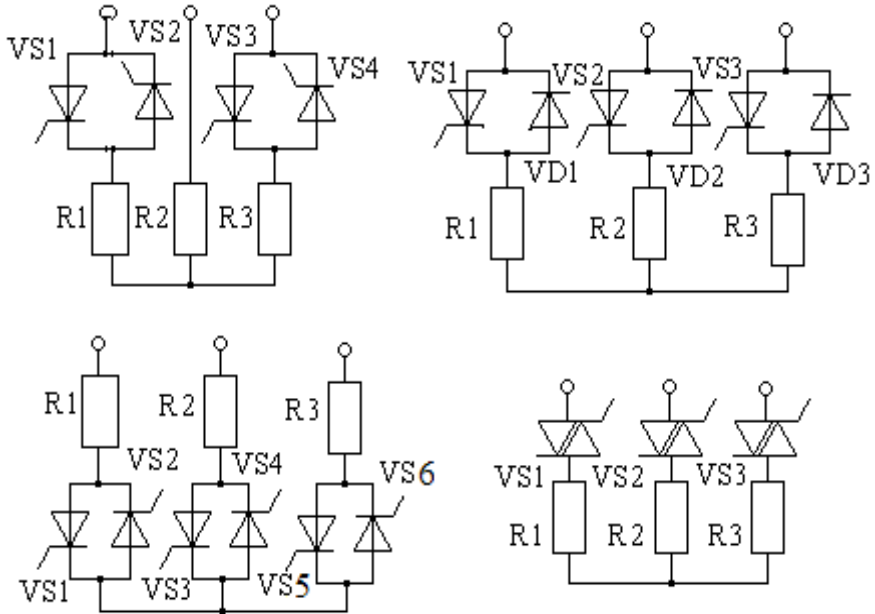


Рисунок 7.2 – Схема трифазних тиристорних ключів змінного струму

При цьому анодна напруга, прикладена до тиристорів, є джерелом імпульсів керування. Принципова схема такого пристрою надана на рисунку 7.3.

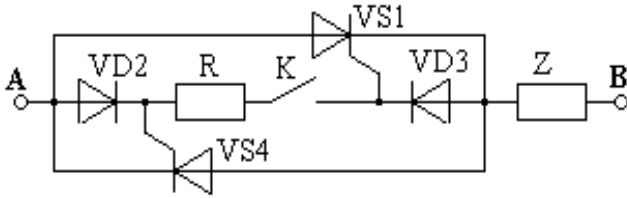


Рисунок 7.3 – Схема тиристорного ключа

При замиканні ключа К у напівперіод провідності тиристора VS1, під дією напруги живлення позитивної полярності у колі управляючого електрода цього тиристора піде струм таким колом: $A \rightarrow VD2 \rightarrow R \rightarrow K \rightarrow VS1 \rightarrow Z \rightarrow B$. Після досягнення струму у цьому колі величини, достатньої для включення тиристора VS1, останній включається. Починаючи з цього моменту, напруга на тиристорах стає такою, що дорівнює прямому падінню напруги на тиристорі VS1, струм у колі керування практично зникає, але тиристор залишається у провідному стані до кінця напівперіоду. В кінці напівперіоду струм навантаження, що протікає крізь тиристор VS1, зменшується до нуля, після чого тиристор закривається до наступної подачі чергового імпульсу керування. В черговий напівперіод аналогічний процес відбуватиметься з тиристором VS4.

Через ключ К протікають короткі імпульси струму, амплітуда яких дорівнює значенню струму включення тиристора, а їх тривалість може бути визначена (для активного навантаження) за формулою:

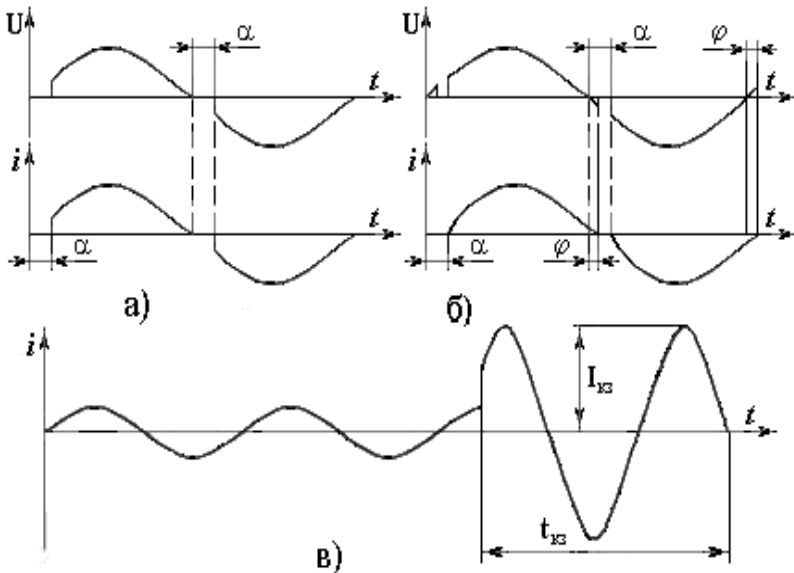
$$t_u = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{I_{\text{вкл}}(R + R_n)}{U_{\text{с, макс}}}$$

Часовий проміжок між початком напівперіоду та моментом включення тиристора називається кутом управління тиристора α . При комутації номінальних навантажень величину α встановлюють мінімальною. При перевантаженнях для зниження струму до допустимих величин α збільшується. Крива струму з активним навантаженням аналогічна кривій напруги на навантаженні, рисунок 7.4 а.

В колах з активно-індуктивним навантаженням струм відстає по фазі від напруги, завдяки цьому крива струму не співпадає за формою

з кривою напруги на навантаженні. Струм протікає й після переходу напруги мережі через нульове значення, внаслідок чого безструмова пауза скорочується (рисунок 7.4 б).

При виникненні короткого замикання відключення комутатора виконується зняттям імпульсів керування з тиристорів, тобто відключенням їх кола управління. Час відключення струмів короткого замикання тиристорним комутатором менший порівняно з контактним апаратом, оскільки струм у тиристорі при відсутності імпульсів керування протікає менше одного півперіоду мережі живлення. До повного часу відключення короткого замикання входить також час спрацювання елементів кола захисту.



- а) – при активній навантаженні;
 б) – при активно-індуктивному навантаженні;
 в) – при відключенні короткого замикання.

Рисунок 7.4 – Напруги та струми, які комутуються тиристорами

7.3 Опис лабораторного обладнання

На лабораторному стенді змонтовано тиристорний контактор з електромагнітним захистом, схема якого надана на рисунку 7.5. Він складається з тиристорного ключа, реле захисту, сигналізації та навантаження, що складається з резисторів та індуктивностей. За допомогою перемикачів SB1, S2, S3 можна отримати різне за характером навантаження, майже до короткого замикання. Змінним резистором R2 можна у невеликих межах регулювати кут включення тиристорів α . подача напруги на тиристорний контактор проводиться автоматом лабораторного столу SF, включення та відключення контактора вимикачем S5. При нормальному режимі роботи струм тече через тиристори, навантаження та обмотки реле K1 та K2, при цьому не викличе їх спрацьовування. При перевантаженні спрацьовує реле K1, уставка якого відповідає струму перевантаження.

Контакти реле K1 вмикають герконове реле K3, контакти якого вмикають лампочку, що сигналізує про перевантаження, та вмикають резистор R1 в коло управління тиристорів.

Включення зменшує струм керування тиристорів та збільшує кут керування тиристорів. Час провідного стану тиристорів зменшується, внаслідок чого діюче значення струму в колі зменшується. Після зниження струму до номінального значення схема автоматично вертається у початковий стан. При замиканні кнопки SB1 утворюється режим короткого замикання.

В колі починає протікати великий струм, достатній для спрацьовування реле K2, контакти якого вмикають герконове реле K4, яке утримується у включеному стані за рахунок одного зі своїх контактів. Решта контактів реле K4 вмикає сигнальну лампу HL2 та розмикає коло управління тиристорів, але тиристор, знаходячись у включеному стані, продовжує проводити струм у колі до кінця напівперіоду, тобто – до зменшення величини струму до нуля. При цьому відбувається природне відключення тиристора, внаслідок чого коло вимикається. Для повернення схеми у робочий стан необхідно натиснути кнопку SB4, при цьому відновлюється коло управління контактами реле K4 за допомогою тиристорів.

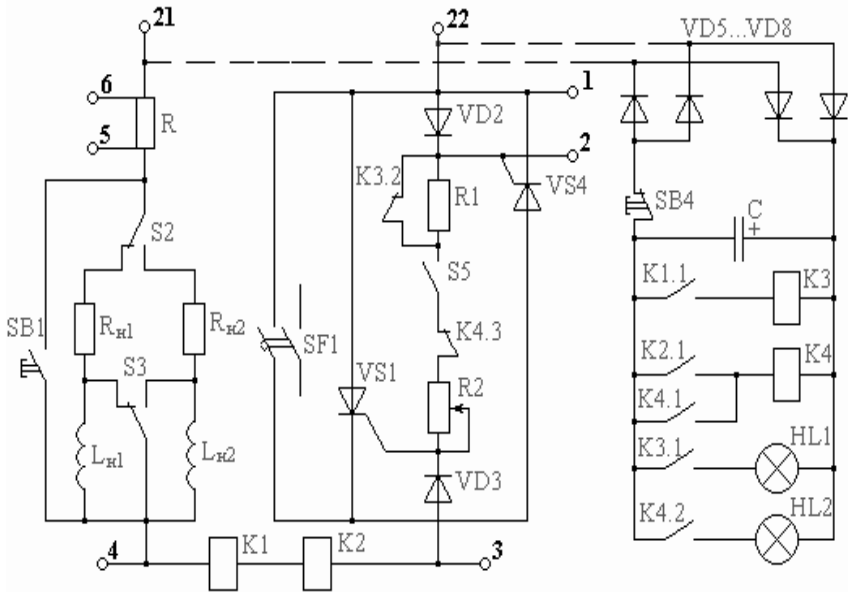


Рисунок 7.5 – Схема тиристорного контактора з електромагнітним захистом

Швидкодія електромагнітного захисту визначається власним часом спрацювання реле, увімкнених у схему струмового захисту. Паралельно тиристорному ключу підключені контакти автомата SF1. Включення відбувається по черговим тиристорного ключа та автомата для утворення схеми порівняльного дослідження. На стенді встановлено шість контрольних точок досліджуваної схеми для підключення осцилографу.

7.4 Завдання

7.4.1 Вивчити принцип дії однофазного тиристорного контактора з електромагнітним захистом.

7.4.2 Дослідити схему, надану на рисунку 7.5, при комутації кола тиристорним контактором:

а) зняти осцилограми напруги на тиристорах $U_{vs}(t)$:

- у номінальному режимі при активному та активно-індуктивному навантаженні;

- при перевантаженні (активному та активно-індуктивному);

б) зняти осцилограми напруги на навантаженні $U_n(t)$, а також визначити амплітудні значення, кут включення α та зрушення фаз напруження та струму φ

- у номінальному режимі при активному та активно-індуктивному навантаженні;

- при перевантаженні (активному та активно-індуктивному);

в) зняти осцилограми струму у колі $I_n(t)$, а також визначити за ними амплітудне його значення:

- у номінальному режимі при активному та активно-індуктивному навантаженні;

- при перевантаженні (активному та активно-індуктивному);

г) зняти осцилограми струму $I_n(t)$ при короткому замиканні і визначити за ними час спрацьовування електромагнітного захисту.

7.4.3 Дослідити схему, надану на рисунку 7.5, при комутації кола автоматичним вимикачем у режимах, вказаних у пункті 7.4.2.

7.4.4 Розрахувати параметри кіл навантаження.

7.4.5 Порівняти отримані осцилограми та розраховані значення параметрів та визначити вплив характеру і величини навантаження, дії захисту, виду комутатора (контактний та безконтактний) на процеси при комутації.

7.5 Методичні вказівки

7.5.1 Підготувати осцилограф до роботи.

7.5.2 Характер навантаження та режим роботи встановити перемикачами S2 та S3 (див. рисунок 7.5). Опір R_{n1} відповідає номінальному режиму, R_{n2} – режиму перевантаження.

7.5.3 Увімкнути автомат лабораторного столу SF та встановити 220 В.

7.5.4 Вхід осцилографа підключити до контрольних точок схеми в залежності від досліджуємого елементу схеми (див. рисунок 5). Осцилограми струму $i(t)$ зняти за допомогою шунта Rш, опір якого дорівнює $3,75 \cdot 10^{-5}$ Ом (75мВ – 20А).

7.5.5 Увімкнути тумблер S5 та дослідити тиристорну схему у відповідності до п. 7.4.2 завдання (автоматичний вимикач SF1 повинен бути вимкнений).

7.5.6 Вимкнути тумблер S5

7.5.7 Увімкнути автомат SF1 та дослідити схему у відповідності до п. 7.4.3 завдання.

7.5.8 Масштаби напруг m_u , струмів m_i та часу m_t на всіх осцилограмах повинні бути однаковими.

7.5.9 Напруги на елементах схеми виміряти за допомогою калібровача осцилографу, або відкалібрувати осцилограф за величиною подаємої напруги 16 В.

7.5.10 Вимір часу спрацьовування електромагнітного захисту виконати за осцилограмою $i_{кз}(t)$ (S5 – включено, SF1 – виключено): почерговим натисненням кнопки SB1 та SB4 отримати осцилограми $i_{кз}(t)$; за числом полярних та неполярних півперіодів визначити мінімальний та максимальний час вимикання кола.

7.5.11 Вихідні дані до розрахунків визначаються з отриманих осцилограм в результаті досліджень. Розрахунки необхідних електричних параметрів, наведених у таблиці 7.1, провести за формулами, що наведеними нижче:

- для діючого значення напруги та струму:

$$A = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha-\varphi}^{\pi+\varphi} A_m^2 \cdot \sin^2 \text{tgt}} = \frac{A_m}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\pi - \alpha + 2\varphi - \frac{\sin 2(\pi + \varphi)}{2} + \frac{\sin 2(\alpha - \varphi)}{2}};$$

де A_m – амплітудне значення за осцилограмою;

α - кут включення тиристорну;

φ - зсув фази між напругою та струмом.

- для опорів, індуктивностей та зсуву фази між напругою та струмом:

$$Z = U_H / I_H, \quad R = U / i, \quad R = Z \cdot \cos \varphi, \quad R = (\omega \cdot L) / \operatorname{tg} \varphi;$$

$$L = Z \cdot \sin \varphi, \quad L = \operatorname{tg} \varphi, \quad L = \sqrt{(Z^2 - R^2)} / \omega,$$

$$\varphi = \arcsin (\omega L / Z), \quad \varphi = \operatorname{arctg} (\omega L / R), \quad \varphi = \arccos (R / Z).$$

7.5.12 Заповнити таблицю 7.1 за результатами розрахунків.

7.5.13 Звіт до лабораторної роботи повинен містити:

- а) завдання;
- б) схему лабораторного тиристорного контактора;
- в) осцилограми напруг та струмів досліджуваної схеми;
- г) таблиця, формули та розрахунки;
- д) аналіз схем, осцилограм та результатів розрахунків;
- е) висновки по роботі.

7.6 Питання для самоперевірки

7.6.1 Принцип роботи тиристорних ключів змінного струму:

- а) керованого від контактів;
- б) керованого від генератора імпульсів.

7.6.2 Переваги та недоліки тиристорних контакторів змінного струму у порівнянні з контактними.

7.6.3 Чому генератор керуючих імпульсів працює на високій частоті?

7.6.4 Які схеми однофазних (трифазних) контакторів існують?

7.6.5 Принцип роботи електромагнітного захисту тиристорного пускача:

Таблиця 7.1 - Електричні параметри досліджуваної схеми

Режим	Захист	Характер навантаження	$U_{\text{макс}}$ В	$I_{\text{н макс}}$ А	α , град	φ , град	Z, Ом	R, Ом	L, мГн	U, В	$I_{\text{н}}$, А
Номінальний		R									
		R-L									
Перевантаження	Є	R									
		R-L									
	Немає	R									
		R-L									

а) при короткочасних перевантаженнях;

б) при коротких замкненнях навантаження.

7.6.6 Чим визначається час спрацьовування тиристорного контактора при короткому замиканні?

7.6.7 За отриманими осцилограмами пояснити вплив характеру навантаження (активного або активно-індуктивного) на форму кривої струму.

8 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ «РОЗ- РОБКА ДУГОГАСНОЇ КАМЕРИ КОНТАКТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

8.1 Мета роботи

Розрахувати геометричні розміри та накреслити ескіз дугогасної системи з щільовою дугогасною камерою контактора постійного струму з системою послідовного магнітного дуття.

8.2 Завдання

За початковими даними, наведеними в таблиці 8.1, за власним варіантом студента, визначеним викладачем, розрахувати критичну довжину дуги ($l_{\text{до}}$), стрілу вильоту дуги (h_d), час гасіння дуги ($t_{\text{д}}$), а також параметри системи магнітного дуття. По розрахованим параметрам накреслити ескіз щільової дугогасної камери за умовою того, щоб дуга не виходила за межі дугогасної камери. Перевірити розраховану дугогасну камеру на нагрів.

8.3 Методичні вказівки

Число витків системи послідовного магнітного дуття визначити за умови того, що магнітна система ненасичена, а задана напруженість магнітного поля H визначена для номінального струму I_0 . Геометричні розміри дугогасної камери визначаються критичною довжиною дуги $l_{\text{кр}}$ та стрілою вильоту дуги h_d . Дуга не має виходити за межі дугогасної камери. Форму дуги на контактах важільного типу можна уявити як частину окружності, побудованої на хорді з розхилу контактів β . Тоді довжина дуги визначається, як:

$$l_d = \sqrt{\beta^2 + 9V_d^2 \cdot t_d^2}.$$

З цього виразу можна визначити час гасіння дуги t_{Γ} , який відповідає досягненню дуги критичної довжини $l_{кр}$.

$$t_{\Gamma} = \frac{\sqrt{l_{кр}^2 - \beta^2}}{3V_{\delta}}.$$

Стріла вильоту дуги h_{δ} визначається із виразу:

$$h_{\delta} = V_{\delta} \cdot t_{\Gamma}.$$

Критична довжина дуги $l_{кр}$ визначається графоаналітичним методом послідовних наближень, що викладений в [2]. Там же наведений приклад розрахунку дугогасної системи для відкритої дуги постійного струму. Швидкість дуги в магнітному полі напруженістю H (А/см) визначається емпіричною залежністю.

$$V_{\delta} = (6 + \delta_{щ}) \sqrt{\frac{12,5 \cdot I \cdot H_{ВН}}{\delta_{щ}}}.$$

Для побудови вольт-амперних характеристик дуги $U_{\delta} = f(i_{\delta})$ необхідно використовувати емпіричні залежності градієнту напруги дуги $E_{\delta} = f(i_{\delta})$ для щільових дугогасних камер. Для камер з широкою щілиною, коли діаметр дуги $d < \delta_{щ}$, градієнт розраховується за формулою:

$$E_{\delta} \approx \frac{92}{\sqrt{i_{\delta}}} + \frac{0,312\sqrt{i_{\delta}}}{\delta_{щ}^{2/3}} + 0,37 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\delta}^2}{i_{\delta}}}, \text{ В/см.}$$

Для камер з вузькою щілиною ($d > \delta_{щ}$):

$$E_{\delta} \approx \frac{92}{\sqrt{i_{\delta}}} + \frac{0,312\sqrt{i_{\delta}}}{\delta_{\text{ц}}^{2/3}} + 7 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{\delta}^2 \cdot i_{\delta}}{\delta_{\text{ц}}^2}}, \text{ В/см.}$$

Діаметр дуги d визначається за виразом:

$$d = 1.12 \sqrt{\frac{I_{\delta}}{20 + V_{\delta}}}.$$

Для декількох значень струму, що вимикає, в діапазоні від 0 до I_0 розраховується $E_{\delta} = f(I_0)$, будується залежність $U_{\delta} = f(I_0)$, де $U_{\delta} = E_{\delta} \cdot l_{\delta}$, використовуючи метод послідовних наближень [2].

Довжина дуги буде дорівнювати критичній $l_{\text{кр}}$ в тому випадку, якщо підбором l_{δ} добитися, щоб побудована вольт-амперна характеристика $U_{\delta} = f(I_0)$ лягла трохи вище реостатної або торкнулася її в межах однієї точки. Бокову поверхню охолодження дугогасної камери S_b знаходять з виразу для температури нагріву стінок камери в режимі що встановився:

$$T = T_{\text{окр}} + \frac{Z \cdot W_{\delta}}{3600 \cdot K_T \cdot S_{\delta}},$$

де W_{δ} - енергія дуги, що виділяється при одному циклі гасіння;

K_T - коефіцієнт теплопередачі зі стінок камери, приймаючи $15 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град}$.

Допустима температура нагріву матеріалу дугогасної камери $^{\circ}\text{T}$ вибирається з таблиці 8.1.

$$W_{\delta} = U_0 \cdot I_0 \cdot \left(\frac{t_{\Gamma}}{6} + \frac{\tau_3}{2} \right),$$

де τ_3 - стала часу кола обирається з таблиці 8.1;

Z - частота включень за годину (таблиця 8.1)

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для розрахунку дугогасної системи

№ варіанту	U_0 , В	I_0 , А	δ_0 , °	β , °	b , см	τ_3 , с	Z , $\frac{1}{год}$	T , °С	H , $\frac{А}{см}$
1	1140	40	3	2	1	0.009	600	300	50
2	660	63	2	1.5	1.2	0.01	600	250	60
3	500	80	2	1.6	1.3	0.014	1200	200	80
4	440	100	3	2.0	2.0	0.01	60	230	100
5	360	120	4	2.5	1.5	0.007	1200	400	90
6	320	160	2.5	2.0	1.8	0.01	300	350	120
7	220	180	2.7	3.0	1.9	0.01	2400	450	110
8	110	200	4	2.8	1.8	0.01	600	500	130
9	150	250	6	3.0	1.7	0.008	600	300	160
10	440	320	8	3.2	2.5	0.01	60	400	180
11	60	630	10	4.0	3.0	0.01	1200	400	80
12	1140	63	2	4.8	1.0	0.009	1200	350	60
13	660	80	4	1.5	1.5	0.01	2400	350	80
14	440	160	8	2.0	1.8	0.01	600	400	100
15	220	63	1	1.2	1.2	0.01	60	400	80
16	110	100	4	2.2	2.0	0.007	1200	300	60
17	48	320	6	3.0	2.5	0.001	60	250	100
18	800	80	4	4.5	1.5	0.01	600	300	160
19	220	160	8	3.0	2.0	0.01	1200	400	120
20	440	630	8	4.0	3.0	0.01	600	350	80
21	660	120	2	2.5	2	0.007	600	250	100
22	220	40	3	1.5	1	0.01	1200	300	60
23	110	630	4	3.0	3.5	0.01	600	320	100

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Александров, Г.Н. Проектирование электрических аппаратов: учебник для вузов [Текст] / Г.Н. Александров, В.В. Борисов, Г.С. Каплан и др.; под ред. Г. Н. Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. – 448 с.
2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения [Текст]/ В.А. Андреев. – М.: Высшая школа, 1991. – 495 с.
3. Буль, Б.К. Электромеханические аппараты автоматики : учебник для вузов [Текст]: / Б.К. Буль, О.Б. Буль, В.А. Азанов и др.; под ред. Б.К. Буля. – М.: Высшая школа, 1987. – 162 с.
4. Буткевич, Г.В. Задачник по электрическим аппаратам: уч. Пособие для ВУЗов [Текст]:/ Г.В. Буткевич, Залесская - М.: Вышш.школа., 1987. - 232 с.
5. Диковский, Я.М. Магнитоуправляемые контакты [Текст]/ Я.М. Диковский, И.И.Капралов.- М.: Энергия, 1970.- 172 с.
6. Коробков, Ю.С. Электрические аппараты автоматики [Текст]/ Ю.С. Коробков, В. Д. Флора. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 344 с.
7. Коробков, Ю.С. Электрические аппараты автоматики: сбор-ник вопросов, задач и упражнений [Текст]/ Ю.С. Коробков, В. Д. Флора. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 116 с.
8. Кузнецов Р.С. Аппараты распределения энергии на напряже-ние до 1000 В [Текст]/ Р.С. Кузнецов. – М.: Энергия, 1970.
9. Могилевский, Г.В. Гибридные электрические аппараты низ-кого напряжения [Текст]:/ Г.В.Могилевский.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 233 с.
10. Намитоков, К.К. Плавкие предохранители [Текст]/ К.К. На-митоков. – М.:Энергия, 1979.
11. Намитоков, К.К. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств [Текст]/К.К.Намитоков, Н.А.Ильина, И.Г. Шкловский– М.: Энергоатомиздат, 1988.
12. Новиков, Ю.Н. Теория и расчет электрических аппаратов [Текст]/ Ю.Н. Новиков. – М.: Энергия, 1970. – 310 с.
13. Новиков, Ю.Н. Теория и расчет электрических аппаратов [Текст]/ Ю.Н.Новиков..- М.: Энергия, 1970.- 327 с.

14. Родштейн, Л.А. Электрические аппараты [Текст]/ Л.А. Родштейн.-Л.: Энергоиздат, 1981.

15. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.

16. Сахаров, П.В. Проектирование электрических аппаратов [Текст]/ П. В. Сахаров. – М.: Энергия, 1977. – 560с.

17. Сотсков, В.С. Основы расчета и проектирования электромеханических элементов, автоматических и механических приборов [Текст]/ В.С. Сотсков - М.Л.,: Энергия, 1965- 576 с.

18. Таев И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения [Текст]/ И.С. Таев. – М.: Энергия, 1973. – 314 с.

19. Таев, И.С. Электрические аппараты автоматики и управления [Текст]/ И.С. Таев. – М.: Высшая школа, 1984. – 247с.

20. Таев, И.С. Электрические контакты и дугогасительные приборы аппаратов низкого напряжения [Текст]/И.С.Таев. - М.: Энергия, 1973.- 423 с.

21. Чунихин, А.А. Электрические аппараты [Текст]/ А.А.Чунихин. – М.; Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.

22. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. – М.: Энергия, 1976. – 568 с.

23. Шоффа, В. Н. Анализ полей магнитных систем электрических аппаратов [Текст]/ В. Н. Шоффа. – М.: Изд-во МЭИ. 1994. – 186 с.

24. Шоффа, В. Н. Сборник задач и упражнений по электромагнитным явлениям в электрических аппаратах [Текст]/ В. Н. Шоффа, А. В. Савцев. – М.: Мир, 1985. – 236 с.

25. Электротехнический справочник [Текст] - М.: Энергоатомиздат, 1989.- 506 с.