

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський промислово-економічний коледж  
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

\_\_\_\_\_ С.В.Бондаренко

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Методичні вказівки і завдання щодо виконання  
лабораторних робіт з дисципліни  
«Електричні апарати»  
для студентів 3 курсу  
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація  
електроустаткування  
підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

Ю. В. Алійник

Розглянуто на засіданні  
циклової комісії  
спеціальних електротехнічних дисциплін  
Протокол №\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ року  
Голова циклової комісії

В. В.Олійник

# Інструкція для виконання лабораторної роботи №1

**Тема:** Вивчення конструкції та роботи запобіжників. Випробування плавких вставок

## 1. Мета:

- 1.1 Вивчити конструкцію та принципи дії запобіжників.
- 1.2 Дослідити залежність часу спрацювання запобіжника від протікаючого струму.

## 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання лабораторної роботи №1.
- 2.4 Стенд для виконання лабораторної роботи №1.

## 3 Теоретичні відомості

### Загальна характеристика запобіжників

Плавким запобіжником називають електричний апарат, призначений для відключення ненормального або аварійного режиму в електричній установці. Робота цього апарата ґрунтується на тепловій дії електричного струму.

Особливо широкого застосування у практиці запобіжники набули в установках з напругою до 1кВ. В електроустановках вище 1кВ запобіжники мають обмежене застосування (їх використовують в основному для захисту силових трансформаторів, вимірювальних трансформаторів напруги та статичних конденсаторів).

Елементами конструкції запобіжників є:

- плавка вставка;
- контактні пристрої;
- корпус.

У конструкції ряду запобіжників, крім того, передбачається пристрій для гасіння електричної дуги, яка утворюється на місці плавкої вставки. Плавка вставка – основний елемент запобіжника. Включається в електричне коло послідовно з об'єктом, який захищає.

Роботу запобіжника можна умовно поділити на три етапи. На першому етапі ненормальний або аварійний струм елемента електричної установки, для якого створено захист плавким запобіжником, нагріває плавку вставку до температури плавлення. На другому етапі тепло, що виділяється електричним струмом, витрачається на плавлення вставки (при великих струмах на її випаровування). Після розплавлення плавкої вставки на її місці в запобіжнику утворюється електрична дуга. На третьому етапі відбувається гасіння електричної дуги.

На першому етапі роботи запобіжника тепло, що виділяється у вставці електричним струмом, витрачається не тільки на нагрівання самої вставки, але й відводиться в навколишнє середовище. При великих значеннях аварійних струмів порівняно з номінальним струмом вставки відведення тепла у навколишнє середовище відіграє незначну роль. Коли ж струм ненормального режиму не набагато більший від номінального струму плавкої вставки, її нагрівання до температури плавлення відбувається повільно, і кількість теплоти, що відводиться від вставки в навколишнє середовище, відіграє значну роль.

Найбільший струм, при якому плавка вставка запобіжника може довго працювати не перегораючи називається *номінальним струмом*  $I_{в.н.}$ . При такому струмі час нагрівання вставки до температури плавлення нескінченно великий. При зростанні величини струму цей інтервал часу скорочується. Залежність між цим часом і величиною струму через плавку вставку запобіжника називається *ампер-секундною характеристикою* (рисунок 1.2).

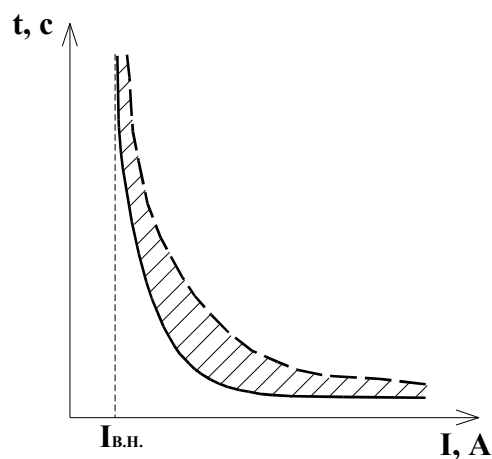


Рисунок 1.2 – Ампер-секундна характеристика плавкої вставки

Мінімальний плавильний струм плавкої вставки на 20-25% більший від її номінального струму.

Номінальним струмом запобіжника  $I_{з.н.}$  називають струм на який розраховані струмоведучі та контактні частини самого запобіжника.

Ампер-секундна характеристика плавкої вставки дуже нестабільна. Вона може істотно змінюватись залежно від температури навколишнього середовища, часу роботи запобіжника в експлуатації (ефект старіння матеріалу плавкої вставки) та інших факторів. Тому ампер-секундну характеристику запобіжника зображують не одною кривою, а досить широкою зоною.

Для зменшення можливих температур нагрівання запобіжника зменшують температуру плавлення плавкої вставки, тобто виготовляють її з металів з порівняно низькими температурами плавлення (олово, свинець, цинк). Проте цей прийом не завжди доцільний, оскільки легкоплавкі метали мають високі питомі електричні опори. При великих номінальних струмах плавка вставка має значний переріз, масивні плавкі вставки потребують значних затрат тепла на розплавлення металу і його випаровування. В результаті помітно збільшується повний час роботи запобіжника.

Застосування для плавких вставок тугоплавких металів (мідь, срібло), які мають високу електропровідність, різко зменшує переріз вставок і сприяє скороченню часу спрацювання запобіжника (таблиця 1.1). Проте це призводить до дуже високих температур нагрівання елементів конструкції запобіжника в режимі роботи, близькому до номінального струму вставки  $I_{в.н.}$ .

Таблиця 1.1 – Основні характеристики матеріалів плавких вставок

Матеріал	Густина, кг/дм <sup>3</sup>	Температура плавлення при нормальному тиску, °С	Опір при 15°С, Ом/мм <sup>2</sup>	Максимальна допустима температура вставки, °С
Мідь	8,93	1083	0,0175	250
Свинець	11,34	327	0,21	150
Цинк	7,1	419	0,06	200
Срібло	10,05	561	0,016...0,0175	залежить від конструкції запобіжника

Дуже ефективним методом зниження температури плавлення вставки з тугоплавкого металу, є застосування плавких вставок з “металургійним ефектом”. Такі вставки з міді або срібла виготовляють, накладаючи на них кульки з легкоплавкого металу. Коли вставка нагрівається до температури.

що перевищує температуру плавлення кульки, вона розплавляється і розчиняє в собі тугоплавкий метал вставки. В цьому місці утворюється електрична дуга. Подальше плавлення і випаровування вставки відбувається вже внаслідок високої температури дуги. “Металургійний ефект” проявляється тільки при струмах, близьких до номінального струму вставки.

Якщо струм, що протікає через запобіжник, в багато разів перевищує величину номінального струму  $I_{В.Н.}$ , вставка плавиться і випаровується практично зразу на всій її довжині. Процес руйнування вставки має характер вибуху. При цьому струм у колі різко обривається і виникає перенапруга, яка пробиває утворений проміжок, заповнений паром металу, загорається електрична дуга.

Величина напруги, а також тривалість горіння електричної дуги і метод її дугогасіння визначаються конструкцією запобіжника. На величину перенапруги вирішальний вплив має довжина плавкої вставки. Щоб зменшити величину перенапруги у сучасних конструкціях запобіжників зменшують довжину плавкої вставки. Цього досягають застосуванням проміжку змінної величини в момент згорання плавкої вставки, який утворюється дуже коротким (3-5см), а потім швидко збільшується до кількох десятків сантиметрів внаслідок механічного переміщення одного з елементів.

Великого поширення набули конструкції запобіжників в яких електрична дуга гаситься газами, що виділяються з твердого дугогасильного матеріалу (фібра, органічне скло, вініпласт тощо) під дією високої температури електричної дуги. При цьому газу, що виділяються у великій кількості, використовуються або для гасіння дуги за рахунок створення інтенсивного поздовжнього дуття, або до різкого підвищення тиску в запобіжнику, що веде до збільшення електричної міцності проміжку на місці плавкої вставки.

З точки зору умов гасіння електричної дуги запобіжники класифікують на:

- струмообмежуючі;
- без струмообмеження.

У струмообмежуючих запобіжниках після розплавлення плавкої вставки опір проміжку дуже швидко збільшується. До числа струмообмежуючих запобіжників відносять конструкції з дрібнозернистим наповнювачем, який оточує плавку вставку (кварцовий пісок, крейда).

Найпростішими конструкціями запобіжників на напругу до 1кВ є пробкові і пластинчаті. Пробкові запобіжники в основному використовуються для захисту освітлювальних електричних мереж та електродвигунів невеликої потужності з напругою до 380В включно. У пробкових запобіжниках плавкі вставки зроблені з легкоплавких металів, і жодних пристроїв для гасіння електричної дуги в них не передбачено. Тому

такі запобіжники не забезпечують ефекту струмообмеження і час горіння дуги в них досить великий. Завдяки застосуванню порівняно масивних плавких вставок з легкоплавкого металу (свинець), які мають теплову інерцію, ці запобіжники нечутливі до порівняно великих (5-7 кратних) короткочасних перевантажень.

Переважає більшість конструкцій запобіжників, для заміни перегорівши плавких вставок, потребує наявності якого-небудь комутаційного апарата (рубильник, роз'єднувач) з боку живлення перед запобіжником.

### Конструкція запобіжників

На рисунку 1.3 зображено розріз запобіжника типу ПР з закритою фібровою трубкою. Такі запобіжники випускаються на номінальні струми від 15 до 1000А.

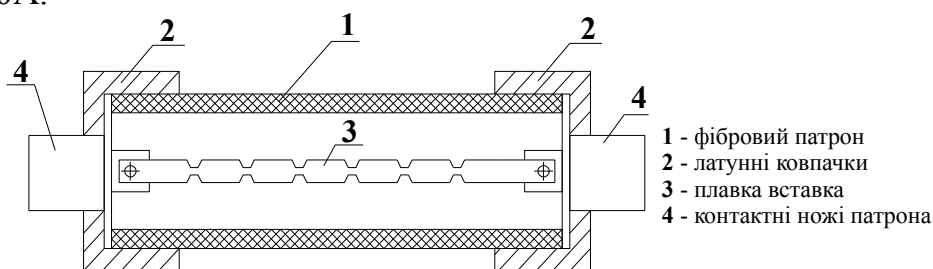


Рисунок 1.3 – Запобіжник з фібровою трубкою

Фібровий патрон 1 з двох боків закритий латунними ковпачками 2, які затискають контактні ножі патрона 4. До ножів всередині трубки гвинтами прикріплюється плавка вставка 3, штампована з листового цинку. Вставка 3 має звуження перерізу по довжині, що знижує перенапруги, які виникають під час плавлення і випаровування вставки.

У запобіжниках типу ПР час горіння дуги дуже малий, а сам запобіжник забезпечує ефект струмообмеження. Такі запобіжники мають великі струми вимикання (у 30-100 раз більші від номінальних струмів). Вони працюють безшумно, без викидання гарячих газів і полум'я. Їх використання підвищує безпеку обслуговування, їх можна замінити під напругою, що виключає потребу в додаткових комутаційних апаратах. Недоліком запобіжників цього типу є складність конструкції, що позначається на їх вартості. Крім того, після вимикання значних аварійних струмів у таких запобіжниках треба замінити фібровий патрон.

Останнім часом альтернативою плавких запобіжників є запобіжники з термомеханічним руйнуванням вставки за допомогою термопривідного елемента виготовленого із сплаву з “ефектом пам'яті форми”. Такий запобіжник зображений на рисунку 1.4.

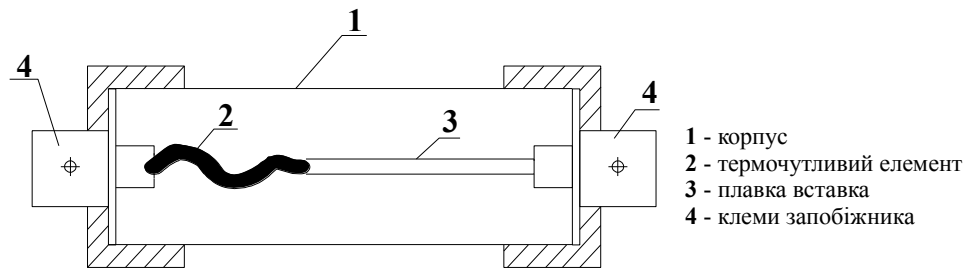
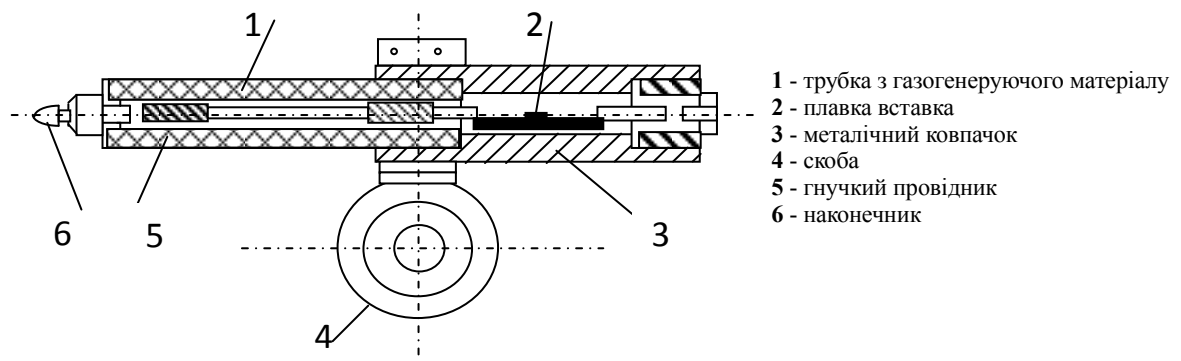


Рисунок 1.4 - Термомеханічний запобіжник

При протікання певного струму через запобіжник (струм перевантаження, струм к.з.) термочутливий елемент нагрівається і відновлює свою форму (стискається) і механічно руйнує вставку. Час руйнування вставки залежить від величини струму і може скласти 0,001с. Недоліком даного запобіжника є його собівартість.

На напругах 35 та 110кВ застосовують газогенеруючі плавкі запобіжники з вихлопом газу. Запобіжник такого типу зображений на рисунку 1.5.



Рисунку 1.5 – Плавкий запобіжник ПСН-35

При розплавленні плавкої вставки провідник 5 витягується із патрону. При цьому дуга розтягується і торкається газогенеруючого матеріалу. Газу які виділяються завдяки термічній дії електричної дуги виштовхують провідник із трубки з великою швидкістю, що сприяє швидкій де іонізації дугового проміжку.

### Вибір запобіжників

Для споживачів електроенергії навантаження яких не має коливань в сторону підвищення споживаного струму (освітлювальне навантаження) при виборі плавкої вставки необхідно керуватися тим, що номінальний струм цієї

вставки  $I_{В.Н.}$  повинен бути більшим або дорівнювати робочому струму навантаження:

$$I_{В.Н.} \geq I_P$$

При виборі плавких вставок для роботи з двигунами, а особливо з асинхронними короткозамкнутими, у яких в момент пуску (або самозапуску) виникають струми, які перевищують по величині номінальні робочі струми, необхідно щоб виконувалася така умова:

$$I_{В.Н.} \geq \frac{I_{П.}}{\alpha},$$

де  $I_{П.}$  - пусковий струм двигуна;  $\alpha$  - коефіцієнт який враховує режим пуску.

Коефіцієнт  $\alpha$  при тривалості пуску до 8с приймається рівним  $\alpha = 2,5$ . При більш тривалих пусках  $\alpha = 1,6$ .

Під *легким* режимом розуміють рідкі пуски з тривалістю до 10с або самозапуски ненавантажених електродвигунів, під *важким* – часті пуски з тривалістю більше 10с або самозапуски при напружених механізмах.

Якщо припускається вибір плавкої вставки з матеріалу з великим питомим опором (свинець), необхідно керуватись такою умовою (для легкого режиму роботи):

$$I_{В.Н.} \geq I_P,$$

так як такі вставки не перегорають від пускового струму.

Якщо передбачається робота запобіжника на декілька електродвигунів, то номінальний струм вставки беруть рівним:

$$I_{В.Н.} \geq k \cdot \sum I_P + \frac{I_{П\_max}}{\alpha},$$

де  $k$  - коефіцієнт одночасної роботи електродвигунів;  $\sum I_P$  - сума робочих струмів двигунів без одного, який має найбільший пусковий струм;  $I_{П\_max}$  - найбільший пусковий струм.

В розгалужених розподільчих мережах установлюють декілька послідовно включених запобіжників. Наприклад: на головному щиті – для захисту магістралі, та на відгалуженнях. В цьому випадку плавкі вставки запобіжників повинні бути підібрані так, щоб першою перегорала та, що



знаходиться ближче до місця пошкодження, тобто повинна додержуватись селективність дії запобіжників.

#### 4 Хід роботи

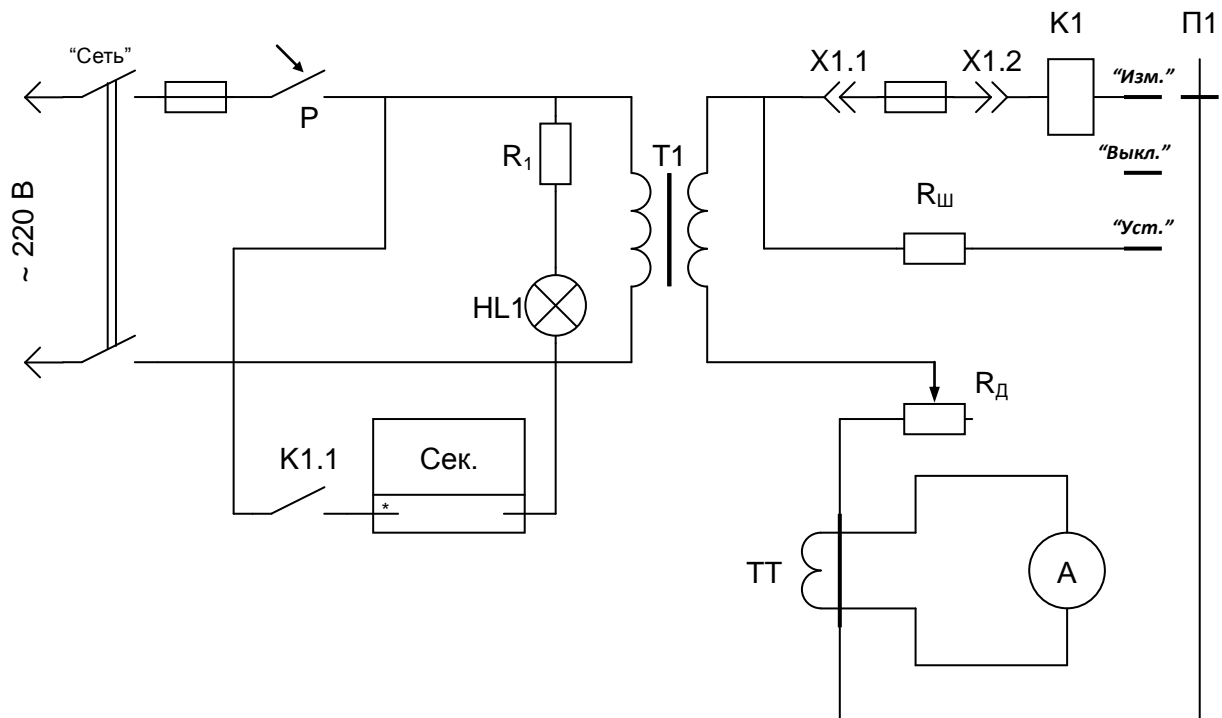


Рисунок 1.1 – Принципова схема лабораторного станду

- 4.1 Одержати зразки плавких вставок
- 4.2 Візуально перевірити схему на відсутність напруги
- 4.3 Встановити перемикач *ПІ* у нейтральне положення
- 4.5 Вставити одну з плавких вставок у затискачі запобіжника *X1.1 – X1.2*. Закрити запобіжник кришкою, включити рубильник *P* (при цьому повинна засвітитись сигнальна лампа *HL1*).
- 4.6 Перемикачем *ПІ* ввімкнути шунт *Rш*, та за допомогою реостата *Rд* встановити необхідну силу струму.  
*Примітка.* Сила струму не повинна перевищувати *10A*.
- 4.7 Перемикач *ПІ* перевести в положення вимірювання “*Изм.*”. При цьому починає працювати електричний секундомір. Після перегорання плавкої вставки робота секундоміру припиняється та фіксується тривалість часу знаходження під напругою запобіжника та сила струму.
- 4.8 Виключити лабораторний стенд (напругу *220V*).
- 4.9 Обнулити секундомір. Замінити плавку вставку на аналогічну за перерізом та повторити виміри згідно пунктів 3-7 декілька разів (5-7). Побудувати ампер-секундну характеристику.

- 4.10 Провести аналогічні вимірювання для декількох перерізів плавких вставок.
- 4.11 Побудувати залежність часу згоряння плавкої вставки від її перерізу, при постійному струмі.
- 4.12 Зробити висновки по роботі.

## **5 Висновки:**

## **6 Контрольні питання:**

- 6.1 Призначення запобіжників, основні функції, галузь застосування.
- 6.2 Основні елементи запобіжника.
- 6.3 Основні характеристики запобіжника. Ампер-секундна характеристика.
- 6.4 Основні вимоги до запобіжника.
- 6.5 Конструкція і матеріали плавких вставок.
- 6.6 Конструкція запобіжників.
- 6.7 Запобіжники з наповнювачем.
- 6.8 Основні параметри запобіжників.
- 6.9 Умови вибору запобіжників.

## **Література:**

- 1. Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.
- 2. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

## Інструкція для виконання лабораторної роботи №2

**Тема:** Дослідження роботи теплового реле.

### 1. Мета:

1.1 Вивчити будову теплового реле та зняти його ампер-секундну характеристику.

### 2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи.

### 3 Теоретичні відомості

Для захисту електроустаткування від перевантаження застосовують теплові реле.

В однофазних реле серії ТРП усередині біметалічного елемента реле, що має U-образну форму, розташований ніхромовий нагрівач.

Нагрівання термоелементів здійснюється комбінованим способом: струм проходить через нагрівач і частково через біметал.

Реле допускають регулювання струму уставки в межах  $\pm 25\%$ . Регулювання здійснюють за допомогою механізму уставки, що змінює натяг віток термоелемента.

Механізм має шкалу, на якій нанесено по п'ять поділок по обидва боки від нуля. Ціна поділки 5% для відкритого виконання і 5,5% - для захищеного.

При температурі навколишнього середовища нижче  $+30^{\circ}\text{C}$  вноситься поправка в межах шкали реле: одна поділка шкали відповідає зміні температури на  $10^{\circ}\text{C}$ . При негативних температурах стабільність захисту порушується.

Ціна поділки шкали теплового реле, що відповідає струму захищеного електродвигуна і навколишній температурі, вибирають наступним чином.

1. Визначається кількість поділок шкали уставок струму без температурної поправки:

$$\frac{I_{эл} - I_0}{c \cdot I_0} = \pm N_1,$$

де  $I_{эл}$  – номінальний струм електродвигуна;  $I_0$  – струм нульової уставки реле;  $c$  – ціна поділки (0,05 – для відкритих пускачів і 0,055 – для захищених).

2. Вводиться поправка на температуру навколишнього середовища

$$\frac{t_{окр} - 30}{10} = -N_2$$

де  $t_{окр}$  – температура навколишнього середовища.

Поправка на температуру вводяться тільки при зниженні температури від номінальної (+40°C) на величину більш 10°C.

3. Результуюча розрахункова кількість поділок шкали:

$$\pm N = (\pm N_1) + (-N_2)$$

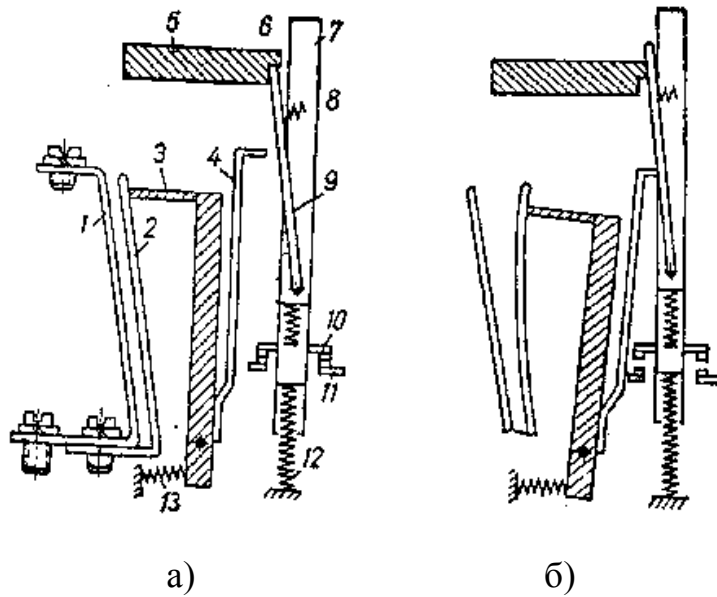
Якщо  $N$  буде дробовим числом, його слід округлити до цілого в більшу або меншу сторону в залежності від характеру навантаження.

Самоповернення реле здійснюється пружиною після остигання біметалу або вручну (прискорене повернення) важелем із кнопкою.

Реле серії ТРН – двополюсні з температурною компенсацією. Кінематична схема реле серії ТРН приведена на рисунку 7.2. Термоелемент 2 нагрівається від нагрівального елемента 1. Компенсатор реле 4 виконаний з біметалу зі зворотним прогином по відношенню основного термоелемента.

Робота реле серії ТРН майже не залежить від навколишньої температури. Зміна струму уставки реле здійснюється зміною зазору між компенсатором 4 і засувкою 9.

Реле типу ТРН–10А дозволяють регулювати струм уставки в межах від –20 до +25%; реле типів ТРН–10, ТРН–25 – у межах від –25 до +30%. Реле даних типів мають тільки ручне повернення, яке здійснюється натисканням на кнопку через 1-2 хвилини після спрацювання реле.



а – до спрацьовування;

б – після спрацьовування;

1 – нагрівач; 2 – термобіметал; 3 – підтримувач;  
 4 – термобіметалевий компенсатор; 5 – ексцентрик;  
 6 – упор; 7 – траверса; 8 – пружина; 9 – засувка;  
 10 – контактний місток; 11 – нерухомі контакти;  
 12 – пружина траверси; 13 – пружина куліси.

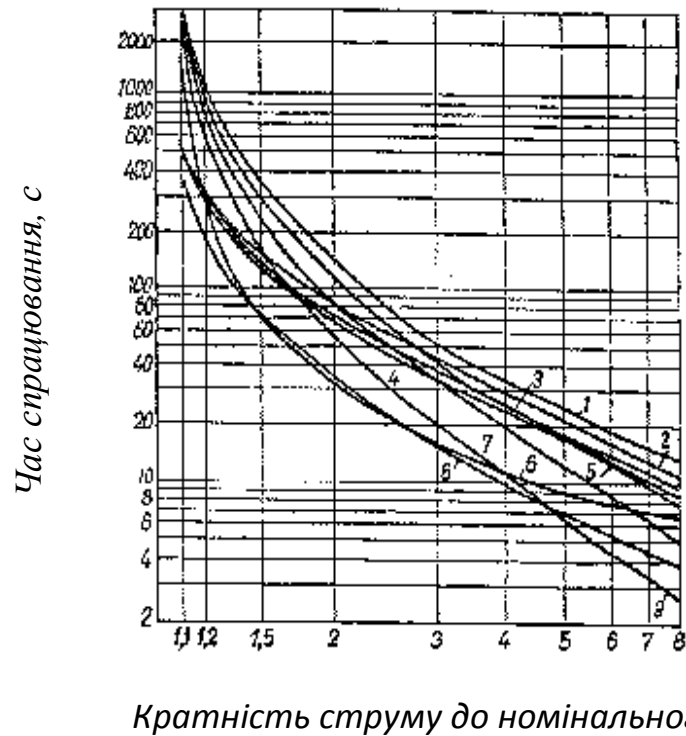
Рисунок 7.2 – Кінематична схема теплового реле типу ТРН.

Відповідно до вимог ГОСТ, вбудовані в пускач теплові реле, через які протягом тривалого часу проходить номінальний струм, повинні спрацювати не більше чим через 20 хвилин після початку перевантаження на 20%.

Для настройки реле під навантаженням збирають схему, приведену на рисунку 7.4. Протягом 2 годин через контакти пускача і нагрівача теплових реле пропускають номінальний струм (котушка пускача знаходиться під номінальною напругою). Потім струм підвищують до  $1.2I_H$  і перевіряють час спрацьовування реле. Якщо через 20 хвилин, з моменту часу підвищення струму, реле не спрацює, то поступовим зниженням уставки знаходять таке

положення, при якому реле буде спрацьовувати. Потім знижують струм до номінального, дають апарату охолонути і знову повторюють випробування при струмі  $1.2I_H$ .

Захисні характеристики теплових реле різних серій приведені на рисунку 7.3.



- 1 – РТ; 2 – ТРН-10; 3 – ТРН-25; 4 – ТРН-40;
- 5 – ТРН-150; 6 – ТРП-600; 7 – ТРП-25;
- 8 – ТРН-10А; 9 – ТРП-60

Рисунок 7.3 – Захисні характеристики теплових реле різних серій

Якщо при першій перевірці реле спрацьовує занадто швидко (менше чим за 10 хвилин), струм варто знизити до номінального, збільшити уставку і після перевірки апарата повторити випробування.

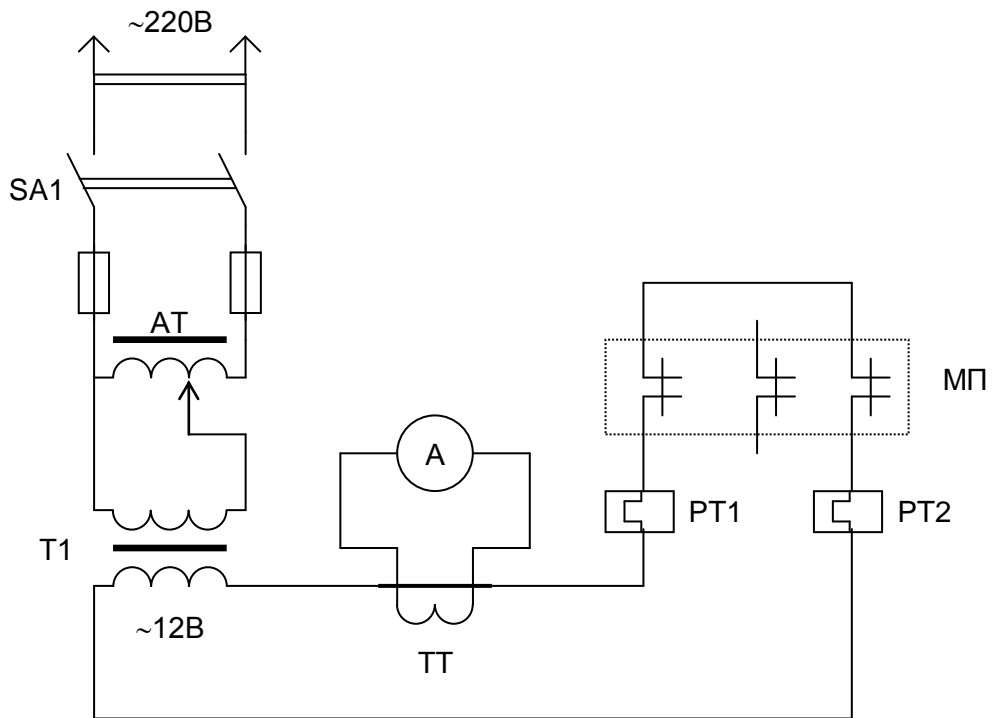


Рисунок 7.4 – Схема випробування теплового реле

При налагодженні великої кількості теплових реле з однаковою уставкою рекомендується користуватися еталонними реле, попередньо налаштованими описаним вище способом. Теплові реле декількох пускачів включають послідовно з еталонними реле; пускачі зі знятими кришками кожухів залишають у включеному положенні. По колу нагрівачів пропускають струм, близький до  $1.5I_H$ , змінюючи уставку реле домагаються його спрацьовування одночасно з еталонними. Пускачі включають тільки для зручності визначення моменту спрацьовування реле.

Приєднуючи до випробувальної схеми нову партію апаратів, не слід очікувати, поки охолоне контрольний пускач. Досить попередньо прогріти всі апарати протягом 10-15 хвилин струмом, рівним  $1.5I_H$ , а потім відключити струм на 10 хвилин.

#### 4 Хід роботи

4.1 Підключити схему лабораторного стенда до джерела живлення 220В, 50Гц

- 4.2 Проконтролювати, щоб ручка автотрансформатора АТ була встановлена в положення, що відповідає мінімальній напрузі на його виході.
- 4.3 Регулятор на корпусі теплового реле РТ1 встановити в положення “\_”
- 4.4 Включити автоматичні вимикачі SF1, SF2
- 4.5 Утримуючи кнопку “Установка” за допомогою ручки автотрансформатора АТ встановити по амперметру А2 необхідну величину струму в теплому елементі РТ1.2.
- 4.6 Встановити стрілку секундоміру у нульове положення.
- 4.7 Короткочасно натиснути кнопку “Пуск”. Після цього схема включається в роботу, нагрівається елемент РТ1.1 теплового реле РТ1. Через деякий час теплове реле РТ1 спрацює і розімкне свій контакт РТ1.3. Вимикається магнітний пускач МП, який своїми контактами відключає тепловий елемент РТ1.1 і секундомір.
- 4.8 Записати в таблицю струм у цьому досліді і час, за який спрацювало теплове реле.
- 4.9 Після охолодження теплового реле поставити контакт РТ1.3 у замкнене положення.
- 4.10 Повторити досліді при інших значеннях струму.
- 4.11 Повторити досліді, встановивши регулятор на корпусі теплового реле: а) у положення “0”; б) у положення “+”.
- 4.12 Встановити ручку автотрансформатора АТ в положення, що відповідає мінімальній напрузі на його виході.
- 4.13 Вимкнути автомати SF1, SF2.
- 4.14 По експериментальним даним побудувати в одних координатних осях залежність часу спрацювання теплового від струму для трьох положень регулятора теплового реле: “-”, “0”, “+”.



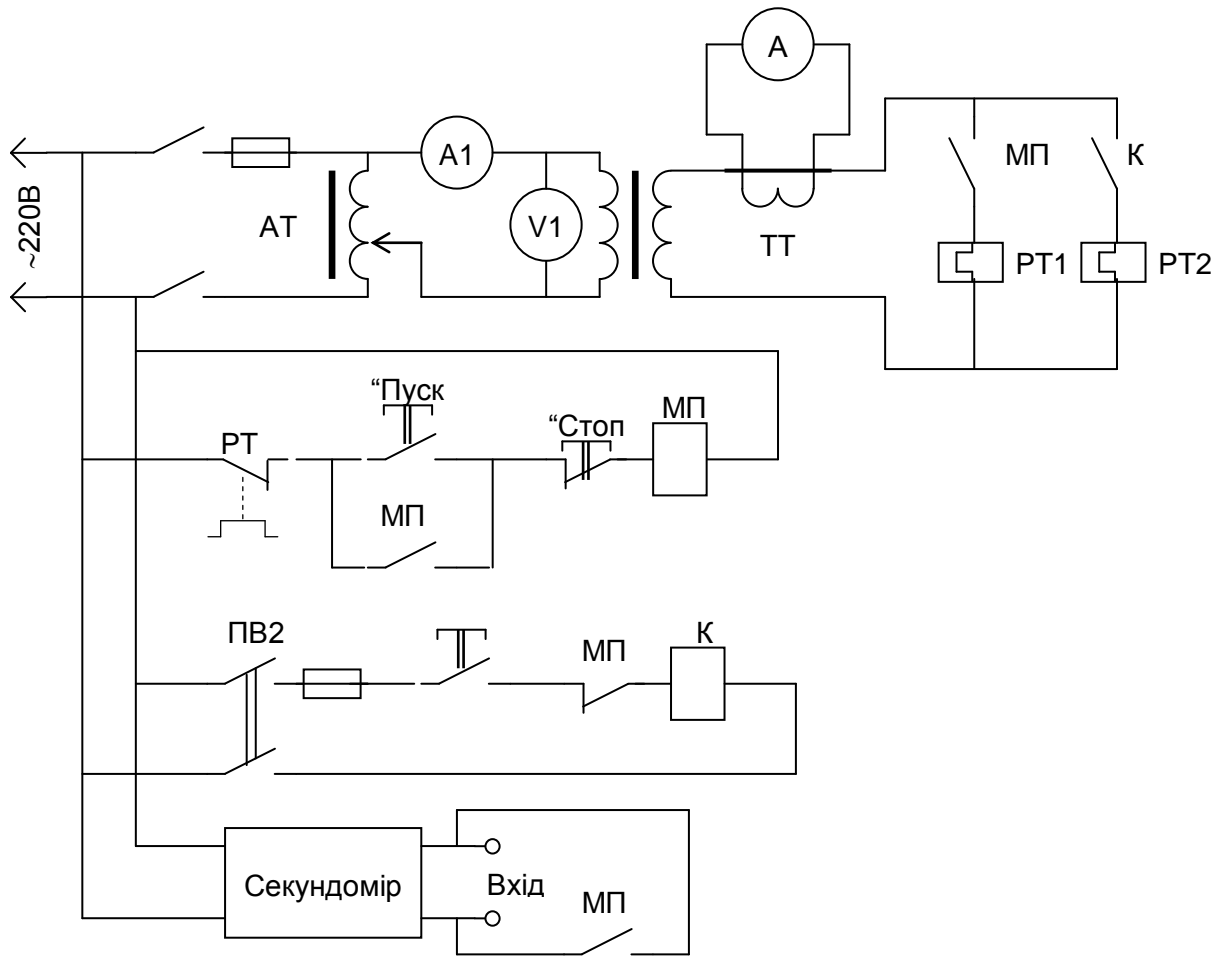


Рисунок 7.1 – Схема лабораторного стенда

## 5 Висновки:

### 6 Контрольні питання:

- 6.1 Призначення теплового реле ?
- 6.2 Принцип дії теплового реле ?
- 6.3 Що треба врахувати при виборі теплового реле для вибраного по потужності двигуна ?
- 6.4 Чому теплові елементи реле повинні бути включені не менше ніж у дві фази двигуна ?

### Література:

1. Родштейн Л. А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.
2. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

