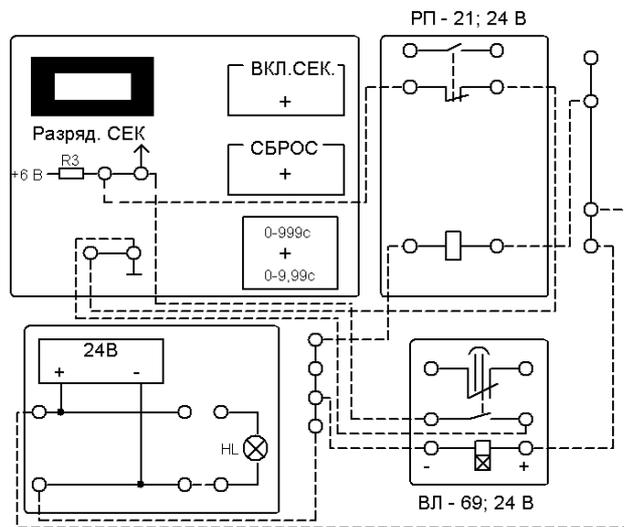


# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Лабораторные работы  
для студентов 4 курса специальности 100400  
дневной и заочной форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2005

УДК 629.4.082.3  
ББК ←264я73-5  
А946

Рецензент

Доктор технических наук, профессор  
*П.С. Беляев*

Авторы-составители:

*В.В. Афонин, К.А. Набатов, И.Н. Акулинин, А.К. Паньков*

**Афонин, В.В.**

А946 Электрические аппараты : лабораторные работы / авт.-сост. : В.В. Афонин, К.А. Набатов, И.Н. Акулинин, А.К. Паньков. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 40 с.

Даны последовательность выполнения лабораторных работ, описание объектов и средств исследования, контрольные вопросы по дисциплине «Электрические аппараты».

Предназначены для студентов 4 курса специальности 100400 дневной и заочной форм обучения.

УДК 629.4.082.3

ББК ←264я73-5

© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ),  
2005

Учебное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ  
АППАРАТЫ

Лабораторные работы

Авторы-составители:

АФОНИН Владимир Васильевич,  
НАБАТОВ Константин Александрович,  
АКУЛИНИН Игорь Николаевич,  
ПАНЬКОВ Александр Константинович

Редактор Т.М. Глинкина

Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкoвa

Подписано к печати 15.06.2005.

Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Объем: 2,32 усл. печ. л.; 2,2 уч.-изд. л.

Тираж 50 экз. С. 444<sup>М</sup>

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Выполнение лабораторной работы включает в себя: подготовку к лабораторному занятию, проведение эксперимента и обработку экспериментального материала с оформлением отчета.

Каждый студент должен заранее подготовиться к выполнению лабораторной работы, для этого необходимо:

- изучить соответствующие разделы по учебнику или конспекту лекций;
- по материалам указаний к лабораторным работам ознакомиться с объектом исследования, регулирующей и измерительной аппаратурой.

Перед началом работы студент должен ответить на ряд вопросов, касающихся ее выполнения, и получить разрешение руководителя занятий приступить к проведению эксперимента.

После окончания эксперимента каждый студент самостоятельно должен обработать данные опытов и подготовить отчет по проделанной работе.

Отчет должен содержать следующие пункты:

- номер, название и цель работы;
- перечень измерительных приборов с указанием технических данных;
- схемы соединения элементов исследования;
- таблицы результатов измерений с указанием единиц измерения и вычислений, расчетные формулы, необходимые расчеты;
- краткие выводы о проделанной работе.

На следующем занятии студент должен предоставить руководителю оформленный отчет о проделанной работе и защитить ее.

## ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

В лаборатории «Электрические аппараты» используется напряжение переменного и постоянного тока до 250 В. При несоблюдении правил по технике безопасности эта величина напряжения представляет серьезную опасность.

Сопротивление тела человека определяется главным образом сопротивлением кожного покрова, которое существенно зависит от степени увлажнения, наличия повреждений и т.п. Поэтому сопротивление тела человека может изменяться в очень широких пределах. В расчетах по технике безопасности обычно сопротивление тела человека принимают равным 1 кОм.

Электрический ток, проходя через тело человека, производит тепловое, химическое и биологическое воздействие, тем самым нарушая нормальную жизнедеятельность.

Химическое действие тока ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме растворов, что приводит к изменению их химического состава. Биологическое действие электрического тока проявляется в опасном возбуждении живых клеток организма, что может сопровождаться судорогами, явлениями паралича.

Степень поражения человека и тяжесть электрического удара зависят главным образом от значения тока, проходящего через тело человека, пути тока в теле человека и длительности его прохождения.

Основные правила по технике безопасности следующие:

1 Перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что автомат на стенде находится в выключенном состоянии.

2 Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, а проходы – стульями.

3 Измерительные приборы и исследуемые аппараты необходимо размещать таким образом, чтобы в процессе выполнения работы была исключена возможность случайного прикосновения к оголенным токоведущим частям.

4 Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправленными зажимами, проводов с поврежденной изоляцией, неисправных реостатов, тумблеров и другого оборудования.

5 Сборку схемы необходимо выполнять по возможности без пересечения проводов, нельзя натягивать и свертывать провода. Использованные соединительные провода необходимо убрать с рабочего места.

6 Категорически запрещается проводить какие-либо операции на главных распределительных щитах, а также за пределами рабочего места.

7 Напряжение на схему подают только после разрешения преподавателя, предупредив об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте. При этом рукоятки регуляторов напряжения должны находиться на нулевой отметке.

8 В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему необходимо отключить от сети.



ли- чина			сис- тема		же- ние		ния		погреш- ность

3 Исследовать процесс нагревания катушки во времени методом сопротивления, при этом использовать результаты косвенных (метод амперметра-вольтметра) и прямых (с помощью мультиметра в режиме омметра) измерений.

В первом случае установить заданное постоянное напряжение на катушке  $U_{вх}$  и через равные промежутки времени измерить ток  $I_t$ , протекающий по катушке. Переключатель SA1 должен находиться в положении 2. Сопротивление катушки  $R_{к2}$  определить по формуле:  $R_{к2} = U_{вх} / I_t$ .

Во втором случае переключатель SA1 для тех же промежутков времени быстро переводится в положение 1, снимаются показания омметра  $R_{к1}$ , после чего SA1 вновь переводится в положение 2.

Результаты косвенных и прямых измерений занести в табл. 1.2.

## 1.2 Результаты измерений и расчетов

Время нагре- вания катуш- ки, мин	0	5	1 0	1 5	2 0	2 5	3 0	3 5	4 0	4 5	5 0	6 0
$U_{вх}, В$												
$I_t, мА$												
$R_{к2}, Ом$												
$R_{к1}, Ом$												
$\bar{R}_k, Ом$												
$\theta_{осх}, °C$												
$\theta_{осн}, °C$												
$\tau, °C$												

4 По результатам табл. 1.2 построить в одной координатной плоскости графики  $\tau(t)$ ,  $I_t(t)$ ,  $\bar{R}_k(t)$  при неизменном напряжении на катушке и графически определить постоянную времени нагрева катушки  $T_k$ . Здесь  $\bar{R}_k(t)$  – среднее значение сопротивления катушки, равно  $\bar{R}_k(t) = (R_{к2} + R_{к1})/2$ .

5 Определить температуру нагрева во внутренних слоях катушки через заданное время (по указанию преподавателя). Для этого поочередно подключить термопары к мультиметру, работающему в режиме измерения температуры. Результаты занести в табл. 1.3.

6 Проанализировать полученные результаты и сделать вывод по выполненной работе.

7 Расчетные формулы:

а) температуру перегрева катушки рассчитывать по формуле:

$$\tau = [(\bar{R}_{кн} - \bar{R}_{кх}) / \bar{R}_{кх}] (K + \theta_{осх}) + \theta_{осх} - \theta_{осн},$$

где  $\bar{R}_{кх}$ ,  $\bar{R}_{кн}$  – среднее значение сопротивлений катушки в холодном и нагретом состояниях;  $K = 1/\alpha$  – величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления (для медной проволоки  $K = 235 °C$ );  $\theta_{осх}$ ,  $\theta_{осн}$  – температуры окружающей среды в холодном и нагретом состояниях катушки;

б)  $T_k = \tau_{уст} \operatorname{ctg} \alpha$ ,

где  $\tau_{уст}$  – установившееся превышение температуры;  $\alpha$  – угол между осью абсцисс и касательной, проведенной к кривой  $\tau(t)$  в ее начальной точке.

### 1.3 Результаты измерений

Номер термопары	1	2	3	4
Температура перегрева, °С				
Длительность нагрева катушки, мин				

#### Контрольные вопросы

- 1 Почему нагреваются катушки электрических аппаратов ЭАП-в?
- 2 Объясните характер изменения температуры при нагревании катушек.
- 3 Каков физический смысл постоянной времени нагрева?
- 4 Чему равна температура перегрева катушки через время, в 2 раза больше, чем постоянная времени нагрева, если  $\tau_{уст} = 60$  °С?
- 5 Какими способами можно определить температуру катушки?
- 6 Как изменяется сопротивление катушки при нагревании?
- 7 Почему температура катушки неодинакова в разных ее слоях?
- 8 Как изменяется мощность, потребляемая катушкой постоянного напряжения, при нагревании?
- 9 Вывести расчетные формулы к лабораторной работе 1.

### Лабораторная работа 2

#### Изучение зависимости переходного сопротивления от контактного нажатия и материала контакта

**Цель работы:** исследовать влияние силы контактного нажатия и материала контакта на переходное сопротивление.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): стенд для исследования переходного сопротивления; милливольтметр; амперметр; комплект соединительных проводов.

#### Порядок выполнения работы

1 Ознакомьтесь со стендом для выполнения лабораторной работы. Схема установки приведена на рис. 2.1. Контактное нажатие изменяется за счет статического нагружения дисками-разновесами 3 штока 2. Он передает создаваемое усилие на исследуемые контакты 1, которые располагаются на одной вертикальной оси. Контакты в установке являются сменными и имеют специальные отверстия для подключения милливольтметра.

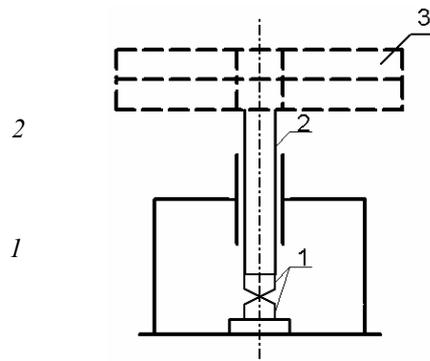


Рис. 2.1 Установка для изучения переходного сопротивления электрических контактов

2 Определить падение напряжения на каждой контактной системе, составленной как из однородных, так и разноименных материалов при разных силах контактного нажатия. Для этого установить заданный ток 1 – 3 А в цепи контактов, подключить вольтметр к клеммам контактов 1 и 2 (рис. 2.2) и определить падение напряжения на них, увеличивая и уменьшая статическую нагрузку. Предварительно измерить силу контактного нажатия со стороны подвижной части установки (оснастки). Величину тока поддерживать постоянной.

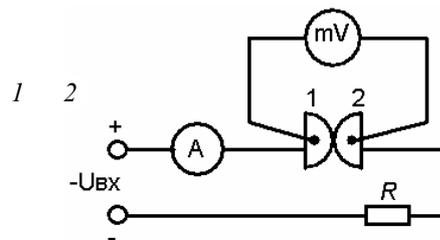


Рис. 2.2 Схема для измерения переходного сопротивления электрических контактов

3 Результаты измерений записать в табл. 2.1.

4 Переходное сопротивление контактов определить на основании показаний приборов, не учитывая внутреннее сопротивление милливольтметра:  $R_k = U_k / I_k$ . Среднее значение  $\bar{R}_k$  определить по формуле:  $\bar{R}_k = [R_k(\uparrow) + R_k(\downarrow)] / 2$ . Коэффициент  $\bar{K}_m$  рассчитать по формуле:  $\bar{K}_m = \bar{R}_k \sqrt{0,102 P_k}$ . Результаты расчетов занести в табл. 2.2.

5 По полученным данным построить график и зависимости переходного сопротивления от контактного нажатия для различных сочетаний материалов контактов в одной координатной плоскости.

6 Построить диаграмму [ $R_k$ -материалы] электрических контактов для  $P_{k \max}$ .

7 Проанализировать полученные результаты, составить отчет и сделать выводы по выполненной работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Что называют переходным сопротивлением контакта?
- 2 Влияет ли форма и материал контактов на переходное сопротивление?
- 3 Как влияет сила контактного нажатия на переходное сопротивление?
- 4 Зависит ли переходное сопротивление от температуры контакта?
- 5 Влияет ли состояние контактной поверхности на переходное сопротивление?
- 6 Как определить мощность, выделяющуюся на переходном сопротивлении контакта?
- 7 Определить мощность, выделяющуюся на переходном сопротивлении контакта величиной 50 мОм, если через него проходит ток 100 А.

### Снятие механической характеристики электрического аппарата

#### Цель работы:

- 1) построить механическую характеристику электромагнитного контактора;
- 2) построить механическую характеристику главных контактов контактора.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): стенд для снятия механической характеристики электрического аппарата; динамометр.

#### Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться со стендом для выполнения лабораторной работы. Кинематическая схема стенда представлена на рис. 3.1. Стенд к лабораторной работе смонтирован на базе прямоходового контактора переменного тока серии ПМЕ. Контактёр установлен на платформе 1.

Рабочий зазор якоря 2 определяется по шкале 3. Для определения механических сил используется динамометр 4, который крепится через крючок 6 к коромыслу 5 на расстоянии  $l_1$  от оси вращения коромысла O. Линия действия главных контактов и точка приложения нагружающей силы  $\vec{F}_2$  расположена от оси O на расстоянии  $l_2$ . Плечи  $l_1$  и  $l_2$  необходимо измерить и записать в отчет. Силу  $\vec{F}_2$  определяют из условия равенства моментов относительно точки O:  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ . Нагружая якорь контактора через динамометр 4, определяют величину противодействующей силы контактора  $F_{\text{мх}}$  из условия равновесия.

2 Снять и построить суммарную механическую характеристику контактора  $F_{\text{мх}} = f(\delta)$ . Для этого нужно зацепить динамометр за крючок и, оттягивая его вертикально вверх, определить противодействующую силу, соответствующую различным состояниям главных контактов; определить силу, соответствующую началу движения якоря, и максимальное значение

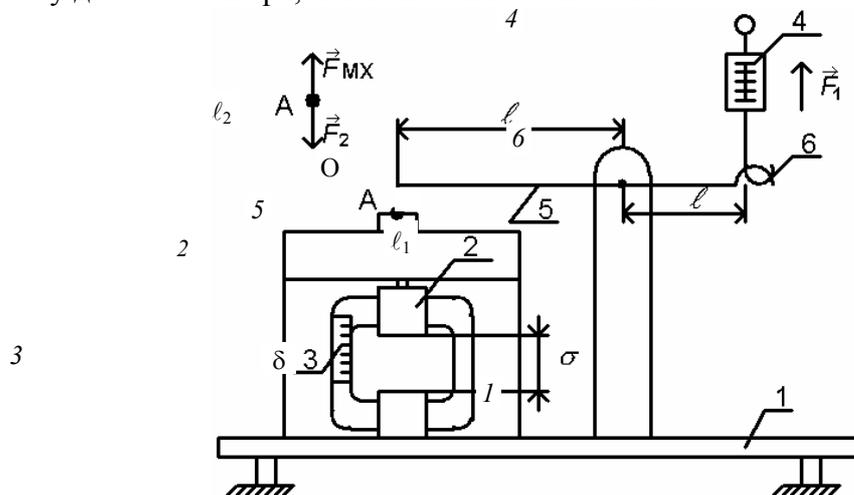


Рис. 3.1 Установка для снятия механической характеристики контактора

воздушного зазора  $\delta_{\text{max}}$ ; определить силу, соответствующую началу касания контактов, и расстояние, пройденное якорем до касания главных контактов; определить силу, при которой начинают сжиматься контактные пружины; определить силу, при которой контакты полностью замкнуты. При этом величина воздушного зазора  $\delta = 0$ .

3 Результаты замеров и вычислений записать в табл. 3.1.

#### 3.1 Результаты измерений

Состояние контактов	Полностью разомкнуты	Начальное	Начало сжатия	Полностью замкнуты	Значения плеч
---------------------	----------------------	-----------	---------------	--------------------	---------------

	замкнуты	касание	контакт- ных пружин	замкну- ты	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$
Расстояние, пройденное якорем, м						
$F_1, \text{ Н}$						
$F_{\text{мк}} = F_2, \text{ Н}$						

4 По данным табл. 3.1 построить механическую характеристику контактора  $F_{\text{мк}} = f(\delta)$ .

5 Снять и построить механическую характеристику главных контактов. Для этого нужно определить величину начального и конечного контактных нажатий и расстояния, пройденного якорем, соответствующего провалу контактов.

6 Для определения начального контактного нажатия нужно между мостиком подвижного контакта и поверхностью окна траверсы, на которую опирается мостик, проложить полоску бумаги (рис. 3.2), наложить на концы мостика на одинаковом расстоянии от середины петлю 1 из нити или проволоки и зацепить ее крючком 2 динамометра. Оттягивать динамометр до тех пор, пока бумагу 3 можно будет свободно передвигать. Показание динамометра в этот момент соответствует начальному нажатию на контактный мостик.

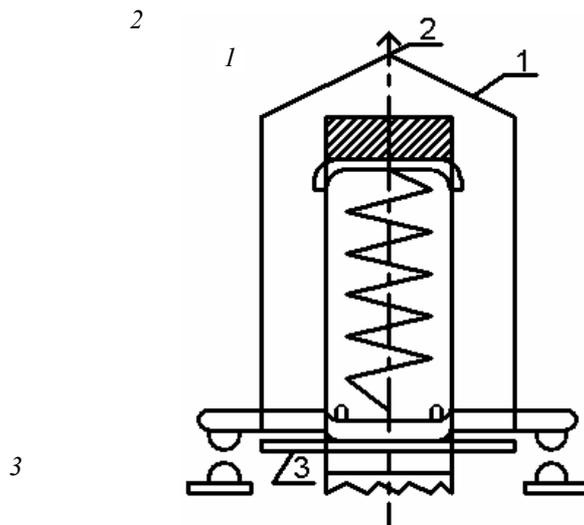


Рис. 3.2 Схема для определения начального контактного нажатия на контактный мостик

7 Для определения конечного контактного нажатия надо рукой прижать якорь к сердечнику, при этом контакты замкнутся. Оттягивать динамометр до тех пор, пока не разомкнутся контакты. Показание динамометра в этот момент соответствует конечному нажатию на контактный мостик.

8 Вычислить силу нажатия главных контактов по формуле:

$$F_{\text{мкк}} = nF_{\text{мк1}}, \quad (1)$$

где  $F_{\text{мкк}}$  – противодействующая сила со стороны главных контактов, Н;  $F_{\text{мк1}}$  – начальное или конечное нажатие на контактный мостик;  $n$  – число мостиковых контактов.

9 Результаты замеров и вычислений записать в табл. 3.2.

### 3.2 Результаты измерений и вычислений

Состояние контактов	Расстояние, пройденное якорем, м	$F_{\text{мх1}}$ , Н	$F_{\text{мхк}}$ , Н
Начальное касание			
Конечное касание			

10 По данным табл. 3.2 построить механическую характеристику главных контактов контактора.

11 Построить механическую характеристику главных контактов, пользуясь механической характеристикой контактора. Для этого нужно из суммарной механической характеристики, построенной в п. 4, графически вычестить суммарную механическую характеристику сил трения, массы подвижных частей и возвратной пружины. Результирующая характеристика будет соответствовать механической характеристике главных контактов. Сравнить полученные результаты с результатами табл. 3.2, т.е. сравнить фактические углы наклона механических характеристик.

12 Проанализировать полученные данные, сделать выводы по выполненной работе и оформить отчет.

### Контрольные вопросы

- 1 Что называют механической характеристикой электрического аппарата?
- 2 За счет чего увеличивается механическая сила в момент касания контактора?
- 3 Почему механическая характеристика скачкообразная?
- 4 Укажите на механической характеристике контактора минимальную механическую силу?
- 5 Под действием каких сил якорь контактора возвращается в исходное положение?
- 6 Укажите на механической характеристике величину воздушного зазора в магнитопроводе контактора, при котором контакты замкнуты и разомкнуты.

### Лабораторная работа 4

#### Снятие тяговой характеристики электромагнита постоянного тока

##### Цель работы:

- 1) снять и построить семейство нагрузочных характеристик электромагнита;
- 2) построить тяговые характеристики электромагнита.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): установка для снятия тяговой характеристики электромагнита; миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 500 мА; вольтметр постоянного тока с пределом измерения 250 В; комплект соединительных проводов.

#### Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с установкой для выполнения лабораторной работы и обмоточными данными катушки электромагнита. Установка собрана на базе контактора постоянного тока серии МК и приведена на рис. 4.1.

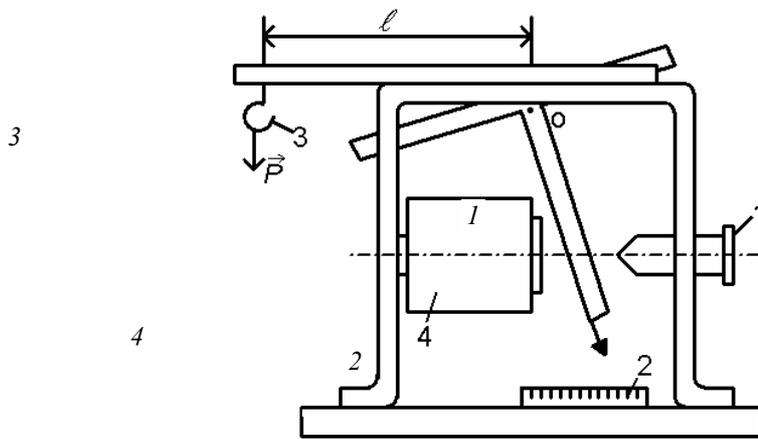


Рис. 4.1 Установка для снятия тяговой характеристики электромагнита:

$1$  – регулировочный винт;  $2$  – шкала углов поворота в градусах;  
 $3$  – крючок для подвешивания грузов;  $4$  – катушка электромагнита

Воздушный зазор между якорем и сердечником изменяется регулировочным винтом  $1$  и определяется по шкале  $2$ . Крючок для подвешивания грузов расположен на расстоянии  $\ell$  от оси вращения якоря  $O$ .

2 Собрать схему, представленную на рис. 4.2.

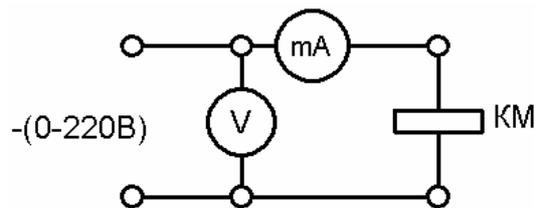


Рис. 4.2 Схема включения электромагнита

3 Снять семейство нагрузочных характеристик  $M = f(P)$  при четырех значениях угла поворота якоря:  $4^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$  и  $14^\circ$ . Для этого установить заданный угол поворота якоря винтом  $1$ , на крючок  $3$  повесить груз и, плавно увеличивая напряжение на обмотке электромагнита, определить ток и напряжение, при которых якорь притягивается к сердечнику (параметры срабатывания). В этот момент электромагнитная сила равна противодействующей, которая создается грузом. Затем нужно увеличить груз при том же угле поворота якоря, определить параметры срабатывания электромагнита. Груз можно увеличивать до тех пор, пока напряжение срабатывания не будет равно номинальному.

Вычислить электромагнитный момент:

$$M = P\ell,$$

где  $P$  – противодействующая сила, Н ( $1\text{ кгс} = 9,81\text{ Н}$ );  $\ell$  – длина плеча, м.

Вычислить магнитодвижущую силу (МДС) катушки:

$$F = Iw,$$

где  $I$  – сила тока в катушке электромагнита, А;  $w$  – число витков катушки.

Результаты замеров и вычислений записать в табл. 4.1.

По полученным данным построить семейство нагрузочных характеристик.

#### 4.1 Результаты измерений и вычислений

Угол поворота якоря, °	Сила, Н	Момент силы, Н · м	$U_{cp}$ , В	$I_{cp}$ , А	$F_{cp}$ , А
4					
8					
10					
14					

4 Построить тяговую характеристику электромагнита при напряжении  $U_1 = 0,65U_{ном}$ ,  $U_2 = 0,8U_{ном}$ . Для этого нужно определить МДС катушки при заданном напряжении:

$$F_m = U_m w / R,$$

где  $m = 1, 2$ ;  $R$  – сопротивление катушки, Ом;  $w$  – число витков катушки.

На семействе нагрузочных характеристик построить вертикальные линии при вычисленных МДС и определить графически величины электромагнитных моментов при заданных углах поворота якоря. Результаты записать в табл. 4.2 и построить тяговые характеристики.

#### 4.2 Данные для построения тяговой характеристики электромагнита

Напряжение на катушке, В	Электромагнитный момент, Н · м, при угле поворота якоря, град			
	4	8	10	14
$U_1 = 0,65U_{ном}$				
$U_2 = 0,8U_{ном}$				

5 Проанализировать полученные результаты, сделать выводы и оформить отчет по выполненной работе.

#### Контрольные вопросы

- 1 Что называется нагрузочной и тяговой характеристиками?
- 2 От чего зависит сила притяжения между якорем и сердечником?
- 3 Как влияет рабочий воздушный зазор на электромагнитную силу?
- 4 Как аналитически можно определить силу притяжения якоря?
- 5 Каково назначение полюсного наконечника?
- 6 Как влияет напряжение на катушке на электромагнитную силу?
- 7 Определить МДС катушки, если  $R = 400$  Ом;  $w = 10\,000$  витков;  $U = 80$  В.

#### Лабораторная работа 5

##### Изучение магнитного пускателя

##### Цель работы:

- 1) изучить принцип действия и конструкцию магнитного пускателя (МП) серии ПМЕ;
- 2) определить регулировочные параметры главных контактов магнитного пускателя серии ПМЕ;
- 3) определить основные технические параметры магнитного пускателя серии ПМЕ-211.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): стенд «Электрические аппараты»; магнитный пускатель ПМЕ-211; комплект соединительных проводов; комплект электроизмерительных приборов.

### Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с конструкцией МП, схемой внутренних соединений и техническими данными, указанными на табличке МП. Выяснить назначение каждого элемента.

2 Определить зазор контактов с помощью штангенциркуля при полностью разомкнутых контактах. Результаты занести в табл. 5.1.

3 Определить начальное нажатие на контактный мостик. Для этого между мостиком подвижного контакта и поверхностью траверсы, на которую опирается контактный мостик, проложить полоску бумаги. Наложить на концы мостика на одинаковом расстоянии от середины петлю из нити или проволоки и зацепить ее крючком динамометра. Оттягивать динамометр до тех пор, пока бумагу можно будет свободно передвигать. Показание динамометра в этот момент соответствует начальному нажатию на контактный мостик. Результаты занести в табл. 5.1.

4 Определить провал контактов. Для этого на катушку МП надо подать номинальное напряжение и штангенциркулем измерить расстояние между мостиком подвижного контакта и траверсой. Для подачи  $U_{ном}$  на катушку МП собрать схему, представленную на рис. 5.1. Результаты занести в табл. 5.1.

#### 5.1 Основные регулировочные параметры магнитных пускателей

Серия МП	Зазор $l$ , мм	Провал $\delta$ , мм	Начальное нажатие $P_{кн}$	Конечное нажатие $P_{кк}$
ПМЕ-211				

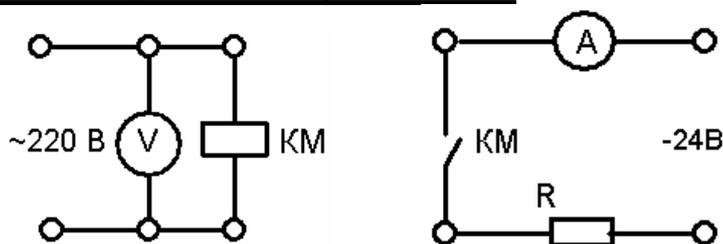


Рис. 5.1 Схема для исследования МП

5 Определить конечное контактное нажатие. Для этого подать на катушку МП номинальное напряжение, зацепить крючок динамометра за петлю и оттягивать его до тех пор, пока амперметр не перестанет показывать ток (рис. 5.1) в управляемой цепи. Показание динамометра в этот момент соответствует конечному нажатию на контактный мостик. Результаты записать в табл. 5.1.

6 Для исследования свойств МП собрать схему, представленную на рис. 5.2.

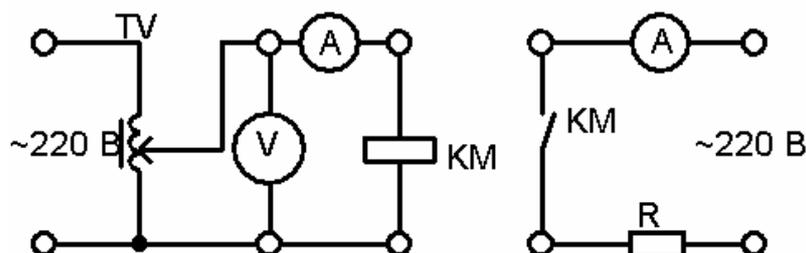


Рис. 5.2 Схема для исследования свойств МП

7 Включить стенд и подать напряжения на ЛАТР (TV) и резистор  $R$ . Увеличивая величину подаваемого напряжения, контролировать показания приборов и зафиксировать их в момент, когда якорь втянется в катушку. Зафиксировать значения тока и напряжения на катушке в моменты непосредствен-

но перед и после срабатывания МП. Результаты занести в табл. 5.2, повторив опыт не менее трех раз. Затем довести напряжение до номинального значения (220 В), вновь произвести измерения и занести измерения в табл. 5.2.

8 Приняв за исходный режим – номинальный, произвести уменьшение напряжения на катушке МП до момента отпускания якоря. Зафиксировать значения тока и напряжения непосредственно до и после отпускания якоря и занести их в табл. 5.2. Опыт повторить три раза.

## 5.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ МП

Состояние МП	№ опыта	Измерения			Вычисления					
		$U, В$	$I, А$	$R_k \approx r_k, Ом$	$\bar{U}, В$	$\bar{I}, А$	$\bar{S}, В \cdot А$	$\bar{Z}_k, Ом$	$\bar{X}_k, Ом$	$\bar{L}_k, Гн$
Непосредственно перед срабатыванием (1)	1									
	2									
	3									
Непосредственно после срабатывания (2)	1									
	2									
	3									
Номинальный режим (3)	1									
	2									
	3									
Непосредственно перед отпусканьем (4)	1									
	2									
	3									
Непосредственно после отпускания (5)	1									
	2									
	3									

9 Во избежание перегрева катушки пускателя не допускать длительной работы катушки с невтянутым якорем, а также необходимо делать паузу между опытами (приблизительно 3 – 5 мин).

10 Произвести расчет параметров пускателя по следующим формулам:

а) коэффициент возврата по напряжению и току:

$$\bar{K}_{вU} = \bar{U}_в / \bar{U}_{ср} = \bar{U}_4 / \bar{U}_1; \quad \bar{K}_{вI} = \bar{I}_в / \bar{I}_{ср} = \bar{I}_4 / \bar{I}_1;$$

б) кратность пускового тока к номинальному:

$$\bar{K}_п = \bar{I}_{ср} / \bar{I}_{ном} = \bar{I}_1 / \bar{I}_3;$$

в) номинальная активная мощность катушки

$$\bar{P}_{ном} = \bar{I}_{ном}^2 r_k = \bar{I}_3^2 r_k \text{ (Вт)},$$

где  $r_k$  – активное сопротивление катушки МП, измеряемое с помощью омметра, считая  $r_k = R_k$ ;

г) номинальная полная мощность катушки:

$$\bar{S}_{\text{ном}} = \bar{I}_{\text{ном}} \bar{U}_{\text{ном}} = \bar{I}_3 \bar{U}_3 \text{ (В} \cdot \text{А)};$$

д) пусковая полная мощность катушки:

$$\bar{S}_{\text{п}} = \bar{I}_{\text{сп}} \bar{U}_{\text{ном}} = \bar{I}_1 \bar{U}_3 \text{ (В} \cdot \text{А)}.$$

Результаты расчетов занести в табл. 5.3.

### 5.3 Параметры МП

Серия МП	$\bar{K}_{\text{вУ}}$	$\bar{K}_{\text{вI}}$	$\bar{K}_{\text{п}}$	$\bar{P}_{\text{ном}}$	$\bar{S}_{\text{ном}}, \text{В} \cdot \text{А}$	$\bar{S}_{\text{п}}, \text{В} \cdot \text{А}$
ПМЕ-211						

11 Собрать схему, представленную на рис. 5.3.

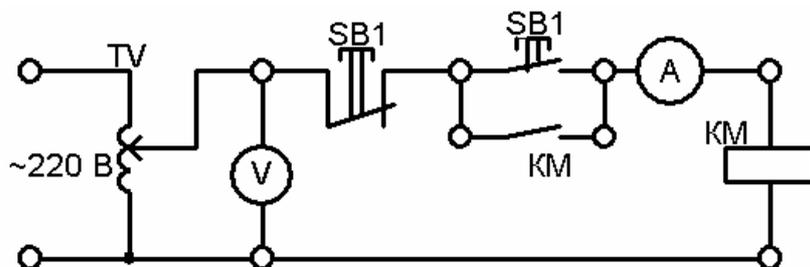


Рис. 5.3 Схема для определения параметров МП

12 Проверить работу МП. Для этого установить на катушке МП напряжение 85 % от номинального и нажать на кнопку SB2. При этом МП срабатывает и подвижная система перемещается без заметных на глаз остановок в промежуточном положении. Допускается умеренный шум, характерный для электромагнитов переменного тока.

Нажать на кнопку SB1. При этом подвижная система контактора должна возвратиться в исходное положение без заметной задержки в промежуточном положении. Произвести не менее трех включений и выключений МП. Результаты измерения и тока занести в табл. 5.4.

### 5.4 Результаты измерений и вычислений параметров МП

Напряжение на катушке		Якорь замкнут			Якорь разомкнут		
% от $U_{\text{ном}}$	В	$I, \text{А}$	$S, \text{В} \cdot \text{А}$	$Z, \text{Ом}$	$I, \text{А}$	$S, \text{В} \cdot \text{А}$	$Z, \text{Ом}$
60							
70							
85							
100							

13 Снизить напряжение на катушке до 70 % от номинального; якорь электромагнита должен удерживаться в полностью притянутом положении (допускается резкое гудение электромагнита). Зафиксировать значение тока; записать в табл. 5.4; выключить МП.

14 Снизить напряжение на катушке до 60 % от номинального и нажать на кнопку SB2; при этом МП не должен срабатывать. Произвести измерения, записав их в табл. 5.4, выключить МП кнопкой SB1.

15 Определить потребляемую мощность и полное сопротивление катушки МП в замкнутом и разомкнутом состояниях якоря электромагнита. Чтобы определить указанные параметры при разомкнутом якоре нужно между якорем и сердечником электромагнита установить деревянные клинья. Результаты замеров и вычислений записать в табл. 5.4.

16 По результатам табл. 5.2 построить следующие характеристики в одной координатной плоскости:  $\bar{I}(U)$ ,  $\bar{S}(U)$ ,  $\bar{Z}(U)$ ,  $\bar{L}(U)$ . Сделать выводы.

17 По результатам табл. 5.4 построить следующие зависимости в одной координатной плоскости:  $I(U)$ ,  $S(U)$ ,  $Z(U)$ .

18 Сравнить полученные результаты с техническими данными МП и сделать выводы по выполненной работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Где применяются контакторы и МП?
- 2 В чем состоят особенности конструкции контакторов, МП?
- 3 Каковы особенности работы МП при управлении асинхронным двигателем?
- 4 Как отражается на работе контактора или МП обрыв короткозамкнутого витка?
- 5 Как влияет воздушный зазор в магнитной системе на ток в катушке электромагнита?
- 6 К чему приводит появление «паразитных» воздушных зазоров в магнитопроводе МП?
- 7 Для какой цели совместно с МП применяются тепловые реле?
- 8 В чем состоит неисправность, если при нажатии на кнопку SB2 двигатель включается, а после прекращения нажатия – отключается?
- 9 Какие виды защиты выполняют контакторы и МП?

## Лабораторная работа 6

### Изучение электромагнитного реле тока

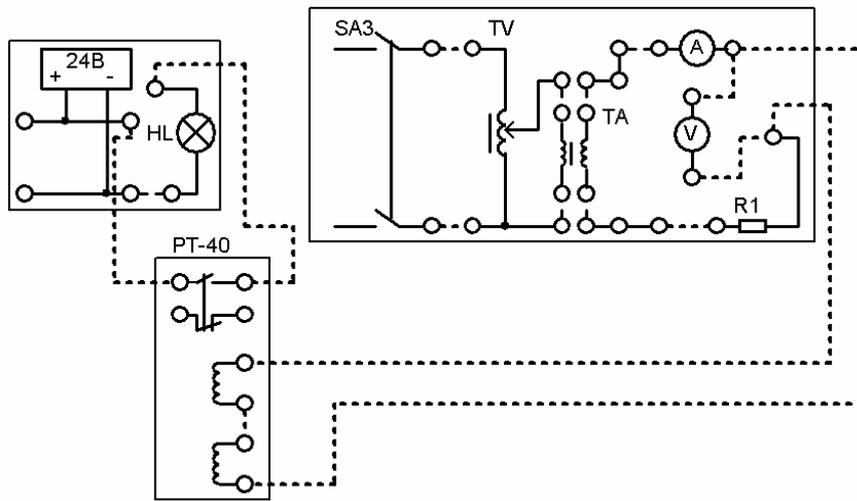
#### Цель работы:

- 1) изучить принцип действия электромагнитного реле тока РТ-40;
- 2) определить основные технические параметры реле РТ-40.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): стенд «Электрические аппараты»; электромагнитное реле тока РТ-40; комплект соединительных проводов.

#### Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться со схемой внутренних соединений и техническими данными, указанными на табличке исследуемого реле.
- 2 Собрать схему для исследуемого реле (рис. 6.1) и выяснить назначение каждого элемента.



**Рис. 6.1** Схема для исследования реле РТ-40

- 3 Установить требуемую величину тока уставки  $I_{уст}$ , перемещая регулятор по шкале реле.
- 4 Включить стенд, затем включить источник питания на 24 В одноименным тумблером. Включить ЛАТР и плавно увеличивать ток нагрузки до момента срабатывания реле максимального тока (индикатор НЛ должен погаснуть), зафиксировав величину тока срабатывания  $I_{ср}$ . Затем уменьшить величину тока до момента возврата реле (индикатор НЛ вновь должен загореться). Зафиксировать показания амперметра – это ток возврата  $I_{в}$ .
- 5 Опыт повторить три раза. Результаты записать в табл. 6.1.
- 6 Оценку результатов измерений производить по среднему арифметическому значению из трех опытов. Для этого произвести расчет средних арифметических значений тока срабатывания  $\bar{I}_{ср}$  и тока возврата  $\bar{I}_{в}$ . Результаты расчета занести в табл. 6.1.
7. Рассчитать относительную погрешность тока срабатывания  $\delta$  на нескольких уставках по току. Под относительной погрешностью срабатывания реле понимается отношение разности между средним арифметическим значением тока срабатывания ( $\bar{I}_{ср}$ ) и током уставки ( $I_{уст}$ ) к току уставки, выраженное в процентах:

$$\delta = [(\bar{I}_{ср} - I_{уст}) / I_{уст}] 100 (\%).$$

Данные расчета записать в табл. 6.1

- 8 Рассчитать коэффициент возврата реле:

$$K_{в} = \bar{I}_{в} / \bar{I}_{ср}.$$

Результаты расчета занести в табл. 6.1

### 6.1 Определение параметров реле РТ-40

Соединения обмоток	Последовательное			Параллельное		
	1	2	3	1	2	3
Номера опытов						
$I_{уст}, A$						
$I_{ср}, A$						
$\bar{I}_{ср}, A$						
$\delta, \%$						
$I_{в}, A$						
$\bar{I}_{в}, A$						
$K_{в}$						

## 6.2 Определение мощности срабатывания реле РТ-40

$I_{уст}, A$												
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$I_{ср}, A$												
$\bar{I}_{ср}, A$												
$U_{ср}, B$												
$\bar{U}_{ср}, B$												
$\bar{S}_{ср}, B \cdot A$												

9 Определить потребляемую мощность при срабатывании реле на нескольких уставках по току. Для этого при срабатывании реле фиксировать не только значения тока срабатывания ( $I_{ср}$ ), но и напряжения срабатывания ( $U_{ср}$ ). Результаты записать в табл. 6.2.

10 По результатам табл. 6.2 построить зависимость  $\bar{S}_{ср}$  ( $I_{уст}$ ).

11 Сравнить полученные результаты с техническими данными реле и сделать выводы по выполненной работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Для чего предназначены максимальные токовые реле?
- 2 Каким образом регулируется ток срабатывания у электромагнитных максимальных токовых реле?
- 3 Почему коэффициент возврата у реле меньше единицы?
- 4 Объяснить принцип действия реле РТ-40.
- 5 Составить и объяснить принцип действия схемы выключения реле максимального тока для защиты асинхронного двигателя от токов КЗ.
- 6 Каким образом изменяется уставка по току срабатывания?
- 7 Какую функцию выполняет барабанчик, укрепленный на подвижной системе реле?
- 8 Почему при параллельном соединении обмоток ток срабатывания увеличивается в два раза?
- 9 Как влияет на ток срабатывания встречное соединение обмоток?
- 10 Что называется коэффициентом возврата и как он определяется?

## Лабораторная работа 7

### Изучение электромагнитного реле времени

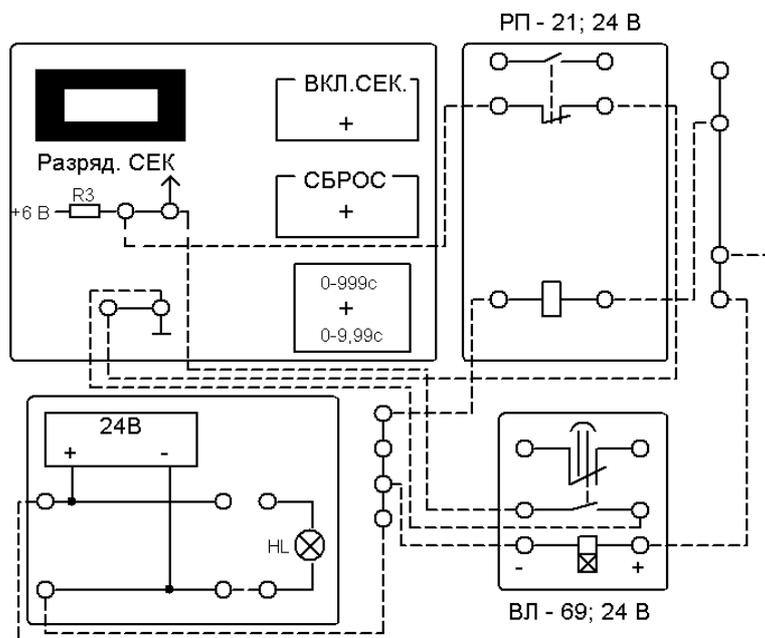
#### Цель работы:

- 1) изучить конструкцию и принцип действия электромагнитного реле времени;
- 2) освоить способы настройки реле времени на заданную выдержку времени;
- 3) исследовать влияние напряжения на работу реле времени.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): стенд «Электрические аппараты»; электромагнитное реле времени; комплект соединительных проводов.

#### Порядок выполнения работы

- 1 Изучить конструкцию и схему внутренних соединений реле времени РВП-72.
- 2 Для исследования свойств реле ВЛ-69 необходимо собрать схему согласно рис. 7.1.



**Рис. 7.1** Схема для исследования реле ВЛ-69

3 Реле ПЭ-36-144 служит для одновременного запуска электронного секундомера и самого реле времени.

4 После включения стенда необходимо обнулить показания секундомера кнопкой «Сброс». Схема готова к пуску. Произвести включение схемы тумблером SA4. Секундомер будет производить отсчет времени до момента срабатывания реле времени. Занести показания секундомера в табл. 7.1, выключить тумблер SA4, обнулить показания секундомера и повторить опыт при различных уставках времени (устанавливается переключателями на лицевой панели реле времени ВЛ-69).

### 7.1 Результаты измерений

Уставка времени $t_{уст}, с$					
Время срабатывания $t_{ср}, с$					
Погрешность срабатывания $\Delta_t, с$					
Относительная погрешность $\delta_t, \%$					

5 По результатам измерений произвести расчет погрешности срабатывания реле времени по формуле:

$$\Delta_t = |t_{уст} - t_{ср}|, с.$$

Рассчитать относительную погрешность по формуле:

$$\delta_t = \frac{\Delta_t}{t_{уст}} 100, \%$$

Определить среднюю относительную погрешность по формуле:

$$\bar{\delta}_t = \frac{\sum \delta_t}{n}, \%,$$

где  $n$  – число измерений.

6 Произвести измерения и расчеты по п. 4, 5 при пониженном напряжении питания катушки реле времени РВП-72. Данные измерений занести в табл. 7.2.

7 Оформить отчет и сделать выводы.

### 7.2 Результаты измерений

Уставка времени $t_{уст}$ , с					
Время срабатывания $t_{ср}$ , с					
Погрешность срабатывания $\Delta_t$ , с					
Относительная погрешность $\delta_t$ , %					

### Контрольные вопросы

- 1 Что такое время трогания электромагнита?
- 2 В чем заключается принцип магнитного демпфирования?
- 3 С какой целью магнитопровод реле времени изготовлен цельным из материала с малым удельным сопротивлением и малой коэрцитивной силой?
- 4 Каково назначение массивной гильзы?
- 5 Каким образом можно регулировать выдержку времени срабатывания реле времени?

## Лабораторная работа 8

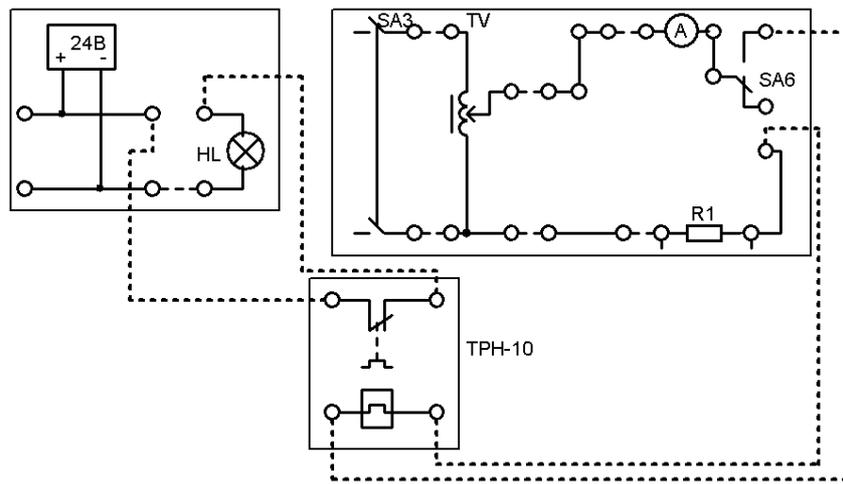
### Изучение теплового реле

**Цель работы:** ознакомиться с конструкциями тепловых реле и изучить принцип действия тепловых реле.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): стенд «Электрические аппараты»; тепловое реле ТРН-10; комплект соединительных проводов.

### Порядок выполнения работы

- 1 В качестве исследуемого применяется реле ТРН-10 с номинальной установкой тока 0,8 А.
- 2 Для исследования необходимо собрать схему (рис. 8.1).



**Рис. 8.1** Схема исследования теплового реле ТРН-10

3 Так как время срабатывания реле измеряется десятками секунд или минутами, то можно в качестве секундомера использовать наручные часы.

4 Работу начинать с включения ЛАТР (SA3, SA6) и регулятором установить необходимую величину тока нагрузки. Затем отключить ЛАТР и сделать паузу, необходимую для остывания теплового элемента реле.

5 Снова включить ЛАТР на установленный режим по току через тепловое реле и одновременно измерить время до момента срабатывания (индикатор HL должен погаснуть). Во избежание перегрева теплового элемента реле ЛАТР следует сразу отключить.

6 Перед повторением эксперимента необходимо сделать паузу для полного остывания теплового элемента реле и затем вернуть его в исходное состояние нажатием возвратной кнопки. Установить другую величину тока нагрузки и повторить вышеобозначенные действия.

7 Данные, полученные по показаниям приборов, занести в табл. 8.1 и построить зависимость времени срабатывания теплового реле от тока нагрузки (временную характеристику реле).

8 Разобрать схему. Оформить отчет и сделать выводы по работе.

### 8.1 Результаты измерений

$I_{\text{нагр}}, \text{A}$	1,3	1,5	1,7	2
$t_{\text{ср}}, \text{с}$				

#### Контрольные вопросы

- 1 Какие виды биметаллических пластин применяются в тепловых реле?
- 2 Как регулируется ток срабатывания теплового реле с непосредственным и косвенным нагревом?
- 3 Как зависит величина прогиба пластины от ее длины и толщины?
- 4 Для каких целей применяются тепловые реле?
- 5 Что представляет собой биметаллическая пластина?
- 6 Какие виды нагрева биметаллических пластин применяются в тепловых реле?
- 7 Почему время срабатывания теплового реле уменьшается при увеличении тока нагрузки?
- 8 Какие контакты имеет тепловое реле?

## Лабораторная работа 9

### Изучение плавких предохранителей

#### Цель работы:

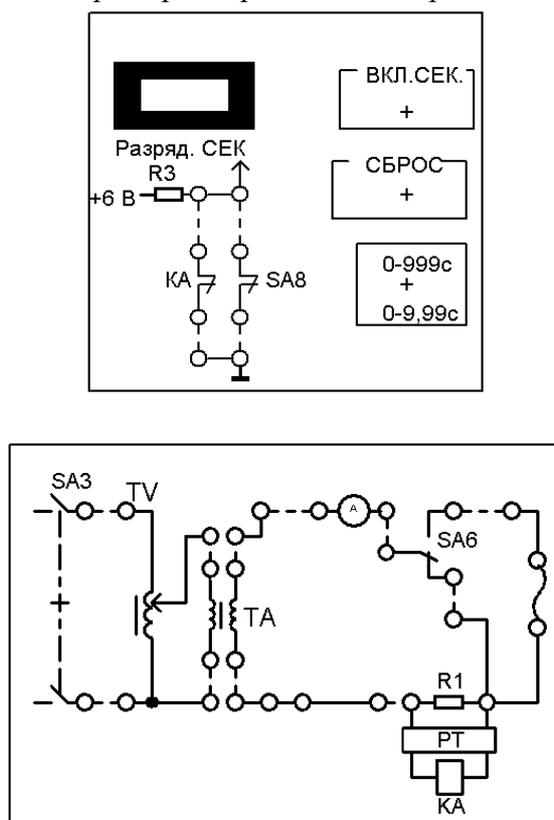
- 1) ознакомиться с конструкцией и техническими данными низковольтных предохранителей типов ПР-2, ПН-2, ПНД-2, ПРС, НПН-60;

2) снять времятоковую характеристику плавкой вставки и сравнить ее с расчетной.

**Перечень приборов и оборудования** (из расчета на одно рабочее место): стенд «Электрические аппараты»; набор плавких предохранителей; комплект соединительных проводов.

### Порядок выполнения работы

- 1 Изучить конструкции низковольтных предохранителей по имеющимся образцам.
- 2 Снять данные для построения времятоковой характеристики медной круглой вставки для различных сечений вставок. Для снятия данной характеристики необходимо собрать схему, представленную на рис. 9.1.
- 3 В держатель предохранителя установить плавкую вставку на 0,5 – 1,0 А (при отсутствии последней рекомендуется напаять обрезки одножильного медного провода необходимого сечения на неисправную плавкую вставку). Включить секундомер тумблером «Вкл. СЕК.» При ненулевых показаниях секундомера произвести сброс одноименной кнопкой. Тумблер SA6 должен находиться в нижнем положении, при котором ток нагрузки через предохранитель не протекает. Включить тумблером ЛАТР



**Рис. 9.1** Схема для исследования плавких предохранителей

и, постепенно увеличивая напряжение, подаваемое на понижающий трансформатор ТА, установить необходимую величину тока. Зафиксировать показания приборов. Затем тумблером SA6 переключить цепь на исследуемый предохранитель Пр. Секундомер начнет отсчет и остановится при перегорании нити предохранителя. Записать показания секундомера и затем обнулить индикаторы кнопкой «Сброс».

4 Повторить опыт при различных величинах тока. Данные занести в табл. 9.1. и рассчитать температуру плавления по формуле:

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

где  $S$  – сечение вставки,  $\text{мм}^2$ ;  $I$  – значение устанавливаемого тока по шкале, А.

### 9.1 Результаты эксперимента

Ток нагрузки $I_n$ , А				
Показания секундомера $\tau$ , с				
Расчетная температура плавления $t_{пл}$ , °С				

5 По данным табл. 9.1 построить в одном масштабе времятоковые характеристики, сравнить их и сделать выводы.

### Контрольные вопросы

- 1 Назначение предохранителей.
- 2 Требования к материалу для плавких вставок.
- 3 Назначение металлургического эффекта в предохранителях.
- 4 Особенности работы предохранителя при «пограничном» токе.
- 5 Основные параметры предохранителей.
- 6 Схема включения предохранителей в защищаемую цепь.

## Лабораторная работа 10

### Изучение автоматического воздушного выключателя

**Цель работы:** изучить устройство, конструкцию и принцип действия автоматических выключателей, применяемых в системах электроснабжения и в электроприводах.

**Перечень приборов и оборудование** (из расчета на одно рабочее место): стенд «Электрические аппараты»; автоматический выключатель А63-М; комплект соединительных проводов.

### Порядок выполнения работы

1 Для исследования свойств автоматического выключателя А63-М необходимо собрать схему (рис. 10.1).

Особенность этого автомата состоит в том, что он не имеет теплового расцепителя, а только расцепитель максимального тока (срабатывающий при токе 5 А).

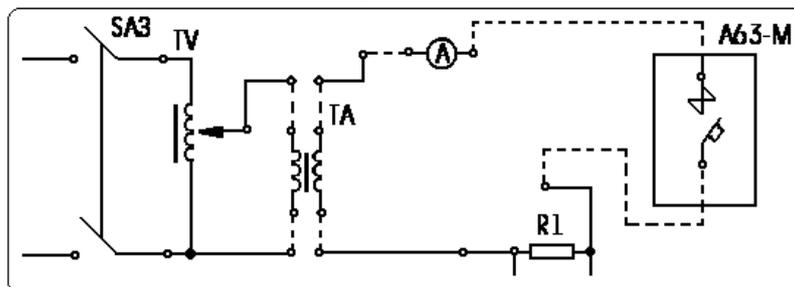


Рис. 10.1 Схема для исследования автомата А63-М

2 Включить ЛАТР (SA3) и, плавно увеличивая ток нагрузки через автомат, добиться срабатывания максимальной защиты. Зафиксировать показания амперметра. Затем вернуть регулятор ЛАТРа в исходное положение и установить рычаг выключателя в положение «О». Далее вновь включить автомат и повторить опыт несколько раз. Показания амперметра занести в табл. 10.1.

## 10.1 Результаты измерений

Значение тока уставки	Значение тока нагрузки, при котором срабатывает автомат								

3 **Внимание!!!** Не допускать длительной работы автомата в режимах перегрузки, близких к току срабатывания. После каждого срабатывания сделать паузу 1 – 5 мин для остывания катушки расцепителя.

### Контрольные вопросы

- 1 Назначение автоматических воздушных выключателей.
- 2 Понятие о времени срабатывания автомата.
- 3 Основные узлы автоматов и их назначение.
- 4 Функции и виды расцепителей.
- 5 Принцип гашения дуги в автомате.
- 6 Вид характеристики теплового расцепителя.
- 7 Основные параметры воздушных выключателей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 2 Чунихин А.А. Электрические аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1988.
- 3 Жукова Г.А., Золина М.А. Лабораторные работы по электрическим аппаратам. М.: Высшая школа, 1986.
- 4 Семенов В.А. Лабораторно-практические работы по специальной технологии для электромонтажников. М.: Высшая школа, 1984.
- 5 Электрические аппараты: Метод. указания / Авт.-сост.: К.А. Набатов, В.В. Афонин, В.С. Соболевский. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005.

## 2.2 Результаты расчетов

№	Материал контактов	Вид нагружения и средние величины	Переходное сопротивление $R_k$ , Ом
			При суммарном контактном нажатии $P_k$ , Н

		$R_k, \text{OM}$ $K_M, \text{OM} \cdot \text{H}^{0,5}$	Оснаст- ка: ( $\times 9,8$ )	7,8	17,6	31,4	54,9	109,8
1	Cu-Cu	↑						
		↓						
		$\bar{R}_k, \text{OM}$						
		$\bar{K}_M, \text{OM} \cdot \text{H}^{0,5}$						
2	Al-Al	↑						
		↓						
		$\bar{R}_k, \text{OM}$						
		$\bar{K}_M, \text{OM} \cdot \text{H}^{0,5}$						
3	Латунь- Латунь	↑						
		↓						
		$\bar{R}_k, \text{OM}$						
		$\bar{K}_M, \text{OM} \cdot \text{H}^{0,5}$						

4	Cu-Al	↑						
		↓						
		$\bar{R}_k, \text{OM}$						
		$\bar{K}_M, \text{OM} \cdot \text{H}^{0,5}$						
5	Cu-Латунь	↑						
		↓						
		$\bar{R}_k, \text{OM}$						
		$\bar{K}_M, \text{OM} \cdot \text{H}^{0,5}$						
6	Al-Латунь	↑						
		↓						
		$\bar{R}_k, \text{OM}$						
		$\bar{K}_M, \text{OM} \cdot \text{H}^{0,5}$						

## 2.1 Результаты измерений

№	Материал контактов	$I_k, A$ (const)	$U_{вх}, В$ (начальное)	Напряжение на электрических контактах, мВ						
				Вид нагрузки	При суммарном контактном нажатии $P_k = [оснастка] + [груз], кГ$					
					Оснастка:	0,8	1,8	3,2	5,6	11,2
1	Cu-Cu			↑						
				↓						
2	Al-Al			↑						
				↓						
3	Латунь-Латунь			↑						
				↓						
4	Cu-Al			↑						
				↓						
5	Cu-Латунь			↑						
				↓						
6	Al-Латунь			↑						
				↓						