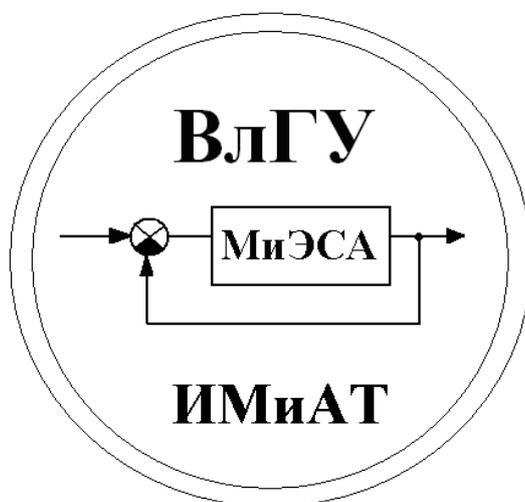


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Кафедра «Мехатроника и электронные системы автомобилей»

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ**

*Методические указания к лабораторным работам*



Владимир 2013

Рекомендовано к опубликованию  
учебно-методической комиссии направления  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Одобрено кафедрой «Мехатроника и электронные системы автомобилей»  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г., протокол № \_\_\_\_\_

Составитель к. т. н., доцент Шарапов А.М.

В методических указаниях приведены основные теоретические понятия и описание конструкции основных электрических и электронных аппаратов, приведено описание лабораторных установок, а также методики проведения работ.

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Электрические и электронные аппараты» предназначены для студентов направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника» профиля «Элементы и системы электрического оборудования автомобилей и тракторов».

Учебное издание

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ**

Владимирский государственный университет, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Наименование лабораторной работы	Стр.
1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ КОНТАКТНОГО НАЖАТИЯ И МАТЕРИАЛА КОНТАКТА.....	4
2. ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОВОЛЬТОВЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ	11
3. ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ.....	17
4. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ.....	25
5. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	35

## Лабораторная работа № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ 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.

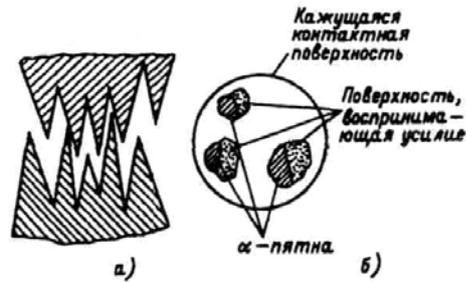
#### ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

1. Изучить методы экспериментального определения переходных сопротивлений контактов.
2. Ознакомиться с методикой экспериментального определения переходных сопротивлений контактов.
3. Определить зависимости переходного сопротивления от усилия прижатия и от материалов контактов.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

*Электрический контакт* – соприкосновение тел, обеспечивающее протекание тока в электрической цепи. Соприкасающиеся тела называются также контактами или *контакт-детальми*.

При любой, сколь угодно чистой обработке два металлических тела соприкасаются не по всей видимой поверхности, а лишь в отдельных точках по микровыступам. Обычно, для обеспечения надежного протекания электрического тока, контакты сжимают силой, которая называется силой контактного нажатия. Эта сила может создаваться при затяжке болтов, при обжатии контактного наконечника на конце провода или кабеля или из-за деформации пружин контактной системы. При этом микровыступы, по которым произошел начальный контакт, деформируются; в соприкосновение могут прийти другие выступы и они также могут деформироваться. На поверхности образуются площадки, которые и воспринимают усилие контактного нажатия (рис. 1).



*Рис. 1 Контакт твёрдых тел*

Давление в разных точках поверхности контактных площадок в общем случае не одинаково и может вызывать как упругие, так и пластические деформации.

Таким образом, механический контакт двух тел происходит не по всей видимой поверхности, а лишь в отдельных точках, а при сжатии их силой - по отдельным площадкам.

Общая поверхность тел, с которой производится контакт, называется *кажущейся контактной поверхностью*. На этой поверхности можно увидеть площадки, полученные в результате деформации микровыступов, которые воспринимают усилие. Эта часть контактной поверхности называется *поверхностью, воспринимающей усилие*.

Очевидно, что электрический ток может проходить только в точках контактной поверхности, в которых имеет место механический контакт, т. е. через точки поверхности, воспринимающие усилие. Однако условие механического контакта является необходимым, но недостаточным для протекания тока.

При ближайшем рассмотрении поверхности, воспринимающей усилие, можно видеть, что она весьма неоднородна, а именно: в общем случае одна часть ее покрыта *плёнками оксидов*, другая – *адгезионными слоями атомов кислорода* и, наконец, третья часть представляет собой чисто *металлическую поверхность*.

Для прохождения электрического тока поверхность, покрытая оксидными пленками, обладает большим электрическим сопротивлением, поскольку удельное сопротивление оксидов на несколько порядков выше удельного сопротивления чистых металлов.

Через поверхность, покрытую адгезионными слоями кислорода, электрический ток может протекать за счет туннельного эффекта, заключающегося в проникновении электронов через потенциальный барьер. Этот участок поверхности имеет квазиметаллический характер проводимости.

И, наконец, третья часть поверхности проводит свободно электрический ток благодаря чисто металлической проводимости.

Квазиметаллические и металлические поверхности контакта принято называть  $\alpha$ -пятнами. Это именно те части контактной поверхности, через которые в электрических контактах протекает ток.

В электрических контактах ток проходит только через небольшую часть кажущейся контактной поверхности, и, следовательно, он должен испытывать сопротивление при прохождении через зону контакта.

Рассмотрим однородный линейный проводник постоянного поперечного сечения (рис. 2), по которому протекает постоянный ток  $I$ . Между точками  $a$  и  $b$ , находящимися на расстоянии  $l$ , измерим разность потенциалов  $U_1$ . Тогда активное сопротивление участка проводника  $R_1 = U_1/I$ .

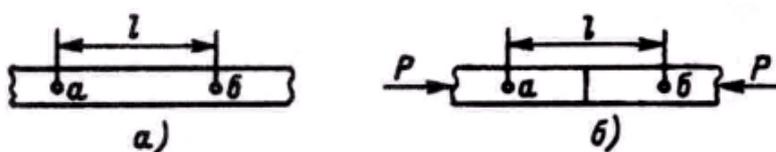


Рис.2 . Определение переходного сопротивления контактов:  
 $a$  - проводник;  $b$  - проводник с контактом.

Разрежем проводник в средней части  $l$  и затем снова соединим его, сжав силой  $P$ . При протекании того же тока  $I$  получим разность потенциалов между точками  $a$  и  $b$  равную  $U_2$  и отличную от разности потенциалов  $U_1$ . В этом опыте сопротивление  $R_2 = U_2/I$ . Разность сопротивлений  $R_{пер} = R_2 - R_1$  называется *переходным сопротивлением контакта*.

Следует отметить, что если на некотором удалении от  $\alpha$ -пятна линии тока параллельны друг другу, то в непосредственной близости от него они искривляются и «стягиваются» к  $\alpha$ -пятну. Область электрического контакта, где линии тока искривляются, стягиваясь к  $\alpha$ -пятну, называется *областью стягивания*.

В областях стягивания поперечное сечение проводника используется не полностью для протекания электрического тока, что и приводит к появлению дополнительного сопротивления. Это сопротивление называется *сопротивлением стягивания*.

Переходное сопротивление контакта зависит от обработки поверхности. Шлифовка ведёт к тому, что на поверхности остаются более пологие выступы с большим сечением. Смятие таких выступов затруднено, поэтому сопротивление шлифованных контактов выше, чем контактов с более грубой обработкой.

Наличие окисных плёнок приводит к тому, что при небольшом напряжении замыкаемой цепи или недостаточной силе нажатия на контакты протекание электрического тока становится невозможным. В связи с этим контакты на малые токи или на малые усилия нажатия изготавливаются из благородных металлов, не поддающихся окислению (золото, платина и др.).

В сильнотоочных (сильноточковых) контактах окисная плёнка разрушается либо благодаря большим усилиям нажатия, либо путём самозачистки при включении за счёт проскальзывания одного контакта относительно другого.

### **Зависимость переходного сопротивления от свойств материала контактов**

Переходное сопротивление чрезвычайно чувствительно к окислению поверхности ввиду того, что окислы многих металлов (в частности, меди) являются плохими проводниками. У медных открытых контактов вследствие их окисления с течением времени переходное сопротивление может возрасти в тысячи раз.

В процессе длительного пребывания под током на поверхности замкнутых контактов также возникают окисные, плохо проводящие ток плёнки. Они проникают к площадкам контактирования и, увеличивая тем самым переходное сопротивление, могут вывести контакты из строя. Повышение температуры ускоряет степень окисления поверхности контактов. Повышение силы контактного нажатия, наоборот, затрудняет проникновение окисных плёнок к площадкам контактирования, повышая тем самым срок службы контактов.

Окислы серебра имеют электрическую проводимость, близкую к проводимости чистого серебра. При повышенных температурах окислы серебра разрушаются. Поэтому переходное сопротивление контактов из серебра практически не изменяется с течением времени. Оно даже может понизиться вследствие медленной пластической деформации материала в площадках контактирования. Для медных контактов применяются специальные меры по уменьшению окисления их рабочих поверхностей.

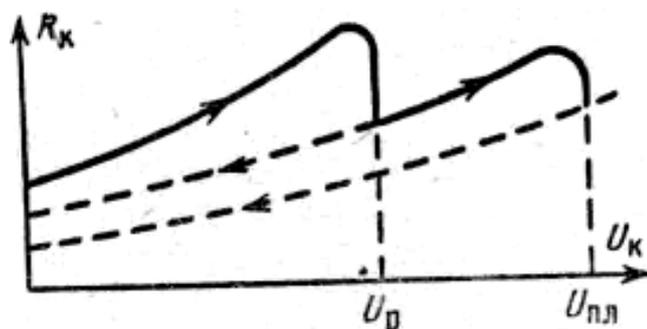
В разборных соединениях производят антикоррозионные покрытия рабочих поверхностей – серебруют, лудят, покрывают кадмием, никелируют и цинкуют. Применяют покрытие рабочих поверхностей нейтральной смазкой после их технического обслуживания.

Коммутирующие контакты, длительно работающие под током не выключаясь, выполняются, как правило, из серебра или металлокерамики на основе серебра. Для медных контактов снижается значение тока нагрузки по сравнению с допустимым значением. Тем самым снижаются нагрев контактов и интенсивность их окисления.

Возникающая при отключении дуга сжигает окислы, и переходное сопротивление снижается. Во многих аппаратах кинематическая схема предусматривает при замыкании некоторое проскальзывание одного контакта по другому. Образовавшаяся окисная пленка при этом разрушается.

Материалы большей твердости имеют большее переходное сопротивление и требуют большего контактного нажатия. Чем выше электрическая проводимость и теплопроводность материала, тем ниже переходное сопротивление.

Зависимость сопротивления контакта от падения напряжения на нём ( $R - U$  характеристика) представлена на рис. 3.

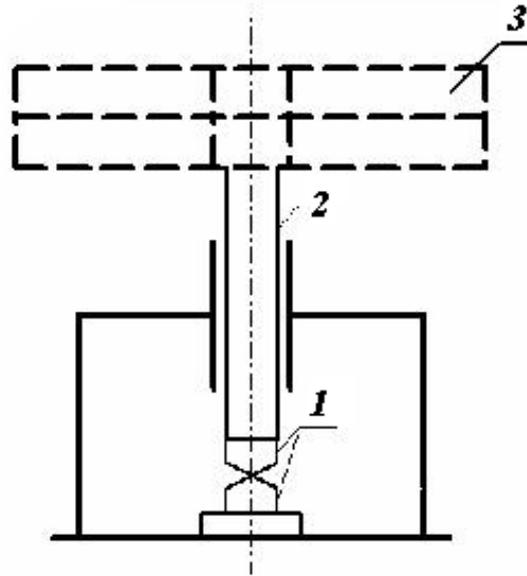


*Рис. 3.  $R - U$  характеристика контакта*

С ростом падения напряжения на контакте  $U_k$  переходное сопротивление вначале растёт, а затем, при напряжении  $U_p$  происходит резкое падение механических свойств материала. При том же усилии нажатия увеличивается площадь контактирования и переходное сопротивление резко уменьшается. В дальнейшем оно снова линейно возрастает, а при напряжении  $U_{пл}$  электрический контакт сваривается – переходное сопротивление снова резко уменьшается.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

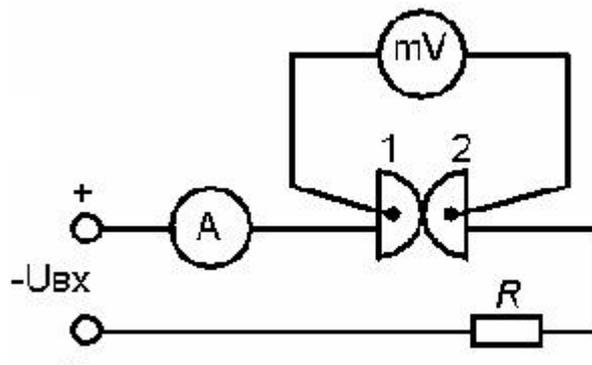
1. Ознакомиться со стендом для выполнения лабораторной работы. Схема установки приведена на рис. 4. Контактное нажатие изменяется за счет статического нагружения дисками-разновесами 3 штока 2. Он передает создаваемое усилие на исследуемые контакты 1, которые располагаются на одной вертикальной оси. Контакты в установке являются сменными и имеют специальные отверстия для подключения милливольтметра.



**Рис.4 Установка для изучения переходного сопротивления электрических контактов**

**1—исследуемые контакты; 2—шток; 3 – диски-разновесы**

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 0,5 – 3 А в цепи контактов, подключить вольтметр к клеммам контактов 1 и 2 (рис. 5) и определить падение напряжения на них, увеличивая и уменьшая статическую нагрузку. Предварительно измерить силу контактного нажатия со стороны подвижной части установки. Величину тока поддерживать постоянной.



**Рис. 5 Схема для измерения переходного сопротивления электрических контактов**

3. Результаты измерений записать в табл 1.

Таблица 1

Материал контактов	Усилие прижатия, Н	U, В	I, А	$\Delta U$ , мВ(↑)	$\Delta U$ , мВ(↓)	$R_k(\uparrow)$ , Ом	$R_k(\downarrow)$ , Ом	$R_k$ , Ом
медь	0,5							
	1,0							
	1,5							
	2,0							
	2,5							
	3,0							
алюминий	0,5							
	1,0							
	1,5							
	2,0							
	2,5							
	3,0							

4. Переходное сопротивление контактов определить на основании показаний приборов, не учитывая внутреннее сопротивление милливольтметра:  $R_k = U_k / I_k$ . Среднее значение  $R_k$  определить по формуле:  $R_k = [R_k(\uparrow) + R_k(\downarrow)] / 2$ . Коэффициент  $K_m$  рассчитать по формуле:  $K_m = R_k \cdot 0,102$ . Результаты заполнить в таблицу 1.

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

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

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по результатам лабораторной работы необходимо привести следующие данные:

- наименование и цель работы;
- схема испытаний;
- краткое содержание работы;
- опытные данные, и и расчетные данные, сведенные в таблицу;
- зависимости переходного сопротивления контактов от усилия прижатия и материалов контактов;
- заключения и выводы по 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  $50\text{ мОм}$ , если через него проходит ток  $100\text{ А}$ .

### Лабораторная работа № 2

## ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОВОЛЬТОВЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Ознакомиться с конструкциями и техническими данными низковольтных предохранителей типов ПР-2, ПН-2, ПРО, ПНБ.

### ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

1. Изучить принцип действия низковольтных предохранителей..
2. Ознакомиться с методикой экспериментального определения параметров и характеристик предохранителей.
3. Экспериментально определить время-токовую характеристику плавкой вставки и сравнить ее с расчетной.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

*Предохранители* – это электрические аппараты, защищающие установки от токов короткого замыкания и токов перегрузок. Состоят из плавкой вставки, включаемой в рассечку защищаемой цепи, и дуго-гасительного устройства, гасящего электрическую дугу, возникающую при плавлении вставки.

При небольших перегрузках  $(1,5...2)I_{ном}$  нагрев плавкой вставки протекает медленно. Ток, больший номинального, при котором предохранитель перегорает через  $1...2$  часа, называется пограничным током  $I_{погр} > I_{ном}$ . При токах, близких к пограничному, температура вставки приближается к температуре плавления металла ( $t_{меди} = 1083\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Все детали

предохранителя и подключаемые провода при этом нагреваются до высоких температур и возможно возгорание изоляции проводов. Наиболее просто снижение температуры плавления вставки достигается, применением легкоплавких металлов ( $t_{\text{свинца}}=327^{\circ}\text{C}$ ). Однако удельное сопротивление свинца в 12 раз выше, чем у меди, поэтому вставки должны иметь очень большое сечение, что затрудняет гашение дуги и увеличивает расход металла, т.е. не дают удовлетворительного решения.

Наибольшее распространение получили медные, цинковые и серебряные плавкие вставки, в которых для снижения температуры делается *переменное сечение* и применяется *металлургический эффект*.

При длительной работе с высокой температурой вставки окисляются. Особенно интенсивно процесс теплового старения протекает у медных вставок, у которых пленка окисла отслаивается и уменьшает сечение. Для того, чтобы с течением времени медные вставки не перегорали при  $I_{\text{НОМ}}$  принимают  $I_{\text{погр}}=(1,8...2)I_{\text{НОМ}}$ , т.е. сечение завышают почти в 2 раза, что ухудшает время-токовую характеристику предохранителя в области малых перегрузок. Серебряные и цинковые вставки не подвержены тепловому старению. Применение металлургического эффекта и легкоплавких металлов позволяет снизить  $I_{\text{погр}} / I_{\text{НОМ}}$ , до 1,2...1,4.

Калибруются плавкие вставки испытательным током  $I_{\text{исп}}$  в течение  $t_{\text{исп}}$ , причем нижнее значение тока в течение 1 часа не приводит к перегоранию предохранителя, верхнее значение плавит вставку за 2 часа (табл. 2).

Таблица 2

А	$I_{\text{НОМ. вст.}}$	$t_{\text{исп}}$ , час	$I_{\text{исп}} / I_{\text{НОМ.вст}}$	
			нижнее	верхнее
	6, 10	1	1,5	2,1
25	15, 20,	1	1,4	1,75
350	35 ...	1	1,3	1,6
1000	430 ...	2	1,3	1,6

При прохождении через вставку тока к.з. процесс нагрева идет адиабатически, без отдачи тепла, которое полностью идет на ее нагрев. Температура вставки поднимается мгновенно.

Время отключения цепи предохранителем состоит из времени нагрева вставки до плавления, времени перехода из твердого состояния в жидкое (плавления) и времени горения (гашения) дуги:

$$t_{откл} = t_{нагр} + t_{пл} + t_{дуги}.$$

Электродинамические силы, сжимающие проводник, в процессе плавления образуют суженные участки, на которых возрастет плотность тока и температура. Уменьшение сечения создает также разрывающие усилия, аналогичные силам в контактах при протекании тока короткого замыкания (т.к.з.). Вследствие этого время отключения обратно пропорционально квадрату т.к.з. ( $I_k^2$ ).

$$t_{откл} = A \cdot \frac{q^2}{I_k^2},$$

где  $q$  – поперечное сечение вставки;

$A$  – постоянная, зависящая от материала вставки и типа предохранителя (определяется опытным путем).

При вставках переменного сечения дуга горит во всех узких местах, что ускоряет процесс гашения дуги. Все факторы дугогашения приводят к тому, что предохранитель перегорает за тысячные доли секунды, т.е. значительно раньше, чем т.к.з. достигнет амплитудного или установившегося значения, т.е. работает с токоограничением. При этом облегчаются условия гашения дуги и ограничивается т.к.з.

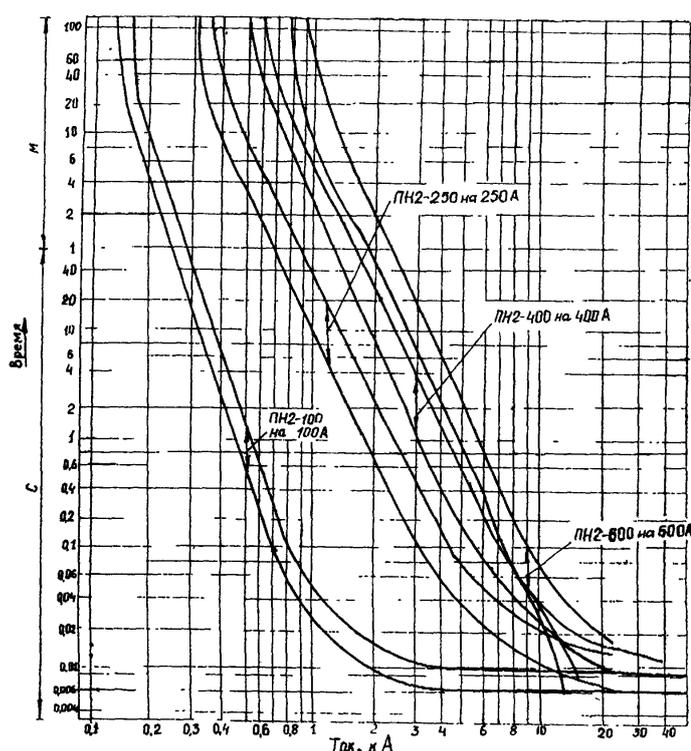


Рис. 6 Время-токовые характеристики предохранителей типа ПН-2

Увеличение сечения вставки вследствие роста  $I_{НОМ}$  или теплового старения приводит к увеличению  $t_{откл}$  и снижению эффекта токоограничения. Так, например, в цепи с действующим значением т.к.з. 50 кА предохранитель с  $I_{НОМ.вст} = 6А$  перегорает при величине т.к.з. 400 А, а при  $I_{НОМ.вст} = 600А$  дуга горит весь полупериод, т.е. токоограничение отсутствует (рис. ).

**Основными параметрами предохранителей являются:**

$I_{нп}$  – номинальный ток патрона – максимальный ток, при котором токоведущие и контактные части нагреваются не выше допустимой температуры;

$I_{ном.вст}$  – номинальный ток вставки – длительный рабочий ток, при котором плавкая вставка не должна перегорать;

$I_{пр}$  – предельный ток отключения предохранителя – действующее значение тока металлического к.з. сети, которое предохранитель способен отключить, не разрушаясь.

**Предохранители разборные серии ПР-2** с закрытыми разборными патронами без наполнителя выпускаются на напряжение 220В (I габарит) и 500В (II габарит). Трубчатый патрон выполнен из фибры, которая при горении дуги под действием высокой температуры выделяет газ. Давление, пропорциональное квадрату т.к.з. за доли полупериода поднимается до 4...8МПа, что способствует быстрому гашению дуги (до 2с). Фибровый патрон обладает высокой прочностью и закрывается герметично. Плавкая вставка штампуются из цинка, количество сужений (1...4) зависит от напряжения, работает с токоограничением. В зависимости от номинального тока меняется диаметр патрона, выпускаются 7 диаметров,  $I_{ном.пр} \geq I_{ном.вст}$ .

Предохранители с мелкозернистым наполнителем типа ПН-2 обладают более совершенными характеристиками, чем ПР-2. Корпус ПН-2 изготавливается из прочного фарфора или стеарита, наполнитель – кварцевый песок с содержанием  $SiO_2$  не менее 98%, размером зерен 0,2...0,4мм, влажностью не более 3%. Плавкая вставка выполняется из медной ленты толщиной 0,1...0,2мм, разделена на несколько параллельных ленточек, чтобы полнее использовать объем наполнителя. Применение тонких ленточек с узкими местами, на которые нанесены оловянные шарики для снижения температуры плавления (металлургический эффект), позволяют выбрать минимальное сечение вставки для данного номинального тока, что обеспечивает высокую токоограничивающую способность.

При к.з. дуга горит при большом давлении в узком канале, образованном кварцевыми песчинками, имеющими высокую теплопроводность и хорошо развитую охлаждающую поверхность. Это позволяет гасить дугу за несколько миллисекунд при небольшой длине. После перегорания вставок патрон разбирается, песок высыпается, ставятся новые вставки. Малые габариты, незначительная затрата дефицитных материалов, высокая отключающая способность являются достоинствами этих предохранителей.

Предохранители ПРС – разборные, резьбовые, сигнализирующие, с наполнителем – кварцевым песком. Применяются, когда необходимы, малые габариты и быстрая смена вставки. Имеют указатель срабатывания – при перегорании пружина выбрасывает глазок у застекленного отверстия. Перезарядка производится путем замены внутреннего цилиндра со вставкой и указателем. Это пробочные предохранители, ввинчиваются в металлическое основание. Выпускаются на номинальные токи 6, 20, 63, 100 А

со вставками от 1 до 100А, с цоколями трех диаметров на разные напряжения 220, 380, 500В. Отключающая способность 60кА. Они более сложные и дороже, чем ПН-2.

Быстродействующие предохранители применяются для защиты полупроводниковых приборов (диодов, тиристоров). ПНБ5 разработан на базе ПН-2, имеет серебряную вставку с сужениями малого сечения с большим токоограничением. Амплитуда т.к.з. до 150кА. Выпускаются на номинальные токи 40...60А напряжением до 660В. Защищают цепи к.з., но не от перегрузок. Более совершенные быстродействующие предохранители типа ПП41...ПК71.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические сведения и конструкции низковольтных предохранителей и БПВ по имеющимся образцам, плакатам и описанию в инструкции.

2. Снять время-токовую характеристику медной круглой плавкой вставки в соответствии со схемой на рис. 7.

2.1. Закрепить вставку в коробке с предохранителем, закрыть крышку.

2.2. Установить ЛАТР на нуль, поставить рукоятку переключателя «П» в положение «R<sub>н</sub>».

2.3. Включить автомат «А» и тумблер «В» на стенде.

2.4. Установить ЛАТРОм первоначальный ток в цепи по амперметру и быстро поставить переключатель «П» в положение «П<sub>р</sub>».

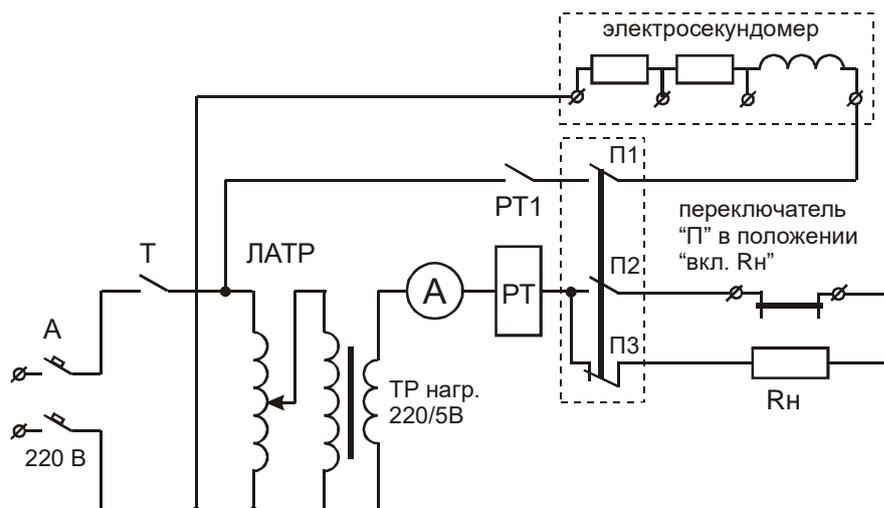


Рис. 7. Схема лабораторной установки

2.5. Измерить время по электросекундомеру.

2.6. Записать показания в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	Время отключения при токе, А					
	10	12	15	17	20	22
Показания секундомера $t_{откл}$ , с						
Расчетные значения $t_{пл}$ , с						

2.7. Отключить тумблер, установить новую вставку, и повторить опыт, начиная с п.2.1 при других значениях токов.

2.8. Рассчитать время плавления вставки по эмпирической формуле:

$$t_{пл} = \frac{q^2}{I^2} \cdot 10^5,$$

где  $q$  – сечение вставки, мм<sup>2</sup>;

$I$  – значение устанавливаемого тока по шкале, А.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Рабочая схема.
3. Данные измерений и расчета.
4. Построенные опытная и расчетная зависимости  $t=f(I)$  на одном графике.
5. Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначены предохранители, из каких узлов состоят?
2. Материалы вставок и мероприятия по снижению температуры плавления.
3. Для чего нужны сужения и металлургический эффект?
4. Что такое тепловое старение вставки и коэффициент запаса?
5. Что такое пограничный и испытательный токи?
6. Из чего состоит и как определяется время отключения при к.з.?
8. Что такое эффект токоограничения и предельный ток отключения?
9. Каковы основные параметры предохранителя?
10. Как выполнены предохранители ПР-2, как работают, основные данные?
11. Как выполнены предохранители ПН-2, как работают, основные данные, преимущества?
12. Как выполнены предохранители ПРО, основные данные?
13. Что такое быстродействующие предохранители?

## Лабораторная работа №3

### ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение конструктивных элементов магнитных пускателей, принципов их работы и способов подключения.

#### ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

1. Изучить конструкцию и параметры магнитных пускателей.
2. Ознакомиться со схемами включения магнитных пускателей.
3. Экспериментально выполнить реверсивное и нереверсивное подключение асинхронного трехфазного двигателя с использованием магнитного пускателя.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

*Магнитный пускатель* - электрический аппарат, предназначенный для дистанционного управления трехфазными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором мощностью до 75 кВт при напряжении до 660 кВ. Пускатели осуществляют защиту электродвигателей при перегрузках и нулевую защиту. Для цепей управления и сигнализации могут быть установлены дополнительные блокировочные контакты (замыкающие и размыкающие).

Магнитные пускатели используют для местного и дистанционного управления электросиловой установкой, а также для защиты электродвигателя от перегрузки или от самопроизвольного включения установки после снятия напряжения в сети и последующей его подачи.

Для изменения направления вращения электродвигателя предназначены *реверсивные магнитные* пускатели.

Работа асинхронных двигателей в значительной степени зависит от таких свойств пускателей, как износостойкость контактов, коммутационная способность, надежность защиты двигателя от перегрузки.

При включении асинхронного двигателя пусковой ток в 6 раз превышает номинальный. При таком токе даже незначительная вибрация контактов быстро выводит их из строя. Это накладывает высокие требования в отношении вибрации и износа контактов. С целью уменьшения времени вибрации контакты и подвижные части магнитного пускателя делаются возможно легче, уменьшается их скорость, увеличивается контактное нажатие.

При номинальных токах до 100 А целесообразны серебряные накладки на медных контактах. При токе выше 100 А эффективна металлокерамика из композиции серебра и оксида кадмия.

После разгона двигателя ток падает до номинального значения. Поэтому отключение работающего двигателя происходит при меньшей токовой нагрузке контактов.

Для повышения срока службы пускателя его необходимо выбирать на ток, превышающий номинальный ток двигателя. Двигатели меньшей мощности быстрее достигают номинальной частоты вращения. Поэтому при их отключении разрывается установившийся номинальный ток, что облегчает работу пускателя и повышает допустимое число включений в час.

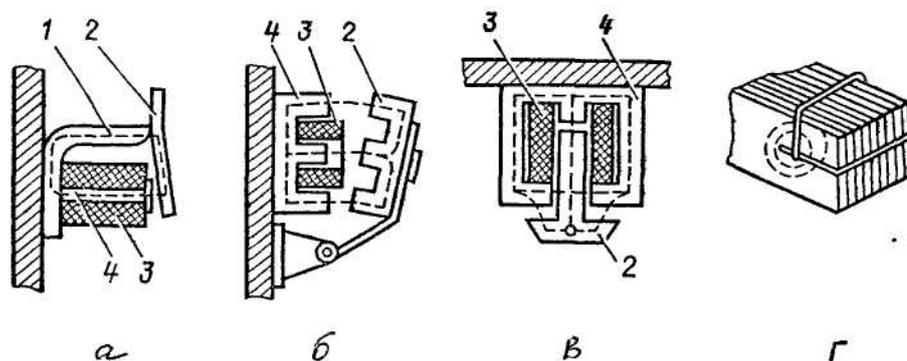
Основные преимущества магнитного пускателя перед другими аппаратами управления электродвигателями следующие:

1. Можно управлять двигателями на расстоянии — дистанционно.
2. Обеспечивается нулевая защита, то есть защита от исчезновения напряжения в сети или при его значительном снижении - до 50-60% номинального значения. После восстановления напряжения электродвигатель остается отключенным. Для его включения следует нажать кнопку *Пуск*.

3. Обеспечивается при помощи теплового реле защита электродвигателя от перегрузок. Тепловое реле может настраиваться по току защищаемого электродвигателя непосредственно в электроустановке путем замены нагревательного элемента.

Основные узлы магнитного пускателя - электромагнит переменного тока с прямоходовым якорем, контакты мостикового типа, замыкающие и размыкающие блок-контакты. Для управления пускателями применяют двухкнопочные или трехкнопочные посты, для защиты от тепловых перегрузок - тепловые реле, см. конструкции пускателей в лаборатории.

*Электромагнит* - основной элемент электромеханического узла управления. Электромагнит, рис. 8., состоит из неподвижного сердечника 4, закрепленного на ярме 1, подвижного якоря 2 и втягивающей катушки



**Рис. 8. Конструкция электромагнитов постоянного тока (а), переменного тока с поворотным якорем (б), с прямоходовым якорем (в) и устройство короткозамкнутого витка на сердечнике (г):  
1 - ярмо; 2 - якорь; 3 - катушка; 4 - сердечник**

Сердечник и якорь выполняют из ферромагнитных материалов, а катушку - из медного изолированного провода. В электромагнитах, подключаемых параллельно с источником питания, катушка имеет большое число витков, выполненных проводом с малой площадью сечения.

Электромагниты постоянного тока с поворотным якорем, рис.8 (а), применяются в контакторах постоянного тока, промежуточных реле, электромагнитных реле времени.

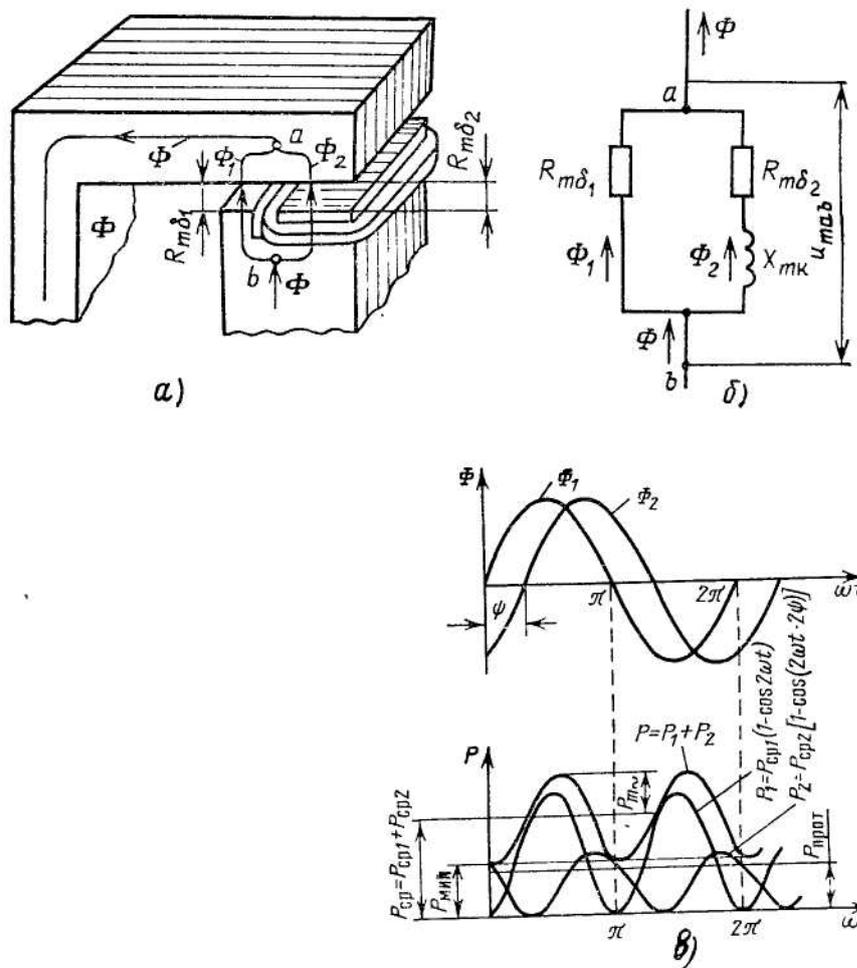
У электромагнитов переменного тока, рис. 8 (б), (в), значение и направление магнитного потока непрерывно меняются вместе с изменением направления тока в катушке 3. Поэтому сердечник 4 и якорь 2 выполняют не сплошными, как у электромагнитов постоянного тока (кроме быстродействующих), а шихтуют (набирают) из изолированных листов электротехнической стали. Это уменьшает вихревые токи в магнитопроводе, потери энергии и нагрев.

Широкое распространение получили электромагниты с Ш- и П-образными магнитопроводами.

При питании катушки однофазным переменным током магнитный поток, меняя направление, периодически снижается до нуля, что вызывает вибрацию якоря и гудение. Создается шум, расшатывается магнитная система. Для ослабления этих явлений на торцовую поверхность сердечника или якоря накладывают короткозамкнутый виток, рис. 8 (г), 9 (а). Наконечник полюса расщепляется на неравные части (2/3 и 1/3), и на его большую часть насаживается короткозамкнутый виток из меди или алюминия. Наличие короткозамкнутого витка на пути потока  $\Phi_2$  создает

реактивное магнитное сопротивление  $X_{МК}$ , которое включается последовательно с магнитным сопротивлением (рис.9 б). Так как потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  создаются одной и той же МДС, то поток  $\Phi_2$  отстает по фазе от потока  $\Phi_1$  на угол  $\varphi = \arctg (X_{МК} / R_{мбг})$

Результирующая сила, действующая на якорь, равна сумме сил  $P_1$  и  $P_2$ , рис. 9 в). Условия  $P_{ср1} = P_{ср2} \text{ при } \varphi = 90^\circ$  выполнить невозможно. Для ненасыщенных систем наименьшее значение переменной составляющей имеет место при  $\Phi_1 = \Phi_2$  и угле сдвига фаз  $\varphi^* = 60-65^\circ$ . При этом  $P_{ср1} \neq P_{ср2}$ . Поскольку короткозамкнутый виток уменьшает поток под правой частью полюса, то с целью выравнивания значений  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  эта часть полюса и делается больше (обычно 2/3).



**Рис. 9. Принцип работы электромагнита переменного тока с короткозамкнутым якорем**

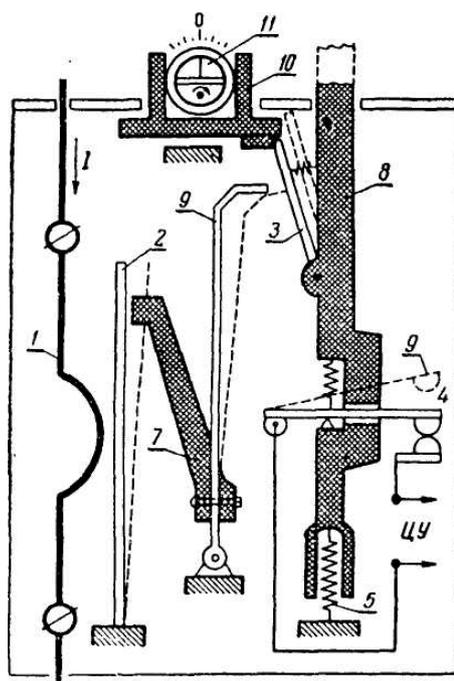
Ток катушки электромагнита переменного тока зависит главным образом от индуктивности катушки, определяемой значением воздушного зазора между сердечником и якорем. При большом зазоре индуктивность и полное сопротивление цепи катушки малы. Поэтому в момент включения катушки в сеть по ней протекает ток, в 6 раз превышающий номинальный. По этой причине катушка может сгореть при заклинивании якоря в начале включения, когда магнитопровод разомкнут. Это ограничивает также допустимую частоту включений электромагнитов переменного тока.

По времени срабатывания и возврата электромагнитные аппараты подразделяются на безинерционные  $O_{якл}$  и  $I_{откл} < 0,001$  с, быстродействующие (от 0,001 до 0,05 с), нормальные (от 0,05 до 0,15 с), замедленные (от 0,15 до 9 с).

**Контакты.** В пускателях переменного тока широко распространена *мостиковая контактная система*, как для главных, так и вспомогательных (блок-контактов) контактов, которая обеспечивает быстрое гашение дуги. В качестве материала главных контактов применяется металлокерамика, а для вспомогательных — серебро или биметалл. Основой биметалла является медь, покрытая тонкой пластиной из серебра.

**Тепловые реле.** Для пускателей серии ПМЕ предназначены пристраиваемые тепловые реле ТРН, а для пускателей серии ПА — они встроены.

На рис. 10. показана схема устройства реле ТРН. Биметаллическая пластина 2, изгибаясь при нагреве нагревательным элементом 1, перемещает вправо пластмассовый толкатель 7, связанный жестко с биметаллической пластиной 9, выполняющей роль расцепителя и температурного компенсатора. Перемещаясь вправо, пластина-рычаг 9 нажимает на защелку 3 и выводит её из зацепления с пластмассовым движком уставки 10. При этом под действием пружины 5 пластмассовая штанга расцепителя 8 (показано пунктиром) размыкает контакты 4 в цепи управления магнитным пускателем. Движок уставки можно перемещать, поворачивая эксцентрик 11. При этом меняется расстояние между рычагом 9 и защелкой 3, а также меняется ток, при котором срабатывает реле.



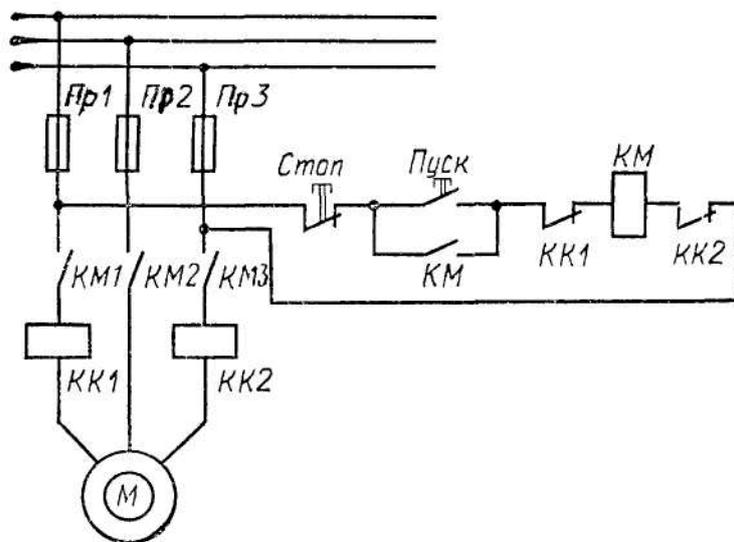
**Рис.10. Схема устройства теплового реле типа ТРН:**

*1 - нагревательный элемент; 2 - биметаллическая пластина; 3 - рычаг; 4 - контакты; 5 - пружина; 6 - кнопка «возврат»; 7 - толкатель реле ТРН; 8 - штанга расцепителя; 9 - биметаллическая пластина температурного компенсатора; 10-движок уставки; 11-эксцентрик*

Выпускаемые отечественными заводами магнитные пускатели различаются по величине (габариту) в зависимости от диапазона мощностей управляемых электродвигателей (от 0 до 6); по роду защиты магнита от влияния окружающей среды - открытое или защищенное исполнение; по возможности изменения направления вращения двигателя - нереверсивное и реверсивное.

Магнитные пускатели общепромышленного применения серии ПМЕ, ПА имеют в обозначении цифры, следующие за буквами, которые означают: первая цифра - величина магнитного пускателя; вторая цифра – исполнение магнитного пускателя по роду защиты от окружающей среды (1 - открытое исполнение, 2 - защищенное); третья цифра - электрическое исполнение (1 - реверсивный; 2 - нереверсивный).

В схеме пускателя, приведенной на рис. 11, в двух фазах двигателя М включены нагревательные элементы тепловых реле КК1, КК2. Тепловые реле защищают двигатель от перегрузки, а предохранители Пр 1 - Пр3 защищают питающую сеть от КЗ в двигателе.



*Рис. 11. Схема включения нереверсивного пускателя*

Главные контакты КМ1-КМ3 пускателя включены последовательно с предохранителями Пр1 - Пр3. Катушка КМ подключается к сети через контакты тепловых реле и кнопок управления «Пуск» и «Стоп». При нажатии кнопки «Пуск» напряжение на катушку КМ подается через замкнутые контакты кнопки «Стоп» и замкнутые контакты тепловых реле. При срабатывании контактора замыкаются вспомогательные контакты КМ, шунтирующие замыкающие контакты кнопки «Пуск», которую после этого можно отпустить.

Для отключения двигателя нажимается кнопка «Стоп», после чего обесточивается катушка КМ и контакты КМ1 — КМ3 размыкаются. При токовой перегрузке двигателя срабатывают КК1, КК2, контакты которых разрывают цепь питания катушки КМ. При этом контакты КМ1 – КМ3 размыкаются и двигатель останавливается.

Высокий коэффициент возврата электромагнитов переменного тока защищает двигатель от понижения напряжения сети. Электромагнит «отпускает» при  $U = (0,6-0,7) U_{НОМ}$ . При восстановлении напряжения сети до номинального значения самопроизвольное включение пускателя не происходит, так как после размыкания контакта КМ цепь катушки КМ не замкнута.

Схема включения реверсивного пускателя приведена на рис. 12. Кнопка управления «Вперед» имеет замыкающие контакты 1-2 и размыкающие контакты 4-6. Аналогичные контакты имеет кнопка «Назад» для пуска двигателя в обратном направлении. При пуске «Вперед» замыкаются контакты 1 - 2 соответствующей кнопки и процесс протекает так же, как и у неревверсивного пускателя на рис. 3.4. При этом цепь катушки контактора  $K_B$  замыкается через размыкающие контакты 1-6 кнопки «Назад». Одновременно размыкаются размыкающие контакты 4-6 кнопки «Вперед», разрывается цепь катушки контактора  $K_H$ . При нажатии кнопки «Назад» вначале размыкаются контакты 1-6, обесточивается катушка контактора  $K_B$  и отключаются его контакты  $K_B$ . Затем контактами 4-3 включается контактор  $K_H$ , после чего замыкаются его контакты. При этом очередность фаз питания двигателя становится обратной. При одновременном нажатии кнопок «Вперед» и «Назад» оба контактора не включаются.

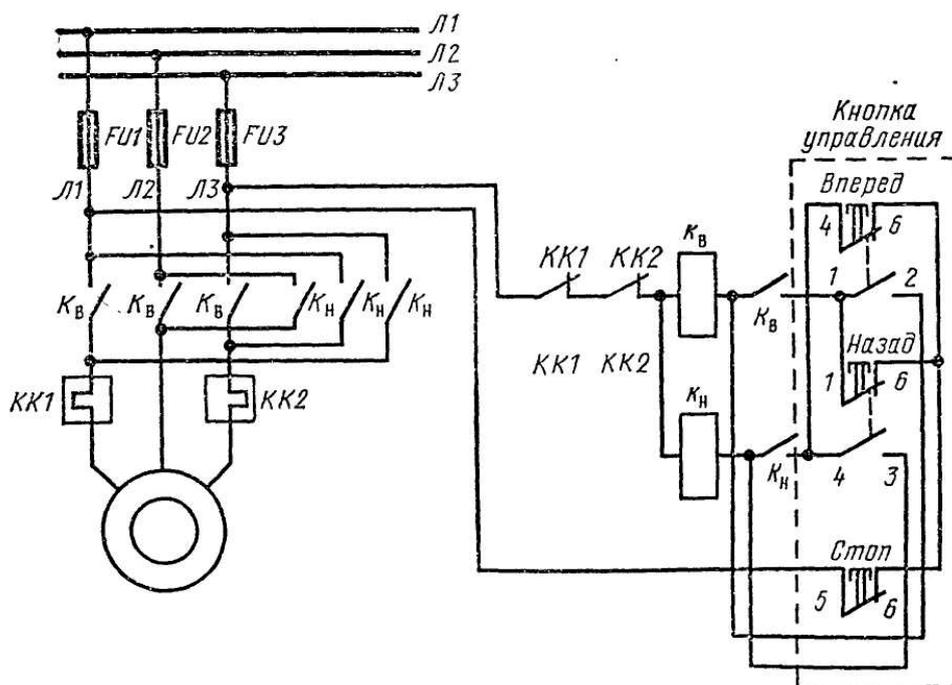


Рис. 12. Схема включения реверсивного пускателя

В настоящее время выпускаются пускатели электромагнитные серии ПМА ( с 3 по 6 величину), предназначенные для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 75 кВт при напряжении до 660 В переменного тока частотой 50, 60 и 100 Гц.

При наличии тепловых реле пускатели защищают управляемые электродвигатели от перегрузок недопустимой продолжительности. Пускатели, комплектуемые ограничителями перенапряжений, пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники.

Контакты пускателей 3-й величины имеют прямоходовую Ш-образную магнитную систему, состоящую из якоря и сердечника, заключенную в пластмассовый корпус.

Контакты пускателей 4, 5 и 6-й величин имеют прямоходовую магнитную систему П-образного типа.

Тепловые реле крепятся к корпусам пускателей специальным угольником.

Пускатели всех величин допускают установку в горизонтальные ряды вплотную друг к другу.

Структура условного обозначения пускателя ПМА-3132: первая цифра

- величина пускателя в зависимости от номинального тока (3 – третья величина); вторая - назначение и наличие теплового реле (1 - без реле, нереверсивный), всего чисел от 1 до 0; третья — степень защиты и наличие кнопок (3 - с кнопками «Пуск» и «Стоп»); четвертая — род тока в цепи управления (2 - переменный, 660 В).

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема магнитного схема.
3. Схемы нереверсивного и реверсивного включения магнитного пускателя.
5. Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение магнитного пускателя.
2. Зачем шихтуют магнитопровод в магнитных пускателях переменного тока.
3. Конструкция контактов в пускателе.
4. Материал контактов в пускателе.
5. Различие между реверсивным и нереверсивным пускателями.
6. Назначение теплового реле в пускателе.
7. Зачем короткозамкнутый виток на магнитопроводе в однофазном пускателе.
8. Как отличаются пусковой и рабочий токи в пускателе.
9. Защиту в каких режимах осуществляет схема нереверсивного пускателя.
10. Назначение электромагнита в конструкции пускателя.

## Лабораторная работа №4

### **ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение назначения, принципа действия, конструкции и основных технических характеристик устройства защитного отключения.

#### **ЗАДАЧИ РАБОТЫ:**

1. Изучить принцип действия УЗО.
2. Проверить работоспособность УЗО с помощью кнопки «Тест».
3. Измерить значение отключающего дифференциального тока УЗО в режимах трехфазной и однофазной нагрузок.

4. Произвести пересчет измеренного тока с выхода преобразователя в действительное значение дифференциального тока.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток, наряду с устройствами защиты от сверхтока, относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

В основе действия защитного отключения, как электрозащитного средства, лежит принцип ограничения (за счет быстрого отключения) продолжительности протекания тока через тело человека при непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением.

Из всех известных электрозащитных средств УЗО является единственным, обеспечивающим защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении к одной из токоведущих частей.

Другим, не менее важным свойством УЗО является его способность осуществлять защиту от возгораний и пожаров, возникающих на объектах вследствие возможных повреждений изоляции, неисправностей электропроводки и электрооборудования.

УЗО применяются для комплектации вводно-распределительных устройств (ВРУ), распределительных щитов (РЩ), групповых щитков (квартирных и этажных), устанавливаемых в жилых и общественных зданиях, производственных помещениях и т.п.

Применение УЗО целесообразно и оправдано по социальным и экономическим причинам в электроустановках всех возможных видов и самого различного назначения.

Затраты на установку УЗО несоизмеримо меньше возможного ущерба – гибели и травм людей от поражения электрическим током, возгораний, пожаров и их последствий, произошедших из-за неисправностей электропроводки и электрооборудования.

## Принцип действия УЗО

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока 1 (рис 13). Сравнение текущих значений двух и более (в четырехполюсных УЗО — 4-х) токов по амплитуде и фазе наиболее эффективно, т.е. с минимальной погрешностью, осуществляется электромагнитным путем — с помощью дифференциального трансформатора тока В абсолютном большинстве УЗО, производимых и эксплуатируемых в настоящее время во всем мире, в качестве датчика дифференциального тока

используется именно трансформатор тока. В нормальном режиме, когда нет тока замыкания на землю, токи в фазном и нулевом рабочем проводниках (проводах) равны по значению, но противоположны по знаку.

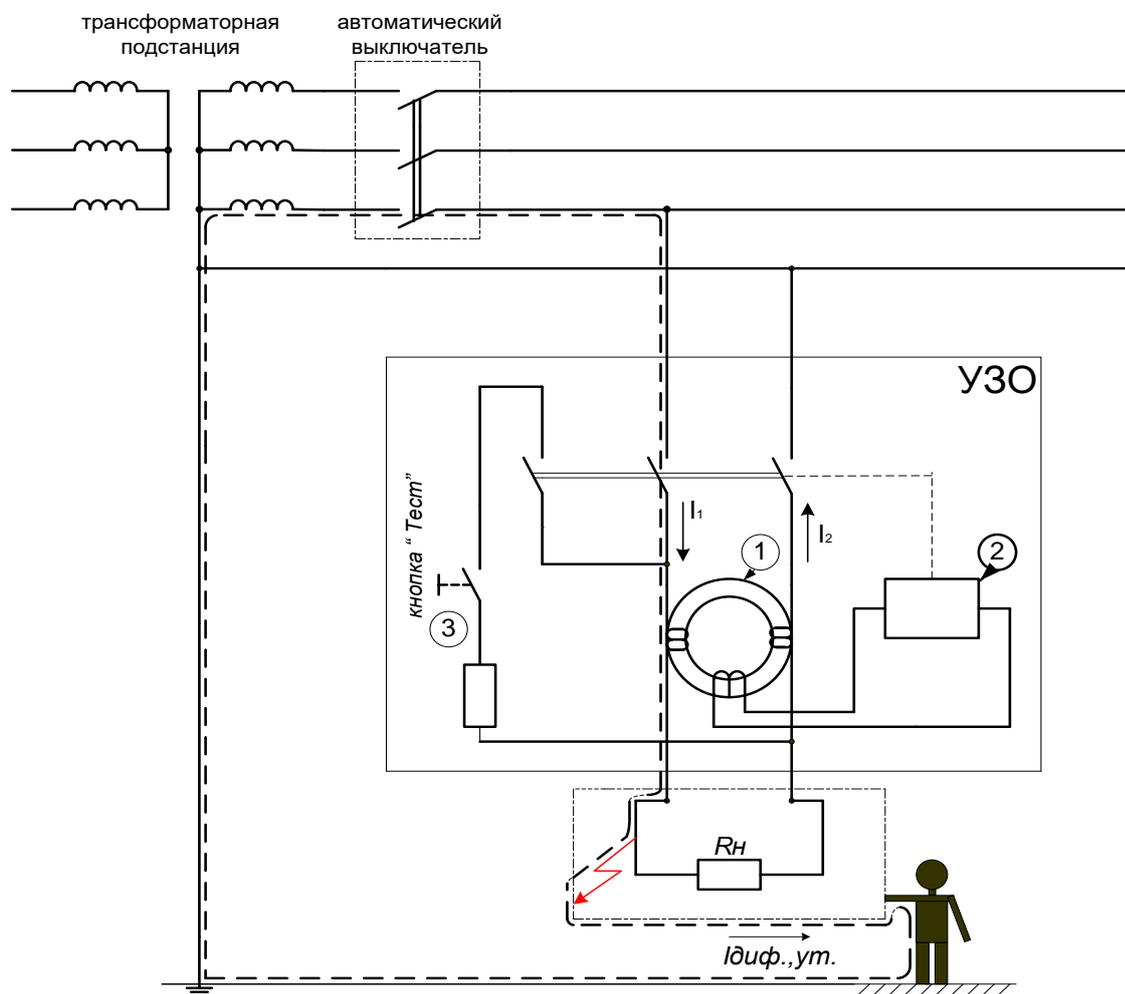


Рис.13. Принцип действия УЗО

Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке как  $I_1$ , а ток от нагрузки  $I_2$ , то можно записать равенство:  $I_1 = I_2$ . В дифференциальном трансформаторе находятся две первичные обмотки: одна подключена к фазному проводнику, другая - к нулевому рабочему, плюс одна вторичная обмотка. Таким образом, в нормальном режиме обе первичные обмотки создают абсолютно одинаковые магнитные потоки в магнитном сердечнике дифференциального трансформатора, которые направлены навстречу друг другу. Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю.

В случае возникновения утечки величина токов, текущих по нулевому рабочему проводнику и по фазе, становится неравной, то есть нарушается баланс компенсации, и в обмотке сердечника начинает течь ток, размер

которого оценивает реле разностного тока 2 (т.е. тока утечки, являющегося для трансформатора тока дифференциальным (разностным)). При превышении определенного порога реле разрывает цепи. Его работа также построена на законе индукции. В обычном состоянии арматура, которая является приводом расцепителя, удерживается в состоянии равновесия полем постоянного магнита с одной стороны, и пружиной — с другой. В случае возникновения утечки ток, возникающий в катушке тороида, начинает протекать через катушку реле разностного тока и наводит в сердечнике поле. Как результат, пружина приводит к срабатыванию расцепителя.

Для осуществления периодического контроля работоспособности (исправности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 3. При нажатии кнопки “Тест” искусственно создается отключающий дифференциальный ток, вызывающий срабатывание УЗО.

### Типы УЗО

По условиям функционирования УЗО подразделяются на следующие типы: АС, А, В, S, G.

УЗО типа АС – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно, либо медленно возрастающий.

УЗО типа А – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие внезапно, либо медленно возрастающие.

УЗО типа В – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленные дифференциальные токи.

УЗО типа S – устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения).

УЗО типа G – то же, что и типа S, но с меньшей выдержкой времени.

Принципиальное значение при рассмотрении конструкции УЗО имеет разделение устройств по способу технической реализации на следующие два типа:

1) УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания (электромеханические). Источником энергии, необходимой для функционирования – выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является для устройства сам сигнал – дифференциальный ток, на который, на который оно реагирует.

2) УЗО, функционально зависящие от напряжения питания (электронные). Их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Применение устройств, функционально зависящих от напряжения питания, более ограничено в силу их меньшей надежности, подверженности воздействия внешних факторов и др.

Однако основной причиной меньшего распространения таких устройств их неработоспособность при часто встречающейся и наиболее опасной по условиям вероятности электропоражения неисправности электроустановки, а именно – при обрыве нулевого проводника в цепи до УЗО по направлению к источнику питания. В этом случае «электронное» УЗО, не имея питания, не функционирует, а на электроустановку по фазному проводнику выносится опасный для жизни человека потенциал.

Существует класс приборов УЗО – со встроенной защитой от сверхтоков, так называемые «комбинированные» УЗО.

Конструктивной особенностью УЗО со встроенной защитой от сверхтоков является то, что механизм размыкания силовых контактов запускается при воздействии на него любого из трех элементов – катушки с сердечником токовой отсечки, реагирующей на ток короткого замыкания, биметаллической пластины, реагирующей на токи перегрузки и магнитоэлектрического расцепителя, реагирующего на дифференциальный ток.

Область применения УЗО со встроенной защитой от сверхтоков довольно ограничена – их устанавливают на автономные электроприемники, или потребители, имеющие незначительную, неизменяемую нагрузку.

### Нормируемые параметры УЗО.

ГОСТ Р 50807-95 нормирует следующие параметры УЗО:

1) Номинальное напряжение ( $U_n$ ) – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО.

$$U_n = 220, 380 \text{ В.}$$

2) Номинальный ток нагрузки ( $I_n$ ) - значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме.

$$I_n = 6; 16; 25; 32; 40; 63; 80; 100; 125; 200 \text{ А.}$$

3) Номинальный отключающий дифференциальный ток ( $I_{\Delta n}$ ) - значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta n} = 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5 \text{ А.}$$

4) Номинальный неотключающий дифференциальный ток ( $I_{\Delta n0}$ ) - указанное изготовителем значение дифференциального тока, которое не вызывает отключения УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta n0} = 0,5 I_{\Delta n}.$$

5) Предельное значение неотключающего тока в условиях сверхтоков ( $I_{nm}$ ) - минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной

нагрузке двух- и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО.

$$I_{nm} = 6I_n.$$

Сверхток – ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока.

6) Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) ( $I_m$ ) — действующее значение ожидаемого тока, который УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности. Минимальное значение  $I_m = 10I_n$  или 500 А (выбирается большее значение).

7) Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току ( $I_{\Delta m}$ ) — действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности. Минимальное значение  $I_{\Delta m} = 10I_n$  или 500 А (выбирается большее значение).

8) Номинальный условный ток короткого замыкания ( $I_{nc}$ ) – указанное изготовителем действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий при заданных условиях эксплуатации, без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{nc} = 3000; 4500; 6000; 10000 \text{ А.}$$

9) Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания ( $I_{\Delta c}$ ) — действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{\Delta c} = 3000; 4500; 6000; 10000 \text{ А.}$$

10) Время отключения (время срабатывания) УЗО ( $T_c$ , с) – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом выполнения функции данного устройства до полного гашения дуги.

$$T_c = 0,5 \text{ при } I_{\Delta n};$$

$$T_c = 0,15 \text{ при } 2 I_{\Delta n};$$

$$T_c = 0,04 \text{ при } 5 I_{\Delta n} \text{ или } 500 \text{ А.}$$

Применяются в данном лабораторном стенде УЗО марки ВД1-63, двух- и четырехполюсное.

Выключатель ВД1-63 – электромеханическое устройство, не имеющее собственного потребления электроэнергии. Тип – АС. Номинальные характеристики УЗО марки ВД1-63 приведены в таблице 4.

Таблица 4

Наименование характеристики	Значение	
	2 полюса (ВД1-63-2-16-30-УХЛ4)	4 полюса (ВД1-63-4-16-30-УХЛ4)
Номинальное напряжение $U_H$ , В	230	400
Номинальный ток $I_n$ , А	16	16
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ , мА	30	30
Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$ , мА	15	15
Номинальная наибольшая дифференциальная включающая и отключающая способность $I_m$ , А	800	800
Номинальный условный ток короткого замыкания $I_{nc}$ , не менее, А	3000	3000
Пределы изменения напряжения сети, при которых сохраняется работоспособность выключателя, В	От 115 до 265	От 200 до 460

### Выбор УЗО

Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО (уставка)  $I_{\Delta n}$  должен не менее чем в три раза превышать суммарный ток утечки защищаемой цепи электроустановки -  $I_{\Delta}$ :

$$I_{\Delta n} \geq 3I_{\Delta}.$$

Суммарный ток утечки электроустановки замеряется специальными приборами, либо определяется расчетным путем.

При отсутствии фактических (замеренных) значений тока утечки в электроустановке ПУЭ ( 7-е изд.п.7.1.83) предписывают принимать ток утечки электроприемников из расчета – 0,4мА на 1А тока нагрузки, а ток утечки цепи из расчета – 10мкА на 1м длины фазного проводника.

Рекомендуемые значения номинального отключающего дифференциального тока -  $I_{\Delta n}$  (уставки) УЗО для диапазона номинальных токов 16-80 А приведены в таблице 5.

Таблица 5

Номинальный ток в зоне защиты, А	16	25	40	63	80
$I_{\Delta n}$ при работе в зоне защиты одиначного потребителя, мА	10	30	30	30	100
$I_{\Delta n}$ при работе в зоне защиты группы потребителей, мА	30	30	30(100)	100	300
$I_{\Delta n}$ УЗО противопожарного назначения на ВРУ (ВРЩ), мА	300	300	300	300	500

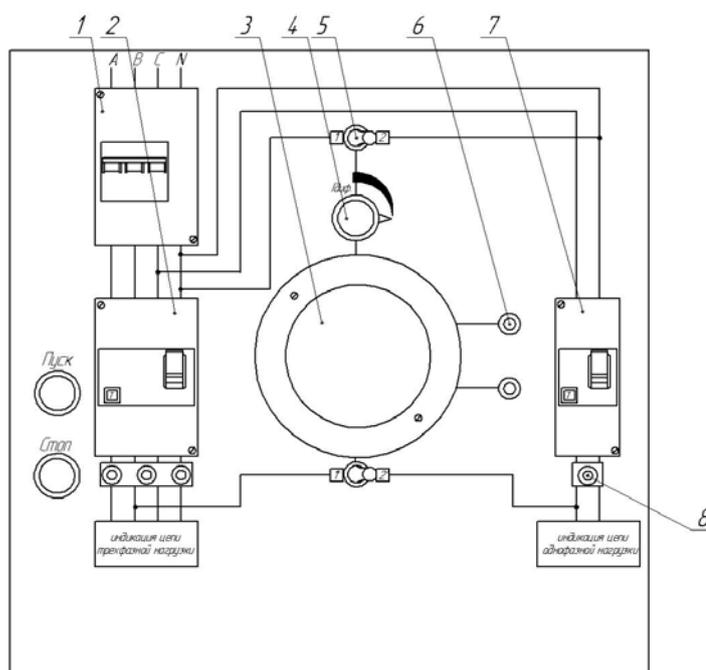
В некоторых случаях, для определенных потребителей значение уставки задается нормативными документами.

В ГОСТ Р 50669-94 применительно к зданиям из металла или с металлическим каркасом задается значение уставки УЗО не выше 30мА.

#### Описание стенда.

В целях обеспечения электробезопасности от автономного источника питания, имеющего гальваническую развязку с сетью.

На рис. 14 представлен внешний вид передней панели лабораторного стенда.



**Рис.14. Внешний вид передней панели лабораторного стенда**

1- автоматический выключатель типа ВА–47-29; 2 - четырехполюсное УЗО типа ВД1-63-4-16-30-УХЛ4; 3 - преобразователь измерительный напряжения переменного тока; 4 - регулятор дифференциального тока  $I_{\Delta n}$ ; 5 - переключатели режимов работы стенда; 6- гнезда для подключения миллиамперметра; 7 - двухполюсное УЗО; 8 - лампы индикации нагрузок в однофазной и трехфазных цепях.

## Порядок выполнения работы.

1. Измерение отключающего дифференциального тока  $I_{\Delta n}$  четырехполюсного УЗО.

- 1) Установить переключатели в положение 1-1'.
- 2) Регулятор дифференциального тока установить в положение минимального тока.
- 3) Подключить к выходным гнездам преобразователя миллиамперметр, измеряющий величину постоянного тока, диапазон которой находится в пределах от 0 до 5мА.
- 4) Включить автоматический выключатель и четырехполюсное УЗО.
- 5) Нажать кнопку «Пуск».
- 6) Постепенно увеличивая величину дифференциального тока регулятором, зафиксировать значение тока, при котором произошло срабатывание УЗО.
- 7) Вычислить значение отключающего дифференциального тока четырехполюсного УЗО .

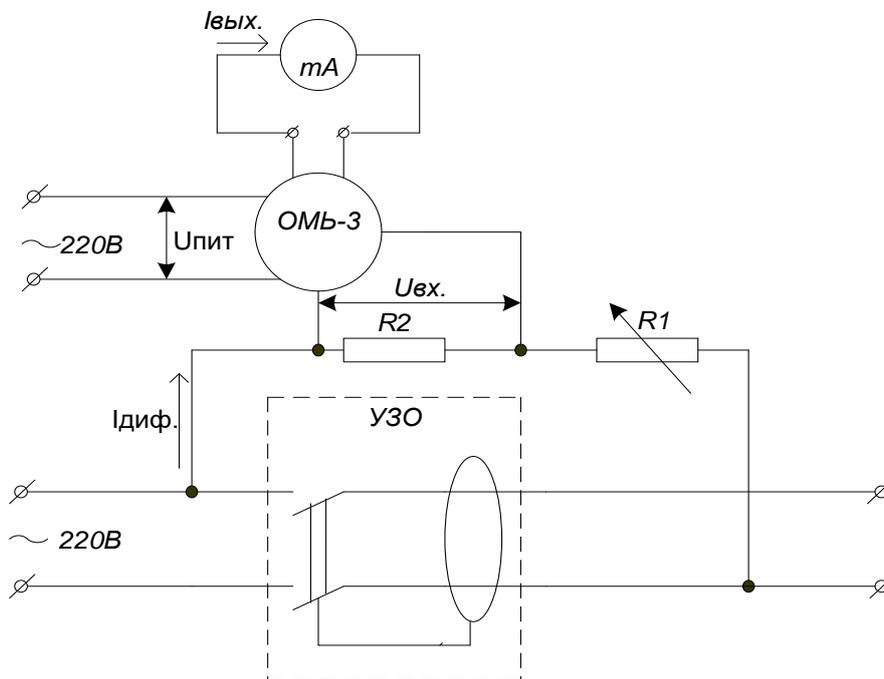


Рис.15 Контур утечки

$$R1=0 \dots 20 \text{кОм};$$

$$R2= 4 \text{кОм};$$

Таблица 6

Значение входного сигнала с диапазоном измерения, В	Расчетное значение выходного сигнала с диапазоном изменения выходного сигнала, мА
(0-125)	(0-5)
0	0
25	1
50	2
75	3
100	4
125	5

Пример расчета: УЗО сработало при токе на выходе преобразователя, равном 3,8 мА. Согласно таблицы 4.3  $U_{BX.} = 95$  В, следовательно, находим дифференциальный ток, протекающий по контуру создаваемой утечки

$$I_{\Delta n} = \frac{U_{BX.}}{R_2}$$

$$I_{\Delta n} = \frac{U_{BX.}}{R_2} = \frac{95}{4 \cdot 10^{-3}} = 23.75 \text{ (мА)}.$$

8) Провести опыт несколько раз, полученные данные занести в таблицу 4.4 и на основе этих данных построить график  $I_{\Delta n} = f(t)$ .

Таблица 7

№ измерения	$I_{ВЫХ.}$ преобразователя, мА	отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ , мА
1		
2		
...		

9) После выполнения опыта:

- а) регулятор дифференциального тока вывести в положение минимального тока;
- б) переключатели установить в нулевое положение;
- в) выключить четырехполюсное УЗО.

2. Измерение отключающего дифференциального тока  $I_{\Delta n}$  двухполюсного УЗО.

- 1) Установить переключатели в положение 2-2.
- 2) Регулятор дифференциального тока установить в положение минимального тока.

- 3) Подключить к выходным гнездам преобразователя миллиамперметр, измеряющий величину постоянного тока, диапазон которой находится в пределах от 0 до 5мА.
- 4) Постепенно увеличивая величину дифференциального тока регулятором, зафиксировать значение тока, при котором произошло срабатывание УЗО.
- 5) Вычислить значение отключающего дифференциального тока четырехполюсного УЗО .
- 8) Провести опыт несколько раз, полученные данные занести в таблицу 7 и на основе этих данных построить график  $I_{\Delta n} = f(t)$ .
- 9) После выполнения опыта:
  - а) регулятор дифференциального тока увести в положение минимального тока;
  - б) переключатели установить в нулевое положение;
  - в) выключить четырехполюсное УЗО;
  - г) нажать кнопку «Стоп».

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит принцип защиты УЗО?
2. Привести основные параметры УЗО.
3. Какие параметры УЗО характеризуют его качество и надежность
4. Указать область применения УЗО различных типов.
5. Объяснить понятие: «комбинированное УЗО».
6. Дать сравнительную характеристику УЗО, «зависимых» и «независимых» от напряжения сети.
7. Как зависит выбор уставки УЗО от значений «фоновый» тока утечки в цепи?

### Лабораторная работа №5

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТОРОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить конструкции, принцип действия контакторов постоянного и переменного тока. Исследовать схемы включения контакторов и снять их параметры.

#### **ЗАДАЧИ РАБОТЫ:**

1. Ознакомиться с устройством и конструкцией контакторов постоянного и переменного тока.
2. Экспериментально определить параметры контакторов постоянного и переменного тока.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контакторы – это аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений силовых электрических цепей до 1000В в нормальных режимах работы.

В зависимости от рода привода контактной системы различают контакторы:

- 1) электромагнитные, контактная система которых приводится в действие при помощи электромагнита;
- 2) пневматические, контактная система которых приводится в действие при помощи сжатого воздуха;
- 3) гидравлические, контактная система которых приводится в действие при помощи жидкости.

Электромагнитные контакторы получили наибольшее распространение и являются основными силовыми аппаратами современных схем автоматизированного электропривода. Они предназначены для работы в сетях:

- постоянного тока – силовые и ускорения;
- переменного тока промышленной частоты (50-60 Гц);
- переменного тока повышенной частоты (до 10000 Гц).

Магнитная система (привод) контактора может по роду тока отличаться от сети (главных контактов). Например, она может быть постоянного тока у контакторов переменного тока, переменного тока промышленной частоты или постоянного тока у контакторов на повышенную частоту.

По характеру размыкания цепи различают *контакторы линейные*, которые осуществляют замыкание и размыкание различных элементов цепей, и *контакторы ускорения*, которые служат для переключения ступеней пускового сопротивления.

Контакторы состоят из системы главных контактов, дугогасительной и электромагнитной систем (привода) и вспомогательных контактов. В контакторах ускорения с выдержкой времени имеется еще устройство для создания этой выдержки.

Главные контакты осуществляют замыкание и размыкание силовой цепи. Они должны быть рассчитаны на длительное протекание номинального тока и на большое число включений и отключений при большой частоте.

В зависимости от нормального положения главных контактов контакторы различают с замыкающими, размыкающими и смешанными контакторами. Нормальным считают положение контактов, когда втягивающая катушка контактора не возбуждена и освобождены все имеющиеся механические защелки.

Главные контакты могут выполняться рычажного или мостикового типа. Рычажные контакты предполагают поворотную подвижную систему, мостиковые – прямоходовую.

Дугогасительная система обеспечивает гашение электрической дуги, возникающей при размыкании главных контактов. Способы гашения дуги и конструкции дугогасительных систем рассматриваются ниже. Гашение дуги в контакторах постоянного тока

Наибольшее распространение для гашения дуги в контакторах получил способ магнитного дутья. Сущность способа магнитного дутья заключается в следующем. Электрическая дуга, возникающая между размыкающими контактами и представляющая собой поток заряженных частиц, перемещается под действием магнитного поля, создаваемого электромагнитной дугогасительной катушкой, питаемой отключаемым током. Опорные точки дуги быстро перемещаются на скобу, соединенную с неподвижным контактом, и на защитный рог подвижного контакта. В результате увеличения длины дуги и интенсивного охлаждения ее за счет быстрого движения в воздухе сопротивление дуги резко возрастает, что ведет к быстрой деионизации дугового промежутка и гашению дуги. В значительной степени гашению дуги способствует обдувание и, как следствие, охлаждение потоками воздуха, возникающими в дугогасительной камере под действием высокой температуры дуги.

#### Гашение дуги в контакторах переменного тока

Для гашения дуги переменного тока используются следующие системы:

1. Магнитное гашение дуги с помощью катушки тока и дугогасительной камеры с продольной или лабиринтной щелью.

2. Дугогасительная камера с деионной решеткой из стальных пластин.

В первом случае как и в контакторах постоянного тока, гашение дуги происходит из-за растягивания дуги, увеличения ее сопротивления, охлаждения ее воздухом. Недостатками этого метода гашения дуги являются: увеличение потерь в контакторе из-за потерь в стали магнитной системы дугогашения, что ведет к повышению температуры контактов, расположенных вблизи дугогасительного устройства, и возникновению больших перенапряжений из-за принудительного обрыва тока. Система гашения дуги магнитным дутьем получила распространение в контакторах, работающих в тяжелых режимах (при большой частоте включений).

Широкое распространение получила дугогасительная камера с деионной решеткой из стальных пластин. Дуга, возникающая после расхождения контактов, втягивается в клиновидный паз параллельно расположенных стальных пластин. В верхней части дуга пересекается пластинами и разбивается на ряд коротких дуг. При вхождении дуги в решетку возникают силы, тормозящие движение дуги. Для уменьшения этих сил дуга, смещенная относительно середины решетки, вначале пересекает пластины с нечетными номерами, а потом уже с четными. После того как дуга втянется в решетку и разобьется на ряд коротких дуг, в цепи возникает дополнительное падение напряжения на каждой паре электродов. Это падение напряжения составляет

20...30В, что приводит к уменьшению восстанавливающегося напряжения. Для того, чтобы пластины решетки не подвергались коррозии, они покрываются тонким слоем меди или цинка. При частых включениях и отключениях пластины сильно нагреваются и возможно даже их прогорание. Поэтому число включений и отключений для таких контакторов ограничивается до 600 в час.

В новых контакторах для повышения их отключающей способности наряду с магнитным дутьем и деионной решеткой применяется двух-кратный (иногда больше) разрыв на фазу. Такие способы дают возможность обеспечить надежную работу контакторов переменного тока на напряжении 660В.

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Внимательно прочитать инструкцию по работе, изучить назначение и принцип действия контакторов постоянного и переменного тока.

2. Ознакомиться с устройством и конструкцией контакторов постоянного и переменного тока, представленных на лабораторном стенде. Записать их типы и основные технические характеристики.

3. Собрать схему рис.16 и определить следующие параметры контактора постоянного тока:

$U_{cp}$  – напряжение срабатывания контактора, т.е. то минимальное напряжение, которое будучи подано на втягивающую катушку контактора, вызывает его срабатывание;

$I_{cp}$  – ток срабатывания контактора;

$I_{cp.n}$  – номинальный ток срабатывания контактора при номинальном напряжении;

$I_n$  – номинальный ток втягивающей катушки;

$S_n$  – мощность, потребляемую катушкой при номинальном напряжении;

$U_B$  – напряжение возврата, то максимальное напряжение, при котором контактор размыкает свои силовые контакты, т.е. возвращается в исходное положение;

$K_B = U_B / U_{cp}$  – коэффициент возврата.

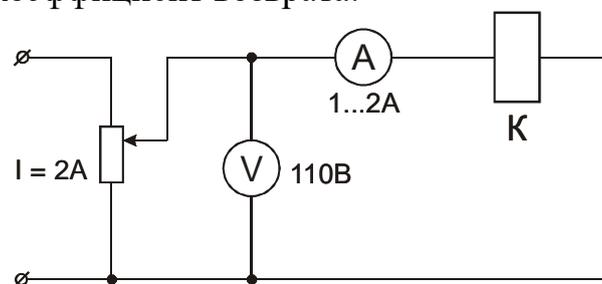


Рис. 16. Схема для исследования контактора постоянного тока

4. Установить разницу между  $I_n$  и  $I_{cp.n}$ , найти их кратность  $K = I_{cp.n} / I_n$ .

5. Собрать схему рис.17 и определить параметры контактора переменного тока:

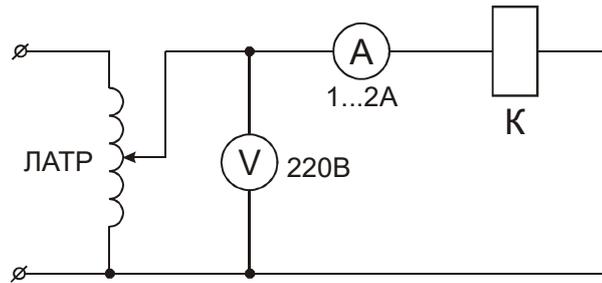


Рис. 17 Схема для исследования контактора переменного тока

$U_{\text{ср}}$  – напряжение срабатывания;

$I_{\text{ср}}$  – ток срабатывания;

$I_{\text{ср.н}}$  – номинальный ток срабатывания при номинальном напряжении;

$I_{\text{н}}$  – номинальный ток втягивающей катушки;

$U_{\text{в}}$  – напряжение возврата;

$K_{\text{в}}$  – коэффициент возврата;

$P_{\text{н}}$  – номинальная активная мощность, потребляемая катушкой

$$P_{\text{н}} = I_{\text{н}}^2 \cdot R.$$

Активная мощность при  $I_{\text{ср.н}}$

$$P_{\text{ср.н}} = I_{\text{ср.н}}^2 \cdot R.$$

Номинальная вольтамперная мощность катушки

$$S_{\text{н}} = I_{\text{н}} \cdot U_{\text{н}}.$$

Вольтамперная мощность катушки при

$$S_{\text{ср.н}} = I_{\text{ср.н}} \cdot U_{\text{н}}.$$

$P_{\text{н}}$ ,  $P_{\text{ср.н}}$ ,  $S_{\text{н}}$ ,  $S_{\text{ср.н}}$  – после измерения активного сопротивления катушки определить расчетным путем.

6. Установить разницу между  $I_{\text{н}}$  и  $I_{\text{ср.н}}$ , найти их кратность  $K = I_{\text{ср.н}} / I_{\text{н}}$ .

ПРИМЕЧАНИЕ:  $I_{\text{ср.н}}$  определять при неподвижных контактах.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Назначение и принцип действия контакторов постоянного и переменного тока.
2. Основные способы гашения дуги в контакторах.
3. Схемы включения контакторов.
4. Результаты измерений и расчетов.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Назначение контакторов постоянного и переменного тока.
2. Классификация контакторов.
3. Опишите конструкцию контакторов постоянного тока.
4. Опишите методику определения параметров контакторов.