

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электроснабжения

ЭЛЕМЕНТЫ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Методические указания к лабораторным работам

Факультет электроэнергетический

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника.

Профиль подготовки: электроснабжение

Вологда
2014

УДК 621.316.36

Элементы устройств релейной защиты: методические указания к лабораторным работам.- Вологда: ВоГУ, 2014.- 36 с.

Дано описание лабораторных работ по курсу «Элементы устройств релейной защиты». Изложена методика выполнения работ и приведены сведения по основным вопросам теории электрических аппаратов: электромеханических реле, коммутационных аппаратов и трансформаторов тока. Рассмотрены особенности работы указанных аппаратов в различных режимах.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составители: А.В. Беляев, ст. преподаватель;
Н.Д. Поздеев, канд. техн. наук, доцент

Рецензент А.Н.Андреев, канд. техн. наук, доцент кафедры управляющих
и вычислительных систем.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Задачей дисциплины «Элементы устройств релейной защиты» является изучение принципов действия наиболее распространенных типов электрических аппаратов, используемых в устройствах релейной защиты и автоматики электрических систем. В данном курсе изучаются физические явления, происходящие в электрических аппаратах, устанавливаются соотношения между отдельными параметрами, характеризующими различные режимы работы аппаратов. Часто математическое описание этих явлений и соотношений сложно и недостаточно точно отражает реальные процессы, поэтому важная роль при изучении курса отводится экспериментальным исследованиям электрических аппаратов в лабораторных условиях. Лабораторные испытания аппаратов способствуют более глубокому усвоению студентами теоретического курса и дополняют его.

Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ после собеседования по их содержанию, в процессе которого студенты должны продемонстрировать преподавателю знание цели работы, основных теоретических положений, устройства лабораторной установки и методики выполнения работ.

По каждой выполненной работе составляется отчет, который выполняется в соответствии с действующими требованиями ЕСКД.

Специфика объектов исследования и оборудования лаборатории требует от студентов соблюдения правил техники безопасности. Перед началом выполнения работ каждый студент должен ознакомиться с этими правилами и расписаться в контрольном листе инструктажа студентов по технике безопасности.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИССЛЕДУЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

1.1. Электромагнитные реле тока и напряжения

Реле – это автоматические устройства, реагирующие на изменение контролируемой ими величины (или направления) какого-либо параметра и срабатывающие, когда значение этого параметра отклоняется от наперед заданного значения (уставки) этого параметра.

Для построения электромагнитных реле используются следующие электромеханические системы:

- с втягивающим якорем;
- с поворотным якорем;
- с поперечным движением якоря.

Реле можно разделить на следующие функциональные элементы:

- Воспринимающий орган (вход) электромеханических реле выполнен в виде катушки электромагнитного, индукционного, электродинамического, индукционно-динамического или магнитоэлектрического механизма.
- Исполнительный орган (выход) выполняется в виде электрических контактов. У электронных реле входной сигнал подается на первичные катушки (обмотки) магнитных сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса, на полупроводниковые схемы сравнения электрических величин или на управляющие электроды активных полупроводниковых элементов (транзисторов, тиристоров, интегральных микросхем).

Исполнительный орган может быть выполнен в виде контактов электромагнитных, магнитоэлектрических, поляризованных реле или магнитоуправляемых контактов – герконов, либо с помощью бесконтактных элементов – транзисторов и тиристоров. При срабатывании реле с контактами последние замыкаются или размыкаются. В случае срабатывания бесконтактных реле меняется скачком выходной сигнал, например, ток в цепи или напряжение.

По назначению реле подразделяют на измерительные (основные) и логические (вспомогательные).

По роду контролируемой величины их подразделяют на реле тока, напряжения, направления мощности, сопротивления и т. п. Реле могут контролировать и неэлектрические величины, например, температуру масла трансформаторов (температурные реле), давление газов (газовые реле) и т.п. К измерительным реле предъявляют повышенные требования по чувствительности, точности работы, коэффициенту возврата, собственному потреблению.

По способу включения воспринимающего органа измерительные реле делят на первичные и вторичные. Катушки первичных реле включают непосредственно в защищаемую цепь, катушки вторичных реле включают во вторичные обмотки измерительных трансформаторов.

Принцип действия электромагнитных реле основан на взаимодействии магнитного потока, создаваемого электрическим током, протекающим по

катушке реле, с подвижным якорем. На рис.1.1 схематично показано простейшее электромагнитное реле тока. Оно содержит: магнитопровод 1; катушку 2; подвижный якорь 3, отделенный от магнитопровода воздушным зазором; возвратную пружину 4 и контакты 5.

Ток i_p , протекая в катушке, создает в магнитной цепи поток Φ . Этот поток намагничивает ферромагнитные элементы магнитной цепи, и между магнитопроводом и подвижным якорем возникает сила притяжения. При определенном токе, называемом током срабатывания, эта сила преодолевает силу противодействия возвратной пружины, и подвижный якорь притягивается к магнитопроводу. При этом контакты реле замыкаются (реле срабатывает). Возврат реле в исходное состояние происходит при снижении тока. Ток, при котором сила тяги электромагнита реле становится меньше силы противодействия пружины, а якорь реле возвращается в исходное состояние, называется током возврата реле.

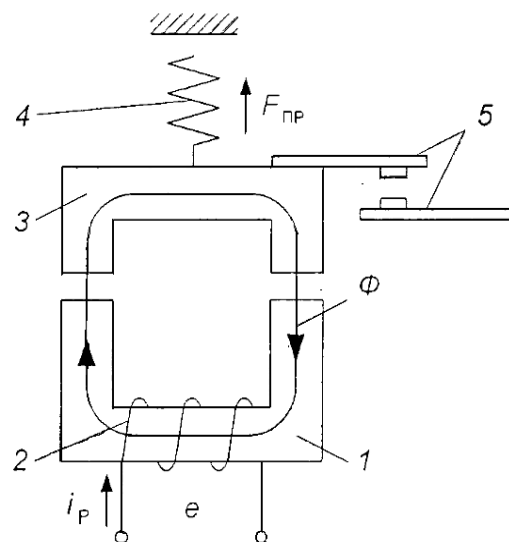


Рис.1.1. Электромагнитное реле

Математическое описание работы электромагнитного реле можно получить путём следующих рассуждений. При перемещении якоря из одного положения в другое на расстояние $d\delta$ производится работа

$$dA = F \cdot d\delta,$$

где F – сила, действующая на якорь.

Эта работа численно равна энергии, которую отдает источник тока на перемещение якоря,

$$W = \int i_p \cdot e \cdot dt.$$

Здесь i_p и e – ток реле и э.д.с. на зажимах катушки. Учитывая, что $e = -\omega \frac{d\Phi}{dt}$, можно записать:

$$W = -\int i_p \cdot \omega \cdot d\Phi,$$

где ω – число витков катушки.

По закону Ома для магнитных цепей с учетом соотношения параметров магнитной цепи, имеем:

$$\Phi = \frac{wi_P}{R_\delta},$$

где R_δ – магнитное сопротивление воздушного зазора ($R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 \cdot S}$);

δ – длина воздушного зазора; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-3} \frac{Гн}{м}$ – магнитная постоянная;

S – площадь поперечного сечения магнитной цепи.

Тогда энергия, необходимая для перемещения якоря, может быть определена так:

$$W = -\frac{(\omega \cdot i_P)^2}{2R_\delta}.$$

Отсюда, сила тяги, действующая на подвижный якорь, равна:

$$F = \frac{dA}{d\delta} = \frac{dW}{d\delta} = \frac{(\omega \cdot i_P)^2}{2} \cdot \frac{\mu_0 S}{\delta^2} = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S}. \quad (1.1)$$

Используя выражение (1.1), которое часто называют формулой Максвелла, можно определить ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = \frac{\delta_{II}}{w} \cdot \sqrt{\frac{F_{ПРИ}}{\mu_0 S}}, \quad (1.2)$$

где δ_{II} и $F_{ПРИ}$ – длина зазора и сила противодействия пружины в исходном состоянии якоря.

Ток возврата реле определяется аналогично:

$$I_B = \frac{\delta_{II}}{w} \cdot \sqrt{\frac{F_{ПРП}}{\mu_0 S}}. \quad (1.3)$$

Здесь δ_{II} и $F_{ПРП}$ – длина зазора и сила противодействия пружины, соответствующие притяннутому состоянию якоря.

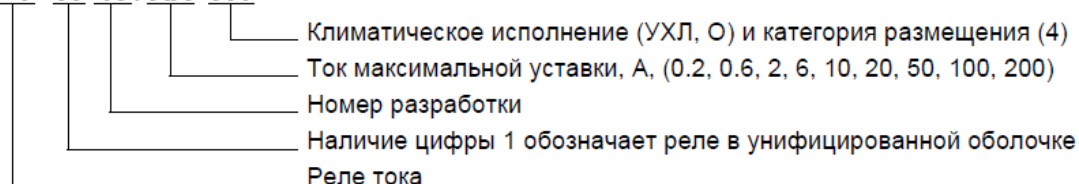
Тогда, для коэффициента возврата реле, имеем:

$$\kappa_B = \frac{I_B}{I_{CP}} = \frac{\delta_{II}}{\delta_{II}} \cdot \sqrt{\frac{F_{ПРП}}{F_{ПРИ}}}.$$

Наиболее распространенным видом электромагнитных реле тока являются реле серии РТ-40.

Структура условного обозначения реле РТ-40

РТ - X 40 / XX - X4



Для разных типов максимальный ток уставки имеет величину от 0,2 А до 200 А. Погрешность тока срабатывания по отношению к уставке не превышает $\pm 5\%$. Время срабатывания реле не более 0,1 с при токе, равном 1,2 тока срабатывания и не более 0,03 с при токе в три раза большем тока срабатывания (уставки). Время возврата не более 0,035 с. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты, рассчитанные на ток до 2 А, способные коммутировать нагрузку переменного тока (250 В, $\cos\varphi = 0,5$) мощностью до 300 ВА и постоянного тока (250 В) до 60 Вт. Коммутационная износостойкость 2000 циклов.

В реле переменного тока РТ-40 использована электромагнитная система с поперечным движением якоря (рис.1.2). Эта магнитная система состоит из П – образного шихтованного магнитопровода 1, Г – образного якоря 3, вращающегося на двух полюсах и двух катушек 2, размещенных на магнитопроводе.

Якорь реле удерживается в исходном состоянии с помощью спиральной пружины 4, один конец которой связан с якорем, а другой – с указателем уставки 5. При повороте указателя уставки изменяется ток срабатывания реле. Необходимое положение указателя определяется по делениям, нанесенным на шкале 6.

На якоре закреплена пластмассовая колодка 7 с подвижным контактным мостиком. Неподвижные контакты установлены на нижней рамке 8.

В верхней части реле размещен демпфирующий барабан 9, который жестко связан с якорем. Барабан имеет внутри радиальные перегородки и заполнен сухим кварцевым песком. При ускорении подвижной части реле песчинки приходят в движение, и часть сообщенной якорю энергии тратится на преодоление сил трения между песчинками.

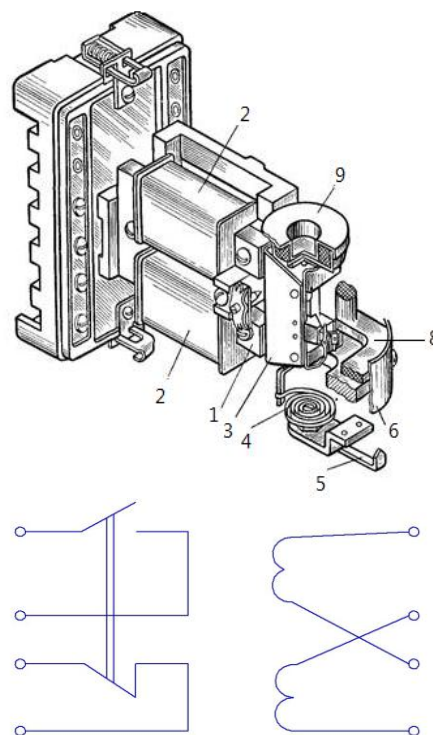


Рис.1.2. Реле тока РТ-40
и схема его внутренних соединений

Это позволяет значительно снизить вибрацию подвижной системы от переменной составляющей силы тяги электромагнита и уменьшить дребезг контактов при срабатывании реле.

Перестановкой перемычек на зажимах катушек можно соединять их последовательно или параллельно и, тем самым, изменять уставки реле в два раза. Числа, нанесенные на шкале, соответствуют последовательному соединению обмоток. При параллельном соединении умножаются на 2.

Все элементы реле смонтированы на рамке из алюминиевого сплава, укрепленной на пластмассовом цоколе, и закрыты прозрачным колпаком.

На базе электромагнитной системы реле РТ-40 выпускаются электромагнитные реле напряжения серии РН-50. Они предназначены для контроля напряжения в электрических цепях, поэтому их выполняют с большим входным сопротивлением. Это достигается путем применения многовитковых катушек и добавочных резисторов.

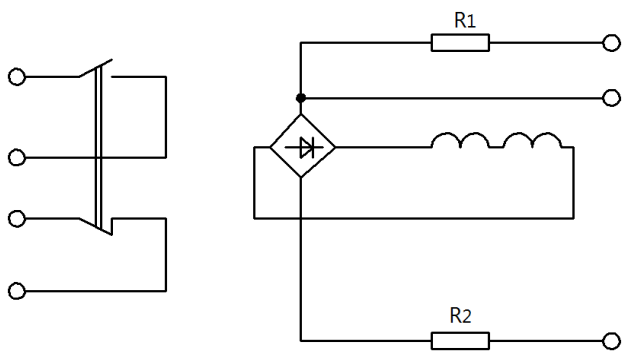


Рис.1.3. Схема внутренних соединений реле напряжения

Вибрация якоря в реле напряжения снижается не с помощью демпфирующего барабана, как в РТ-40, а за счет специального способа включения катушек (рис.1.3).

Катушки соединены последовательно и подключаются к внешним цепям через выпрямительный мост и добавочные резисторы. Реле имеют два диапазона уставок. В диапазоне меньших уставок

тавок реле подключается к внешним цепям через добавочный резистор R1, а в диапазоне больших уставок – через последовательно соединенные резисторы R1 и R2.

1.2. Индукционные реле

Работа индукционных реле основана на взаимодействии магнитных полей неподвижных обмоток (по которым протекает контролируемый ток) с индуктированными или в подвижных элементах реле вихревыми токами. Поэтому индукционные реле применяются только в цепях переменного тока.

Основными элементами индукционной системы реле являются: магнитопровод 1 (рис.1.4 а) с размещенной на нем обмоткой 2; вращающийся диск 3 из немагнитного проводящего материала, размещенный между полюсами магнитопровода; два короткозамкнутых витка 4, каждый из которых охватывает часть полюса магнитопровода.

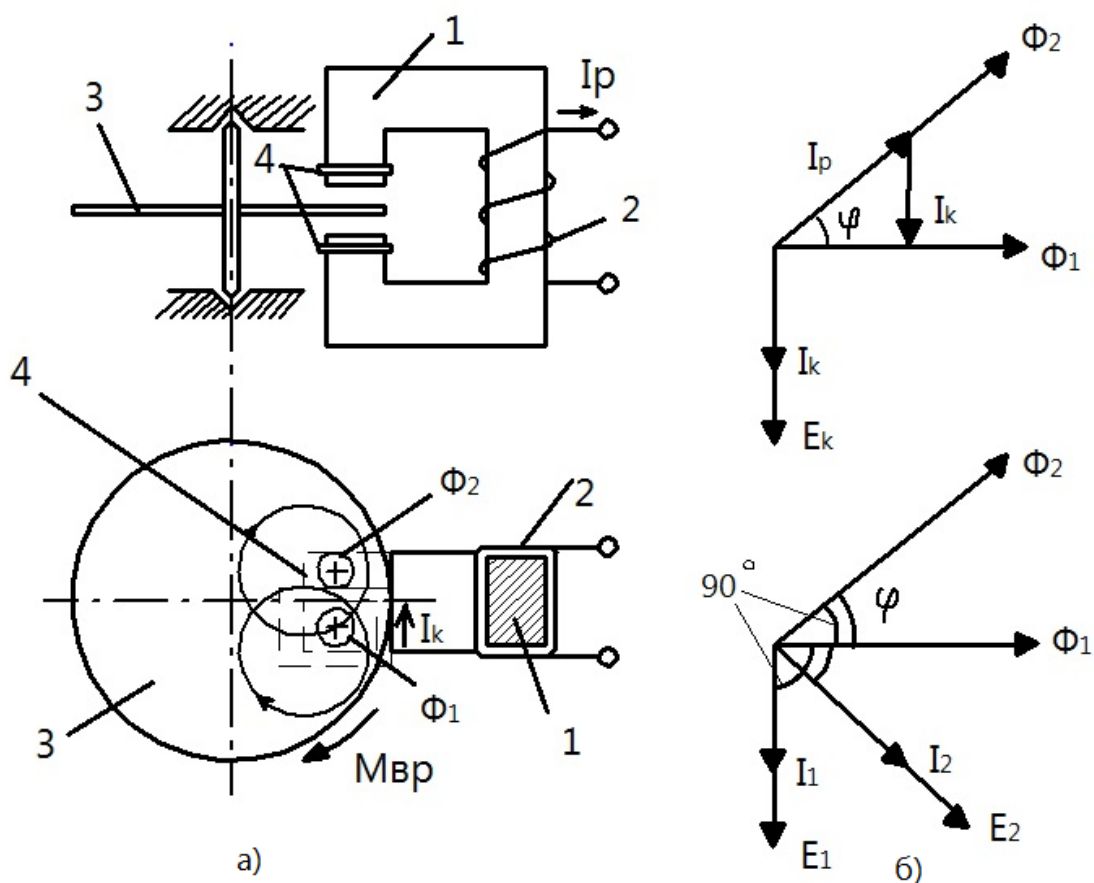


Рис.1.4. Индукционное реле с вращающимся диском(а) и векторная диаграмма, поясняющая принцип его действия(б)

В индукционных реле с вращающимся диском магнитный поток, созданный протекающим по катушке током, расщепляется на два потока, сдвинутых пространственно и по фазе. Это осуществляется следующим образом. Каждый полюс электромагнита разделяется на две части, одна из которых охватывается короткозамкнутым витком (экраном). Через экранированную часть полюсов проходит поток Φ_1 , а через неэкранированную – Φ_2 .

Поток Φ_1 индуцирует в короткозамкнутых витках э.д.с. E_k , отстающие от него на угол 90° . Под действием этих э.д.с. в витках протекают токи I_k , которые совпадают по фазе с E_k (рис.1.4б). Поток Φ_1 определяется током намагничивания $I_{нам}$ и, практически, совпадают с ним по фазе:

$$I_{нам} = I_{гp} + I_k.$$

Здесь все токи приведены к числу витков катушки реле. $I_{гp}$ – это часть тока в катушке реле, обуславливающая поток Φ_1 .

Поток Φ_2 , проходящий через неэкранированные части полюсов, определяется только током в катушке реле, а точнее – частью этого тока ($I_{гp}$).

Поток Φ_1 и Φ_2 , пронизывая диск, индуцируют в нем э.д.с., под действием которых в диске циркулируют вихревые токи, соответственно, I_1 и I_2 .

Взаимодействие потока Φ_1 с током I_2 и потока Φ_2 с током I_1 приводит к появлению вращающего момента, который действует на диск:

$$M_{BP} = k \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin \varphi,$$

где k – постоянный коэффициент, определяемый параметрами индукционной системы; φ – угол сдвига по фазе.

Так как потоки Φ_1 и Φ_2 пропорциональны току в катушке реле, а угол φ – постоянная величина, то:

$$M_{BP} = k_P \cdot I_P^2,$$

где k_P – постоянный коэффициент.

Как видно, вращающий момент, а, следовательно, и скорость вращения диска пропорциональны квадрату тока в катушке реле. Момент направлен от опережающего потока Φ_2 в сторону отстающего Φ_1 .

Для получения зависимой от тока выдержки времени срабатывания реле в индукционных реле используется специальный механизм, состоящий из червяка, связанного с диском, и зубчатого сегмента с толкателем. При определенном токе в обмотке реле происходит зацепление зубчатого сегмента с вращающимся червяком. После того как диск сделает заданное число оборотов, толкатель производит переключение контактов.

Время срабатывания реле определяется так:

$$t_{cp} = \frac{fp}{I_P^2},$$

где fp – постоянный коэффициент, определяемый параметрами реле.

Однако при больших токах в обмотке реле магнитопровод насыщается. Повышение тока I_P в этих условиях не вызывает увеличения магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 . В результате вращающий момент, скорость вращения диска и время срабатывания реле остаются неизменными.

Таким образом, индукционные реле имеют ограниченно зависимую характеристику, общий вид которой показан на рис.1.5.

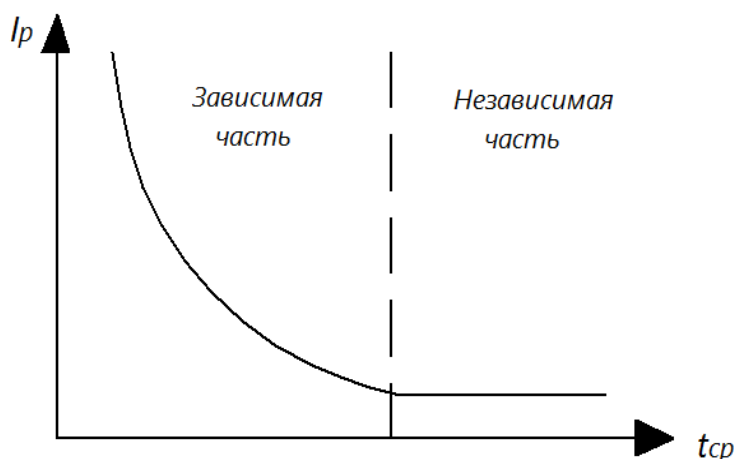


Рис.1.5. Время-токовая характеристика индукционного реле.

Отечественной промышленностью выпускаются индукционные реле серий РТ-80 и РТ-90 (рис.1.6). Реле содержат индукционный элемент с ограниченно зависимой характеристикой времени срабатывания и электромагнитный элемент, действующий мгновенно и называемый отсечкой.

Совместная работа этих двух элементов позволяет получить характеристику выдержки времени, показанную на рис.1.7, весьма удобную в эксплуатации. При токах, которые больше тока срабатывания электромагнитного элемента $I_{ср}$, реле работает без выдержки времени, отсекая характеристику индукционного элемента. При токах, меньших $I_{ср}$, работает индукционный элемент реле с ограниченно зависимой выдержкой времени.

Магнитопровод реле является общим для индукционного и электромагнитного (рис.1.6а). Он имеет две ветви. Основная ветвь: магнитопровод с обмоткой, короткозамкнутые витки 2, алюминиевый диск 3 и тормозной постоянный магнит 6 образуют индукционный элемент. Другая ветвь магнитопровода – магнитный шунт и подвижный якорь образуют магнитную цепь электромагнитного элемента.

При появлении тока в обмотке 19 возникает электромагнитная сила F_z , действующая на диск 3, который вращается на оси в подшипниках, установленных на подвижной рамке 4. Рамка имеет свою ось 16, укрепленную на корпусе реле. Пружина 5 притягивает рамку к упору 17. На ось диска насажен червяк 7, вращающийся вместе с осью и диском. Червяк и зубчатый сегмент 8 воздействуют на контакты реле 12. Для срабатывания реле необходимо, чтобы червяк сцепился с зубчатым сегментом и поднял его до верхнего положения, при котором контакты реле замыкаются. Электромагнитной силе F_z (рис.1.6б) противодействует сила F_n пружины 5. При токе реле, равном 20-30% тока срабатывания индукционного элемента $I_{ср}$, и под влиянием силы F_z диск начинает вращаться. При этом в диске наводятся токи «резания», которые во взаимодействии с магнитным потоком постоянного магнита 6 создают силу F_m , препятствующую вращению диска. При токе реле $I_p > I_{ср}$ и электромагнитный момент, создаваемый силами F_z и F_m , преодолевает момент, определяемый силой пружины, и рамка перемещается, обеспечивая сцепление червяка 7 с зубчатым сегментом 8. Увеличение момента противодействия пружины 5 при ее растяжении компенсируется нарастающей дополнительной силой F'' притяжения специальной скобы 11 к электромагниту 1. После сцепления червяка с сегментом, движение рамки прекращается, но диск продолжает вращаться и перемещать сегмент. Рычаг сегмента поднимает коромысло 9 и замыкает контакты реле 12. Вследствие уменьшения зазора якорь притягивается к электромагниту, обеспечивая надежное замыкание контактов.

При уменьшении тока реле до уровня тока возврата момент пружины преодолевает эквивалентный электромагнитный момент, и рамка возвращается в исходное состояние, расцепляя червяк с сегментом. Рычаг сегмента и якорь также возвращаются в исходное состояние, размыкая контакты реле.

Ток срабатывания регулируется изменением числа витков обмотки реле 19 при помощи винта 14, ввинчиваемого в гнезда планки 15. Время срабатывания реле регулируется изменением начального положения сегмента винтом 13.

Ток срабатывания электромагнитного элемента регулируется винтом 16, изменяющим воздушный зазор 10 между якорем и электромагнитом. Элек-

тромагнитный элемент срабатывает при токах, превышающих ток срабатывания индукционного элемента в 4-8 раз.

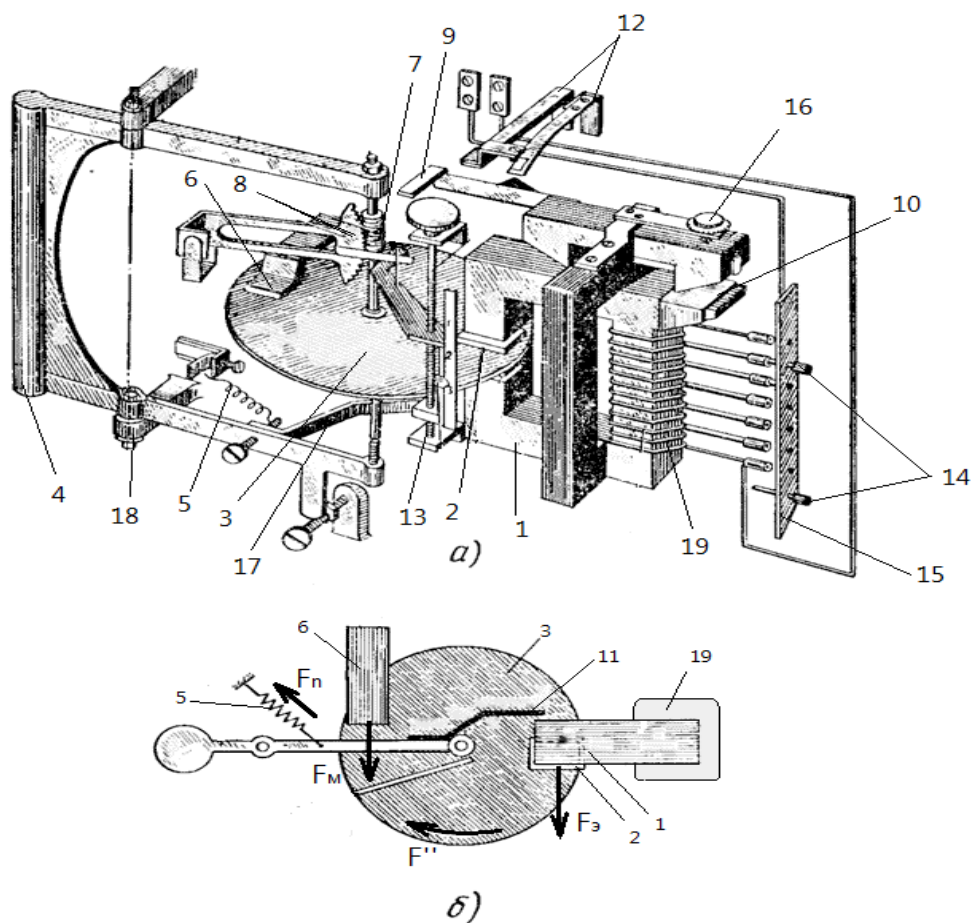


Рис.1.6. Общий вид реле серии РТ-80(а) и схема действия сил в индукционном механизме (б)

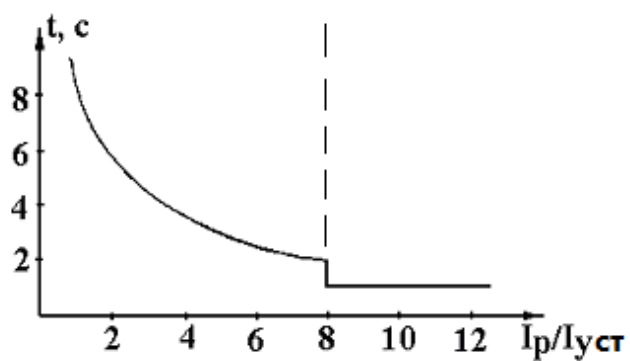


Рис.1.7. Характеристика реле РТ-81

1.3. Вспомогательные реле

Вспомогательными реле принято называть реле, предназначенные для выполнения логических операций и для согласования отдельных узлов систем защиты и автоматики по току и по времени действия. К вспомогательным реле, как правило, относятся промежуточные реле, реле времени и указательные реле.

Промежуточные реле предназначены для одновременного замыкания или размыкания нескольких независимых цепей, а также для коммутации цепей управления с большими токами. Промежуточные реле для коммутации нескольких, не связанных друг с другом цепей, обычно имеют несколько групп контактов, способных коммутировать мощности 50-200 Вт. Для управления выключателями выпускаются реле, рассчитанные на коммутацию цепей мощностью 1500-2000 Вт. Обмотки промежуточных реле, как правило, потребляют мощность 3-6 Вт.

Наиболее распространенные промежуточные реле выполнены с использованием магнитной системы клапанного типа.

На рис.1.8 показано промежуточное реле РП-210. Реле содержит магнитопровод 1, катушку 2, якорь 3, подвижный рычаг 4, ось якоря 5, изолирующую тягу 6, подвижные контакты 7. При подключении катушки к источнику питания, якорь притягивается к полюсу электромагнита и через рычаг и тягу воздействует на контакты.

Реле времени предназначены для создания выдержек времени срабатывания устройств релейной защиты и автоматики.

Наибольшее распространение получили реле времени с часовыми механизмами (рис.1.9). При подаче напряжения питания на обмотку реле 1, якорь 3 втягивается, палец 2 освобождается, и под действием пружины 4 происходит поворот зубчатого сектора 5. Шестерня 8 и подвижный контакт 9 поворачиваются, и, с задержкой по времени, контакты 10 замыкаются. Равномерность поворота подвижного контакта обеспечивается анкерным механизмом 12. Выдержки времени устанавливаются путем перемещения контактов 10 по шкале 11, отградуированной в секундах. Контакты мгновенного действия 6, 7 переключаются мгновенно при втягивании якоря. Реле времени ЭВ-100 выпускают для работы на постоянном оперативном токе, реле времени ЭВ-200 - на переменном. Различные модификации реле времени позволяют

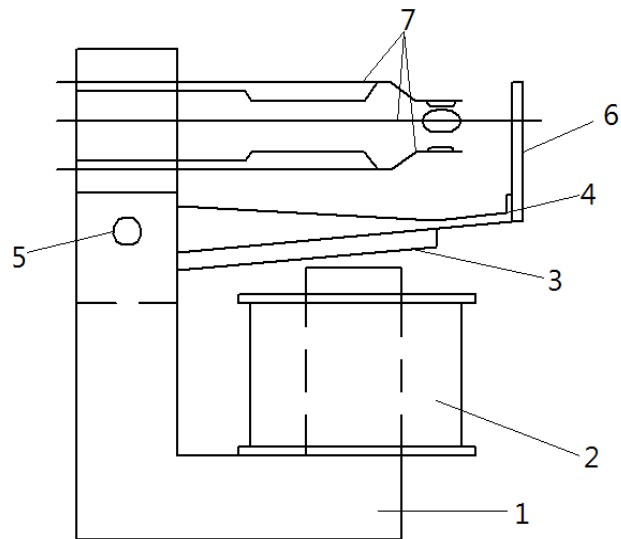


Рис.1.8. Промежуточное реле РП-210

устанавливать выдержку времени от 0,1 до 20 с. Более надежным для цепей с переменным оперативным током является реле времени серии РВМ с синхронным микродвигателем.

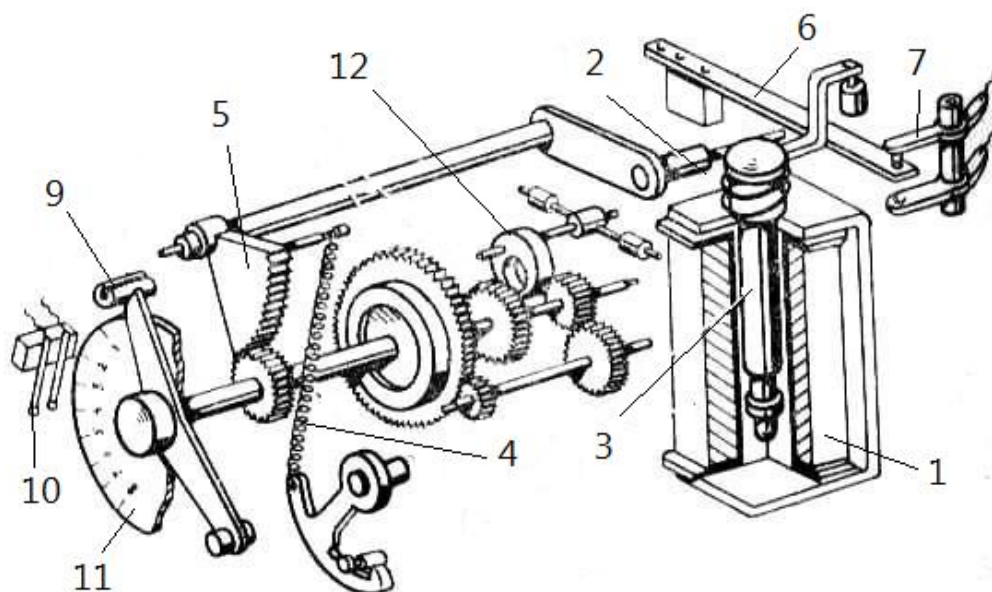


Рис.1.9. Реле времени серии ЭВ

Указательные реле служат для фиксации действия защиты в целом или каких-либо ее элементов. Наиболее часто их выполняют на электромагнитном принципе для последовательного и параллельного включения. Чаще всего применяются указательные реле, обмотки которых включаются последовательно с обмотками того аппарата, действие которого контролируется. При протекании тока по обмоткам этого аппарата, например, электромагнита отключения УАТ высоковольтного выключателя, он протекает также и по обмотке указанного реле, которое при этом срабатывает. Реле для последовательного включения снабжается токоведущей катушкой, а для параллельного – катушкой, рассчитанной на подключение к источнику э.д.с.

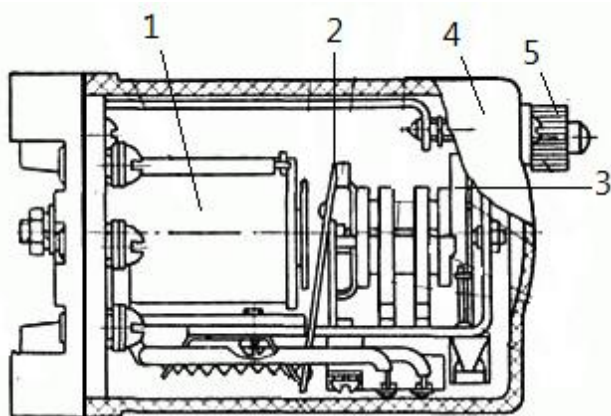


Рис.1.10. Указательное реле РУ-21

На рис.1.10 показан общий вид указательного реле типа РУ-21. Реле работает следующим образом. При прохождении тока по обмотке 1, якорь 2 притягивается, освобождая флажок (блинкер) 3. Флажок падает под действием собственного веса и занимает положение, при котором он виден через смотровое окно 4. Возврат флажка в исходное положение производится нажатием на кнопку 5.

Основная номенклатура выпускаемых электромеханических реле следующая:

Токовые реле:

- максимальные (РТ-40,140, РТ-80);
- дифференциальные (РНТ-565, ДЗТ-11);
- с повышенной чувствительностью (РТЗ-51);
- обратной последовательности (РТФ-8,9);
- статические (электронные) максимального тока (РСТ-11,12,13,14);
- статические (электронные) дифференциальные (РСТ-15,16,23).

Реле напряжения:

- минимального (РН-54) и максимального (РН-53) напряжения;
- нулевой последовательности (РНН-57);
- обратной последовательности (РНФ-1м);
- статические (электронные) (РСН-11,12,18);
- статические (электронные) максимального и минимального напряжения (РСН-14,15,16,17).

Реле времени:

- электромагнитные (с часовым механизмом) (РВ-100,200, РВ- 01,РСВ-160,255);
- серийные (включаются непосредственно во вторичную цепь трансформатора тока) (РСВ-13);
- статические (электронные) (РСВ-01-1, РСВ-14).

Реле мощности (направления мощности) подразделяются на реле:

- электромагнитные (одостороннего и двухстороннего действия) (РБМ-170, РБМ-270);
- статические (электронные) (РМ-11,12);
- обратной последовательности (РМОП-2-1);
- статической мощности (РСМ-13).

Реле частоты:

- статической частоты (РСГ-11);
- разности частот (РГР-11).

Реле фазовые:

- сдвига фаз (РН-55);
- сдвига фаз и контроля напряжения (РСНФ-12).

Реле промежуточные:

- однопозиционные (серии РП);
- двухпозиционные (РПВ 8,9,11,12);
- повторного включения (РПВ-01,02).

1.4. Магнитный пускатель

Магнитными пускателями принято называть электрические аппараты, предназначенные для дистанционного прямого пуска, остановки и реверсирования асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, а также для защиты этих электродвигателей от повреждений при аварийных режимах работы.

Магнитный пускатель состоит из трех основных узлов:

- контактора с электромагнитом переменного тока;
- теплового реле;
- кнопочного пульта.

Эскиз магнитного пускателя типа ПАЕ представлен на рис.1.11. Контактник крепится к металлическому основанию 1. Магнитная система состоит из сердечника 8, якоря 7 и катушки 9. Сердечник и якорь выполнены из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга с целью уменьшения потерь на вихревые токи. На центральном стержне сердечника расположен короткозамкнутый виток 13 для снижения вибрации якоря. Контактная система состоит из неподвижных 2 и подвижных 3 мостиковых контактов и закрыта дугогасительной камерой 5. Подвижные контакты перемещаются вместе с траверсой 6 и прижимаются к неподвижным контактам во включенном состоянии контактной пружиной 4. Амортизирующие пружины 10 предназначены для смягчения удара якоря о неподвижный сердечник при включении, а пружина 12 – для отключения контактора. Тепловое реле 11 расположено в нижней части пускателя.

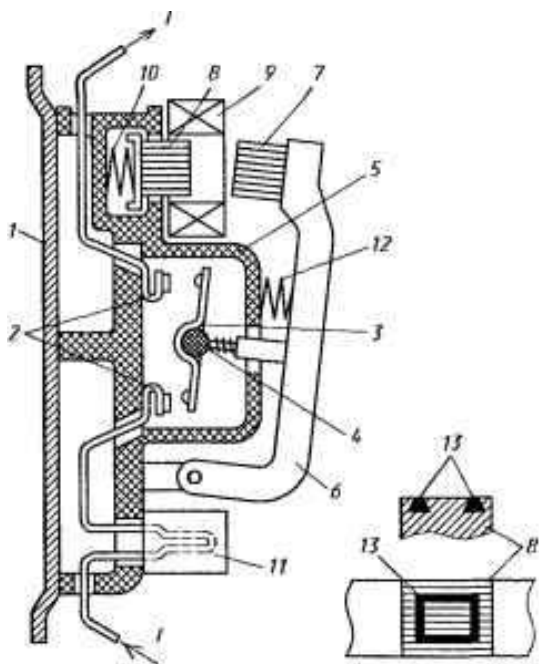


Рис.1.11. Конструктивная схема пускателя ПАЕ

Сила тока в катушке электромагнита определяется ее активным R_k и индуктивным X_k сопротивлениями. Активное сопротивление зависит, главным образом, от конструктивных параметров катушки и электропроводности обмоточного провода, а индуктивное сопротивление во многом определяется величиной воздушного зазора между якорем и сердечником. Индуктивное сопротивление минимально (обычно много меньше активного) при наибольшем воздушном зазоре, когда якорь находится в исходном положении, и максимально, когда якорь притянут к сердечнику (обычно много больше активного).

В связи с этим при подаче напряжения на катушку электромагнита через нее проходит пусковой ток, ко-

торый определяется активным сопротивлением катушки. По мере уменьшения зазора, при движении якоря, ток в катушке снижается. В притянутом состоянии якоря ток в катушке определяется полным (активным и индуктивным) сопротивлением катушки и, как правило, в несколько раз меньше пускового.

Тепловые реле магнитных пускателей обеспечивают защиту электродвигателей от перегрузки. Принцип действия этих реле основан на свойстве биметаллического элемента изгибаться при нагреве. Биметаллический элемент представляет собой двухслойную пластинку из металлов с разными температурными коэффициентами линейного расширения. При нагреве один слой металла существенно расширяется, а размеры второго слоя не изменяются. Если один конец пластинки жестко закреплен, то другой, свободный, при нагревании перемещается.

На рис.1.12а схематично показано тепловое реле. Биметаллическая пластина 1 упирается в верхний конец пружины 7. Нижний конец пружины связан с пластмассовой колодкой 4, которая может поворачиваться вокруг оси. В положении, изображенном на рисунке, движение пластины и верхнего конца пружины 7 влево ограничено упором 8. сила пружины 7 воздействует на колодку так, что она оказывается повернутой по часовой стрелке, а подвижный и неподвижный контакты 5 и 6 – замкнутыми.

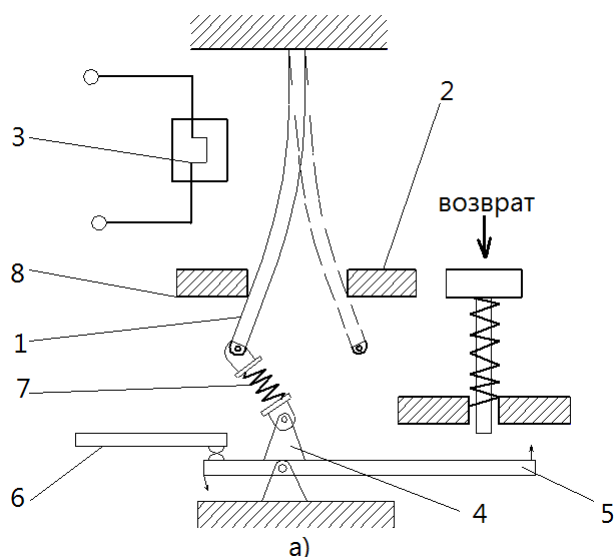


Рис.1.12.а. Механизм теплового реле

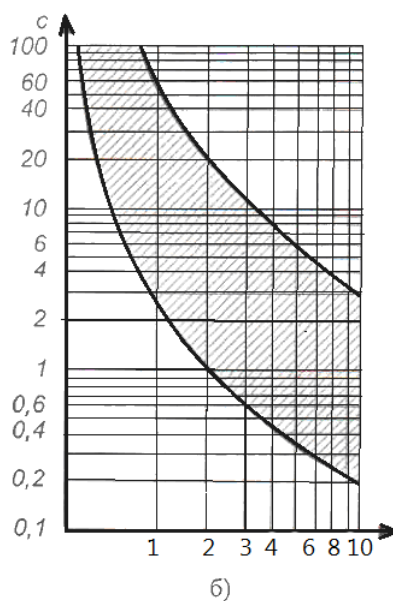


Рис.1.12.б. Время-токовая характеристика теплового реле

При протекании повышенного тока по нагревательному элементу 3 биметаллическая пластина нагревается, и ее нижний конец перемещается вправо. В результате верхний конец пружины также смещается вправо, и создаваемая ею сила воздействует на катушку так, что она повернется против часовой стрелки, а контакты разомкнутся. Упоры 2 и 8 ограничивают перемещение пластины. Возврат реле в исходное положение происходит, когда биметаллическая пластина остынет.

Зависимости времени срабатывания тепловых реле от кратности тока реле I_p по отношению к номинальному току реле $I_{ном}$ показаны на рис.1.12б. При малых токах время срабатывания велико, а с увеличением тока время срабатывания уменьшается.

На рис 1.13 показана схема нереверсивного магнитного пускателя. Главные контакты КМ1.1 – КМ1.3 предназначены для коммутации цепи питания нагрузки (электродвигателя). Последовательно с главными контактами включаются нагревательные элементы теплового реле КК. Катушка контактора подключается к сети через нормально-замкнутые контакты теплового реле и кнопки СТОП(SB1) и через нормально-разомкнутые контакты кнопки ПУСК (SB2). При нажатии на кнопку ПУСК подается напряжение на катушку контактора, он срабатывает, его контакты замыкаются и двигатель подключается к питающей сети. Вспомогательные контакты КМ1.4 шунтируют контакты кнопки ПУСК, и контактор остается во включенном состоянии независимо от положения кнопки ПУСК (нажата или отпущена). Для отключения двигателя вручную необходимо нажать кнопку SB1 СТОП. При этом цепь питания катушки контактора разрывается, контактор возвращается в исходное состояние, и его контакты размыкаются.

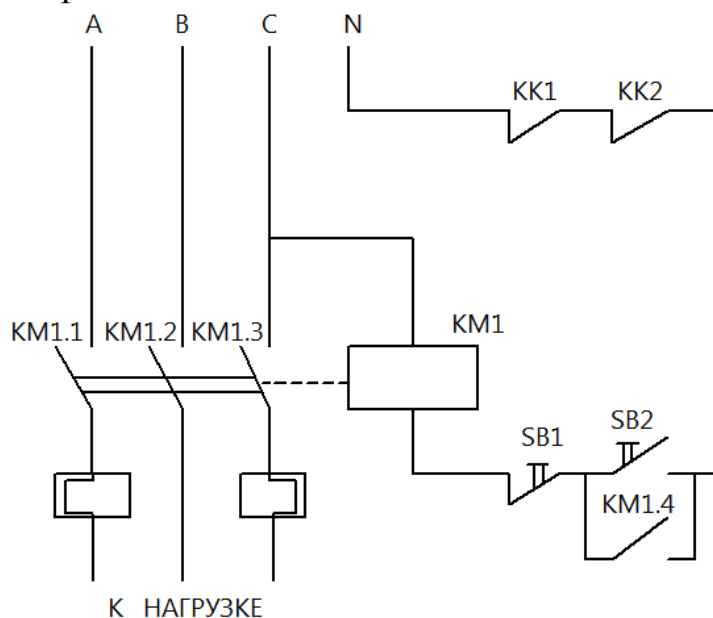


Рис.1.13. Схема нереверсивного магнитного пускателя

При перегрузке электродвигателя срабатывает тепловое реле КК, и его контакты с выдержкой времени размыкаются. Катушка контактора теряет питание, контакты контактора размыкаются, и электродвигатель отключается от источника питания.

На рис.1.14 приведена схема реверсивного магнитного пускателя. Реверс двигателя осуществляется здесь путем изменения порядка чередования фаз питающего напряжения с помощью двух контакторов. Первый контактор КМ1 обеспечивает подключение двигателя к питающей сети при прямом по-

К НАГРУЗКЕ

Контактор КМ1 включается кнопкой ВПЕРЕД (SB2), а контактор КМ2 – кнопкой НАЗАД (SB3). Контакторы выключаются при нажатии кнопки СТОП (SB1) или размыкании контактов теплового реле КК так же, как и в неревверсивном магнитном пускателе.

Для предотвращения одновременного включения двух контакторов в реверсивном магнитном пускателе предусмотрена блокировка. Она выполнена с помощью вспомогательных контактов. В цепь питания катушки контактора КМ1 включены нормально-замкнутые контакты контактора КМ2 и кнопки SB3, а в цепь катушки КМ2 – нормально-замкнутые контакты контактора КМ1 и кнопки SB2. Поэтому контактор КМ1 может быть включен лишь при отключённом КМ2 и отпущенной кнопке SB3, а контактор КМ2 – лишь при отключенном КМ1 и отпущенной кнопке SB2.

Автоматическими выключателями принято называть электрические аппараты, предназначенные для автоматического отключения электрических цепей при возникновении в них аварийных режимов работы (коротких замыканий, перегрузок токами, понижения напряжения и др.), а также для нечастых включений и отключений цепей в нормальных эксплуатационных режимах работы. Автоматические выключатели выполняют одновременно функции управления (коммутации) и защиты.

Автоматические выключатели, как правило, содержат следующие основные элементы: главные контакты, дугогасительную систему, механизм свободного расцепления и расцепители.

На рис. 1.15 показана упрощенная схема универсального автоматического выключателя в положении, соответствующем отключенному состоянию выключателя.

Для включения выключателя надо повернуть по часовой стрелке рукоятку 2. При повороте рукоятки создается усилие, под действием которого рычаги 3 и 4 перемещаются вправо и несущий рычаг 6 поворачивается на оси O по часовой стрелке. Главные контакты 7 и 9 замыкаются, взводится отключающая пружина 5 и механизм фиксируется во включенном состоянии специальной защелкой (на рисунке не показана).

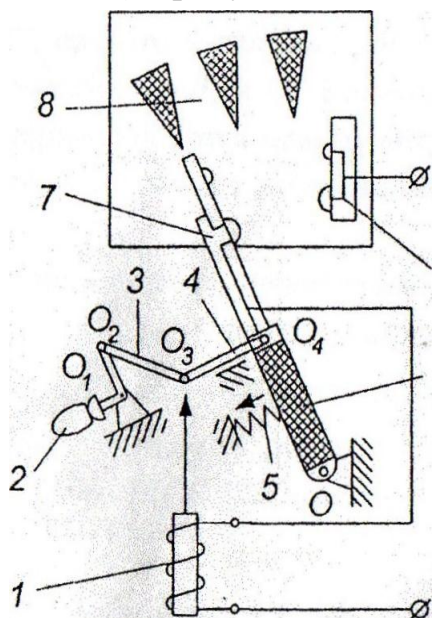


Рис. 1.15. Упрощенная кинематическая схема универсального автоматического выключателя

Система шарнирно-связанных рычагов 3 и 4 выполняет функции механизма свободного расцепления, который в реальных выключателях имеет более сложную конструкцию.

Механизм свободного расцепления обеспечивает возможность размыкания контактов выключателя в любой момент времени, в том числе и в процессе включения. Это предотвращает возможность возникновения многократных циклов «отключения - включения» выключателя при попытках включить его на существ-

ующее в подключаемой цепи короткое замыкание. Если рычаги 3 и 4 перевести вверх за мертвую точку, то жесткая связь между приводной рукояткой 2 и несущим рычагом 6 нарушается. Под действием пружины подвижный контакт возвращается в исходное положение независимо от того, воздействует включающая сила на рукоятку или нет. Под мертвой точкой понимается такое положение рычагов 3 и 4, когда оси шарниров O_2 , O_3 и O_4 находятся на одной линии.

Измерительными органами, выявляющими аварийные режимы работы цепей, защищаемых автоматическими выключателями, служат расцепители. С их помощью контролируются те или иные параметры защищаемой цепи и осуществляется воздействие на механизм расцепления в случаях, когда значения этих параметров отклоняются за установленные границы.

В автоматических выключателях используются несколько видов расцепителей:

- максимальные токовые мгновенного действия (как правило, электромагнитные);
- максимальные токовые с зависимой от тока выдержкой времени срабатывания (тепловые, полупроводниковые и др.);
- независимые – для дистанционного отключения выключателей;
- минимальные напряжения - для отключения выключателя при понижении напряжения.

Если автоматический выключатель снабжен электромагнитным расцепителем (рис. 1.15), то в аварийном режиме он действует следующим образом. Когда по катушке 1 электромагнитного расцепителя протекает ток короткого замыкания, сердечник втягивается и выталкивает рычаги 3 и 4 вверх за мертвую точку. В результате сила, удерживающая подвижный контакт исчезает, и под действием пружины он перемещается в исходное состояние. Контакты размыкаются, и возникающая между ними электрическая дуга вытесняется в дугогасительную камеру 8, где она интенсивно охлаждается и гасится.

Классификация:

1. *По роду тока* главной цепи: постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного тока.

Номинальные токи для главных цепей выключателя выбирают из ряда: 6,3; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600; 2 500; 4 000; 6 300 А. Дополнительно могут выпускаться выключатели на номинальные токи главных цепей выключателей: 1 500; 3 000; 3 200 А.

Допускаются номинальные токи максимальных расцепителей тока: 15; 45; 120; 150; 300; 320; 600; 1 200; 1 500; 3 000; 3 200 А.

2. *По конструкции*: воздушный автоматический выключатель от 800 А до 6 300 А, выключатель в литом корпусе от 10 А до 2500 А, модульные автоматические выключатели от 0,5 А до 125 А.

3. *По числу полюсов* главной цепи: однополюсные; двухполюсные; трехполюсные; четырёхполюсные.

4. *По наличию токоограничения*: токоограничивающие; нетокоограничивающие.

5. *По характеристике выдержки времени* максимальных расцепителей тока: без выдержки времени; с выдержкой времени, независимой от тока; с выдержкой времени, обратно зависимой от тока; с сочетанием указанных характеристик.

6. По наличию свободных контактов («блок-контактов» для вторичных цепей): с контактами; без контактов.

7. По способу присоединения внешних проводников: с задним присоединением; с передним присоединением; с комбинированным присоединением (верхние зажимы с задним присоединением, а нижние — с передним присоединением, или наоборот); с универсальным присоединением (передним и задним).

8. По виду привода: с ручным; с двигательным; с пружинным.

9. По наличию и степени защиты выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с находящимися под напряжением частями выключателя и его движущимися частями, расположенными внутри оболочки в соответствии с требованиями ГОСТ 14255.

Для выбора модульного автоматического выключателя необходимо определиться со следующими параметрами:

1. Количество полюсов автомата.

Однополюсные автоматические выключатели устанавливаются в однофазной цепи. При этом однополюсные автоматы устанавливаются непосредственно на фазу, и защищают отходящие линии, обычно розеточные или осветительные линии.

Трёхполюсные выключатели устанавливаются в трехфазной сети обычно в качестве вводных автоматов или для защиты трехфазных потребителей.

2. Ток перегрузки автоматического выключателя.

Автоматический выключатель ставят на ток, согласно выделенной мощности.

Для подбора автоматов на отходящих линиях необходимо выбирать в зависимости от сечения провода, который установлен на защищаемой линии. (В случае если у Вас на данной линии находится несколько потребителей).

В случае, если на защищаемой линии один потребитель (например водонагреватель) устанавливают автомат, исходя из мощности устройства.

Сечение токопроводящей жилы, мм	Ток *, А, для проводов и кабелей		
	однопровольных	двухпроводных	трехпроводных
1,5	23	19	19
2,5	30	27	25
4	41	38	35
6	50	50	42
10	80	70	55

3. Тип характеристики срабатывания при КЗ

- В 3-5 предназначены для защиты активных нагрузок и протяженных линий освещения с системами заземления TN и IT (розетки, освещение).
- С 5-10 предназначены для защиты цепей с активной и индуктивной нагрузкой с низким импульсным током (для офисных и жилых помещений).
- D 10-20 используется при нагрузках с высокими импульсными (пусковыми) токами и повышенном токе включения (низковольтные трансформаторы, лампы-разрядники, подъемные механизмы, насосы).
- К 8-15 активно-индуктивная нагрузка, эл.двигатели, трансформаторы.
- Z 2-3 электроника.

4. Наибольшая отключающая способность (ПКС) автоматов

Максимальный электрический ток, который автоматический выключатель может расцепить.

1.6. Трансформаторы тока

Трансформатор тока – это электромагнитный электрический аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного уровня в переменный ток другого уровня и гальванического разделения силовых и измерительных цепей.

Первичная обмотка трансформатора тока (ТТ) включается последовательно в цепь, в которой необходимо контролировать ток (рис. 1.16). Вторичная обмотка ТТ замыкается на сопротивление нагрузки Z_H (обмотки токовых реле, измерительных приборов и т.п.).

Выводы обмоток ТТ принято маркировать. Начало и конец первичной обмотки обозначаются соответственно $L1$ и $L2$, а начало и конец вторичной обмотки – $I1$ и $I2$. Выводы вторичной обмотки маркируются таким образом, чтобы направление мгно-

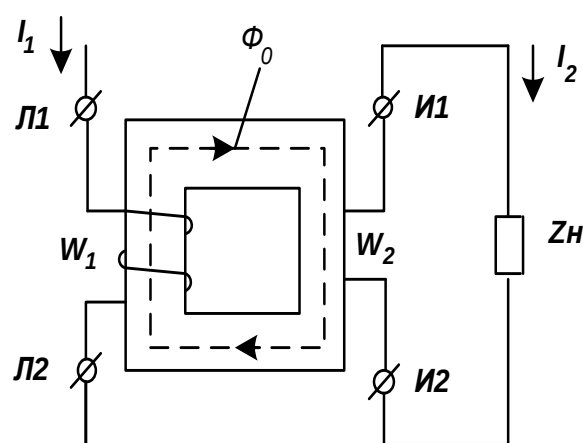


Рис. 1.16

венных значений токов в первичной обмотке и в нагрузке совпадало (рис. 1.16).

Ток I_1 проходящий по виткам первичной обмотки W_1 , и ток I_2 , индуцированный во вторичной обмотке W_2 , создают намагничивающие силы, которые вызывают появление магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 в ферромагнитном сердечнике. Намагничивающие силы и создаваемые ими магнитные потоки образуют результирующую намагничивающую силу $I_{\text{НАМ}} W_1$ и результирующий магнитный поток Φ_0 соответственно:

$$\begin{aligned} I_1 W_1 + I_2 W_2 &= I_{\text{НАМ}} W_1 \\ \dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_2 &= \dot{\Phi}_0. \end{aligned}$$

Поток Φ_0 наводит во вторичной обмотке э.д.с. E_2 , под действием которой в замкнутой цепи вторичной обмотки возникает ток I_2 .

Таким образом, можно считать, что трансформация первичного тока осуществляется с помощью магнитного потока Φ_0 и создающего его тока намагничивания $I_{\text{НАМ}}$.

Ток намагничивания весьма мал, и если принять $I_{\text{НАМ}} = 0$, то уравнение, связывающее намагничивающие силы ТТ, примет вид:

$$I_1 W_1 = -I_2 W_2$$

Отсюда

$$I_2 = -I_1 \frac{W_1}{W_2} = -\frac{I_1}{K_T},$$

где $k_T = \frac{W_2}{W_1}$ – витковый коэффициент трансформации ТТ.

В этом случае первичный ток полностью трансформируется во вторичную обмотку, и ТТ работает идеально, без погрешностей и потерь.

В действительности ток намагничивания не может быть равен нулю, так как он создает рабочий магнитный поток Φ_0 , без которого трансформация невозможна. Действительный вторичный ток отличается от значения, определенного с помощью виткового коэффициента, на величину $\frac{I_{\text{НАМ}}}{K_T}$:

$$I_2 = -\left(\frac{I_1}{K_T} - \frac{I_{\text{НАМ}}}{K_T}\right)$$

Таким образом причиной, вызывающей погрешность в работе ТТ, является ток намагничивания.

Влияние тока намагничивания на погрешность ТТ иллюстрируется векторной диаграммой (рис. 1.17 а), которая построена на основе схемы замещения ТТ (рис. 1.17 б). Все параметры на схеме приведены к виткам вторичной обмотки.

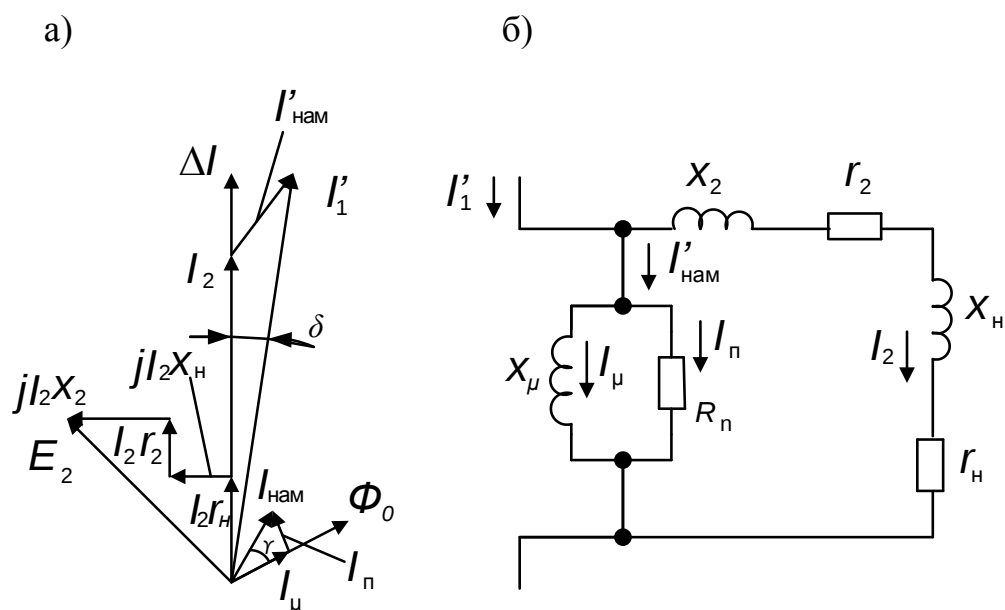


Рис. 1.17. Векторная диаграмма (а) и схема замещения ТТ (б)

При построении векторной диаграммы за исходный принимается вектор вторичного тока I_2 . Вектор вторичной э.д.с. E_2 равен геометрической сумме падения напряжения в нагрузке ($I_2 (r_{\text{н}} + jx_{\text{н}})$) и падения напряжения в сопротивлении вторичной обмотки ($I_2 (r_2 + jx_2)$). Магнитный поток Φ_0 показан на векторной диаграмме отстающим от создаваемой им э.д.с. E_2 на 90° . Ток намагничивания опережает поток Φ_0 на угол γ , обусловленный потерями в стали сердечника ТТ. Приведенный первичный ток $I'_1 = \frac{I_1}{K_m}$ находится как сумма вторичного тока I_2 и приведенного тока намагничивания $I'_{\text{нам}}$.

Величина ΔI равна арифметической разности $I'_1 - I_2$ и называется погрешностью по току. Она показывает, насколько действительный ток I_2 отличается от расчетного вторичного тока, получаемого при идеальной трансформации.

Угол δ , на который действительный вторичный ток сдвинут относительно приведенного первичного тока, называется угловой погрешностью.

Абсолютное значение вектора тока намагничивания, приведенного к вторичной стороне, называется полной погрешностью ТТ.

Погрешность по току и полная погрешность обычно выражаются в относительных единицах или процентах, как отношение действующих значений этих погрешностей к действующему значению приведенного первичного тока:

$$f\% = \frac{\Delta I}{I'_1} \cdot 100\% = \frac{I_2 - I'_1}{I'_1} \cdot 100\%;$$

$$\varepsilon\% = \frac{|I_{\text{нам}}|}{|I'_1|} \cdot 100\% = \frac{|I'_1 - I_2|}{I'_1} \cdot 100\%.$$

Полная погрешность ТТ для релейной защиты не должна превышать 10%. Погрешности ТТ определяются их параметрами, сопротивлением нагрузки и зависят от первичного тока.

Область значений сопротивлений нагрузки и первичных токов для каждого ТТ, в которой погрешности не превышают 10%, ограничиваются кривыми предельной кратности (рис. 1.18). Эти кривые представляют собой зависимость максимальной кратности первичного тока K_{10} (наибольшее отношение первичного тока к номинальному первичному току ТТ) от сопротивления нагрузки Z_H , при которых полная погрешность равна 10%.

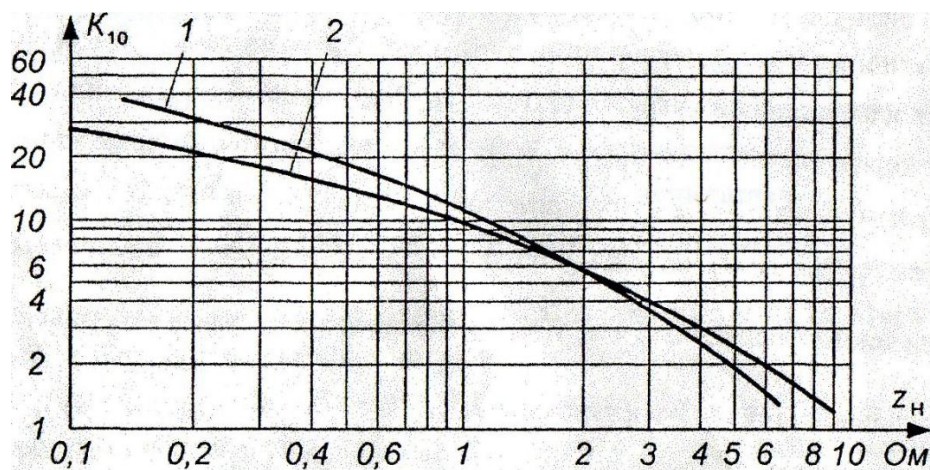


Рис.1.18. Кривые предельной 10% кратности ТТ ТПЛ-10:

1- 5/5+200/5; 2- 400/5

2. МЕТОДЫ И ТЕХНИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Проверка механической части электрических аппаратов

Параметры электромеханических электрических аппаратов во многом определяются механическими узлами. Поэтому исследования характеристик этих параметров должны проводиться лишь после проверки механической части и устранения обнаруженных неполадок.

У всех исследуемых электрических аппаратов производится осмотр корпусов, стекол, крышек, проверяются крепление деталей, качество электрических соединений и чистота контактов. Подвижные части электрических аппаратов должны легко перемещаться в имеющихся подшипниках и возвращаться в исходное положение пружиной, если возврат предусмотрен конструкцией. Отдельные витки пружины не должны соприкасаться друг с другом.

Проверка электромеханических реле имеет ряд особенностей. Так, сходные по конструкции реле тока типа РТ-40 и реле напряжения серии РН-50 проверяются аналогично. Якорь реле должен перемещаться свободно (от руки), без заметного трения. Осевой люфт должен быть не более 0,2-0,3 мм [3]. При необходимости люфт можно отрегулировать. В притянутом положении якоря зазор между полкой якоря и полюсом магнитопровода должен быть около 0,6 мм. Положение якоря можно регулировать упорным винтом, а величину и равномерность зазора – перемещением магнитопровода при ослабленных крепежных винтах.

Пружина должна возвращать якорь в исходное положение из любого рабочего положения при всех допустимых положениях указателя уставки.

Неподвижные контакты должны лежать в одной плоскости и быть расположены параллельно друг другу. Воздушный зазор между пластинами неподвижного контакта и мостиком подвижного контакта при свободном положении якоря должен составлять 2-2,5 мм. Прогиб («провал») неподвижных контактов при срабатывании реле должен быть не менее 0,3 мм.

Если заводская регулировка не нарушена, то перегибать неподвижные контакты и вращать упорные винты якоря не следует, т.к. это может вызвать изменение параметров срабатывания и коэффициента возврата реле.

Проверка индукционных реле серий РТ-80 и РТ-90 требует особого внимания и аккуратности.

Винт установки тока срабатывания реле (переключения отпаяк катушки) должен быть завинчен до упора и плотно прилегать к металлической планке.

Рамка должна свободно качаться, иметь вертикальный люфт около 1 мм, а диск должен легко вращаться в подпятниках (допускается люфт в подпятниках 0,3-0,5 мм). Зазор между диском и полюсами электромагнита и постоянными магнитами должен быть неизменный при вращении диска и не менее 0,3 мм.

Якорь элемента отсечки должен поворачиваться без заедания (допустимый люфт в осевом направлении – 0,1-0,2 мм) и при срабатывании плотно прилегать к полюсу электромагнита.

Зубчатый сектор должен свободно перемещаться вокруг своей оси, имея свободный ход в осевом направлении не более 0,5 мм. Должно обеспечиваться зацепление сегмента с червяком при повороте рамки от руки при любой уставке по времени.

Проверяются контакты реле. Зазор между разомкнутыми основными контактами должен составлять 2-3 мм, а для сигнальных контактов допускается зазор 1,5 мм. Провал контактов может быть 0,8-1 мм.

При ревизии механической части реле времени серий ЭВ-100 и ЭВ-200 проверяется ход плунжера (якоря) электромагнита. Плунжер должен легко перемещаться с люфтом 0,3-0,6 мм.

После нажатия на плунжер часовой механизм должен доводить стрелку с подвижным контактом до максимальной уставки и замыкать неподвижные контакты. Подвижный контакт должен одновременно касаться контактных площадок обеих пластин неподвижных контактов, не касаясь при этом самих пластин и обеспечивая провал (прогиб) не менее чем на 0,7-1 мм.

В свободном состоянии плунжер должен возвращаться в исходное состояние вместе со стрелкой с подвижным контактом и рычагом часового механизма.

2.2.Регулирование и измерение тока и напряжения

Способность электрических аппаратов выполнять функции, для выполнения которых они созданы изготовителем, оценивается по результатам электрических испытаний. Критерием оценки служат реальные электрические характеристики.

Для получения характеристик используется испытательная аппаратура, обеспечивающая регулирование и измерение тока и напряжения в широких диапазонах.

В случаях, когда через исследуемую электрическую цепь требуется пропустить переменный ток в пределах от 0 до 30 А, используется нагрузочный трансформатор (НТ). Первичная обмотка этого трансформатора выполнена на

номинальное напряжение 220 В, а вторичная - на 12-24 В и намотана проводом большого сечения (5-10 мм). В цепь вторичной обмотки НТ включается токовая цепь исследуемого электрического аппарата и прибор для измерения тока (рис.2.1).

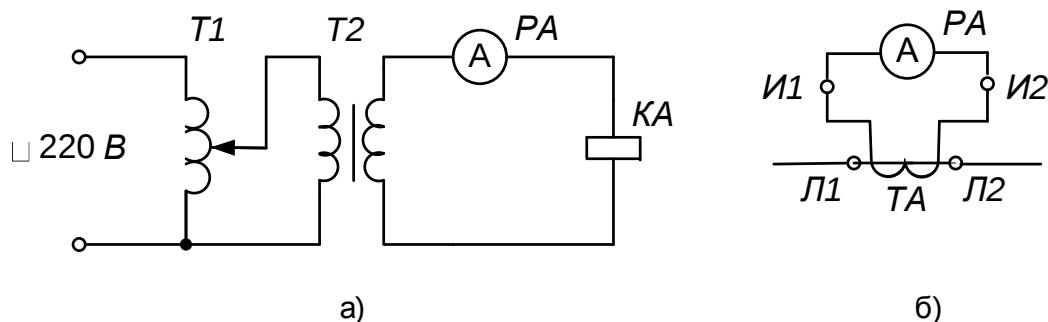


Рис.2.1. Схема установки: а) для регулирования и измерения ток;
б) схема включения амперметра через трансформатор тока

Плавное регулирование тока, пропускаемого по исследуемой цепи, производится с помощью автотрансформатора Т1.

Ток в токовой цепи исследуемого аппарата измеряется амперметром *РА*, который в зависимости от уровня измеряемого тока может быть включен непосредственно во вторичную цепь НТ (при малых токах) или через трансформатор тока *ТА* (при больших токах).

Для регулирования переменного напряжения в диапазоне от 0 до 250 В используется лабораторный автотрансформатор (ЛАТР).

При этом катушка переменного напряжения *KV* исследуемого электрического аппарата подключается к выходным зажимам автотрансформатора 77, а измерение напряжения производится с помощью вольтметра *PV* (рис.2.2).

Питание автотрансформатора при регулировании тока и напряжения осуществляется от сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В.

Перед включением и отключением установки рукоятку регулятора автотрансформатора необходимо установить в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению.

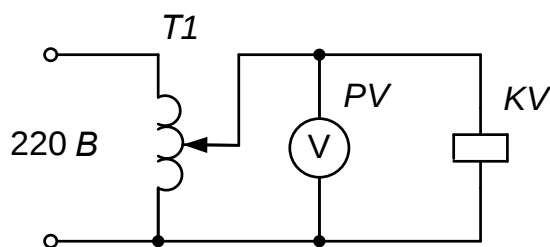


Рис.2.2. Схема установки для регулирования и измерения переменного напряжения

2.3. Измерение временных параметров электрических аппаратов

Для измерения времени действия реле и коммутационных аппаратов в диапазоне от 0,1 мс до 39 с используется цифровой измеритель временных параметров реле типа Ф-291.

На лицевой панели прибора расположены: цифровой индикатор, переключатель для включения и выключения прибора; переключатель *РЕЖИМ* для установки режима работы прибора; переключатель *КНТ* (контакты) для измерения функций контактов, управляющих работой прибора (пуск и остановка счета времени); переключатель *РАЗН* (разность) для перевода прибора в режим определения разности времени замыкания или размыкания двух пар контактов; переключатель *100* для переключения пределов измерения; переключатель *ВИБР* (вибрация) для перевода прибора в режим измерения временных параметров реле с учетом вибрации контактов; переключатель *СУМ* (сумма) для перевода прибора в режим суммирования показаний при многократных измерениях; переключатель *СБР* (сброс) для сброса показаний прибора; тумблер *ПУСК* для переключения встроенного в прибор источника питания обмоток реле.

Внешние цепи управления прибором подключаются через клеммы *ПУСК* и *ОСТАНОВ* на стенде.

На рис.2.3 показана схема установки для измерения времени срабатывания реле тока с нормально-разомкнутыми контактами. Здесь прибор Ф-291 используется в режиме определения разности времени замыкания двух пар контактов. К клеммам *ПУСК* подключаются контакты, при замыкании которых прибор начинает отсчет времени, а к клеммам *ОСТАНОВ* - контакты исследуемого реле, при замыкании которых отсчет времени прекращается.

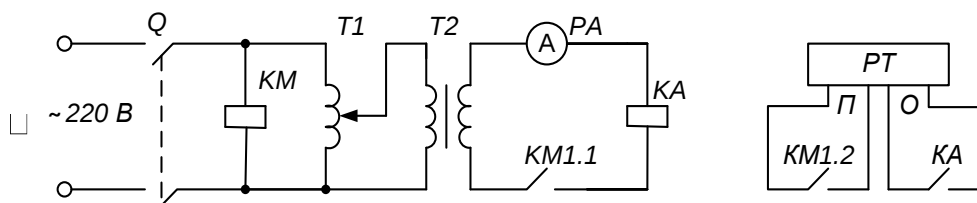


Рис.2.3. Схема установки для измерения времени срабатывания реле тока с нормально-разомкнутыми контактами

Измерение времени срабатывания производится следующим образом:

1. Переключатель *РЕЖИМ* устанавливается в положение 1, а кнопочные переключатели *КНТ* и *РАЗН* - в нижнее положение (включено). Все остальные переключатели должны быть установлены в верхнее положение (отключено).

3. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Лабораторная работа 1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ РЕЛЕ

3.1.1. Исследование электромагнитных реле тока типа РТ-40 и реле напряжения РН-53 и РН-54.

1. Проверить механическую часть реле.

2. Определить токи срабатывания и возврата реле тока РТ-40 и напряжения РН-53 или РН-54. Измерения проводить при крайних (минимальной и максимальной) рабочих уставках реле. Вычислить относительные погрешности срабатывания реле γ и коэффициенты возврата реле K_B . Результаты измерений и вычислений занести в таблицу по форме 1.

Форма 1

Тип реле-РТ-40				Тип реле-РН-53(РН-54)			
$I_{уст}, A$				$I_{уст}, A$			
$I_{ср}, A$				$I_{ср}, A$			
$I_{вр}, A$				$I_{вр}, A$			
γ				γ			
K_B				K_B			

Измерить время срабатывания реле. Время срабатывания реле максимального тока определить при токе $1,2 I_{ср}$ и $2 I_{ср}$, а реле максимального напряжения - при напряжении $1,2 U_{ср}$ и $2 U_{ср}$. Результаты измерений занести в таблицу по форме 2.

Форма 2

Тип реле-РТ-40			Тип реле-РН-53(РН-54)		
I_p, A			U_p, B		
$t_{ср}, c$			$t_{ср}, c$		

3.1.2. Исследование реле тока серии РТ-80 (РТ-90).

1. Проверить механическую часть реле.

2. Определить токи начала вращения диска $I_{нв}$. Токи срабатывания $I_{ср}$ и возврата $I_{вр}$ индукционного элемента реле при заданных уставках. Вычислить коэффициенты возврата и относительные погрешности индукционного элемента реле. Результаты измерений и вычислений представить в виде таблицы по форме 3.

3. Измерить токи срабатывания и возврата электромагнитного элемента (отсечки) реле. Вычислить относительную погрешность срабатывания и коэффициент возврата отсечки. Результаты измерений и вычислений представить в виде таблицы, аналогичной форме 1.

Форма 3

$I_{уст}, A$			
$I_{нв}, A$			
$I_{ср}, A$			
$I_{вр}, A$			
γ			
K_B			

4. Снять время-токовую характеристику реле (зависимость времени срабатывания реле от уровня тока, протекающего по обмотке) в диапазоне токов от $I_{ср}$ до 8 и представить ее в виде таблицы по форме 4. Построить полученную характеристику реле и сопоставить ее с характеристикой, приведенной в паспорте для соответствующих уставок реле [4].

Форма 4

Тип реле...,		Уставки: $I_{уст} = \dots A, t_{уст} = \dots c, k_{отс} = \dots$							
I_p, A									
$I_p/I_{уст}$									
$I_{ср}, c$									

3.1.3. Исследование реле времени серии ЭВ-100 (ЭВ-200).

1. Проверить механическую часть реле времени.

2. Измерить напряжение срабатывания и возврата реле времени и сопоставить их с паспортными значениями [4].

3. Измерить время срабатывания реле при наибольшей, наименьшей и рабочей (заданной преподавателем) уставках при различных значениях напряжения питания реле, относительные значения которых указаны в форме 5. Определить абсолютную погрешность реле и сопоставить ее с допустимым значением разброса времени срабатывания для данного реле. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу по форме 5.

Форма 5

	$t_{уст} = \dots c,$		$U_{ном} = \dots B$	
$U_{пит}/U_{ном}$	0,7	0,8	1,0	1,1
$U_{пит}, B$				
$t_{ср}, c$				
$\Delta t_{ср}, c$				

3.1.4. Исследование промежуточного реле.

1. Проверить механическую часть промежуточного реле.
2. Определить напряжение срабатывания и возврата (минимальное напряжение удержания) реле. Сопоставить полученные значения с паспортными.
3. Измерить время срабатывания реле при номинальном напряжении питания.

3.2. Лабораторная работа 2.

КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПЯЖЕНИЯ

3.2.1. Исследование магнитного пускателя.

1. Проверить механическую часть контактора и теплового реле магнитного пускателя.
2. Измерить напряжения срабатывания и возврата контактора магнитного пускателя.
3. Измерить время срабатывания контактора магнитного пускателя при номинальном напряжении питания.
4. Определить полные сопротивления катушки контактора во включенном и отключенном состояниях контактора.
5. Снять время-токовую характеристику теплового реле магнитного пускателя при минимальной уставке. Результаты измерений представить в виде таблицы по форме 6 и в виде графика $t_{\text{ср}} = f(I_{\text{р}} / I_{\text{уст}})$.

Форма 6

Тип реле..., $I_{\text{уст}} = \dots A$						
$I_{\text{р}}, A$						
$I_{\text{р}} / I_{\text{уст}}$						
$t_{\text{ср}}, c$						

Время срабатывания теплового реле целесообразно измерять с помощью часов с секундной стрелкой, а установка для испытаний должна обеспечивать отключение нагревательного элемента теплового реле от источника питания при срабатывании реле.

6. Собрать схемы нереверсивного и реверсивного магнитных пускателей и проверить их работу.

3.2.2. Исследование автоматического выключателя.

1. Провести внешний осмотр автоматического выключателя. Включить и отключить автоматический выключатель с помощью рукоятки управления.
2. Вскрыть автоматический выключатель и проверить его механическую часть.
3. Проверить работу механизмов расцепителей (включить выключатель с помощью рукоятки управления и отключить путем нажатия на якорь элек-

ромагнитного расцепителя или на рычаг теплового расцепителя). Собрать выключатель.

4. Снять время-токовую характеристику автоматического выключателя. Результаты измерений представить в виде таблицы по форме 7 и в виде графика $t_{ca} = f(I_{ав} / I_{уст})$.

Форма 7

Тип выключателя..., $I_{уст} = \dots A$, $k_{отс} = \dots$							
$I_{ав}$							
$I_{ав} / I_{уст}$							
t_{ca}							

3.3. Лабораторная работа 3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

3.3.1. Параметры электромагнитных трансформаторов тока (ТТ).

1. Провести внешний осмотр ТТ и записать паспортные данные ТТ.
2. Проверить правильность маркировки выводов трансформаторов.
3. Снять вольтамперную характеристику ТТ. Результаты измерений занести в таблицу по форме 8 и построить зависимости $U_0 = f(I_0)$.

Форма 8

Тип ТТ ..., $k_{Т ном} = \dots$	
U_0, B	
I_0, A	

4. Снять характеристику короткого замыкания ТТ со стороны вторичной обмотки. Результаты измерений занести в таблицу по форме 9 и построить зависимость $U_K = f(I_K)$.

Форма 9

Тип ТТ ..., $k_{Т ном} = \dots$	
U_K, B	
I_K, A	

5. Измерить номинальный коэффициент трансформации ТТ.
6. Определить параметры схемы замещения ТТ и построить векторную диаграмму ТТ при номинальной нагрузке и номинальном токе.

3.3.2. Определение погрешностей ТТ.

1. Определить полные погрешности ТТ при различных сопротивлениях нагрузки и построить зависимости полной погрешности ТТ от сопротивления нагрузки при нескольких фиксированных значениях первичного тока. Резуль-

таты измерений и вычислений представить в виде таблицы по форме 10 и в виде графиков $\mathcal{E} = f(Z_{\text{н}})$ при $I_1 = \text{const}$.

Форма 10

Тип ТТ ..., $I_i = \dots A$, $k_{\text{Т ном}} = \dots$	
$Z_{\text{н}}, \text{Ом}$	
I_2, A	
$\mathcal{E}, \%$	

2. Определить значения полных погрешностей ТТ при различных первичных токах и нескольких фиксированных значениях сопротивления нагрузки. Результаты измерений и вычисления представить в виде таблицы по форме 11 и в виде графиков $\mathcal{E} = f(I_1)$ при $Z_{\text{н}} = \text{const}$.

Форма 11

Тип ТТ ..., $Z_{\text{н}} = \dots \text{Ом}$, $k_{\text{Т ном}} = \dots$	
I_1, A	
I_2, A	
$\mathcal{E}, \%$	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чунихин, А.А. Электрические аппараты: общий курс: учеб. для вузов.- 3-е изд., перераб. и доп. / А.А. Чунихин.- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 720 с.
2. Таев, И.О. Электрические аппараты управления / И.О.Таев. - М.: Высш. шк., 1984. - 248 с.
3. Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 504 с.
4. Алексеев, В.С. Реле защиты / В.С. Алексеев. - М.: Энергия. 1976. – 464 с.

Подписано в печать 15.05.2014. Усл. печ. л. 2,25. Тираж 20 экз.

Печать офсетная. Бумага офисная. Заказ № _____

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15