МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра электроснабжения

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Методические указания к лабораторным работам

Факультет электроэнергетический
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Профиль подготовки: электроснабжение

Вологда
2014

УДК 621.316.36

Электрические аппараты: методические указания к лабораторным работам.- Вологда: ВоГУ, 2014.- 40 с.

Дано описание лабораторных работ по курсу «Элементы устройств релейной защиты». Изложена методика выполнения работ и приведены сведения по основным вопросам теории электрических аппаратов: электромеханические 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.

Подписано в печать 15.05.2014. Усл. печ. л. . Тираж .
Печать офсетная. Бумага офисная. Заказ № _____

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

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Задачей дисциплины «Электрические аппараты» 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. Особое внимание обращено изучению коммутационных аппаратов.

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

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.

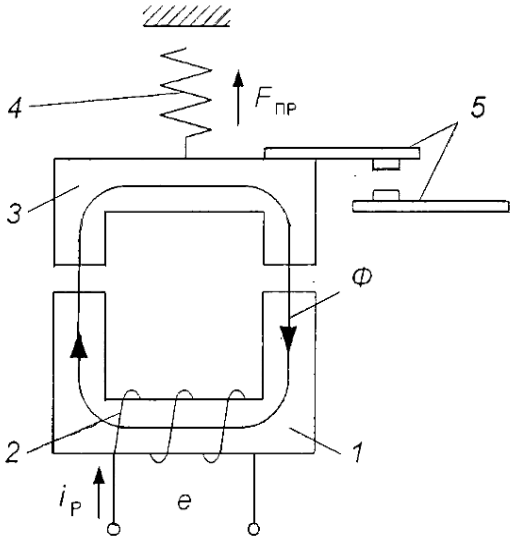

Рис. 1.1. Электромагнитное реле

Ток $i_р$, протекая в катушке, создает в магнитной цепи поток Ф. Этот поток намагничивает ферромагнитные элементы магнитной цепи, и между магнитопроводом и подвижным якорем возникает сила притяжения. При определенном токе, называемым 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.

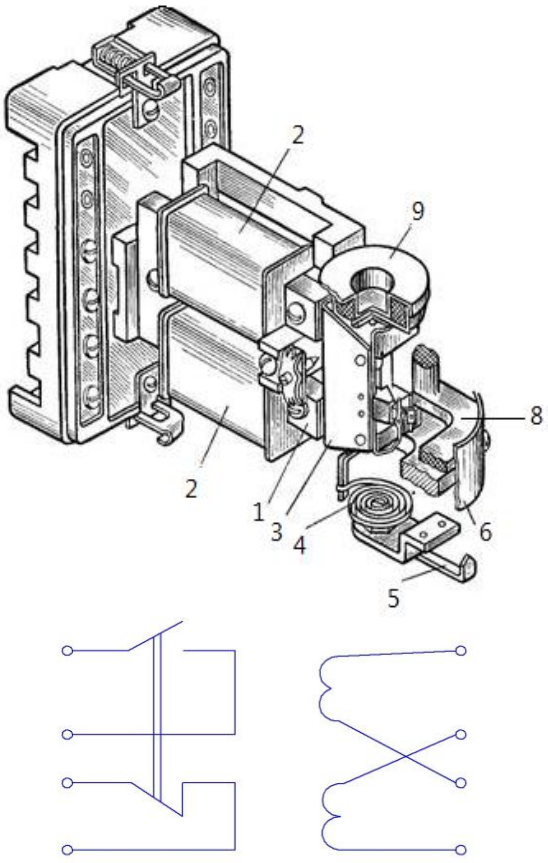

Рис.1.2. Реле тока ТР-40 и схема его внутренних соединений

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, что 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.

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).

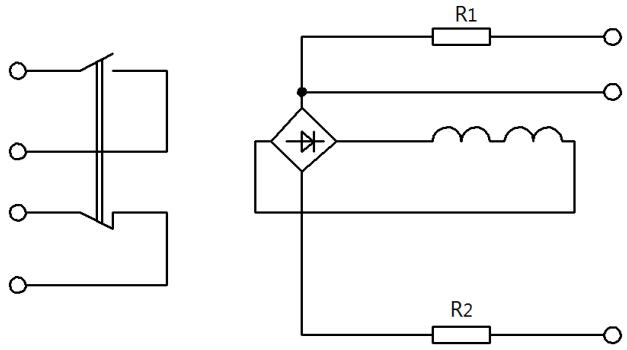

Рис.1.3. Схема внутренних соединений реле напряжения

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

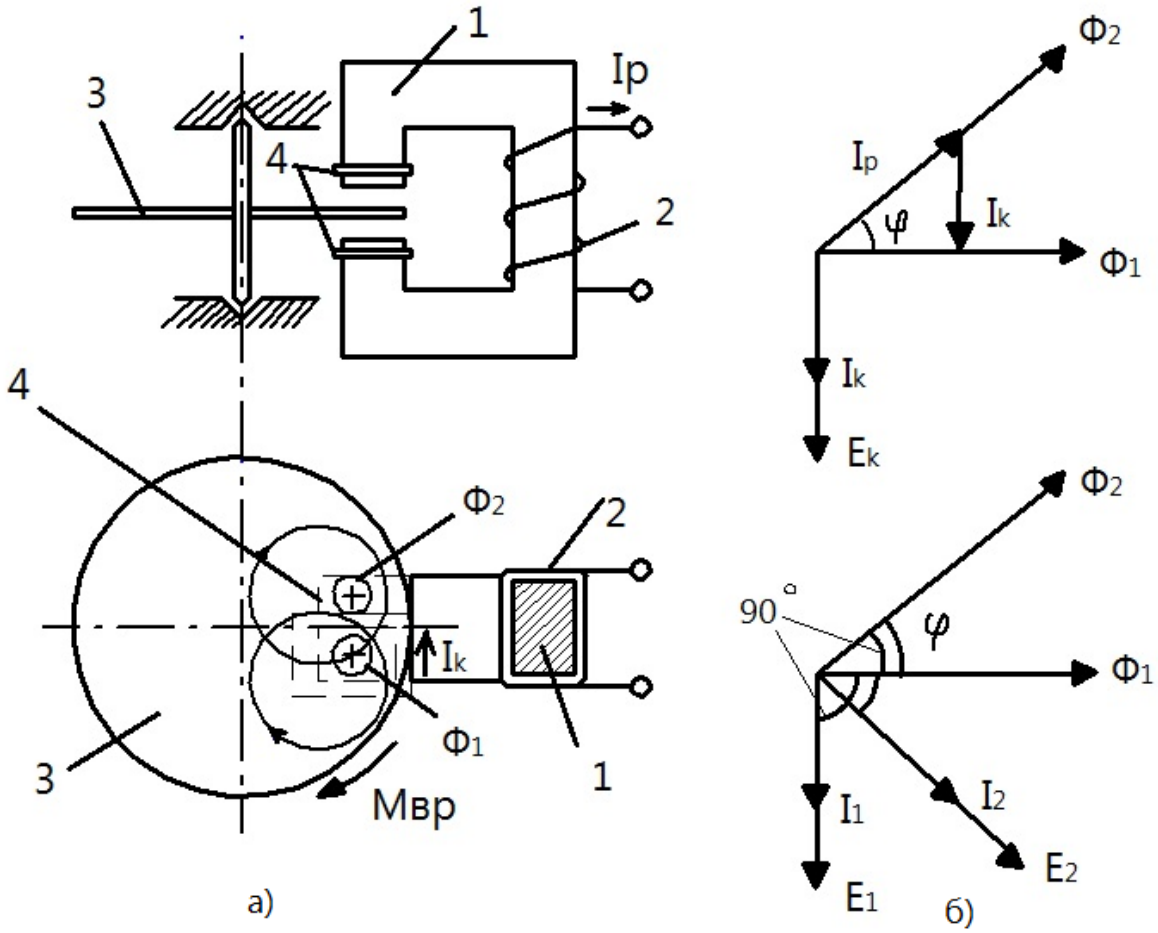

Рис.1.4. Индукционное реле с вращающимся диском (а) и векторная диаграмма, поясняющая принцип его действия (б)

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.

Потоки Φ_1 и Φ_2 , пронизывая диск, индуктируют 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:

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

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 ц – постоянная величина, то:

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

где $\mathrm{k_P}$ - постоянный коэффициент.

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.

Однако при больших токах в обмотке реле магнитопровод насыщается. Повышение тока $\mathrm{I_P}$ 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.

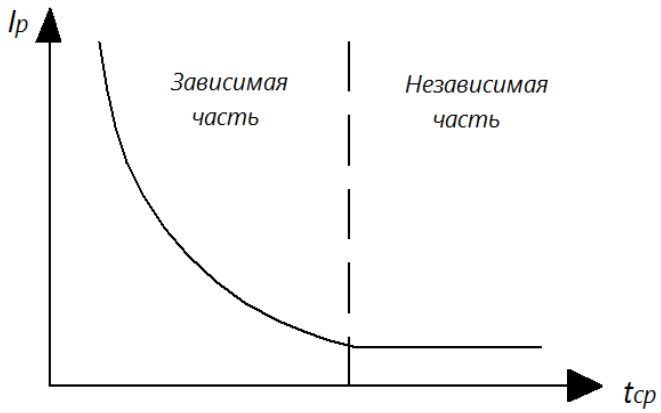

Рис.1.5. Время-токовая характеристика индукционного реле

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.

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 магнитопро-

вода – магнитный шунт и подвижный якорь образуют магнитную цепь электромагнитного элемента.

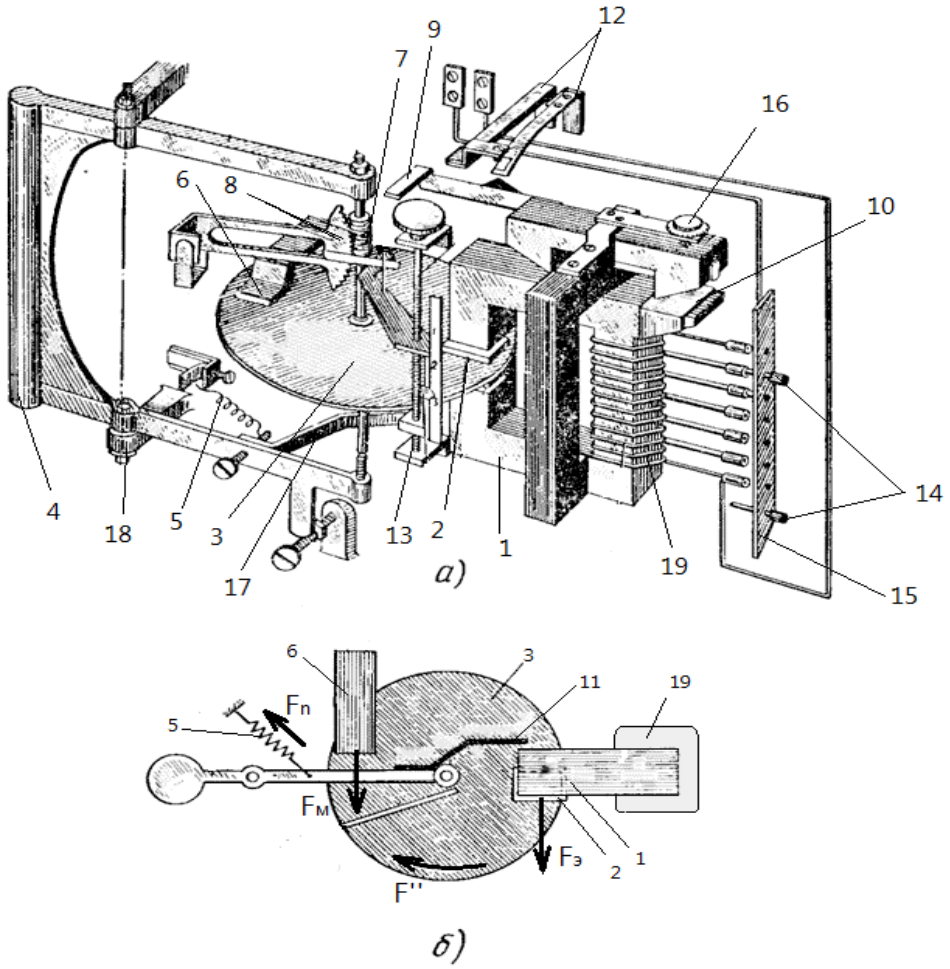

Рис.1.6. Общий вид реле серии РТ-80(а) и схема действия сил в индукционном механизме (б)

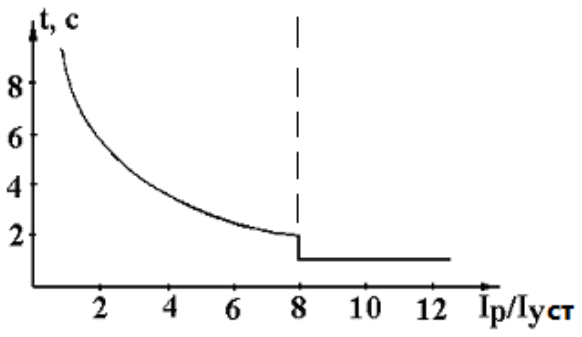

Рис.1.7. Характеристика реле РТ-81

При появлении тока в обмотке 19 возникает электромагнитная сила $F_э$, 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 $F_э$ (рис. 1.6 б) противодействует сила $F_п$ пружины 5. При токе реле, равном 20-30% тока срабатывания индукционного элемента Iср, и под влиянием силы Fэ диск начинает вращаться. При этом в диске наводятся токи «резания», которые во взаимодействии с магнитным потоком постоянного магнита 6 создают силу $F_м$, препятствующую вращению диска. При токе реле $I_р > I_{ср}$ электромагнитный момент, создаваемый силами $F_э$ и $F_м$, 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. Электромагнитный элемент срабатывает при токах, превышающих ток срабатывания индукционного элемента в 4-8 раз.

1.3. Вспомогательные реле

Вспомогательными реле принято называть реле, предназначенные для выполнения логических операций и 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 мощ-

ностью 1500-2000 Вт. Обмотки промежуточных реле, как правило, потребляют мощность 3-6 Вт.

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

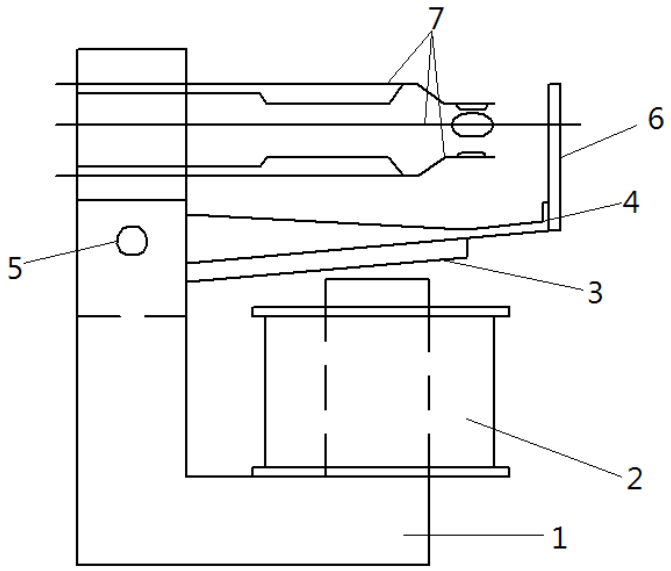

Рис. 1.8. Промежуточное реле РП-210

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.

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. Реле для последовательного включения снабжается токоведущей катушкой, а для параллельного – катушкой, рассчитанной на подключение к источнику э.д.с.

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 смотро-

вое окно 4. Возврат флажка в исходное положение производится нажатием на кнопку 5.

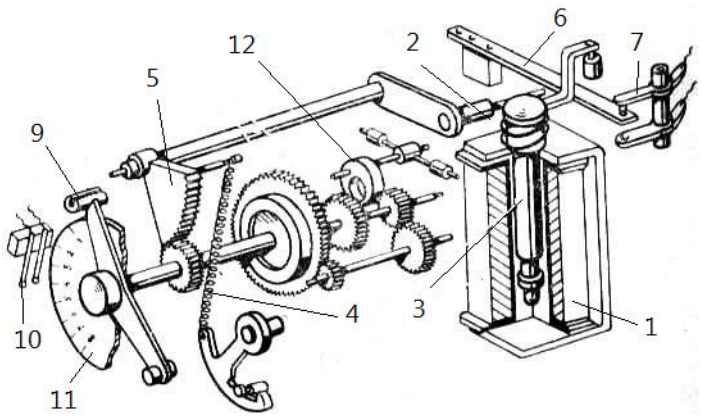

Рис. 1.9. Реле времени серии ЭВ

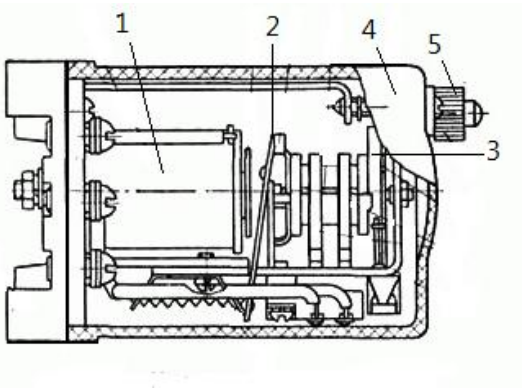

Рис.1.10. Указательное реле РУ-21

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. Переключения обмоток трехфазного двигателя со «звезды» на «треугольник» производятся для уменьшения пускового тока двигателя.

Они обеспечивают нулевую защиту, т.е. при исчезновении напряжения или его снижении до 50—60% от номинального катушка не удерживает магнитную систему пускателя, и силовые контакты размыкаются. При восстановлении напряжения токоприемник остается отключенным. Это исключает возможность аварий, связанных с самопроизвольным пуском электродвигателя или другой электроустановки. Также магнитными пускателями можно включать и отключать любую нагрузку, например нагревательные элементы, источники света.

Категории применения магнитных пускателей.

АС-1 – нагрузка пускателя активная или мало индуктивная.

АС-3 – режим прямого пуска электродвигателя с короткозамкнутым ротором, отключение вращающегося двигателя.

АС-4 – пуск электродвигателя с короткозамкнутым ротором, отключение неподвижных или медленно вращающихся двигателей, торможение противотоком.

Нормируемые технические характеристики:

– Максимально допустимый ток главной цепи в амперах. Нормируется для режима работы пускателя АС-1, АС-3 или АС-4 отдельно для каждого из значений напряжения главной цепи, т.е. рабочего напряжения пускателя;

– Максимально допустимое напряжение главной цепи (В);

– Напряжение питания втягивающей катушки (В). Может быть выбрано из ряда 24, 36, 42, 110, 220, 380В переменного тока. Некоторые типы пускателей изготавливаются с магнитной системой с питанием катушки управления постоянным током, при этом их включают в цепь переменного тока через выпрямитель;

– Коммутационная износостойкость. Исчисляется в миллионах циклов включения-выключения. Для определения коммутационной износостойкости необходимо задать режим работы пускателя, напряжение главной цепи, ток главной цепи (или мощность управляемого двигателя) и по соответствующей номограмме, приведенной в техническом описании пускателя, определить гарантированное число включений-отключений. При этом необходимо учесть, что режим работы пускателя учитывает частоту его включений-отключений в час;

– Максимально допустимый ток вспомогательных контактов. Исчисляется в амперах при заданном напряжении на контактах;

– Мощность, потребляемая втягивающей катушкой (указывается в ваттах).

Таким образом, надежная работа пускателя определяется целым рядом факторов, которые необходимо правильно оценить на этапе его выбора. При выборе пускателя широко применяется термин «величина пускателя». Термин этот условный и характеризует допустимый ток контактов главной цепи пускателя. При этом подразумевается, что напряжение главной цепи составляет 380В и пускатель работает в режиме АС-3. Максимальный ток главной цепи составляет:

для нулевой величины	6,3А
для первой величины	10А
для второй величины	25А
для третьей величины	40А

для четвертой величины	63А
для пятой величины	100А
для шестой величины	160А

Допустимый ток контактов главной цепи отличается от приведенных выше в зависимости:

От категории применения - АС-1, АС-3 или АС-4. С увеличением номера категории применения допустимый ток контактов главной цепи, при равных параметрах по коммутационной износостойкости, уменьшается;

От напряжения на контактах главной цепи. При увеличении напряжения допустимый ток контактов падает.

Для некоторых типов пускателей величина пускателя указывается при напряжении главных контактов, отличном от 380В.

Наибольшее распространение получили магнитные пускатели серий ПМЕ и ПАЕ. Пускатели серии ПМЕ могут быть использованы для управления электродвигателями мощностью от 0,27 до 10 кВт, а пускатели серии ПАЕ — для управления электродвигателями и другими электроустановками мощностью от 4 до 75 кВт.

Изготавливаются эти серии в открытом, защищенном, пылеводозащищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнении на напряжение 220 и 380 В. Они могут быть реверсивными и нереверсивными. Реверсивные пускатели наряду с пуском, остановом и защитой электродвигателя изменяют направление его вращения.

Тиристорные пускатели используют в целях управления трехфазными электродвигателями, расположенными на стационарных или передвижных установках. Их силовая часть изготовлена из тиристоров, которые включены встречно-параллельно попарно на каждую фазу. Пускатель следует устанавливать в вертикальном положении, но разрешаются отклонения от вертикали до 45° в любую сторону. Пускатель может работать как в продолжительном, так и в повторно-кратковременном режиме с продолжительностью включения 60% и с частотой включения до 600 раз в час. Устройства имеют тепловую защиту от возможных перегрузок, а также максимальную токовую защиту, порог срабатывания которой можно регулировать. Управляется пускатель с помощью кнопок с фиксацией или без фиксации команды. Также возможно управление с помощью бесконтактных логических элементов.

Итак основными узлами магнитного пускателя являются:

- электромагнитный механизм, который отвечает за замыкание и размыкание контактов. Происходит это при подаче напряжения на катушку, вследствие чего электромагнитный поток притягивает якорь к сердечнику и подвижные силовые контакты, которые связаны с якорем, также притягиваются и коммутируются с неподвижными силовыми контактами. Таким образом происходит коммутация электрической цепи;

- блокировочные контакты, которые предназначены для коммутации вторичных цепей и цепей управления, приводятся в действие одновременно с

силовыми контактами. По своему устройству они аналогичны контактам электромагнитных реле;

- силовые контакты, которые непосредственно используются для коммутации силовых электрических цепей;

- дугогасительные камеры, необходимые для гашения дуги при замыкании и размыкании силовых контактов. Благодаря своей конструкции (камеры выполнены преимущественно из пластин и устанавливаются на каждую фазу силового контакта) они эффективно гасят дугу при коммутации и разрыве цепи и не дают произойти перекрытию дугой между фазами силовых контактов.

Основные параметраы магнитных пускателей.

- напряжение катушки — 24В, 36В, 110В, 220В, 380В;
- питание катушки – переменный либо постоянный ток;
- количество срабатываний – параметр, определяющий долговечность и износостойкость пускателя.

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. Контактор 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.

Сила тока в катушке электромагнита определяется ее активным $R_к$ и индуктивным $X_к$ 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, который 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.

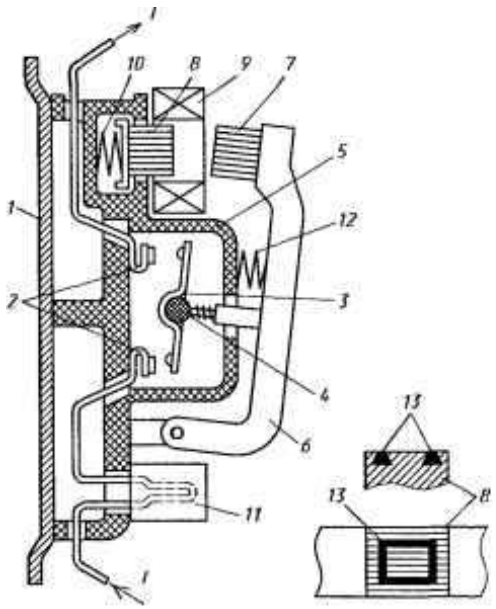

Рис. 1.11. Конструктивная схема пускателя ПАЕ

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.

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 Іном показаны на рис.1.12б. При малых токах время срабатывания велико, а с увеличением тока время срабатывания уменьшается.

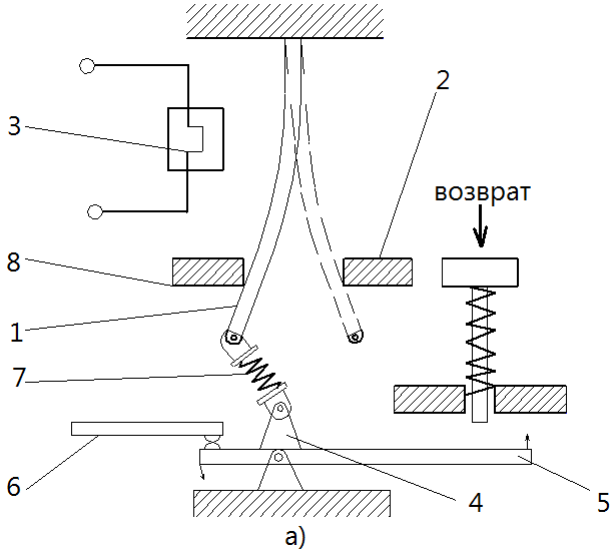

Рис.1.12.а Механизм теплового реле

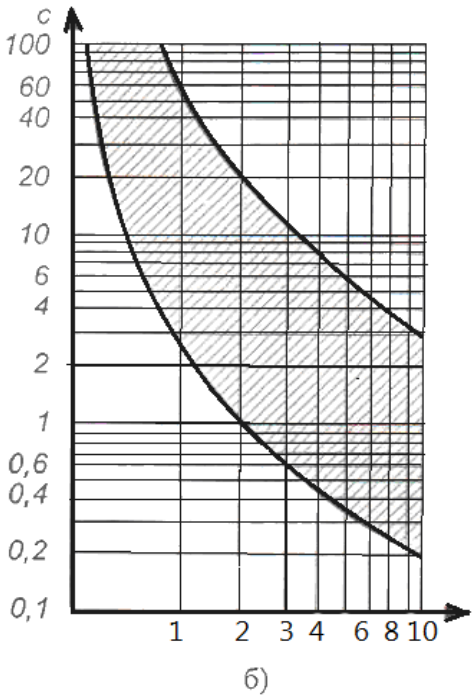

Рис.1.12.б Время-токовая характеристика теплового реле

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.

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 порядке чередования фаз, а второй контактор КМ2 – при обратном порядке чередования фаз.

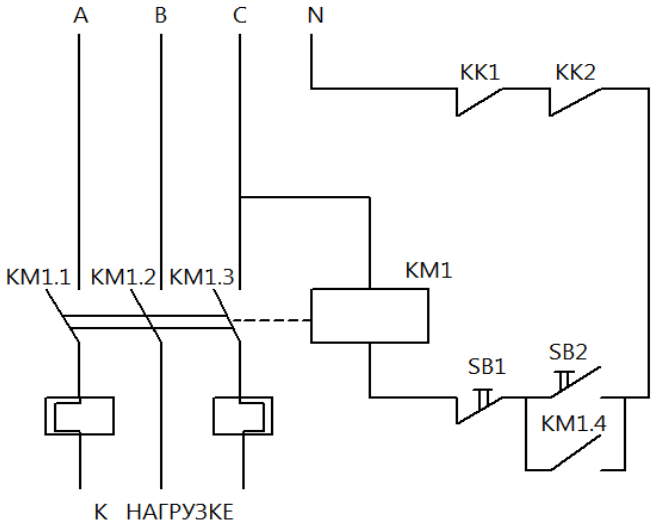

Рис.1.13. Схема нереверсивного магнитного пускателя

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 нереверсивном магнитном пускателе.

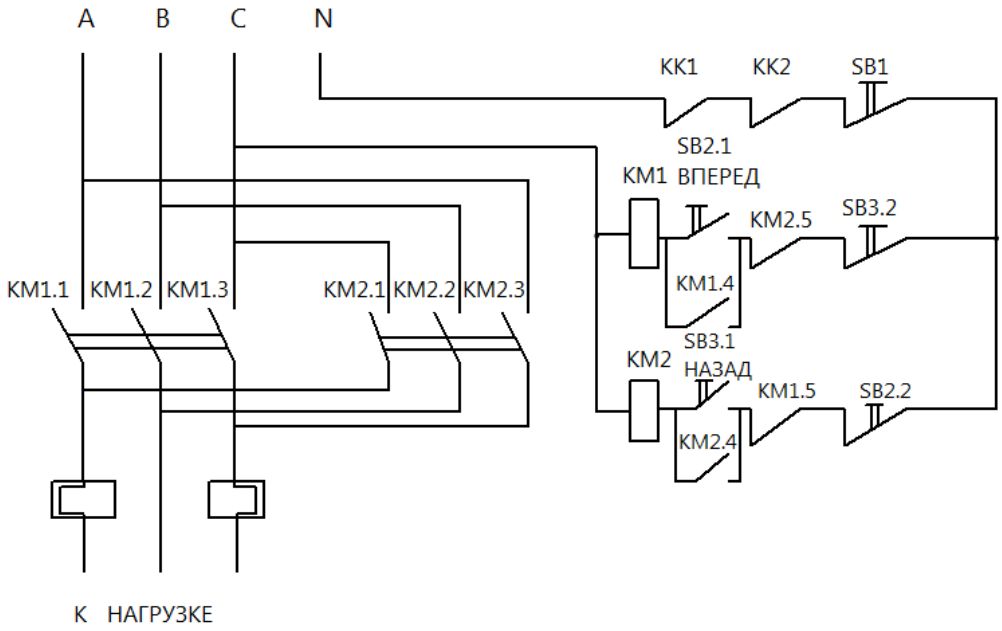

Рис. 1.14. Схема реверсивного магнитного пускателя

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.

Подключение электродвигателя по схеме звезда и треугольник.

Применяются основные способы подключения к сети трёхфазных электродвигателей: "подключение звездой" и "подключение треугольником".

При соединении трёхфазного электродвигателя звездой, концы его статорных обмоток соединяются вместе, соединение происходят в одной точке, а на начала обмоток подаётся трехфазное напряжение.

При соединении трёхфазного электродвигателя по схеме подключения "треугольником" обмотки статора электродвигателя соединяются последовательно таким образом, что конец одной обмотки соединяется началом следующей и так далее (рис 1.15.). Клеммные колодки электродвигателей и схемы соединения обмоток:

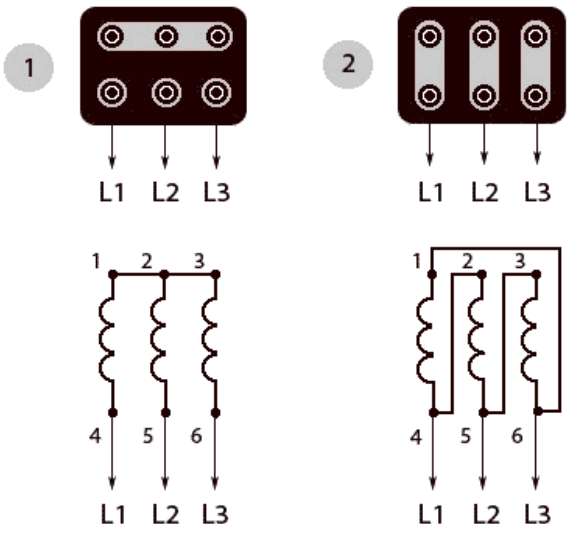

Рис.1.15. Схемы подключения электродвигателя в звезду (1) и треугольник (2)

Не вдаваясь в технические и подробные теоретические основы электротехники необходимо сказать, что электродвигатели, у которых обмотки соединены звездой, работают плавнее и мягче, чем электродвигатели с соединенными обмотками в треугольник. Необходимо отметить, что при соединении обмоток звездой электродвигатель не может развить полную мощность. При соединении обмоток по схеме треугольник электродвигатель работает на полную паспортную мощность (что составляет в 1,5 раз больше по мощности, чем при соединении звездой), но при этом имеет очень большие значения пусковых токов.

В связи с этим целесообразно (особенно для электродвигателей с большей мощностью) подключение по схеме звезда - треугольник; первоначально запуск осуществляется по схеме звезда, после этого (когда электродвигатель «набрал обороты») происходит автоматическое переключение по схеме треугольник.

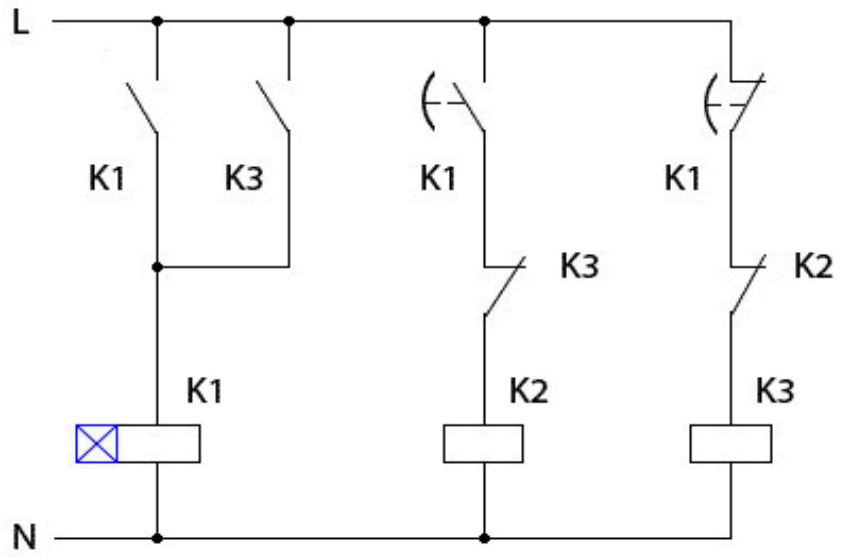

Рис. 1.16. Схема управления переключения соединения обмоток двигателя

Подключение напряжения питания через контакт NC (нормально закрытый) реле времени К1 и контакт NC К2, в цепи катушки пускателя К3.

После включения пускателя К3, своими нормально-замкнутыми контактами размыкает цепи катушки пускателя К2 контактами К3 (блокировка случайного включения) и замыкает контакт К3 в цепи питания катушки магнитного пускателя К1, который совмещен с контактами реле времени.

При включении пускателя К1 происходит замыкание контактов К1 в цепи катушки магнитного пускателя К1 и одновременно включается реле времени, размыкается контакт реле времени К1 в цепи катушки пускателя К3, замыкает контакт реле времени К1 в цепи катушки пускателя К2.

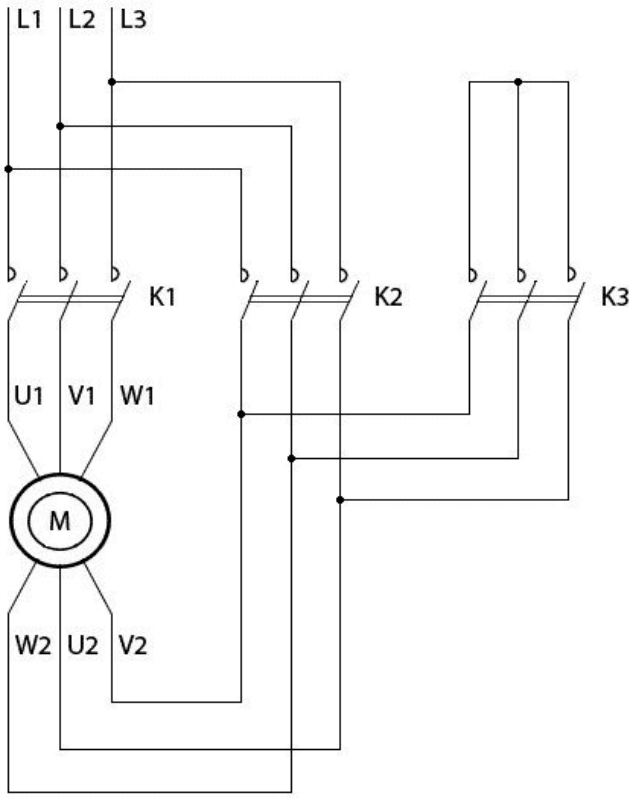

Рис. 1.17. Силовая цепь переключения соединения обмоток двигателя

Отключение обмотки пускателя К3, замыкается контакт К3 в цепи катушки магнитного пускателя К2. После включение пускателя К2 размыкает своими контактами К2 в цепи катушки питания пускателя К3.

На начала обмоток U1, V1 и W1 через силовые контакты магнитного пускателя К1 подаётся трехфазное напряжение. При срабатывании магнитного пускателя К3 с помощью его контактов К3, происходит замыкание, соединяя концы обмоток U2, V2 и W2 между собой, обмотки двигателя соединены звездой.

Через некоторое время срабатывает реле времени, совмещённое с пускателем К1, отключая пускатель К3 и одновременно включая К2, замыкаются силовые контакты К2 и происходит подача напряжения на концы обмоток электродвигателя U2, V2 и W2. Таким образом электродвигатель включается по схеме треугольник.

1.5. Автоматические выключатели

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. 1.18 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 *б* поворачивается на оси *О* 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).

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 существующее 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 0_2, 0_3 и 0_4 находятся на одной линии.

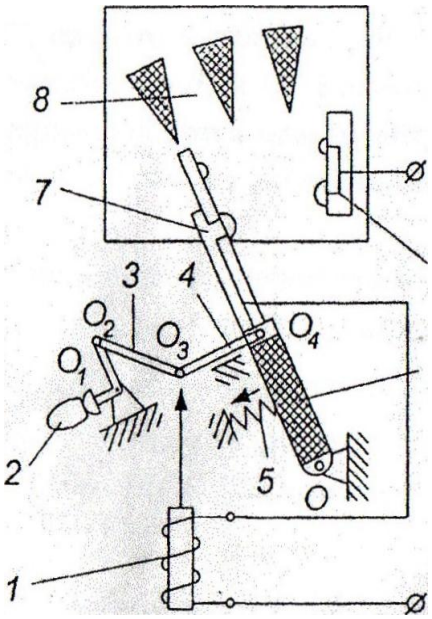

Рис. 1.18. Упрощенная кинематическая схема универсального автоматического выключателя

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. 1.18), 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 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 6300 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		
	одножильные	двухжильные	трехжильные
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:
   - B 3-5 предназначены для защиты активных нагрузок и протяженных линий освещения с системами заземления TN и IT (розетки, освещение).
   - C 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).
   - K 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 обметка трансформатора тока (ТТ) включается последовательно в цепь, в которой необходимо контролировать ток (рис. 1.19). Вторичная обмотка ТТ замыкается на сопротивление нагрузки $Z_Н$ (обмотки токовых реле, измерительных приборов и т.п.).

Выводы обмоток ТТ принято маркировать. Начало и конец первичной обмотки обозначаются соответственно *Л1* и *Л2*, а начало и конец вторичной обмотки - *И1* и *И2*. Выводы вторичной обмотки маркируются таким образом, чтобы направление мгновенных значений токов в первичной обмотке и в нагрузке совпадали (рис. 1.19).

Ток I_1, проходящий по виткам первичной обмотки W_1, и ток I_2, индуктированный 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 $I_{нам\,W1}$ и результирующий магнитный поток Φ_0 соответственно:

$$\dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2 = \dot{I}_{намW1}$$

$$\dot{\Phi}_1 + \dot{\Phi}_2 = \dot{\Phi}_0.$$

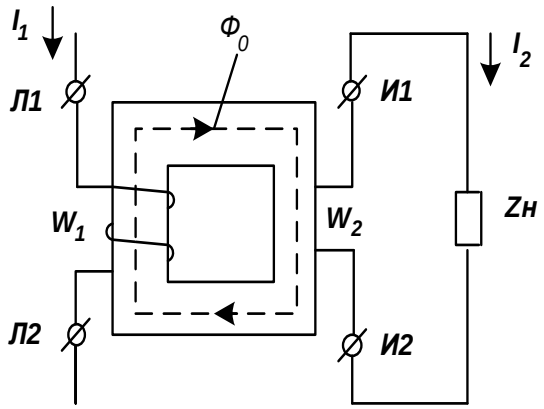

Рис. 1.19. Принципиальная схема трансформатора тока

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 $I_{нам}$.

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

$$\dot{I}_1 W_1 = -\dot{I}_2 W_2.$$

Отсюда

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_1 \frac{W_1}{W_2} = -\frac{\dot{I}_1}{K_T},$$

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 $\frac{\dot{I}_{НАМ}}{K_T}$:

$$\dot{I}_2 = -\left(\frac{\dot{I}_1}{K_T} - \frac{\dot{I}_{НАМ}}{K_T}\right).$$

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

Влияние тока намагничивания на погрешность ТТ иллюстрируется векторной диаграммой (рис. 1.20а), которая построена на основе схемы замещения ТТ (рис. 1.20 б). Все параметры на схеме приведены к виткам вторичной обмотки.

а) б)

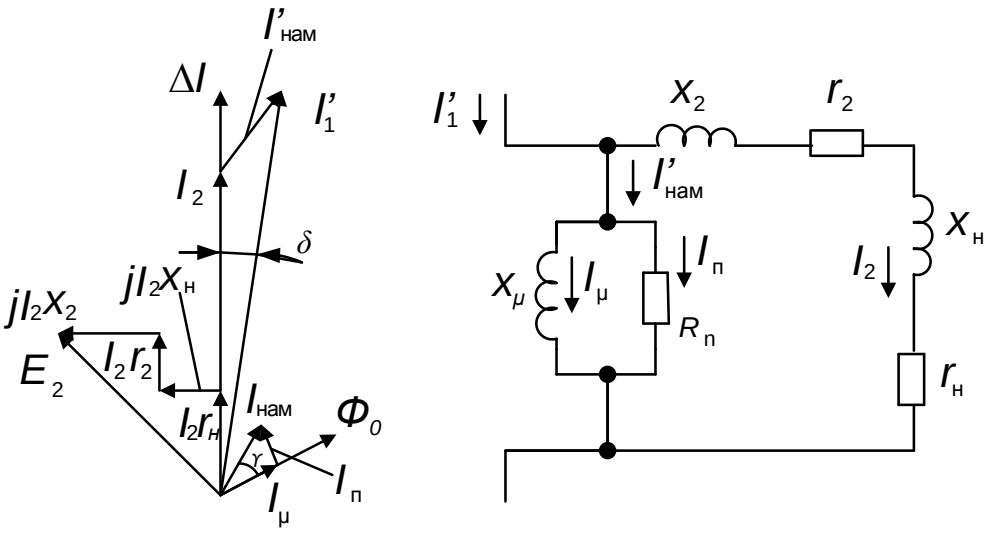

Рис. 1.20. Векторная диаграмма (а) и схема замещения ТТ (б)

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 ($r_н$ + jx_H)) и падения напряжения в сопротивлении вторичной обмотки (I_2 ($r_н$ + jx_2)). Магнитный поток $Ф_0$ показан на векторной диаграмме отстающим от создаваемой им э.д.с. E_2 на 90°. Ток намагничивания опережает поток $Ф_0$ на угол ɣ, обусловленный потерями в стали сердечника ТТ. Приведенный первичный ток $I'_1=\frac{I_1}{K_т}$ находится как сумма вторичного тока I_2 и приведенного тока намагничивания $I'_{НАМ}$.

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 $д_Т$, 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:

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

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

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. 1.21). Эти кривые представляют собой зависимость максимальной кратности первичного тока $\boldsymbol{к_{10}}$ (наибольшее отношение первичного тока к номинальному первичному току ТТ) от сопротивления нагрузки $z_Н$, при которых полная погрешность равна 10%.

Вторичная обмотка токового трансформатора должна быть надёжно замкнута на низкоомную нагрузку измерительного прибора или накоротко. При случайном или умышленном разрыве цепи возникает скачок напряжения, опасный для изоляции, окружающих электроприборов и жизни техперсонала! Поэтому по правилам технической эксплуатации необходимо неиспользуемые вторичные обмотки закорачивать, а все вторичные обмотки трансформаторов тока подлежат заземлению.

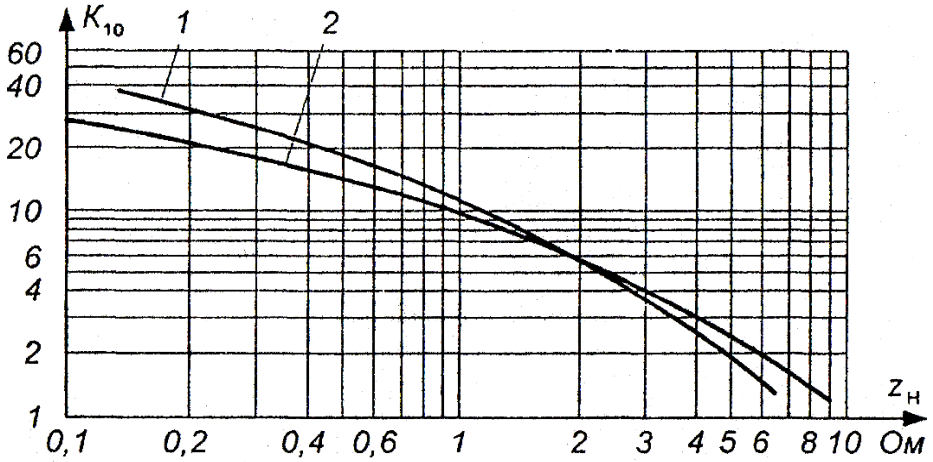

Рис.1.21. Кривые предельной 10% кратности ТТ ТПЛ-10: 1- 5/5+200/5; 2- 400/5

Все трансформаторы тока – и для измерений, и для защиты – можно классифицировать по следующим основным признакам.

По роду установки: трансформаторы тока для работы на открытом воздухе (категория размещения 1 по ГОСТ 15150-69); для работы в закрытых помещениях (по ГОСТ 15150-69); для встраивания во внутренние полости электрооборудования; для специальных установок (в шахтах, на судах, электровозах и так далее).

По способу установки: проходные трансформаторы тока, предназначенные для использования в качестве ввода и устанавливаемые в проемах стен, потолков или в металлических конструкциях; опорные, предназначенные для установки на опорной плоскости; встраиваемые, то есть предназначенные для установки во внутренние полости электрооборудования.

По числу коэффициентов трансформации: с одним коэффициентом трансформации; с несколькими коэффициентами трансформации, получаемыми изменением числа витков первичной или вторичной обмотки, или обеих обмоток, или применением нескольких вторичных обмоток с различным числом витков, соответствующих различным значениям номинального тока.

По числу ступеней трансформации: одноступенчатые; каскадные (многоступенчатые), то есть с несколькими ступенями трансформации тока.

По выполнению первичной обмотки: одновитковые; многовитковые.

Одновитковые трансформаторы тока

Одновитковые трансформаторы тока (рис. 1.22.) имеют две разновидности: без собственной первичной обмотки и с собственной первичной обмоткой. Одновитковые ТТ, не имеющие собственной первичной обмотки, выполняются встроенными, шинными или разъемными.

Встроенный трансформатор тока 1 (рис. 1.22.) представляет собой магнитопровод с намотанной на него вторичной обмоткой и не имеет собственной первичной обмотки. Ее роль выполняет токоведущий стержень проходного изолятора. Этот трансформатор тока не имеет изоляционных элементов между первичной и вторичной обмотками. Их роль выполняет изоляция проходного изолятора.

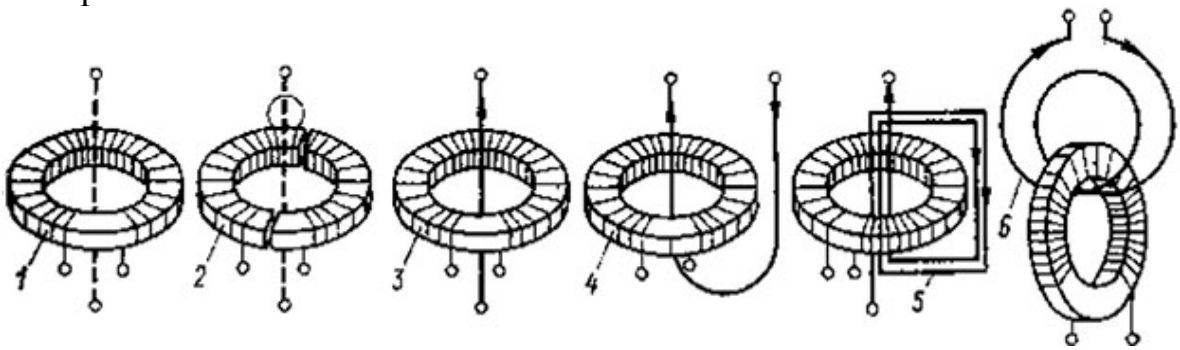

Рис. 1.22. Схема трансформатора тока

В шинном трансформаторе тока 1 роль первичной обмотки выполняют одна или несколько шин распределительного устройства, пропускаемые при монтаже сквозь внутреннюю полость проходного изолятора. Последний изолирует первичную обмотку от вторичной.

Разъемный трансформатор тока 2 тоже не имеет собственной первичной обмотки. Его магнитопровод состоит из двух частей, стягиваемых болтами. Он может размыкаться и смыкаться вокруг проводника с током, являющимся первичной обмоткой этого ТТ. Изоляция между первичной и вторичной обмотками наложена на магнитопровод со вторичной обмоткой.

Одновитковые ТТ, имеющие собственную первичную обмотку, выполняются со стержневой первичной обмоткой или с U-образной.

Трансформатор тока 3 имеет первичную обмотку в виде стержня кругового или прямоугольного сечения, закрепленного в проходном изоляторе.

Трансформатор 4 имеет U-образную первичную обмотку, выполненную таким образом, что на нее наложена почти вся внутренняя изоляция ТТ.

Многовитковые трансформаторы тока

Многовитковые трансформаторы тока (рис. 1.22.) изготавливаются с катушечной первичной обмоткой, надеваемой на магнитопровод; с петлевой первичной обмоткой 5, состоящей из нескольких витков; со звеньевой первичной обмоткой 6, выполненной таким образом, что внутренняя изоляция трансформатора тока конструктивно распределена между первичной и вторичной обмотками, а взаимное расположение обмоток напоминает звенья цепи; с рымовидной первичной обмоткой, выполненной таким образом, что внутренняя

изоляция трансформатора тока нанесена в основном только на первичную обмотку, имеющую форму рыма.

По роду изоляции между первичной и вторичной обмотками ТТ изготавливаются с твердой (фарфор, литая изоляция, прессованная изоляция и т.д.); с вязкой (заливочные компаунды); с комбинированной (бумажно-масляная, конденсаторного типа) или газообразной (воздух, элегаз) изоляцией.

По принципу преобразования тока ТТ делятся на электромагнитные и оптико-электронные.

Основными параметрами и характеристиками трансформатора тока в соответствии с ГОСТ 7746-2001 являются:

1. Номинальное напряжение – действующее значение линейного напряжения, при котором предназначен работать ТТ, указываемое в паспортной таблице трансформатора тока. Для отечественных ТТ принята шкала номинальных напряжений, кВ:

0,66; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; 1150.

2. Номинальный первичный ток I1н – указываемый в паспортной таблице ТТ ток, проходящий по первичной обмотке, при котором предусмотрена продолжительная работа ТТ. Для отечественных ТТ принята следующая шкала номинальных первичных токов, А:

1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000; 12000; 14000; 16000; 18000; 20000; 25000; 28000; 30000; 35000; 40000.

В трансформаторах тока, предназначенных для комплектования турбо- и гидрогенераторов, значения номинального тока свыше 10000 А являются рекомендуемыми.

Трансформаторы тока, рассчитанные на номинальный первичный ток 15; 30; 75; 150; 300; 600; 750; 1200; 1500; 3000 и 6000 А, должны допускать неограниченно длительное время прохождения наибольшего рабочего первичного тока, равного соответственно 16; 32; 80; 160; 320; 630; 800; 1250; 1600; 3200 и 6300 А. В остальных случаях наибольший первичный ток равен номинальному первичному току.

3. Номинальный вторичный ток I2н – указываемый в паспортной таблице ТТ ток, проходящий по вторичной обмотке. Номинальный вторичный ток принимается равным 1, 2 или 5 А.

4. Коэффициент трансформации ТТ равен отношению первичного тока ко вторичному току.

В расчетах трансформаторов тока применяются два термина: действительный коэффициент трансформации n и номинальный коэффициент транс-

формации nн. Под действительным коэффициентом трансформации n понимается отношение действительного первичного тока к действительному вторичному току. Под номинальным коэффициентом мощности трансформаций $n_н$ понимается отношение номинального первичного тока к номинальному вторичному току.

5. Механическая нагрузка определяется давлением ветра со скоростью 40 м/с на поверхность трансформатора тока и тяжением подводящих проводов (в горизонтальном направлении в плоскости выводов первичной обмотки), которое должно быть не менее:

500 Н (50 кгс) – для трансформаторов на номинальное напряжение до 35 кВ включительно;

1000 Н (100 кгс) – для трансформаторов на номинальное напряжение 110 – 220 кВ;

1500 Н (150 кгс) – для трансформаторов на номинальное напряжение 330 кВ и выше.

Маслонаполненный трансформатор тока должен иметь маслорасширитель (компенсатор) и указатель уровня масла. Вместимость маслорасширителя должна обеспечивать постоянное наличие в нем масла при всех режимах работы трансформатора тока – от отключенного состояния до нормированной токовой нагрузки – и при колебаниях температуры окружающего воздуха, установленных для данного климатического района.

В трансформаторах тока на номинальные напряжения 330 кВ и более обязательно должна быть предусмотрена защита масла от увлажнения, например посредством сильфонов. Целесообразно такую же защиту предусматривать и в трансформаторах тока на меньшие напряжения.

Размеры указателя уровня масла должны быть такими, чтобы обслуживающий персонал мог с безопасного расстояния наблюдать за уровнем масла в трансформаторе тока.

Трансформаторы тока, имеющие массу более 50 кг, должны иметь приспособления для подъема. Если такие приспособления невозможно выполнить, то завод-изготовитель должен указывать в инструкции места захвата трансформаторов тока при подъеме.

Трансформаторы тока, у которых амплитуда напряжения на разомкнутой вторичной обмотке при номинальном токе в первичной обмотке превышает 350 В, должны иметь надпись: "Внимание! Опасно! На разомкнутой обмотке высокое напряжение".

Трансформаторы тока, кроме встроенных, должны иметь контактную площадку для присоединения заземляющего проводника и заземляющий зажим в соответствии с требованиями ГОСТ 21130-75 и ГОСТ 12.2.007.3-75.

Возле заземляющего зажима должен быть установлен знак заземления по ГОСТ 21130-75. Указанные требования не распространяются на ТТ с корпусом из литой смолы или пластмассы, не имеющие подлежащих заземлению металлических частей, а также на ТТ, не подлежащие заземлению согласно ГОСТ 12.2.007.0-75.

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 должны 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 отпаек 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 *м*). 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 перемываться 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 токо-

вая цепь исследуемого электрического аппарата и прибор для измерения тока (рис.2.1).

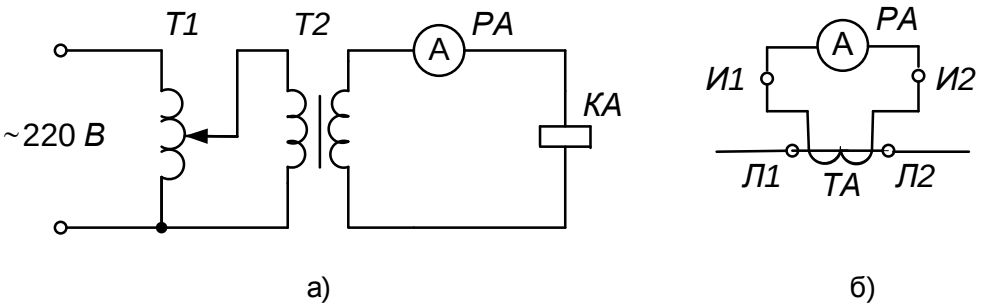

Рис.2.1. Схема установки для регулирования и измерения тока (а) и схема включения амперметра через трансформатор тока (б)

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).

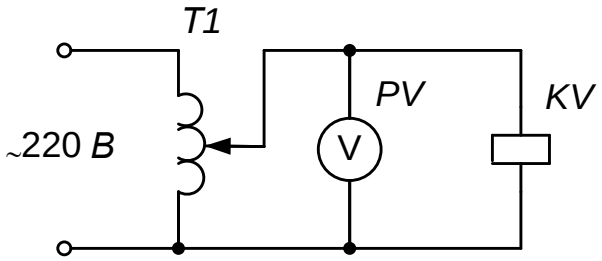

Рис.2.2. Схема установки для регулирования и измерения переменного напряжения

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.

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,* установленные 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.

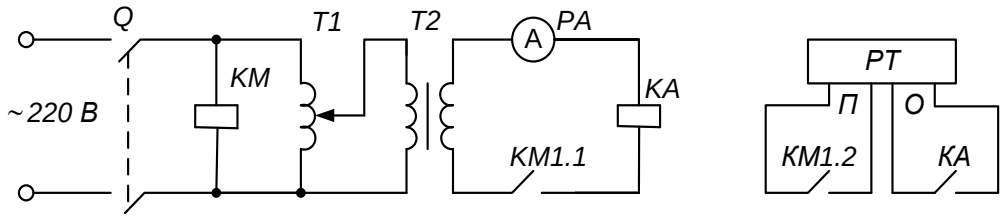

Рис.2.3. Схема установки для измерения времени срабатывания реле тока с нормально-разомкнутыми контактами

Измерение времени срабатывания производится следующим образом:

1.Переключатель *РЕЖИМ* устанавливается в положение 1, а кнопочные переключатели *КНТ* и *РЛЗН* – в нижнее положение (включено). Все остальные переключатели должны быть установлены в верхнее положение (отключено). Для подготовки прибора к отсчету времени перед каждым измерением необходимо нажать кнопку *СБР.*

2.На катушку контактора *КМ1* через автоматический выключатель *QF1* подается питание. Контактор срабатывает, и его контакты *КМ1.J* и *КМ 1.2* замыкаются. Через контакты *КМ1.1* подается ток в катушку исследуемого реле *КА,* а, одновременно с этим контактами *КМ1.2* включается счетчик прибора Ф-291. Когда исследуемое реле срабатывает, его контакты *КА* замыкаются и

останавливают счетчик. На индикаторе высвечивается время срабатывания исследуемого реле.

Измерение времени срабатывания должно производиться при определенном токе в обмотке реле. Поэтому следует предварительно установить заданный уровень тока в обмотке реле. Для этого необходимо включить питание выключателем *OF1* и с помощью автотрансформатора 77 и амперметра установить требуемое значение тока. Затем питание отключается, прибор Ф-291 приводится в исходное состояние и производится измерение по изложенной выше методике.

На рис.2.4 показана схема установки для измерения времени срабатывания реле тока с нормально-замкнутыми контактами. Здесь прибор Ф-291 используется в ином режиме. Переключатели *КНТ, РАЗН, БИБР* и *РЕЖИМ-1* устанавливаются в нижнее положение (включено). Все остальные переключатели - в верхнее положение (отключено). Пуск счетчика времени прибора производится путем замыкания клемм *ПУСК,* а остановка – путем размыкания этих клемм.

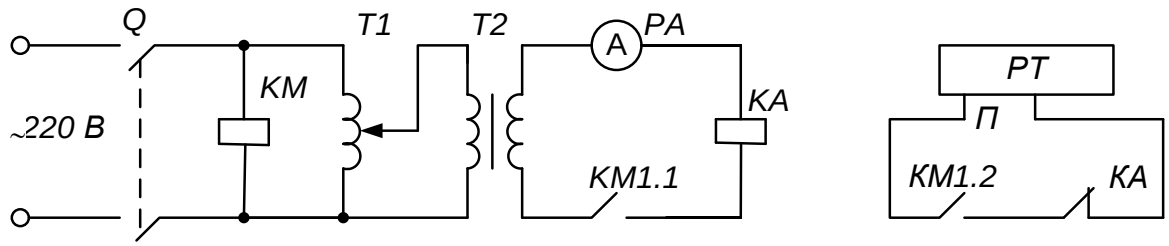

Рис.2.4. Схема установки для измерения времени срабатывания реле тока с нормально-замкнутыми контактами

Установка работает следующим образок. На катушку контактора *КМ1* и обмотку автотрансформатора 77 подается напряжение питания. Контактор срабатывает, и его контакты замыкаются. Через контакты *КМ 1.1* контактора подается ток в обмотку исследуемого реле. Одновременно с этим контактами *КМ1.2* через нормально-замкнутые контакты реле *КА* замыкаются клеммы *ПУСК*, и прибор начинает отсчет времени. При срабатывании исследуемого реле, контакты *КА* размыкаются и размыкают цепь, шунтирующую клеммы *ПУСК*. Отсчет времени прекращается, и на индикаторе высвечивается время срабатывания исследуемого реле.

Методика измерения на этой установке не отличается от методики, изложенной выше.

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 y и коэффициенты возврата реле $к_в$. 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			
$K_в$				$K_в$			

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

Форма 2

Тип реле-РТ-40			Тип реле-РН-53(РН-54)		
$I_р, A$			$U_р, B$		
$t_{ср}$,с			$t_{ср}$,с		

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.

Форма 3

$I_{уст}, A$			
$I_{нв}, A$			
$I_{ср}, A$			
$I_{вр}, A$			
ɣ			
$K_в$			

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.

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: $I_{уст} = \ldots A$, $t_{уст} = \ldots c$, $k_{отс} = \ldots$					
$I_р, A$									
$I_р / I_{уст}$									
$I_{ср}$,с									

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 репе. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу по форме 5.

Форма 5

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

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 напряжении»

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 графике $t_{ср} = f(I_р / I_{уст})$.

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.

Форма 6

Тип реле…,				$I_{уст}$ =… A		
$I_р, A$						
$I_р/I_{уст}$						
$r_{ср}$, с						

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 электромагнитного 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…, $I_{уст}$ =… A, $k_{отс}$ =…							
$I_{ав}$							
$I_{ав} / I_{уст}$							
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 …, $k_{т\,ном}$ =…	
U_0, *В*	
I_0, *А*	

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

Форма 9

Тип ТТ …, $k_{т\,ном}$ =…	
$U_к$, *В*	
$I_к$, *А*	

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. Результаты измерений и вычислений представить в виде таблицы по форме 10 и в виде графиков $\varepsilon = f(Z_н)$ при $I_1 = const.$

Форма 10

Тип ТТ …, I_i =… *A*, $k_{т\,ном}$ =…	
$Z_н$,*Ом*	
I_2, *A*	
ε, %	

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 $\varepsilon = f(I_1)$ при $Z_н = const.$

Форма 11

Тип ТТ …, $Z_н$ =… *Ом*, $k_{т\,ном}$ =…	
I_1, *A*	
I_2, *A*	
ε, %	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Чунихин, А.А. Электрические аппараты: общий курс:учебник дляэлектротехн. и электроэнергет. специальностей вузов/ А. А.Чунихин.- 3-е изд., перераб. и доп. репринт. - М.: Альянс, 2013. - 718 с.

2. Алиев, И.И. Электрические аппараты: справ. / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов. – М.: РадиоСофт, 2007. – 255 с.: ил., табл.

3.Таев, И.О. Электрические аппараты управления / И.О.Таев. - М.: Высш.шк., 1984. - 248 с.

4.Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 504 с.