

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

621.318
И 887

№ 2975

ИСПЫТАНИЕ ТОКОВЫХ РЕЛЕ

Методические указания к лабораторным работам
для студентов IV курса направления 140200
«Электроэнергетика»
факультета энергетики всех форм обучения

НОВОСИБИРСК
2005

УДК 621.318.56.001.4(07)
И 887

Составитель канд. техн. наук, доц. *А.В. Виштинбеев*

Рецензент канд. техн. наук, доц. *А.И. Щеглов*

Работа подготовлена на кафедре «Электрические станции»

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Конструкция и принцип действия реле	8
Электромагнитное токовое реле РТ40.....	8
Индукционное реле РТ80.....	16
Микроэлектронное реле РСТ13	20
Порядок выполнения работы.....	25
Испытание электромагнитного реле РТ40.....	26
Испытание индукционного реле РТ80	28
Испытание микроэлектронного реле РСТ13.....	29
Контрольные вопросы.....	31
Список литературы.....	32

ВВЕДЕНИЕ

Электрические машины и аппараты, линии электропередач и другие части электрических установок и электрических сетей постоянно находятся под напряжением и обтекаются током, вызывающим их нагрев. Поэтому в процессе эксплуатации могут возникать повреждения, приводящие к коротким замыканиям (КЗ).

Короткие замыкания возникают вследствие пробоя или перекрытия изоляции, обрывов проводов, ошибочных действий персонала (включение под напряжение заземленного оборудования, отключения разъединителей под нагрузкой) и других причин.

В большинстве случаев в месте КЗ возникает электрическая дуга с высокой температурой, приводящая к разрушениям токоведущих частей, изоляторов и электрических аппаратов. При КЗ к месту повреждения подтекают токи (токи КЗ), измеряемые тысячами ампер, которые перегревают неповрежденные токоведущие части и могут вызвать дополнительные повреждения, т.е. развитие аварии. Одновременно в сети, электрически связанной с местом повреждения, происходит глубокое понижение напряжения, что может привести к остановке электродвигателей и нарушению параллельной работы генераторов.

Основным звеном противоаварийного управления является *релейная защита*, обеспечивающая быстрое определение места КЗ и отключение поврежденных элементов.

Таким образом, основным назначением релейной защиты является выявление места возникновения КЗ и быстрое автоматическое отключение поврежденного оборудования или участка сети от остальной, неповрежденной части электрической установки или сети.

Вторым назначением релейной защиты является выявление нарушений нормальных режимов работы оборудования и подача предупредительных сигналов обслуживающему персоналу или отключение оборудования.

Основными видами повреждений линий электропередачи, требующими их немедленного отключения, являются однофазные или междуфазные КЗ. Защита линии должна выявить факт повреждений и

подать сигнал на отключение поврежденной линии от источников питания.

К релейной защите предъявляются следующие требования.

1. *Быстродействие* – защита должна отключать поврежденный элемент максимально быстро, чтобы предотвратить или уменьшить размеры повреждений и сохранить нормальную работу потребителей неповрежденной части установки, исключить нарушение параллельной работы генераторов.

2. *Селективность (избирательность)* – защита должна выявлять место повреждения и отключать его только ближайшими к нему выключателями, т.е. отключаться должен только поврежденный элемент сети, а неповрежденный – оставаться в работе.

3. *Чувствительность* – защита должна обладать такой чувствительностью (реакцией) к тем видам повреждений и нарушениям нормального режима в данной электрической установке или электрической сети, на которые она рассчитана (с необходимым запасом), чтобы было обеспечено ее действие в начале возникновения повреждения, чем сокращаются размеры повреждения оборудования в месте КЗ. Чувствительность защиты должна обеспечивать ее действие не только на участке, где она установлена, но и на смежных участках – такое действие защиты называется дальним резервированием.

4. *Надежность* – защита должна правильно и безотказно действовать на отключение выключателей оборудования при всех его повреждениях и нарушениях нормального режима работы, когда это предусмотрено; не действовать в нормальных условиях, а также при таких повреждениях и нарушениях нормального режима работы, при которых действие данной защиты не предусмотрено и должна действовать другая защита.

Релейная защита состоит из пусковых органов и логической части.

Пусковые органы, которые в различных источниках называют главными, контролирующими, измерительными, реагирующими, выявительными [1–3], непосредственно и непрерывно контролируют состояние и режим работы защищаемого оборудования и реагируют на возникновение КЗ и нарушения нормального режима работы. Пусковые органы выполняются с помощью реле тока, напряжения, сопротивления, мощности и т.д.

Логическая часть представляет собой схему, которая запускается пусковыми органами, и, сопоставляя последовательность и продолжительность их действия, производит отключение выключателей мгновенно.

венно или с выдержкой времени, запускает другие устройства, подает сигналы и производит прочие производственные действия. Логическая часть состоит в основном из реле времени, промежуточных и указательных реле. В отдельных случаях пусковые органы и логическая часть могут выполняться конструктивно как одно целое.

Защиты от КЗ выполнены на основе устройств, называемых реле.

Энциклопедии и технические словари определяют слово «реле» (англ. *relay* – смена, эстафета, дорожная станция, где заменяли лошадей; франц. *relais*, от *relayer* – сменять, заменять) как устройство для автоматической коммутации электрических цепей по сигналу извне. Любое релейное устройство, как и реле для коммутации электрических цепей, состоит из релейного элемента (с двумя состояниями устойчивого равновесия) и группы электрических контактов, которые замыкаются (или размыкаются) при изменении состояния релейного элемента.

Реле широко применяются в устройствах автоматического управления, контроля, сигнализации, защиты, коммутации и т.д. Наиболее распространены коммутационные реле, реле давления, перемещения, расхода, реле времени, защитные реле.

Релейный элемент – простейшее переключательное устройство с двумя (или больше) состояниями устойчивого равновесия, каждое из которых может скачком сменяться другим под влиянием внешнего воздействия (например, изменения температуры, давления, электрического тока или напряжения, освещенности, силы звука).

В общем виде релейный элемент представляет собой техническое устройство, в котором при определенном значении входной величины энергии сигнала (даже плавно изменяемой) выходная величина энергии (даже может быть и другого вида) принимает скачкообразно фиксированное число значений. Здесь имеется в виду скачкообразное изменение Y не во времени, а в зависимости от величины X . Такая зависимость $Y = f(X)$ имеет форму петли (кусочно-линейная функция) и называется релейной характеристикой.

Релейная характеристика – характеристика кусочно-линейного вида, соответствующая преобразованию в техническом устройстве (системе) непрерывной входной величины x в дискретные значения выходной величины $y(n)$, где n – число возможных ее значений (уровней), обычно равное 2 или 3. На рис. 1 приведена, релейная характеристика простейших двухпозиционных электромагнитных реле. У релейной характеристики имеется зона гистерезиса (неоднозначности): при изменении x в областях $x_1 \leq x \leq x_2$. Ход зависимости $y(x)$ оп-

ределяется не только величиной, но и направлением изменения x . Значение x , при котором y скачком переходит от одного значения к другому, называется порогом срабатывания.

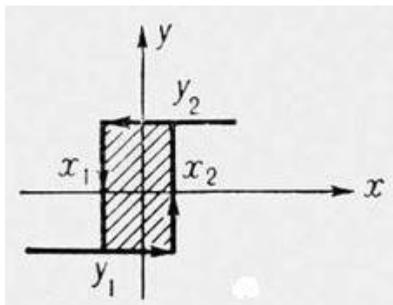


Рис. 1. Релейная характеристика

Все реле подразделяется на три группы.

1. **Основные реле**, непосредственно реагирующие на изменение контролируемых величин, например тока, напряжения, мощности, частоты, сопротивления и т.д.

2. **Вспомогательные реле**, управляемые другими реле и выполняющие функции введения выдержки времени, размножения сигналов, передачи команд от одних реле к другим, воздействия на выключатели, сигналы и т.п.

3. **Сигнальные (указательные) реле**, фиксирующие действие защиты и управляющие звуковыми и световыми сигналами (звуковая и световая сигнализация).

Все реле имеют *воспринимающий* орган, который непосредственно воспринимает изменения электрических величин, подведенных к реле, и производит соответствующие им изменения в других органах или частях реле, и *исполнительный* орган, который, воздействуя на внешние цепи, производит отключение выключателей, подачу предупредительных сигналов или запуск других реле. Исполнительным органом являются контакты реле. Кроме того, некоторые реле имеют *орган замедления* или *выдержки времени*.

В зависимости от электрической величины, на которую реагирует воспринимающий орган, электрические реле бывают: *тока, напряжения, мощности, сопротивления* и *частоты*, а по характеру изменения воздействующей величины делятся на реле увеличения величины, или

максимальные, и реле уменьшения величины, или *минимальные*. Максимальные реле срабатывают, когда значение воздействующей величины превосходит заданную, а минимальные – когда значение воздействующей величины снижается ниже заданной.

По способу включения воспринимающего органа различаются реле *первичные*, у которых воспринимающий орган включается непосредственно в цепь защищаемого элемента, и *вторичные*, у которых воспринимающий орган включается через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

По способу воздействия исполнительного органа различаются реле *прямого действия*, у которых исполнительный орган отключает выключатель путем механического воздействия, и реле *косвенного действия*, исполнительный орган которых воздействует на привод выключателя с помощью оперативного тока.

Целью данных методических указаний является описание принципов действия, конструкций, основных характеристик и порядка выполнения лабораторной работы по изучению максимальных реле тока РТ40*, РТ80 и РСТ13, имеющих релейную характеристику, представленную на рис. 1.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЕЛЕ

Электромагнитное токовое реле РТ40

Реле предназначено для работы в устройствах релейной защиты и автоматики в качестве органа, реагирующего на изменение тока в контролируемой цепи. Общий вид реле приведен на рис. 2.

Магнитная система реле РТ40 состоит из шихтованного сердечника и подвижного якоря. В сердечнике электромагнита под катушками обмоток имеются вырезы, предназначенные для снижения вибрации подвижной системы при больших и несинусоидальных токах. На пиках несинусоидального тока участки сердечника с уменьшенным сечением насыщаются и ограничивают величину магнитного потока.

* В настоящее время реле РТ40 заменяются реле РСТ40 (статические реле максимального тока). Диапазон уставок от 0.05 до 200 А. Устойчивы к воздействию помех, обладают высокой виброустойчивостью и прочностью, имеют исполнение с независимой выдержкой времени (РСТ-40-1В) от 0.1 до 30 с. Габаритные размеры 63 × 85 × 106 мм.

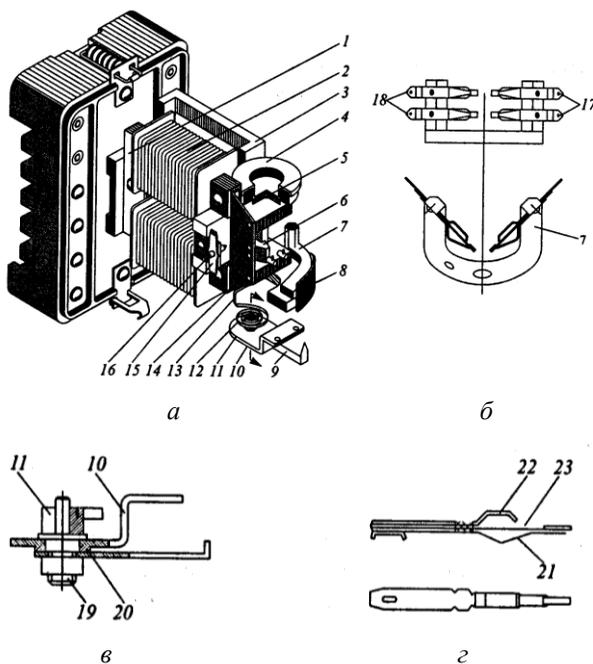


Рис. 2. Общий вид реле РТ40:

а – конструкция реле; *б* – изоляционная колодка с неподвижными контактами; *в* – регулировочный узел; *г* – контактный узел; 1 – сердечник, 2 – каркас с обмоткой, 3 – алюминиевая стойка, 4 – демпфер, 5 – верхняя полуось, 6 – подвижной контакт, 7 – изоляционная колодка, 8 – шкала уставок, 9 – указатель уставки, 10 – пружинодержатель, 11 – шестигранная втулка, 12 – спиральная пружина, 13 – хвостовик, 14 – якорь, 15 – фасонная пластинка, 16 – левый упор, 17 – правая пара неподвижных контактов, 18 – левая пара неподвижных контактов, 19 – фасонный винт, 20 – пружинящая шайба, 21 – задний гибкий упор, 22 – передний упор, 23 – бронзовая пластинка с серебряной полоской

На оси якоря закреплен полый барабанчик с радиальными перегородками внутри, заполненный кварцевым песком. Барабанчик представляет собой механический демпфер, который также служит для снижения вибраций подвижной системы при больших токах.

На сердечнике расположены две катушки, концы обмоток которых выведены на зажимы реле. Перестановкой перемычек на этих за-

жимах можно получать последовательное или параллельное соединение обмоток и, соответственно, изменять величину уставок в два раза. Цифры, нанесенные на шкале, соответствуют последовательному соединению обмоток.

При протекании тока по обмотке, нанесенной на каркас 2, создается магнитный поток, стремящейся замкнуться по пути наименьшего сопротивления. При этом якорь 14 стремится притянуться к полюсам сердечника. Этому противодействует спиральная пружина 12. Сила притяжения якоря пропорциональна квадрату магнитного потока, который при ненасыщенном сердечнике пропорционален току в обмотке реле.

$$F = k_1 \Phi^2 = k_1 I_{\text{реле}}^2.$$

При увеличении тока до значения, при котором электромагнитная сила становится больше силы пружины, веса якоря и силы трения, якорь притягивается к полюсам магнитопровода и подвижный контакт б замыкает правую пару неподвижных контактов:

$$F_{\text{эм}} > F_{\text{пр}} + F_{\text{я}} + F_{\text{тр}}.$$

Когда ток, протекающий по обмоткам реле, уменьшается до некоторого значения, якорь возвращается в исходное состояние и контакты реле размыкаются.

Током срабатывания реле I_c обычно называют минимальный ток, при котором реле замыкает свои контакты. *Током возврата реле* I_b называется максимальный ток, протекающий по обмоткам реле, при котором якорь реле возвращается в исходное состояние. Отношение тока возврата к току срабатывания реле называется коэффициентом возврата:

$$k_b = \frac{I_b}{I_c}.$$

Для реле тока максимального действия $I_c > I_b$, следовательно, k_b всегда меньше 1. Желательно иметь коэффициент возврата максимально близкий (но не равный) к 1.

Величина коэффициента возврата реле зависит от характера зависимостей электромагнитной силы и силы возвратной спиральной пружины от угла поворота якоря $F_{\text{эм}} = f_1(\alpha)$ и $F_{\text{пр}} = f_2(\alpha)$ (рис. 3).

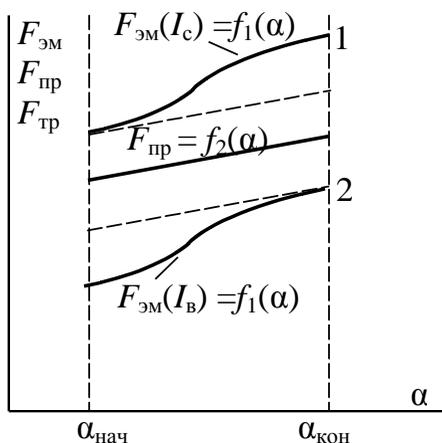


Рис. 3. Тяговые характеристики реле

Как видно из рис. 3, срабатывание реле произойдет при таком токе, когда $\alpha = \alpha_{\text{нач}}$ имеет место соотношение $F_{\text{эм}} \geq F_{\text{пр}} + E_{\text{тр}}$ (F – сила трения). После срабатывания реле якорь займет положение, соответствующее углу поворота якоря ($\alpha = \alpha_{\text{кон}}$), а электромагнитная сила будет характеризоваться точкой 1. Возврат реле может произойти только в случае, если ток в реле уменьшится до величины, при которой имеет место соотношение $F_{\text{эм}} \leq F_{\text{пр}} + E_{\text{тр}}$ – точка 2. Чем ближе на характеристике располагаются точки 1 и 2, тем меньше отличаются токи срабатывания и возврата реле и тем выше коэффициент возврата.

В рассматриваемом электромагнитном токовом реле для повышения коэффициента возврата реле применен якорь с поперечным движением.

Как видно на рис. 4, в создании вращающего момента участвует не полная электромагнитная сила $F_{\text{эм}}$, а только ее тангенциальная составляющая $F_{\text{эм}}^{\text{tg}}$. Доля тангенциальной составляющей уменьшается по мере поворота якоря. Этим достигается более пологий характер зависимости $F_{\text{эм}} = f_1(\alpha)$, что соответствует сближению точек 1 и 2 на рис. 3.

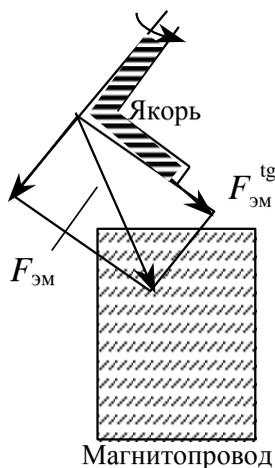


Рис. 4. Электромагнитная сила, действующая на якорь

При периодическом изменении направления переменного тока, проходящего по обмотке электромагнитного реле, также периодически изменяется полярность намагничивания сердечника и якоря реле. Поэтому сердечник и якорь всегда обращены друг к другу разноименными полюсами и притягиваются. Следовательно, *направление силы притяжения якоря не зависит от направления тока в обмотке реле*, и поэтому электромагнитные реле могут применяться в цепях как постоянного, так и переменного тока.

В табл. 1 приведены токи срабатывания и допустимые токи по термической стойкости для реле РТ40.

Сопротивление реле можно определить по формуле:

$$Z_{\text{реле}} = \frac{S}{I_{\text{ср}}},$$

где S – потребляемая мощность при токе уставки, Вт; $I_{\text{ср}}$ – ток срабатывания при минимальной уставке по шкале, А. Погрешность срабатывания реле составляет не более $\pm 5\%$.

Таблица 1

Токи срабатывания и допустимые токи по термической стойкости для реле серии РТ40

Тип реле	Соединение обмоток						Потребляемая мощность при токе уставки, Вт
	Последовательное			Параллельное			
	Ток срабатывания, А	Допустимый по термической стойкости ток, А		Ток срабатывания, А	Допустимый по термической стойкости ток, А		
		длительно	в течение 1 с		длительно	в течение 1 с	
РТ40/0.2	0.15...0.1	0.55	15	0.1...0.2	1.1	30	0.2
РТ40/0.6	0.15...0.3	1.75	50	0.3...0.6	3.5	100	0.2
РТ40/2	0.5...1	4.15	100	1...2	8.3	200	0.2
РТ40/6	1.5...3	11	300	3...6	22	600	0.5
РТ40/10	2.5...5	17	400	5...10	34	800	0.5
РТ40/20	5...10	19	400	10...20	38	800	0.5
РТ40/50	12.5...25	27	500	25...50	54	1000	0.8
РТ40/100	25...50	27	500	50...100	54	1000	1.8
РТ40/200	50...100	27	500	100...200	54	1000	8

Разрывная мощность контактов в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой, постоянная времени которой не более 0.05 с, составляет 60 Вт при напряжении до 220 В и токе до 2 А, а в цепи переменного тока – до 300 ВА при тех же значениях напряжения и тока. Собственное время срабатывания реле при токе равном 1.2 значения уставки не более 0.15 с.

В отличие от электромагнитного реле тока, электромагнитное *реле напряжения* имеет некоторые особенности. Обмотка реле имеет небольшое по сравнению с индуктивным *активное сопротивление*. Поэтому магнитный поток в магнитопроводе практически пропорционален приложенному напряжению и остается почти неизменным при повороте якоря. В то же время момент противодействующей пружины растет, следовательно, если после начала движения не повышать напряжения на реле, то якорь остановится. Срабатывание произойдет, когда момент *M* превысит момент пружины при конечном положении якоря. Таким образом, будет полностью отсутствовать положительная обратная связь, срабатывание окажется нечетким, а нажатие на кон-

такты меньшим, чем у реле тока. Поэтому в электромагнитных реле напряжения необходимо искусственно уменьшать добротность обмотки, для чего, например, часть витков можно выполнять проводом с большим удельным сопротивлением. Тогда реле будет реагировать практически на ток, пропорциональный входному напряжению. Это, однако, приводит к увеличению потребления срабатывания реле напряжения по сравнению с однотипным реле тока. Если реле напряжения выполнить на выпрямленном токе, то поворот якоря будет приводить к увеличению потока в магнитопроводе точно так же, как и в токовом реле, поскольку магнитодвижущая сила обмотки реле в установленном режиме изменяться не будет (индуктивность не влияет на средний ток), а магнитное сопротивление снизится. В электромагнитных реле напряжения серии РН-50 выпрямительный мост питает обмотку собственно реле, имеющего такую же конструкцию, как и реле типа РТ40. Для обеспечения быстродействия тем не менее приходится включать дополнительные резисторы последовательно со входом выпрямительного моста. В этом случае ток реле является почти принужденным, а поток в магнитопроводе нарастает, как в реле тока. Коэффициент возврата максимального реле напряжения не менее 0,8, а минимального – не более 1,25.

Кроме реле тока и напряжения в качестве вспомогательных реле используются *промежуточные реле*. Основное назначение вспомогательных реле:

- размножение контактов основного реле в случаях, когда при срабатывании последнего требуется одновременно замкнуть или разомкнуть несколько цепей (например, одновременное отключение защиты нескольких выключателей);

- разгрузка контактов основного реле при необходимости замыкания или размыкания цепей такой мощности, на которую не рассчитаны контакты основного реле (в этих случаях основное реле замыкает цепь обмотки промежуточного реле, а последнее своими более мощными контактами замыкает или размыкает соответствующие цепи).

Поэтому контакты промежуточных реле более мощные и имеют большую массу по сравнению с реле тока, что отражается на их конструкции. Конструкции промежуточных реле выбираются с таким расчетом, чтобы они были надежными, обеспечивали необходимую коммутационную способность и требуемые изоляционные характеристики, имели по возможности малую потребляемую мощность и небольшие размеры. Коэффициент возврата промежуточных реле не имеет существенного значения, поскольку возврат реле должен обес-

печиваться при полном снятии напряжения, однако совершенно недопустимо «залипание» реле под воздействием остаточной индукции в магнитопроводе. Наиболее распространены промежуточные электромагнитные реле клапанного типа с поворотным якорем, притягивающимся к полюсному наконечнику магнитопровода.

Промежуточные реле выполняются на электромагнитном принципе для работы на оперативном постоянном и переменном токе. В зависимости от назначения промежуточные реле выполняются с обмотками напряжения или обмотками тока или теми и другими одновременно. *Промежуточные реле с обмотками напряжения* включаются на полное напряжение источника оперативного тока. *Промежуточные реле с обмотками тока* включаются последовательно в цепь обмоток других аппаратов (например, отключающих катушек выключателей) и работают от тока, проходящего по этой цепи. Реле постоянного тока изготавливаются на напряжение 24, 48, 110 и 220 В; переменного тока – на 127, 220 и 380 В.

Например, реле промежуточные серий РП23 и РП25 применяются в качестве вспомогательных реле: в цепях постоянного тока – реле типа РП23, в цепях переменного тока – реле типа РП25.

Реле выпускаются с одним размыкающим и четырьмя замыкающими контактами. Однако при перестановке контактных угольников и подвижных контактных пластин на месте эксплуатации можно получить следующие комбинации размыкающих и замыкающих контактов: 2 и 3, 3 и 2, 4 и 1.

Коммутационная способность контактов в цепи постоянного тока 100 Вт при напряжении от 24 до 250 В и токе до 2 А, в цепи переменного тока – 500 ВАТ при том же напряжении и токе до 5 А. Длительно допустимый ток контактов 5 А. Номинальное напряжение 24, 48, 110 или 220 В для реле РП23; 100, 127 или 220 В для реле РП25.

Потребляемая мощность: при номинальном напряжении для реле постоянного тока – не более 6 Вт, для реле переменного тока – не более 10 ВА (при притянутаом якоре). Термическая стойкость позволяет выдерживать 1.1 $U_{ном}$ длительно. Напряжение срабатывания реле, нагретого до установившегося теплового состояния напряжением $U_{ном}$ при температуре окружающего воздуха +40 °С, не превышает 0.8 $U_{ном}$ для реле типа РП23 и 0.85 $U_{ном}$ для реле типа РП25. Масса реле 0.825 кг.

Индукционное токовое реле РТ80

Реле содержит индукционный и электромагнитный элементы. Применяется для защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередачи при коротких замыканиях и перегрузках.

Кинематическая схема реле приведена на рис. 5. Реле состоит из двух элементов: индукционного, создающего ограниченно зависимую от тока выдержку времени, и электромагнитного мгновенного действия (отсечки), обеспечивающего отключение защищаемого объекта без выдержки времени при превышении током КЗ уставки отсечки.

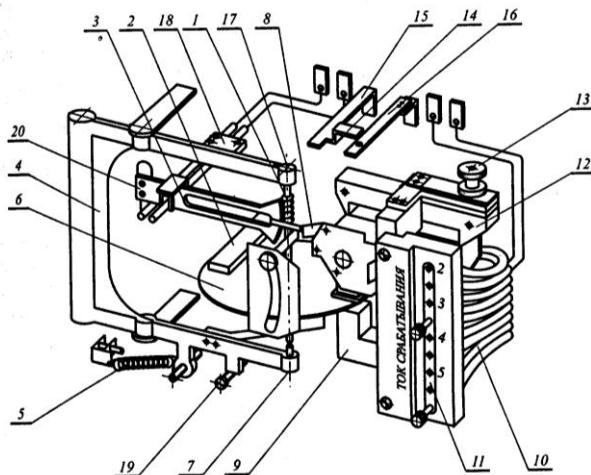


Рис. 5. Кинематическая схема реле РТ80:

1 – червяк, 2 – постоянный магнит, 3 – зубчатый сектор, 4 – подвижная рамка, 5 – арретирующая пружина, 6 – диск, 7 – нижний подпятник, 8 – механический указатель срабатывания, 9 – магнитопровод, 10 – обмотка реле, 11 – коммутатор отводов обмотки, 12 – якорь элемента отсечки, 13 – регулировочный винт уставки отсечки, 14 – неподвижный главный замыкающий контакт, 15 – угольник главных контактов, 16 – подвижная контактная пружина, 17 – верхний подпятник диска, 18 – скоба сигнальных контактов, 19 – упорный винт рамки, 20 – скоба-держатель зубчатого сектора.

Таблица 2

Исполнение реле серии РТ80

Тип реле	Номинальный ток, А	Ток срабатывания, А	Время срабатывания, с
РТ81/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	1...4
РТ81/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	1...4
РТ82/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	4...16
РТ82/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	4...16
РТ83/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	1...4
РТ83/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	1...4
РТ84/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	4...6
РТ84/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	4...16
РТ85/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	1...4
РТ85/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	1...4
РТ86/1	10	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	4...16
РТ86/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	4...16

Примечание: кратность тока срабатывания отсечки устанавливается в пределах 2...8. Потребляемая мощность – не более 10 ВА при токе, равном току срабатывания индукционного элемента. Коэффициент возврата индукционного элемента – не менее 0.8.

Индукционный элемент состоит из магнитопровода с обмоткой, диска, вращающегося в подпятниках подвижной рамки, тормозного постоянного магнита, червяка, насаженного на ось диска, и зубчатого сектора.

Вращающий момент на диске создается взаимодействием сдвинутых один относительно другого по фазе (на угол φ) магнитных потоков (Φ_1 и Φ_2) с токами, наводимыми ими в диске.

Ток, обтекающий обмотку реле, возбуждает в магнитопровode и воздушном зазоре магнитный поток, пропорциональный до начала насыщения стали значению этого тока. Для расщепления магнитного потока в воздушном зазоре на две составляющие, сдвинутые по фазе, полюсы магнитопровода разделены на две части, на одну из которых насажены короткозамкнутые витки (экраны). Потоки, выходящие из экранированной и неэкранированной частей полюсов, создают в диске электродвижущие силы двух видов: трансформаторные и резания.

Трансформаторные ЭДС, не зависящие от того, вращается диск или он неподвижен, создают в нем токи, обуславливающие появление

вращающего момента, пропорционального до насыщения магнитной системы квадрату тока, обтекающего обмотку реле.

$$M_{\text{вр}} = k_1 \Phi_1 \Phi_2 \sin \varphi, \quad M_{\text{вр}} = k_2 I^2.$$

Этот момент направлен всегда по кратчайшему пути от оси опережающего (неэкранированного) к оси отстающего (экранированного) потока, благодаря чему при достижении током в обмотке реле определенного значения диск начинает вращаться и при достижении тока уставки втягивается под экранированную часть полюса.

Электродвижущие силы резания возникают в диске только при его вращении и обуславливают появление тормозных моментов. Вращение диска замедляется также противодействующим моментом, создаваемым при вращении диска постоянным магнитом. Оба тормозных момента пропорциональны скорости вращения диска и обеспечивают при неизменном значении тока до значения тока насыщения ускорение, обуславливающее зависимую часть временной характеристики индукционного реле.

С насыщением магнитной системы увеличение магнитного потока, а следовательно, и вращающего момента с ростом тока в реле прекращается и характеристика переходит в независимую часть – у реле серии РТ80 при 8–10-кратном значении тока по отношению к току срабатывания независимого момента на данной уставке.

Диск реле начинает вращаться при токах, составляющих 20 %... 30 % тока срабатывания индукционного элемента. Реле при этом не срабатывает, так как пружина удерживает рамку (имеющую собственную ось вращения) в оттянутом положении и червяк на оси диска не сцеплен с зубчатым сектором.

На вращающийся диск действуют две силы: создаваемая электромагнитом вращает диск по часовой стрелке, а создаваемая при вращении диска тормозным постоянным магнитом противодействует вращению диска.

При возрастании тока в реле до значения тока срабатывания равнодействующая двух сил преодолевает натяжение пружины и, проворачивая рамку вокруг ее оси, производит сцепление червяка с сектором. Последний начинает подниматься и по прошествии времени, определяемого уставкой шкалы выдержек времени, хвостовиком поднимает коромысло якоря системы отсечки. При этом начинает уменьшаться правый зазор между якорем отсечки и магнитопроводом. Сила

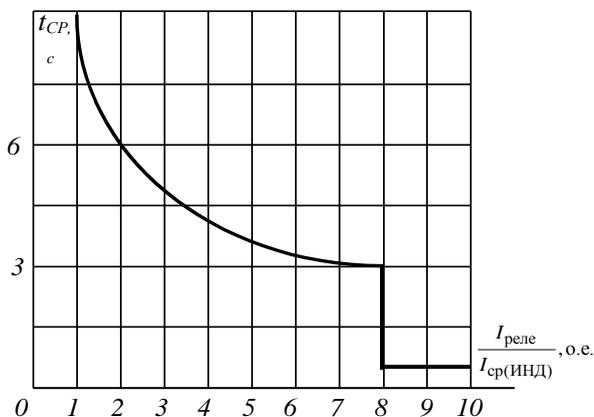


Рис. 6. Временная характеристика реле РТ80

притяжения якоря электромагнитной системы, образуемой им совместно с правой стороной магнитопровода и магнитным шунтом, обратно пропорциональна квадрату расстояния между полюсами, вследствие чего, как только воздушный зазор уменьшится до значения, соответствующего току срабатывания отсечки, якорь с ускорением притянется к магнитопроводу и толкатель замкнет главные контактов реле. Одновременно коромысло отсечки вытолкнет флажок механического указателя срабатывания реле.

Для устранения вибрации якоря отсечки в притянутом положении, вызывающей неустойчивую работу контактов, на правый конец якоря насажен короткозамкнутый виток, охватывающий часть торцевой стороны якоря и расщепляющий благодаря этому магнитный поток на опережающую и отстающую составляющие.

Для предотвращения ослабления сцепления червячной передачи под действием силы тяжести якоря с момента встречи хвостовика сектора с коромыслом на рамке установлена стальная скоба. Притягиваясь при сближении сектора с червяком за счет потоков рассеяния к магнитопроводу реле, эта скоба дополнительно усиливает сцепление червячной пары. Она же используется для регулирования коэффициента возврата реле, так как чем ближе ее подвести к магнитопроводу при втянутом секторе, тем меньший ток удержит рамку в притянутом положении, а следовательно, и сектор в сцеплении с червяком.

При токах, превышающих ток срабатывания электромагнитного элемента, работает элемент отсечки реле, т.е. срабатывание происходит практически без выдержки времени. В действительности время срабатывания электромагнитного элемента в зависимости от кратности тока в реле по отношению к уставке отсечки изменится в диапазоне 0.08...0.10 с. При двукратном токе уставки это время, как правило, не превышает 0.08 с.

Уставка тока срабатывания индукционного элемента регулируется коммутатором отводов обмотки 11.

Уставка тока срабатывания отсечки регулируется регулировочным винтом 13. Цифры на винте указывают кратность срабатывания отсечки по отношению к срабатыванию индукционного элемента

Уставка времени индукционного элемента регулируется изменением пути, который проходит зубчатый сектор 3 до соприкосновения с подвижной контактной пружиной 16. Шкала уставок времени соответствует 10-кратному току срабатывания.

Ток замыкания главных замыкающих контактов реле типов РТ81, РТ82, РТ83 и РТ84 – 5 А при напряжении до 250 В постоянного и переменного тока.

Ток размыкающих контактов – 2 А при напряжении до 250 В переменного тока и 0.5 А при напряжении до 250 В постоянного тока. Если управляемая цепь получает питание от трансформаторов тока и имеет при токе 4 А полное сопротивление не более 4 Ом, а при токе 50 А – не более 1.5 Ом, то контакты указанных реле способны шунтировать и дешунтировать эту цепь при токе до 50 А.

Главные контакты реле типов РТ85 и РТ86 способны шунтировать и дешунтировать управляемую цепь при токах до 150 А, если она питается от трансформатора тока и ее полное сопротивление при токе 4 А не более 4 Ом, а при токе 50 А не более 1.5 Ом.

Масса реле 2.9 кг.

Микроэлектронное реле РСТ13

Реле РСТ13 выполнено на микроэлектронной элементной базе. Важной характеристикой аппаратуры, выполненной на микроэлектронной элементной базе, является помехоустойчивость. Чтобы нейтрализовать импульсные помехи в реле, используется *временн*ульсный принцип действия: реле срабатывает при выполнении двух условий – ток в реле превышает уровень срабатывания пускового органа в

течение заданного интервала времени t_k (причем t_k должно быть больше максимальной длительности импульсной помехи).

Мощность, потребляемая реле РСТ по цепям оперативного тока, не превышает 7 ВА в режиме до срабатывания, 8.5 ВА – при срабатывании.

Реле не срабатывают в момент снятия или при подаче и кратковременном (до 50 мс) исчезновении напряжения оперативного тока. При этом значение контролируемой величины для реле максимального тока или напряжения может достигать 0.85 значения уставки, а для реле минимального напряжения должно быть не ниже 1.15 напряжения уставки. Отсутствие оперативного напряжения приводит к отказу реле максимального тока и напряжения, снятие оперативного напряжения – к излишнему срабатыванию реле минимального напряжения.

Отключающая способность контактов выходного реле при напряжении от 24 до 250 В в цепях постоянного тока с постоянной времени индуктивной нагрузки не более 0.02 с – 30 Вт (но не более 1 А) и в цепях переменного тока при коэффициенте мощности не менее 0.4 – до 250 ВА (но не более 2 А). Ток при включении 5 А, допустимая длительность его протекания 10 с.

Все элементы схемы реле, кроме балластных резисторов, смонтированы в общем корпусе, состоящем из основания и съемного прозрачного корпуса. Балластные резисторы установлены на основании реле с наружной стороны. Переключатели уставок, выходящие регулируемой частью на наружную сторону лицевой таблички, установлены на плате с печатным монтажом.

Размеры цоколя реле 152×66 мм, высота 181 мм, масса реле 1.2 кг.

Реле предназначены для установки на вертикальной панели. Предусмотрено переднее или заднее присоединение проводов. Выводы реле допускают присоединение одного или двух проводов сечением до 1.5 мм² или одного провода сечением до 2.5 мм².

Коэффициент возврата не ниже 0.9.

Принципиальная схема реле приведена на рис. 7.

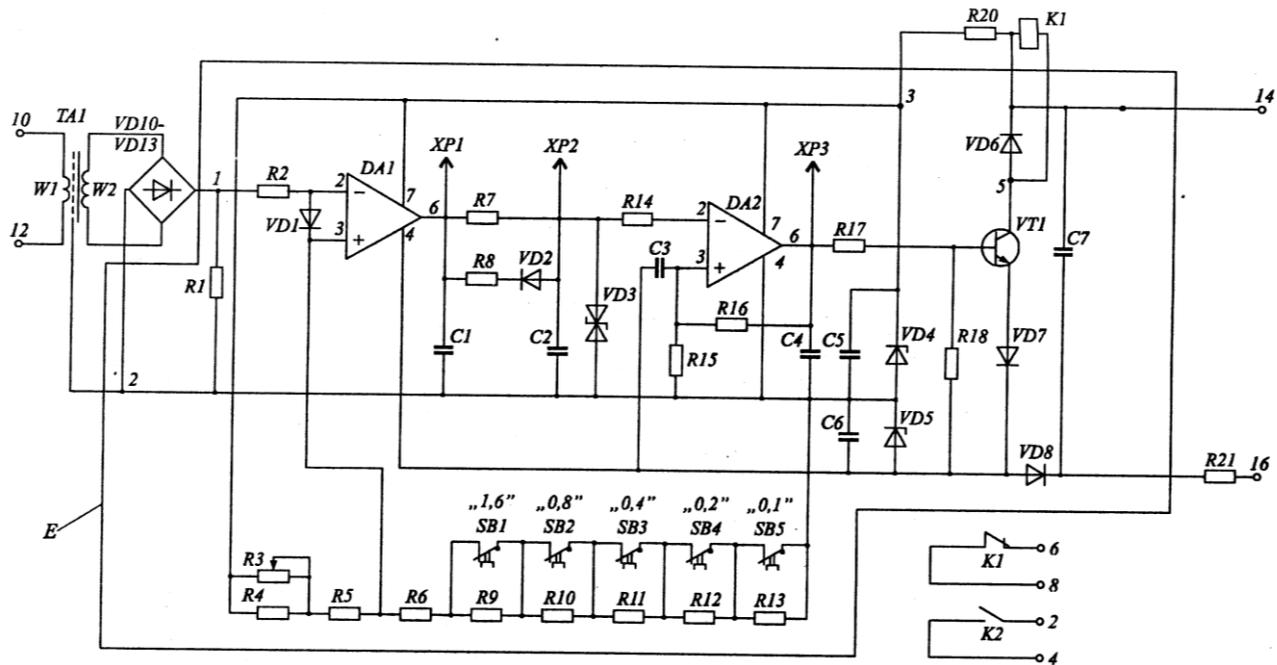


Рис. 7. Принципиальная схема реле РСТ13

На принципиальных схемах реле буквой «Е» обозначен контур, ограничивающий элементы схемы, расположенные на печатной плате.

Реле состоит из следующих частей: воспринимающей (промежуточный трансформатор ТА1), преобразующей (выпрямительный мост V1, выход которого подключен к резистору R1), сравнивающей (пороговый элемент на операционном усилителе, интегрирующая RC-цепь и триггер Шмитта) и исполнительной (промежуточное реле К1, включенное в цепь коллектора транзистора VT1).

Положение переключателей уставок SB1-SB5 на схемах соответствует минимальной уставке по току срабатывания реле. Числа над переключателями соответствуют числам на шкале уставок реле.

«Пороговый элемент» реле выполнен на компараторе DA1. Порог компаратора определяется напряжением на цепи резисторов R6, R9-R13, которое практически пропорционально сопротивлению этой цепи, так как ток в ней задается резисторами R3-R5, имеющими большое сопротивление. Переменный резистор R3 служит для точной подстройки уставки. Диод VD1 предназначен для защиты компаратора DA1 при больших токах на входе реле.

При отсутствии тока на входе напряжение на выходе компаратора DA1 имеет максимальное положительное значение и составляет +15 В. Этим напряжением заряжен конденсатор C2. При наличии входного тока в моменты времени, когда мгновенное значение переменного сигнала на инвертирующем входе 2 компаратора DA1 превышает напряжение порога, на выходе компаратора появляется максимальное отрицательное напряжение –15 В, конденсатор C2 быстро перезаряжается через параллельно включенные резисторы R7, R8 и диод VD2. В промежутки времени, когда мгновенное значение сигнала ниже порога, на выходе компаратора DA1 вновь появляется положительное напряжение, диод VD2 запирается и конденсатор C2 медленно заряжается по цепи резистора R7, так как сопротивление R7 выбрано в 3 раза большим сопротивления резистора R8.

При увеличении амплитуды входного тока время заряда конденсатора C2 отрицательным напряжением увеличивается, а время заряда положительным напряжением уменьшается, поэтому амплитуда отрицательного напряжения на C2 увеличивается, а положительного – уменьшается. При токе срабатывания реле амплитуда сигнала на конденсаторе C2 достигает отрицательного порога срабатывания триггера Шмитта, выполненного на компараторе DA2, который переключается, напряжение на его выходе становится положительным. По цепи рези-

стора R17 открывается до насыщения транзистор VT1 и срабатывает выходное реле K1.

Одновременно становится положительным напряжение порога триггера, определяемое напряжением на резисторе R15. Амплитуда положительного напряжения на C2 ниже вновь установившегося порога, поэтому триггер DA2 и выходное реле K1 остаются в устойчивом положении после срабатывания. Возврат реле происходит при уменьшении амплитуды входного сигнала, что приводит к повышению положительного напряжения на конденсаторе C2 выше вновь установившегося порога триггера DA2 и переключению этого триггера.

Для обеспечения высокого коэффициента возврата реле, а также для уменьшения времени его срабатывания и возврата параллельно инвертирующему входу триггера включен стабилитрон VD3, уровень стабилизации которого несколько превышает порог триггера. Этот уровень выбран так, чтобы перезарядка конденсатора C2 интегрирующей RC-цепи во времени происходила на относительно малом, практически линейном участке экспоненты, что стабилизирует временные характеристики реле.

Резистор R17 ограничивает ток, а резистор R18 – напряжение цепи база–эмиттер транзистора VT1. Диод VD6 защищает этот трансформатор от перенапряжений в цепи эмиттер–коллектор при коммутации электромагнитного реле K1, а диод VD7 служит для обеспечения режима отсечки транзистора VT1 в режиме до срабатывания реле. Конденсаторы C1 и C4 предназначены для защиты реле от импульсных помех, а конденсатор C3 – для предотвращения кратковременного срабатывания выходного реле при включении оперативного напряжения.

Напряжение ± 15 В для питания компараторов DA1 и DA2 снимается со стабилитронов VD4 и VD5 и дополнительно сглаживается конденсаторами C5, C6, которые одновременно служат для защиты схемы реле от импульсных помех. Резисторы R19, R20 являются балластными при стабилизации и сглаживании напряжения. Реле серии РСТ13 работают на постоянном напряжении оперативного тока. Диод VD8 в схеме предназначен для защиты реле от ошибочного включения напряжения обратной полярности.

Регулирование уставок реле производится дискретно ступенями по 0.1 минимальной уставки диапазона. Значение тока срабатывания на соответствующей уставке определяется по формуле

$$I = I_{\text{мин}}(1 + N),$$

где I_{\min} – минимальная уставка по току диапазона уставок; N – сумма чисел на шкале уставок (0.1; 0.2; 0.4; 0.8; 1.6), около которых шлицы переключателей уставок SB1-SB5 установлены горизонтально. При этом контакты соответствующих переключателей разомкнуты, а резисторы R9-R13 введены в работу, что приводит к повышению порога срабатывания компаратора DA1. При необходимости ток срабатывания реле может быть подкорректирован с помощью переменного резистора R3, расположенного на лицевой стороне платы реле.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Испытания реле производятся на установке ЭУ5001. В данной лабораторной работе используется регулировочный блок ФР5000, на котором проводятся испытания и нагрузочный блок ФМ5000, на котором устанавливается предел измерений по шкале амперметра.

ВНИМАНИЕ! Переключатель SA 10 можно отключать, только когда тумблер SA 8 находится в положении «возврат», а потенциометр TV1 – в положении «0». Переключение предела измерения по шкале амперметра с помощью SA 15 (блок ФМ5000) производить только при отключенном состоянии стенда – SA 10.

Перед началом работы переключатели, не подвергающиеся изменению в процессе всей работы, должны быть переведены в положение, соответствующее табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Переключатель	SA 3	SA 4	SA 5	SA 6	SA 7	SA 8	SA 11	SA 12
Положение	0	5	450	1	1	Возврат	H2	1000
Переключатель	SA 13	SA 14	SA 20	SA 18	SA 19	SA 21		
Положение	0	Возврат	Прямо	AB	5	0		

На лицевой панели стенда выведены клеммы, которые задействованы в процессе опыта (рис. 8–10).

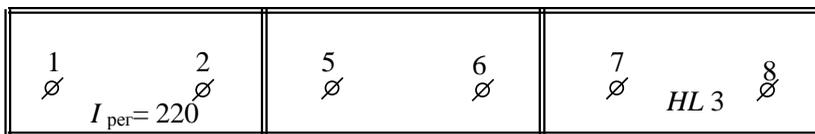


Рис. 8. Вид лицевой панели с клеммами

Сначала собирается схема. После проверки схемы преподавателем подается питание – тумблером SA 10. После этого тумблер SA 8 переводится в положение «сработ.».

Испытание электромагнитного реле РТ40

1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией реле РТ40.

2. Для всех уставок реле определить ток срабатывания $I_{ср}$ и ток возврата $I_{в}$ (схема опыта представлена на рис. 9) при последовательном и параллельном соединении обмоток реле (начало обмоток реле отмечено «точками»).

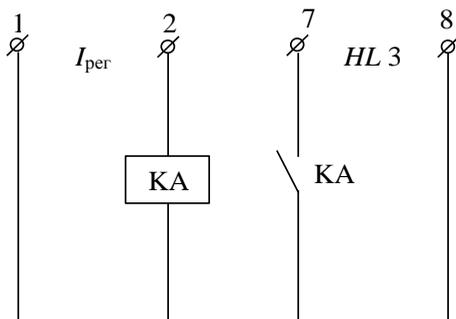


Рис. 9. Схема опыта реле РТ40 и РТ80

Выставляется первая уставка по шкале тока. Затем с помощью потенциометра TV1 плавно увеличивается ток в реле. Ток срабатывания реле фиксируется по замыканию контактов или по загоранию лампы HL 3 на шкале амперметра. Затем ток также плавно уменьшается и

фиксируется ток возврата – по размыканию контактов, или по погасанию лампы.

По результатам опыта вычислить коэффициент возврата $k_B = \frac{I_B}{I_{cp}}$

и погрешность $\Delta I_{cp} = \left| \frac{I_{cp} - I_y}{I_y} \right| \cdot 100\%$, а также построить зависимости:

$$I_{cp} = f(I_y), \quad I_B = f(I_y), \quad \Delta I_{cp} = f(I_y).$$

3. Снять независимую временную характеристику.

Электромагнитные токовые реле изготавливаются мгновенными, т.е. не имеют собственной временной характеристики. Можно говорить о независимой характеристике максимальной токовой защиты, в которой кроме токового реле мгновенного действия используются реле времени. Для этого необходимо последовательно контактам токового реле присоединить катушку реле времени (схема опыта представлена на рис. 10).

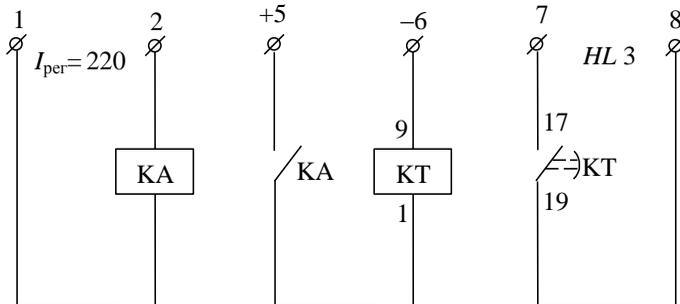


Рис. 10. Схема опыта РТ40 совместно с реле времени

Опыт проводится с помощью электронного секундомера, который определяет время действия защиты t_d (время срабатывания реле + уставка реле времени). Для всех уставок защиты при последовательном соединении обмоток необходимо измерить время действия защиты.

При снятии характеристики для каждой уставки сначала устанавливается ток, при котором реле надежно срабатывает, т.е. ток срабатывания, соответствующий уставке реле, I_p . Затем отключается сеть

(тумблер SA 10), электронный секундомер устанавливается на нуль, тумблер SA 2 – в положение C 3. После этого сеть включается и по секундомеру определяется время действия защиты. Далее тумблер переводится в положение HL 3, ток уменьшается до 0.

Уставку реле времени задает преподаватель. Результаты занести в таблицу, по ее данным построить зависимость

$$t_d = f(I_p).$$

Испытание индукционного реле РТ80

1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией реле РТ80.

2. Для всех уставок реле определить ток срабатывания I_{cp} и ток возврата I_B (схема опыта представлена на рис. 9).

Выставляется первая уставка по шкале тока. Затем с помощью потенциометра TV1 плавно увеличивается ток в реле. Ток срабатывания реле фиксируется по факту зацепления червяка с зубчатым сегментом. Затем ток так же плавно уменьшается, и фиксируется ток возврата – по факту выхода червяка из зацепления с сегментом.

По результатам опыта вычислить коэффициент возврата $k_B = \frac{I_B}{I_{cp}}$

и погрешность

$$\Delta I_{cp} = \left| \frac{I_{cp} - I_y}{I_y} \right| \cdot 100 \%,$$

а также построить зависимости

$$I_{cp} = f(I_y), \quad I_B = f(I_y), \quad \Delta I_{cp} = f(I_y).$$

Испытание электромагнитной отсечки (схема опыта представлена на рис. 9).

В задачу опыта входит проверка уставок токовых отсечек $k_{отс}$. Для каждой уставки отсечки, установленной винтом 13, находится действительная кратность срабатывания отсечки

$$k_{дейст} = \frac{I_{отс}}{I_{инд}},$$

где $I_{отс}$ – ток срабатывания отсечки; $I_{инд}$ – ток срабатывания индукционного элемента.

Выставляется первая уставка отсечки. Рамку 4 следует придерживать, не давая сработать индукционному элементу. Затем с помощью потенциометра TV1 плавно увеличивается ток в реле до срабатывания отсечки. Опыт производится при минимальной уставке по школе тока.

Результаты опыта свести в таблицу, по ее данным построить зависимость

$$k_{\text{дейст}} = f(k_{\text{отс}}).$$

4. Снятие зависимости времени срабатывания индукционного элемента от тока в реле.

Характеристика снимается при заданных преподавателем уставках времени и тока. При снятии характеристики сначала устанавливается необходимая величина тока I_y , $2I_y$, $4I_y$, $6I_y$, $8I_y$, при котором реле надежно работает. Рамку 4 следует придерживать, не давая сработать индукционному элементу. Затем отключается сеть (SA 10), электронный секундомер устанавливается на нуль, тумблер SA 2 – в положение C 3. После этого сеть включается и по секундомеру определяется время действия защиты. Далее тумблер переводится в положение HL 3, ток уменьшается до 0.

По полученным данным построить график

$$t_{\text{ср}}(\text{инд}) = f(I_p).$$

Отметим, что в данном опыте электромагнитную отсечку необходимо вывести из действия винтом 13.

5. Снятие зависимости времени срабатывания отсечки от тока в реле – получение независимой части характеристики (схема опыта представлена на рис. 7).

Характеристика снимается при токе $I_p = 10I_y$ аналогично опыту 4.

По полученным данным построить график

$$t_{\text{ср}}(\text{отс}) = f(I_p).$$

Испытание микроэлектронного реле РСТ13

1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией реле РСТ13.

2. По формуле, приведенной на лицевой панели реле, рассчитать максимальную и минимальную уставки реле. Между максимальным и минимальным значениями наметить еще 3–5 уставок.

3. Для всех уставок реле определить ток срабатывания I_{cp} и ток возврата I_b (схема опыта представлена на рис. 11).

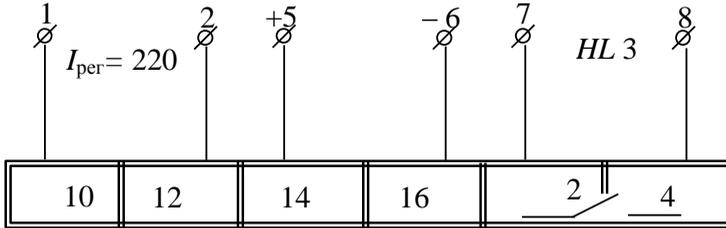


Рис. 11. Схема опыта с реле РСТ13

По результатам опыта вычислить коэффициент возврата $k_b = \frac{I_b}{I_{cp}}$

и погрешность $\Delta I_{cp} = \left| \frac{I_{cp} - I_y}{I_y} \right| \cdot 100\%$, а также построить зависимости:

$$I_{cp} = f(I_y), \quad I_b = f(I_y), \quad \Delta I_{cp} = f(I_y).$$

4. Снять независимую временную характеристику.

Схема подключения микроэлектронного реле времени РВ-01 представлена на рис. 12. Опыт проводится аналогично описанному для реле РТ40.

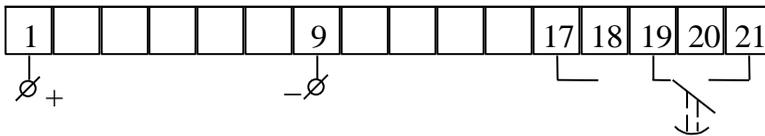


Рис. 9. Схема подключения микроэлектронного реле времени РВ-01

Уставку реле времени задает преподаватель. Результаты занести в таблицу, по ее данным построить зависимость

$$t_d = f(I_p).$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

РТ40

1. Можно ли применять электромагнитные реле на постоянном токе?
2. Почему реле тока должно иметь высокий коэффициент возврата? Почему он не может быть равным 1?
3. Что такое тяговая характеристика?
4. Почему реле тока с поворотным якорем имеет низкий коэффициент возврата?
5. В чем достоинства электромагнитного реле с поворотным якорем? Где оно применяется?
6. Почему электромагнитное реле тока с поперечным движением якоря имеет высокий коэффициент возврата?
7. Как регулируется ток срабатывания электромагнитного реле тока?
8. Как и почему изменится ток срабатывания электромагнитного реле тока, если поменять соединение его катушек с последовательного на параллельное?
9. Чем отличается режим работы электромагнитного реле напряжения от электромагнитного реле тока?
10. Какие требования предъявляются к промежуточным реле? Как это отражается на их конструкции?
11. Чем отличается электромагнитное промежуточное реле переменного тока от промежуточного реле постоянного тока?
12. Как рассчитать сопротивление электромагнитного реле тока?

РТ80

1. Каковы условия появления вращающего момента в индукционном реле?
2. Как в индукционном реле тока появляются два потока, пропорциональные одному току?
3. Что называется током срабатывания индукционного элемента реле тока?
4. Как регулируется ток срабатывания индукционного элемента реле тока?
5. За счет чего обеспечивается надежность зацепления зубчатого сектора с червяком после того как ток в реле достиг тока срабатывания?

6. Нарисовать и объяснить зависимость времени срабатывания индукционного элемента от тока в реле.

7. Что называется уставкой по времени индукционного элемента? Как она регулируется?

8. Как регулируется ток срабатывания электромагнитной отсечки?

9. Где применяется индукционное реле?

10. Для какой защиты применяется индукционный элемент? Электромагнитная отсечка?

11. Как устраняется вибрация якоря в электромагнитном реле тока?

12. Можно ли применять индукционное реле тока в цепях постоянного тока?

РСТ 13

1. В чем заключается времяимпульсный принцип действия реле?

2. Как регулируются уставки срабатывания реле?

3. Как выполнен «пороговый элемент» реле?

4. Каким образом обеспечивается высокий коэффициент возврата реле?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Федосеев А.М., Федосеев М.А.* Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1992.

2. *Чернобровов Н.В., Семенов В.А.* Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998.

3. *Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А.* Основы техник релейной защиты. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

4. *Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей.* Ч.1: Электромеханические реле / Сост. Ф.Д. Кузнецов, А.К. Белотелов; Под ред. Б.А. Алексева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.

5. *Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей.* Ч.3: Статические реле / Сост. Ф.Д. Кузнецов, А.К. Белотелов; Под ред. Б.А. Алексева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.

6. *Алексеев В.С., Варганов В.И., Панфилов Б.И., Розенблюм Р.З.* Реле защиты. – М.: Энергия, 1976.

7. *Гельфанд Я.С.* Релейная защита распределительных сетей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987.