

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Методическое руководство
к выполнению лабораторных работ

Ташкент – 2015

УДК 621.311:621.316.925

Релейная защита и автоматика: Методическое руководство к выполнению лабораторных работ. Сост.: Радионова О.В., Талипова С.Б. – Ташкент: ТашГТУ, 2015. – 67 с.

Настоящее руководство включает описание лабораторных работ по курсу «Релейная защита и автоматика», в процессе выполнения которых студенты получают практические навыки в испытании различных типов реле и трансформаторов тока, а также в монтаже разных схем соединений реле и трансформаторов тока.

В описании каждой лабораторной работы приведены необходимые теоретические сведения и перечень контрольных вопросов.

Методическое руководство предназначено для студентов направления 5310200 – Электроэнергетика. Состав и содержание лабораторных работ полностью соответствуют программе данного курса.

Печатается по решению научно-методического совета ТашГТУ

Рецензенты: д.т.н., проф. Аллаев К.Р. (ТашГТУ);
к.т.н. Мирзаев А.Т. (НДЦ ГАК «Узбекэнерго»)

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАНИЕ РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА ТИПА РТ-40

Цель работы: Изучение конструкции реле, принципа его действия, основных характеристик и способов регулирования тока срабатывания

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Максимальным токовым реле называется реле, реагирующее на увеличение тока в защищаемой цепи. Рассматриваемое реле относится к группе электромагнитных реле с поперечным движением якоря. Его работа основана на взаимодействии магнитного поля обмотки, по которой протекает ток, с ферромагнитным якорем. Принцип устройства реле РТ-40 показан на рис.1.1, а конструктивное исполнение – на рис.1.2.

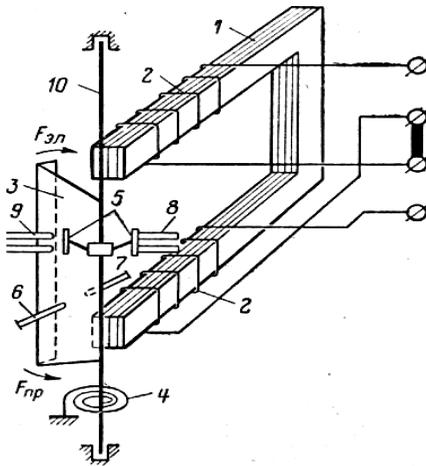


Рис.1.1. Принципиальная схема реле типа РТ-40.

Реле состоит из П-образного электромагнита 1 с обмоткой 2, состоящей из двух катушек, расположенных на верхнем и нижнем стержнях магнитопровода; стального Г-образного якоря 3, жестко укрепленного на оси 10; подвижных контактных мостиков 5, укрепленных на якоре; спиральной противодействующей пружины 4,

связанной внутренним концом с осью якоря; неподвижных контактов 8, 9 и упорных винтов 6, 7, ограничивающих ход якоря.

На якорь действуют электромагнитная сила $F_{ЭЛ}$ и противоположная по направлению механическая сила пружины $F_{ПР}$. Якорь притягивается к электромагниту, и реле, срабатывая, размыкает контакты 8 и замыкает контакты 9 при токе в реле, при котором $F_{ЭЛ} > F_{ПР}$.

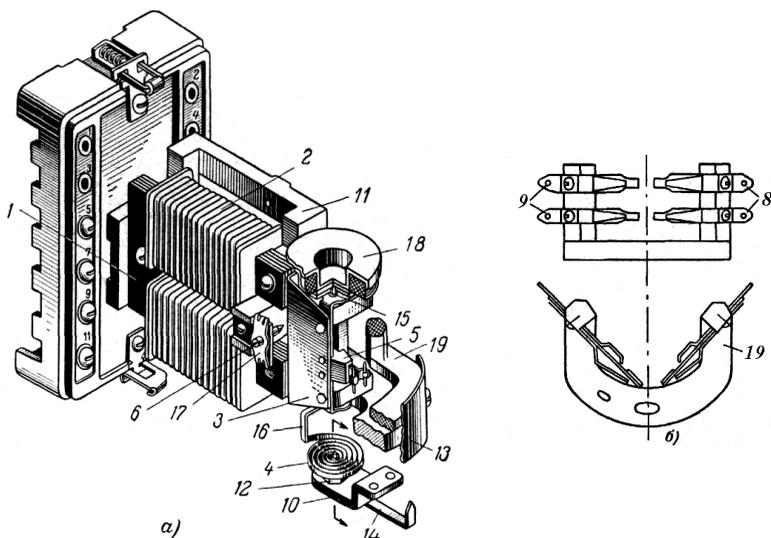


Рис.1.2. Конструктивное исполнение реле типа РТ-40:

а) общий вид; б) крепление неподвижных контактов;

1 – электромагнит; 2 – катушки обмотки; 3 – якорь; 4 – спиральная пружина; 5 – подвижный контакт; 6 – левый упор; 7 – правый упор; 8 – правая пара неподвижных контактов; 9 – левая пара неподвижных контактов; 10 – держатель пружины; 11 – алюминиевая стойка; 12 – шестигранная втулка; 13 – шкала уставок; 14 – указатель уставки (поводок); 15 – верхняя полюсь; 16 – хвостовик; 17 – пластина; 18 – гаситель вибрации; 19 – изоляционная колодка.

В рассматриваемой конструкции при повороте якоря из начального положения момент противодействующей пружины $M_{ПР}$ увеличивается, но одновременно возрастает и вращающий момент $M_{ВР}$ за счет уменьшения магнитного сопротивления системы, увеличения ее индуктивности L и магнитного потока Φ . Причем возрастание $M_{ВР}$ происходит быстрее, чем момента проти-

водействующей пружины. Если якорю дать возможность свободно поворачиваться, то он займет положение, совпадающее с направлением оси магнитного потока и соответствующее максимальному значению индуктивности L и магнитного потока Φ . При этом $M_{ВР} = 0$. Поэтому для обеспечения необходимого контактного нажатия при срабатывании работа реле производится в определенных пределах угла поворота якоря, а для обеспечения на всем пути преобладания $M_{ВР}$ над противодействующим моментом $M_{ПР}$ выбираются для якоря и полюсов целесообразные профили.

На рис.1.3 показана зависимость моментов, действующих на якорь реле, от угла его поворота от начального значения $\alpha = \alpha_n$ до конечного $\alpha = \alpha_k$. Противодействующей пружине придается начальное растяжение, которому соответствует момент $M_{ПР.Н.}$. Момент пружины пропорционален ее растяжению

$$M_{ПР} = M_{ПР.Н.} + K(\alpha - \alpha_n). \quad (1.1)$$

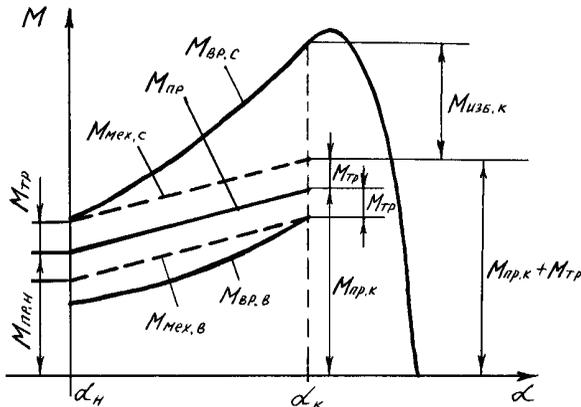


Рис.1.3. Зависимость вращающего и противодействующих моментов от угла поворота якоря реле.

Движению якоря противодействует также момент трения $M_{Тр}$ в упорах его оси, принимаемый не зависящим от α . Полный механический противодействующий момент при срабатывании реле

$$M_{МЕХ.С} = M_{ПР} + M_{Тр} . \quad (1.2)$$

Наименьший ток, при котором реле срабатывает, называется током срабатывания реле $I_{C.P.}$. Ему соответствует $M_{B.P.C.}$. В конечном положении, как видно из рис.1.3, получается избыточный момент $M_{ИЗБ.К.}$

Для возврата якоря в начальное положение ток должен уменьшиться настолько, чтобы $M_{B.P.}$ стал меньше противодействующего момента $M_{MEX.B.}$. Момент $M_{T.P.}$ теперь препятствует возврату, поэтому

$$M_{MEX.B.} = M_{T.P.} - M_{T.P.} . \quad (1.3)$$

Максимальный ток, при котором якорь возвращается в исходное положение, называется током возврата реле $I_{B.P.}$. Ему соответствует $M_{B.P.B.}$.

Отношение тока возврата к току срабатывания реле называется коэффициентом возврата реле

$$K_B = \frac{I_{B.P.}}{I_{C.P.}} . \quad (1.4)$$

За счет $M_{ИЗБ}$ и $M_{T.P.}$ ток $I_{B.P.}$ всегда оказывается меньше, чем $I_{C.P.}$ и поэтому $K_B < 1$.

Регулирование тока срабатывания производится двумя способами:

- а) изменением начального натяжения пружины (позволяет плавно изменять величину $I_{C.P.}$ в 2 раза);
- б) изменением числа витков обмотки реле, что достигается параллельным и последовательным включением секций обмотки реле (это позволяет изменять величину $I_{C.P.}$ также в 2 раза).

Использование обоих способов регулирования позволяет изменять $I_{C.P.}$ в 4 раза.

Шкала реле проградуирована в амперах для схемы последовательного соединения катушек. При параллельном соединении уставки шкалы удваиваются.

Коэффициент возврата K_B у реле серии РТ-40 – не менее $0,8 \div 0,85$. Время срабатывания реле $t_{C.P.} = 0,1с$ при токе в катушках реле, равном $1,2 I_{C.P.}$, и $0,03с$ при токе $3 I_{C.P.}$ и выше. Потребляемая мощность реле мала – $(0,2 \div 8)$ ВА.

Реле РТ-40 имеет один размыкающий и один замыкающий контакт. Схема внутренних соединений реле показана на рис.1.4.

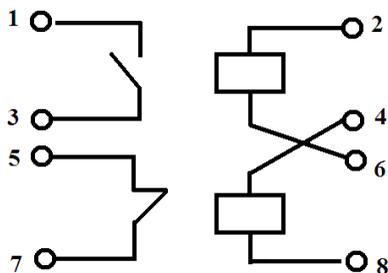


Рис.1.4. Схема внутренних соединений реле.

Основным недостатком реле является недостаточно надежная работа контактной системы реле, заключающаяся в вибрации контактов при больших токах и их подгорании. Уменьшению вибрации способствует гаситель вибрации (барабанчик с кварцевым песком, укрепленный на оси якоря), который увеличивает инерционность якоря.

Задание на работу

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия.
2. Ознакомиться со схемой испытания реле (рис.1.5).
3. Проверить точность работы реле, шкалу уставок и разброс точек тока срабатывания реле.
4. Определить коэффициент возврата реле.
5. Определить собственное время срабатывания реле.
6. Составить отчет по работе.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия:
 - а) записать паспортные данные реле;
 - б) осмотреть магнитную систему реле, цепи измерительного органа, контактную систему реле и схему его включения;
 - в) ознакомиться со способами регулирования тока срабатывания реле.
2. Собрать схему испытания реле (рис.1.5).

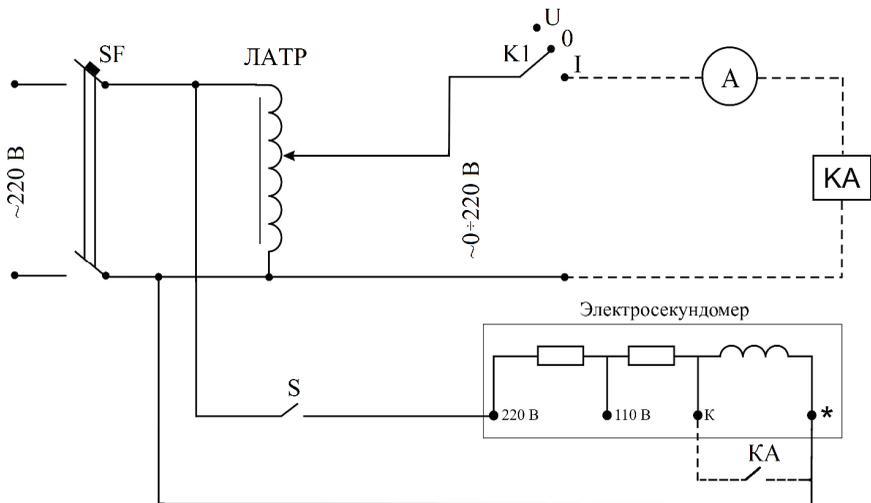


Рис.1.5. Схема испытания реле тока.

При отключенных автомате SF и тумблере S подключить катушку и контакты реле так, как показано пунктирными линиями (остальная часть схемы, показанная сплошными линиями, находится в собранном состоянии).

3. Проверить точность работы реле, шкалу уставок и разброс точек тока срабатывания реле.
 - 3.1. Для проведения испытаний токового реле ключ K1 установить в положение I – цепи тока.
 - 3.2. Автотрансформатор (ЛАТР) установить в крайнее левое положение, соответствующее минимальному напряжению на стенде.
 - 3.3. На шкале реле установить минимальную уставку тока срабатывания реле $I_{уст}$.
 - 3.4. Включить автомат SF и подать напряжение на схему испытания реле.
 - 3.5. Увеличивая с помощью ЛАТРа ток до тех пор, пока реле не придет в действие, определить величину тока срабатывания $I_{с.р.}$. Уменьшая ток после срабатывания реле до величины, при которой реле возвращается в исходное состояние, определить ток возврата реле $I_{в.р.}$

4. По средним значениям из трех замеров $I_{C.P.}$ и $I_{B.P.}$ определить коэффициент возврата реле K_B . Опыт продлевается для трех различных уставок реле (табл. 1.1).

Таблица 1.1

$I_{уст} (A)$				
$I_{C.P.} (A)$	$I_{C.P. 1}$			
	$I_{C.P. 2}$			
	$I_{C.P. 3}$			
	$I_{C.P. СРЕДН.}$			
$I_{B.P.} (A)$	$I_{B.P. 1}$			
	$I_{B.P. 2}$			
	$I_{B.P. 3}$			
	$I_{B.P. СРЕДН.}$			
K_B				
$\Delta I_{C.P.} (\%)$				

$$\Delta I_{C.P.} = \frac{I_{C.P.СРЕДН.} - I_{уст}}{I_{уст}} \cdot 100\% \quad (1.5)$$

5. Определить собственное время срабатывания реле при различной кратности тока K_I .

При одной из уставок на шкале реле при отключенном тумблере S установить в цепи реле ток $I_p = I_{C.P.} = I_{уст}$.

Отключив автомат SF и включив тумблер S цепи электросекундомера, вновь включить цепи катушки реле автоматом SF. При замыкании контактов реле электросекундомер фиксирует время действия реле. Опыт повторяется для токов $I_p = 1,2 I_{C.P.}$, $I_p = 2 I_{C.P.}$ и $I_p = 3 I_{C.P.}$. Для каждого значения тока проводится по три замера и определяется $t_{C.P.СРЕДН.}$ (табл. 1.2).

Таблица 1.2

$I_{уст} (A)$	$I_p (A)$	$t_{C.P. 1} (с)$	$t_{C.P. 2} (с)$	$t_{C.P. 3} (с)$	$t_{C.P.СРЕДН.}(с)$

6. На основании полученных данных построить зависимости:
 $I_{С.Р.СРЕДН.} = f(I_{УСТ})$; $I_{В.Р.СРЕДН.} = f(I_{УСТ})$; $K_B = f(I_{УСТ})$;
 $\Delta I_{С.Р.} = f(I_{УСТ})$; $t_{С.Р.СРЕДН.} = f(K_I)$.

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание реле.
3. Порядок проведения работы.
4. Схема испытания реле.
5. Результаты проведенных испытаний реле в виде таблиц 1.1, 1.2.
6. Графики построенных зависимостей:
 $I_{С.Р.СРЕДН.} = f(I_{УСТ})$; $I_{В.Р.СРЕДН.} = f(I_{УСТ})$; $K_B = f(I_{УСТ})$;
 $\Delta I_{С.Р.} = f(I_{УСТ})$; $t_{С.Р.СРЕДН.} = f(K_I)$.
7. Сравнение технических данных реле с результатами испытаний. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Применение реле типа РТ-40.
2. Как регулируется ток срабатывания реле РТ-40?
3. Что называется коэффициентом возврата реле?
4. Почему у реле максимального действия коэффициент возврата меньше единицы?
5. Каковы причины вибрации контактов реле типа РТ-40?
6. Почему у реле РТ-40 магнитопровод набран из шихтованной стали с изоляцией пакетов друг относительно друга?
7. Каково назначение барабанчика, закрепленного на общей оси с якорем реле?
8. Чем объясняется скачкообразная работа реле?
9. Что значит собственное время срабатывания реле?

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТИПА РН-54

Цель работы: Ознакомление с конструкцией реле, принципом его действия, основными характеристиками и способами регулирования напряжения срабатывания

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Реле минимального действия срабатывает при понижении измеряемой величины ниже уставки. Действие или отпускание реле, при котором оно выполняет свои функции, называется срабатыванием реле. Реле минимального напряжения типа РН-54 выполняет свою функцию при снижении напряжения, поэтому его срабатывание совпадает с отпуском. Напряжение срабатывания реле $U_{с.р.}$ минимального напряжения равно напряжению отпускания, а напряжение возврата $U_{в.р.}$ равно напряжению действия. Поэтому коэффициент возврата K_B для таких реле больше единицы.

Конструктивно реле РН-54 выполнено почти также, как реле РТ-40 (рис.1.2). Для уменьшения вибрации обмотка реле включается на напряжение U_P через выпрямитель (рис.2.1,а). Обмотка реле напряжения имеет большое активное сопротивление.

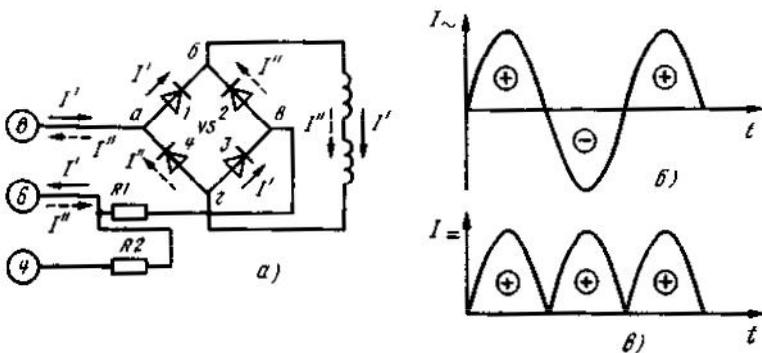


Рис.2.1. Схема включения обмоток реле напряжения:
а) схема включения обмотки; б) переменный ток на входе выпрямителя;
в) выпрямленный ток в обмотке реле.

У реле напряжения отсутствует барабанчик, гасящий вибрацию, так как обмотка реле подключается к контролируемой цепи через выпрямительный мост и добавочные резисторы R1 и R2, чем исключается переменная составляющая в потоке.

Реле имеет два диапазона уставок. В диапазоне меньших уставок обмотка реле подключается к контролируемой цепи через добавочный резистор R1, а в диапазоне больших уставок – через последовательное соединение резисторов R1 и R2.

Уставки реле напряжения регулируются с помощью поводка, изменяющего натяжение противодействующей пружины, а также с помощью включения одного или двух дополнительных резисторов в цепи обмотки реле, что изменяет предел шкалы уставок в 2 раза.

Шкала реле проградуирована в вольтах при включении одного резистора. Для получения шкалы уставок вдвое большей необходимо включить оба резистора.

Реле минимального напряжения типа РН-54 имеет K_B не выше 1,25. Потребляемая мощность реле $P_{с.р.} \leq 5$ ВА.

Реле РН-54 имеет один размыкающий и один замыкающий контакт. Схема внутренних соединений реле напряжения показана на рис.2.2.

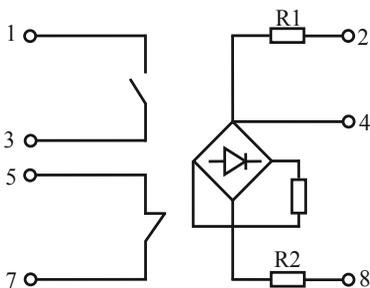


Рис.2.2. Схема внутренних соединений реле напряжения.

Задание на работу

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия.
2. Ознакомиться со схемой испытания реле (рис.2.3).
3. Проверить точность работы реле, шкалу уставок и разброс точек напряжения срабатывания реле.

4. Определить коэффициент возврата реле.
5. Определить собственное время срабатывания реле.
6. Составить отчет по работе.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия:
 - а) записать паспортные данные реле;
 - б) осмотреть магнитную систему реле, цепи измерительного органа, контактную систему реле и схему его включения;
 - в) ознакомиться со способами регулирования напряжения срабатывания реле.
2. Собрать схему испытаний реле (рис.2.3).

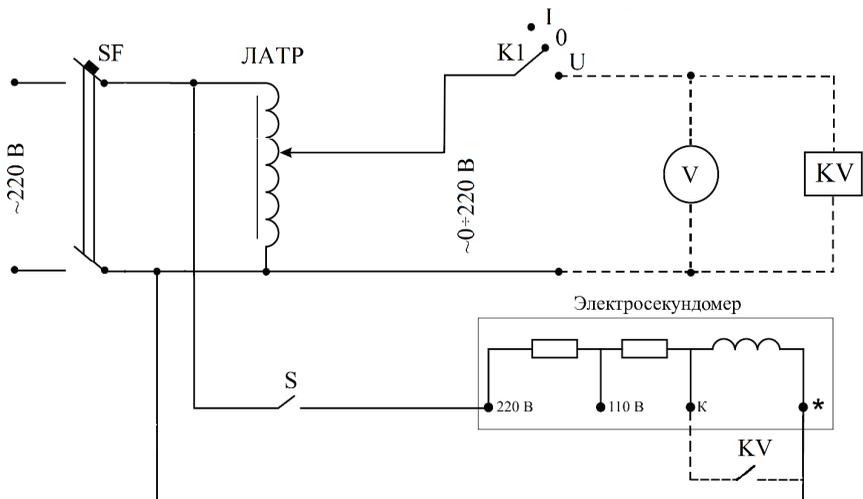


Рис.2.3. Схема испытания реле напряжения.

При отключенных автомате SF и тумблере S подключить катушку и контакты реле так, как показано пунктирными линиями (остальная часть схемы, показанная сплошными линиями, находится в собранном состоянии).

3. Проверить точность работы реле, шкалу уставок и разброс точек напряжения срабатывания реле.
 - 3.1. Для проведения испытаний реле напряжения ключ K1 установить в положение U – цепи напряжения.

- 3.2. Автотрансформатор (ЛАТР) установить в крайнее левое положение, соответствующее минимальному напряжению на стенде.
- 3.3. На шкале реле установить минимальную уставку напряжения срабатывания реле $U_{уст}$.
- 3.4. Включить автомат SF и подать напряжение на схему испытания реле.
- 3.5. Плавно увеличивая с помощью ЛАТРа напряжение до тех пор, пока реле не придет в действие (изменится положение подвижных контактов), определить величину напряжения срабатывания реле $U_{с.р.}$.
- 3.6. Определить напряжение возврата реле $U_{в.р.}$. Для этого напряжение поднять несколько выше $U_{с.р.}$, а затем начать его снижать до той величины, при которой реле возвратится в исходное состояние (до возвращения подвижных контактов в исходное положение).
4. По средним значениям из трех замеров $U_{с.р.}$ и $U_{в.р.}$ определить коэффициент возврата реле K_B . Опыт продлевается для трех различных уставок реле (например, минимальной, средней и максимальной) (табл. 2.1).

Таблица 2.1

$U_{уст} (В)$				
$U_{с.р.} (В)$	$U_{с.р. 1}$			
	$U_{с.р. 2}$			
	$U_{с.р. 3}$			
	$U_{с.р. СРЕДН.}$			
$U_{в.р.} (В)$	$U_{в.р. 1}$			
	$U_{в.р. 2}$			
	$U_{в.р. 3}$			
	$U_{в.р. СРЕДН.}$			
K_B				
$\Delta U_{с.р.} (\%)$				

$$K_B = \frac{U_{в.р.}}{U_{с.р.}} ; \quad \Delta U_{с.р.} = \frac{U_{с.р.СРЕДН.} - U_{уст}}{U_{уст}} \cdot 100\% .$$

5. Определить собственное время срабатывания реле при различной кратности напряжения K_U .

При одной из уставок на шкале реле при отключенном тумблере S установить напряжение реле $U_P = U_{C.P.} = U_{УСТ}$.

Отключив автомат SF и включив тумблер S цепи электросекундомера, вновь включить цепи катушки реле автоматом SF. При замыкании контактов реле электросекундомер фиксирует время действия реле. Опыт повторяется для кратностей напряжения $K_U = 1,2; 1,5; 1,8; 2$ ($K_U = U_P / U_{C.P.}$). Для каждого значения напряжения проводится по три замера и определяется $t_{C.P.СРЕДН.}$ (табл. 2.2).

Таблица 2.2

$U_{УСТ}$ (В)	U_P (В)	$t_{C.P.1}$ (с)	$t_{C.P.2}$ (с)	$t_{C.P.3}$ (с)	$t_{C.P.СРЕДН.}$ (с)

Содержание отчета

- В отчете должны быть приведены:
1. Название и цель работы.
 2. Краткое описание реле.
 3. Порядок проведения работы.
 4. Схема испытания реле.
 5. Результаты проведенных испытаний реле в виде таблиц 2.1, 2.2.
 6. Графики построенных зависимостей:
 $U_{C.P.СРЕДН.} = f(U_{УСТ}); U_{В.Р.СРЕДН.} = f(U_{УСТ}); K_B = f(U_{УСТ});$
 $\Delta U_{C.P.} = f(U_{УСТ}); t_{C.P.СРЕДН.} = f(K_U).$
 7. Сравнение технических данных реле с результатами испытаний.
 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Применение реле типа РН-54.
2. Как регулируется напряжение срабатывания реле РН-54?
3. Что называется коэффициентом возврата реле?
4. Почему у реле минимального действия коэффициент возврата больше единицы?
5. Почему у реле РН-54 отсутствует барабанчик?
6. Для чего нужны резисторы R1 и R2?

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ ТИПА РВ-247

Цель работы: Ознакомление с конструкцией реле, принципом его действия, основными характеристиками и способами регулирования выдержки времени

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Реле времени служит для искусственного замедления действия в устройствах релейной защиты и автоматики. Реле серии РВ основано на электромагнитном принципе (рис.3.1).

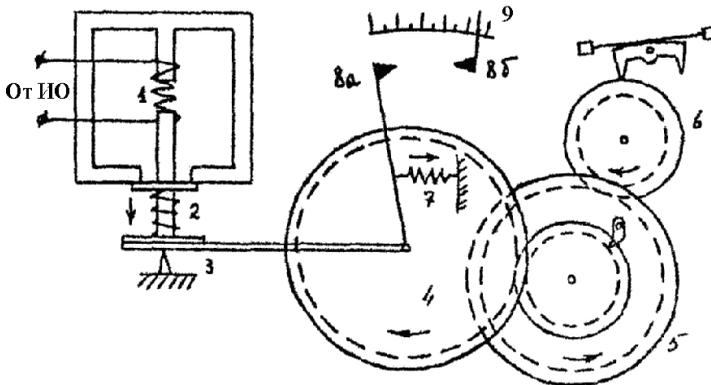


Рис.3.1. Конструкция реле времени типа РВ-200.

Якорь электромагнита 1 посредством заводной пружины 2 через рычаг 3, зубчатую передачу 4, храповой механизм или фрикцион 5 связан с замедляющим устройством 6. В начальном состоянии при отсутствии тока в обмотке электромагнита 1 под действием пружины 2 ведущая пружина 7 заведена. При срабатывании измерительного органа ИО защиты и появления тока в обмотке электромагнита его якорь быстро втягивается, освобождая рычаг 3 с укрепленным на нем подвижным контактом 8а. Рычаг 3 начинает двигаться со скоростью, определяемой замедляющим

устройством 6. Через выдержку времени, устанавливаемую на шкале реле 9 положением неподвижного контакта 8б, последний замыкается и реле срабатывает. Храповой механизм 5 служит для быстрого возврата реле в начальное положение.

Временем срабатывания (выдержкой времени) реле называется время от момента подачи на обмотку реле напряжения до момента замыкания его контактов.

Основные требования, предъявляемые к реле времени:

- а) малый разброс по времени срабатывания, обычно не превосходит 0,1 – 0,15 сек или нескольких процентов максимальной уставки;
- б) малая зависимость времени срабатывания от колебаний напряжения источника питания;
- в) плавная регулировка уставки в нужном диапазоне.

Значение коэффициента возврата K_B реле времени обычно не имеет такого важного значения, как для измерительных реле, так как после возврата последних управляющий сигнал с реле времени снимается.

Задание на работу

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия.
2. Ознакомиться со схемой испытания реле (рис.3.2).
3. Проверить точность работы реле, шкалу уставок и разброс точек времени срабатывания реле.
4. Определить коэффициент возврата реле.
5. Составить отчет по работе.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия:
 - а) записать паспортные данные реле;
 - б) осмотреть магнитную систему реле, цепи измерительного органа, контактную систему реле и схему его включения;
 - в) ознакомиться со способами регулирования времени срабатывания реле.
2. Собрать схему испытания реле времени (рис.3.2).

При отключенных автомате SF и тумблере S подключить катушку и контакты реле так, как показано пунктирными линиями (остальная часть схемы, показанная сплошными линиями, находится в собранном состоянии).

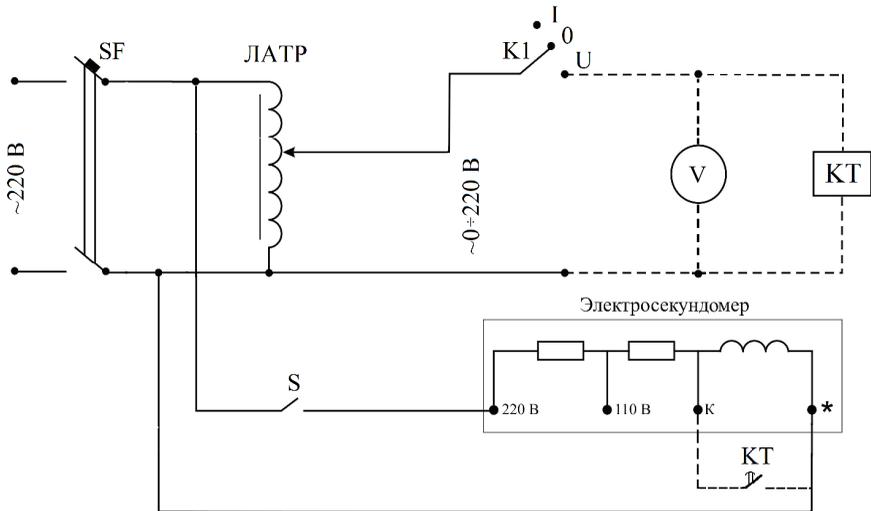


Рис.3.2. Схема испытания реле времени.

3. Проверить шкалу уставок и разброс точек времени срабатывания реле при номинальном напряжении.
- 3.1. Автотрансформатор (ЛАТР) установить в крайнее левое положение, соответствующее минимальному напряжению на стенде.
- 3.2. Для проведения испытаний реле времени ключ K1 установить в положение U – цепи напряжения.
- 3.3. При определении $t_{ср.}$ (выдержки времени реле) с помощью штифта на шкале реле установить определенную (вначале минимальную) уставку выдержки времени.
- 3.4. Включив автомат SF с помощью автотрансформатора (ЛАТРа) быстро поднять напряжение на катушке реле до 220 В.
- 3.5. Отключить автомат SF, включить тумблер S и затем опять включить SF. При этом одновременно получают питание цепи обмоток реле и электросекундомера. Когда контакты реле замкнутся, цепь обмотки электросекундомера окажется зашунтированной, и он перестает работать, фиксируя при этом время действия реле. Записать показания секундомера.

Отключить SF и кнопкой на секундомере сбросить его показания.

3.6. Повторить на данной уставке опыт еще два раза, фиксируя результаты измерений в табл. 3.1.

3.7. По трем замерам t_{CP} , вычислить $t_{CP.СРЕДН.}$ и разброс точек во времени действия реле:

$$\Delta t_{CP} = \frac{t_{CP.СРЕДН.} - t_{УСТ}}{t_{УСТ}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

3.8. То же самое повторить для других уставок выдержки времени реле (табл. 3.1).

Таблица 3.1.

$t_{уст} (с)$			
$t_{cp.1} (с)$			
$t_{cp.2} (с)$			
$t_{cp.3} (с)$			
$t_{cp.средн.} (с)$			
$\Delta t_{cp.} (\%)$			

4. Определить коэффициент возврата реле K_B .

4.1. Определить напряжение срабатывания реле. Для этого при отключенном автомате SF и тумблере S вывести лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) в крайнее левое положение. Выставить минимальную уставку реле времени. Включить автомат SF. Плавно увеличивая напряжение, зафиксировать напряжение срабатывания $U_{C.P.}$, при котором якорь реле подтянется. Напряжение срабатывания должно быть не менее 80% $U_{НОМ}$.

4.2. Определить напряжение возврата реле. Плавно снижая напряжение с помощью ЛАТРа, зафиксировать напряжение, при котором якорь реле опадет и возвратится в исходное состояние - напряжение возврата $U_{B.P.}$.

4.3. Опыт повторить трижды. Результаты занести в табл. 3.2.

4.4. Определить коэффициент возврата реле K_B по формуле

$$K_B = \frac{U_{B.P.}}{U_{C.P.}} \quad (3.2)$$

Таблица 3.2

	$U_{С.Р.}$	$U_{В.Р.}$	K_B
1 измер.			
2 измер.			
3 измер.			
средн.			

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание реле.
3. Порядок проведения работы.
4. Схема испытания реле.
5. Результаты проведенных испытаний реле в виде таблиц 3.1, 3.2.
6. Графики построенных зависимостей:
 $t_{С.Р.СРЕДН.} = f(t_{УСТ.}); \Delta t_{С.Р.} = f(t_{УСТ.})$.
7. Сравнение технических данных реле с результатами испытаний. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Каково назначение реле времени?
2. При каком значении напряжения (в процентах от номинального) должно срабатывать реле времени и почему?
3. Какого назначения сопротивление, включенного последовательно с обмоткой электромагнита реле времени и дешунтируемого при срабатывании реле?
4. Каким образом регулируется выдержка времени реле?
5. Объяснить схему подключения секундомера.
6. Что называется коэффициентом возврата реле времени?

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО РЕЛЕ ТИПА РП-25 И УКАЗАТЕЛЬНОГО РЕЛЕ ТИПА РУ-21

Цель работы: Ознакомление с конструкциями реле, принципом их действия, областью применения, а также с их основными характеристиками

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Промежуточные и указательные реле относятся к вспомогательным или логическим реле, которые характеризуются срабатыванием или возвратом при дискретном (скачкообразном) изменении воздействующей величины.

Промежуточные реле применяются в устройствах релейной защиты и автоматики (РЗА) для выполнения логических операций как реле-повторители, когда надо размножить сигнал, полученный от измерительных реле, для одновременного замыкания или размыкания нескольких цепей, а также для замыкания и размыкания цепей с большими токами. Они имеют большое число мощных контактов. Промежуточные реле работают на электромагнитном принципе. Основными их элементами являются электромагнит с подвижным якорем и группа контактов, кинематически связанных с якорем.

Примеры использования промежуточных реле КЛ в схемах РЗА приведены на рис.4.1. По способу включения промежуточные реле подразделяются на реле параллельного (рис.4.1,*а*) и последовательного (рис.4.1,*б*) включения. Обмотки первых включаются на полное напряжение источника питания, а вторых – на ток цепи последовательно с катушкой электромагнита отключения выключателя УАТ или какого-либо другого аппарата или реле.

Кроме того, выпускаются реле с дополнительными удерживающими катушками, например, реле параллельного включения с удерживающей обмоткой, включаемой последовательно в управляемую контактами реле цепь (рис.4.1,*в*). Такое реле, подействовав от кратковременного импульса, поданного в параллельно включенную обмотку, остается в сработавшем состоянии после его исчезновения под действием тока удержания, пока не сработает управляемый аппарат.

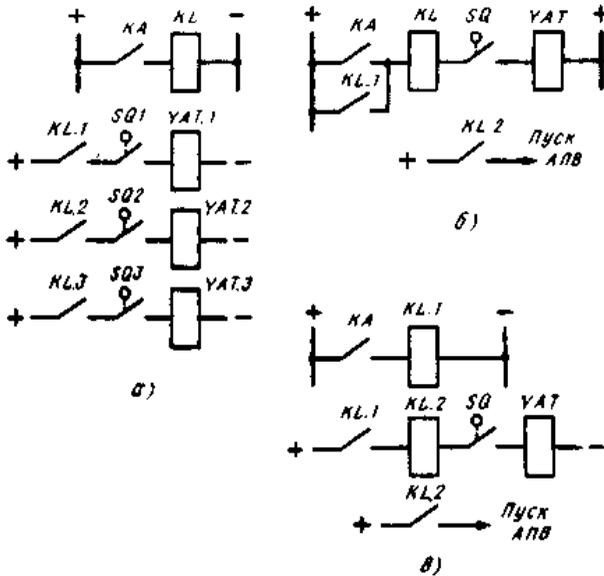


Рис.4.1. Схемы включения промежуточных реле.

Мощность контактов должна быть достаточной для замыкания и размыкания цепей РЗА, а также для замыкания цепей управления выключателей.

Потребление обмоток реле параллельного включения стремятся ограничить до 6 Вт с тем, чтобы их цепь могли замыкать и размыкать реле с маломощными контактами.

Потребление обмоток реле последовательного включения выбирается из условия минимального падения напряжения в сопротивлении обмотки этого реле, которое допускается не более 5-10% нормального напряжения источника оперативного тока.

Промежуточные реле должны надежно действовать не только при нормальном напряжении, но и при возможном в условиях эксплуатации его понижении до $0,8 U_{НОМ}$ – реле постоянного тока и до $0,85 U_{НОМ}$ – реле переменного тока. Значение коэффициента возврата не нормируется (промежуточные реле имеют низкий коэффициент возврата, не превышающий 0,5).

Промежуточные реле, работающие без замедления, как правило, выполняются в виде конструкций с поворотным якорем

(клапанного типа). Устройство промежуточного реле типа РП-23 для схем РЗ на постоянном оперативном токе показано на рис.4.2. Оно состоит из электромагнита 1 с обмоткой 2, якоря 3 с хвостовиком 4, неподвижных контактов 5, подвижной контактной системы 6, возвратной пружины 7, упора 8, регулировочной пластины 9. Все элементы реле крепятся на цоколе 10 и закрываются кожухом 11. При подаче напряжения на обмотку реле якорь 3 втягивается и хвостовиком 4 перемещает вниз подвижную контактную систему, переключающую контакты реле.

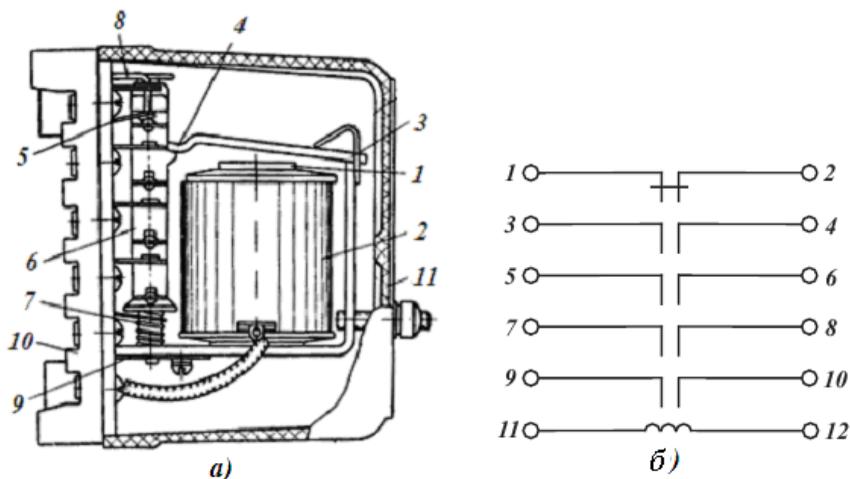


Рис. 4.2. Промежуточное реле типа РП-23:
 а) конструкция реле; б) схема внутренних соединений реле.

Промежуточное реле РП-25 предназначено для включения в цепи переменного напряжения и имеет назначение и конструкцию, аналогичную РП-23.

Указательные (сигнальные) реле. Указательные реле КН служат для фиксации действия РЗ в целом или ее структурных частей (элементов). На рис.4.3 показано указательное реле типа РУ-21, сигнализирующее действие РЗ на отключение выключателя. При срабатывании РЗ по обмотке реле 3 проходит ток, приводящий реле в действие (рис.4.4).

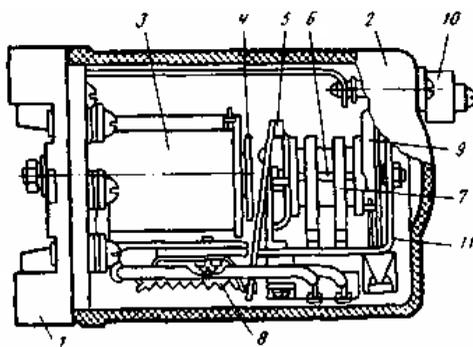


Рис. 4.3. Конструкция указательного реле РУ-21:

- 1 – цоколь; 2 – кожух; 3 – катушка; 4 – сердечник; 5 – якорь;
 6 – контактный мостик; 7 – контактные пластины; 8 – возвратная пружина;
 9 – флажок; 10 – кнопка возврата; 11 – скоба.

При появлении тока в обмотке 3 (рис.4.3) якорь реле 5 притягивается и освобождает флажок 9. Последний падает под действием собственной массы, принимая вертикальное положение. В этом положении флажок виден через прозрачный кожух 2. Возврат флажка в начальное положение производится кнопкой 10.

Ввиду кратковременности прохождения тока в обмотке указательных реле они выполняются так, что сигнальный флажок и контакты реле остаются в сработанном состоянии до тех пор, пока их не возвратит на место обслуживающий персонал.

Указанные реле изготавливаются для последовательного (рис.4.4,а) и параллельного (рис.4.4,б) включения. Первые реле называются серийными, а вторые – шунтовыми.

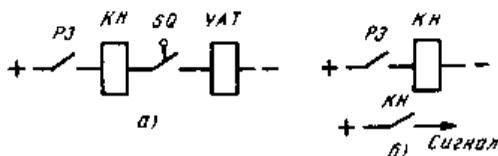


Рис.4.4. Схемы включения указательных реле.

Задание для испытания РП-25

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия реле.
2. Ознакомиться со схемой испытания реле (рис.4.5).
3. Определить напряжение срабатывания и возврата реле, коэффициент возврата.
4. Определить время срабатывания реле при номинальном напряжении.

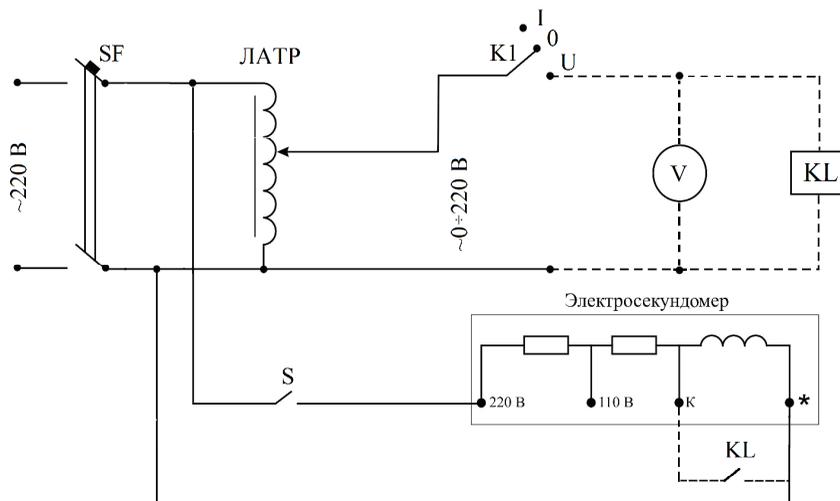


Рис.4.5. Схема испытания промежуточного реле.

Задание для испытания РУ-21

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия реле.
2. Ознакомиться со схемой испытания реле (рис.4.6).
3. Определить ток срабатывания реле.
4. Определить время срабатывания реле при номинальном напряжении.
5. Определить потребляемую мощность реле при токе срабатывания.

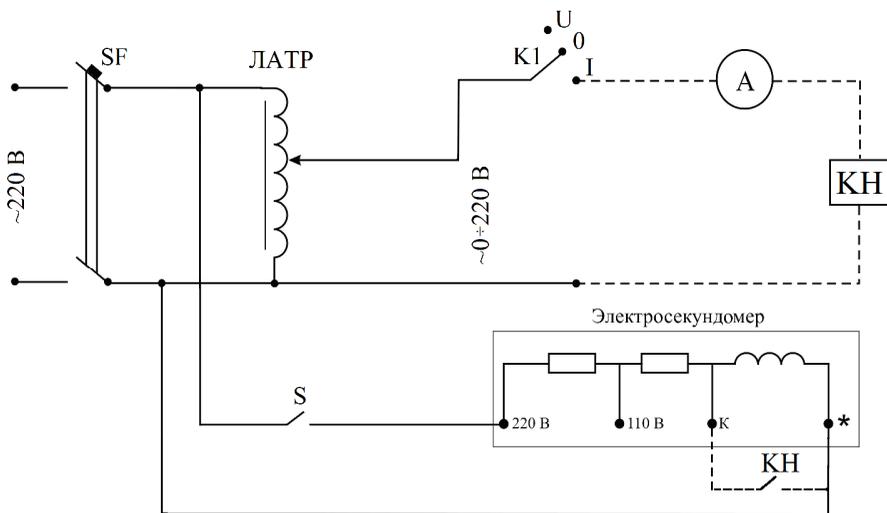


Рис.4.6. Схема испытания указательного реле.

Порядок испытания РП-25

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия:
 - а) записать паспортные данные реле;
 - б) осмотреть магнитную систему реле, цепи измерительного органа, контактную систему реле и схему его включения.
2. Собрать схему испытания реле (рис.4.5).

При отключенных автомате SF и тумблере S подключить катушку и контакты реле так, как показано пунктирными линиями (остальная часть схемы, показанная сплошными линиями, находится в собранном состоянии). Ключ K1 установить в положение U – цепи напряжения.

3. Определить напряжение срабатывания и возврата реле, коэффициент возврата реле K_B .

3.1. Определить напряжение срабатывания реле. Для этого при отключенном автомате SF и тумблере S вывести лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) в крайнее левое положение. Включить автомат SF. Плавно увеличивая напряжение, зафиксировать напряжение срабатывания $U_{с.р.}$, при котором якорь реле подтянется и реле работает.

- 3.2. Определить напряжение возврата реле. Плавно снижая напряжение с помощью ЛАТРа, зафиксировать напряжение $U_{В.Р.}$, при котором якорь реле возвратится в исходное состояние.
- 3.3. Опыт повторить трижды. Результаты занести в табл. 4.1.
- 3.4. Определить коэффициент возврата реле K_B по формуле (3.2).
- 3.5. Определить $U_{С.Р.}$ в процентах от $U_{НОМ.}$

Таблица 4.1

	$U_{С.Р.}$	$U_{В.Р.}$	K_B	$U_{С.Р.} (\%)$
1 измер.				
2 измер.				
3 измер.				
средн.				

4. Определить время срабатывания реле при номинальном напряжении.
 - 4.1. С помощью ЛАТРа поднять напряжение на катушке реле до 220 В.
 - 4.1. Отключить автомат SF, включить тумблер S и затем опять включить SF. Записать показания секундомера. Отключить SF и кнопкой на секундомере перевести его в исходное состояние.
 - 4.2. Повторить опыт еще два раза, фиксируя результаты измерений в табл. 4.2.

Таблица 4.2

	$t_{ср.1} (с)$	$t_{ср.2} (с)$	$t_{ср.3} (с)$	$t_{СР.СРЕДН.} (с)$
$t_{ср.} (с)$				

Порядок испытания РУ-21

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия:
 - а) записать паспортные данные реле;
 - б) осмотреть магнитную систему реле, цепи измерительного органа, контактную систему реле и схему его включения.
2. Собрать схему испытания реле (рис.4.6).

При отключенных автомате SF и тумблере S подключить катушку и контакты реле так, как показано пунктирными линиями (остальная

часть схемы, показанная сплошными линиями, находится в собранном состоянии). Ключ К1 установить в положение I – цепи тока.

3. Определить ток срабатывания реле $I_{C.P.}$.

3.1. При отключенном автомате SF и тумблере S вывести ЛАТР в крайнее левое положение. Включить автомат SF. Плавно увеличивая напряжение, зафиксировать ток, при котором якорь указательного реле КН притянется к сердечнику и освободит блинкер. Отключить автомат SF. С помощью кнопки возврата вернуть блинкер и контакты реле в исходное положение.

3.2. Опыт повторить трижды. Результаты занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

	$I_{C.P.1} (A)$	$I_{C.P.2} (A)$	$I_{C.P.3} (A)$	$I_{C.P. \text{ СРЕДН.}} (A)$
$I_{C.P.} (A)$				

4. Определить время срабатывания реле при номинальном напряжении.

4.1. Ключ К1 установить в положение U – цепи напряжения.

4.2. Включить автомат SF. С помощью ЛАТРа поднять напряжение на катушке реле до 220 В.

4.3. Отключить автомат SF, включить тумблер S и затем опять включить SF. Записать показания секундомера. Отключить SF и кнопкой на секундомере перевести его в исходное состояние.

4.4. Повторить опыт еще два раза, фиксируя результаты измерений в табл. 4.4.

Таблица 4.4

	$t_{cp.1} (c)$	$t_{cp.2} (c)$	$t_{cp.3} (c)$	$t_{cp. \text{ СРЕДН.}} (c)$
$t_{cp.} (c)$				

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Название и цель работы.
2. Испытание промежуточного реле РП-25.
 - 2.1. Краткое описание промежуточного реле.

- 2.2. Порядок проведения испытания реле.
- 2.3. Схема испытания реле.
- 2.4. Результаты проведенных испытаний реле в виде таблиц 4.1, 4.2.
- 2.5. Сравнение технических данных реле с результатами испытаний.
3. Испытание указательного реле типа РУ-21.
 - 3.1. Краткое описание указательного реле.
 - 3.2. Порядок проведения испытания реле.
 - 3.3. Схема испытания реле.
 - 3.4. Результаты проведенных испытаний реле в виде таблиц 4.3, 4.4.
 - 3.5. Сравнение технических данных реле с результатами испытаний.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение и схемы включения промежуточных реле.
2. Как регулируется напряжение срабатывания реле РП-23?
3. Чему равен коэффициент возврата промежуточного реле?
4. Как выбираются промежуточные реле последовательного и параллельного включения?
5. Назначение и схемы включения указательных реле.
6. Как вернуть флажок указательного реле в исходное положение?
7. Как определить время срабатывания реле?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РЕЛЕ ТОКА ТИПА РТ-86

Цель работы: Ознакомление с конструкцией реле, принципом его действия, областью применения, основными характеристиками и способами регулирования тока срабатывания и выдержки времени

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Реле серии РТ-80 выполнено на индукционном принципе. Работа индукционного реле основана на взаимодействии магнитных полей неподвижных обмоток (с подведенными извне токами) с магнитными полями токов, индуцируемыми первыми в подвижном (немагнитном) проводящем элементе (диске). Поэтому индукционные реле могут использоваться для работы только на переменном токе.

Для создания вращающего момента $M_{вр}$ индукционная система должна иметь не менее двух магнитных потоков, сдвинутых пространственно и по фазе. При этом токи, индуцируемые этими потоками в подвижном элементе реле (диске), создают слагающие $M_{вр}$ только с теми из потоков, которые не вызвали их возникновения.

В токовом реле для создания второго потока используется короткозамкнутый виток. Для пояснения работы реле рассмотрим реле (рис.5.1), которое состоит из магнитопровода 1, катушки 2, намотанной на магнитопровод, двух короткозамкнутых витков 3, одетых на часть полюсов магнитопровода, подвижной системы (диска) 4, противодействующей пружины 5 и контактной системы 6.

Два магнитных потока Φ_I и Φ_{II} , сдвинутых пространственно и на угол ψ по фазе, создаются путем расщепления полюсов электромагнита 1 на две части, на одну из которых насаживают короткозамкнутые витки в виде медных колец 3.

Для определения соотношений между потоками Φ_I (выходит из части полюса, охваченной короткозамкнутым витком) и Φ_{II} (выходит из части полюса без короткозамкнутого витка) строится векторная диаграмма (рис.5.2,а), для которой за исходный примем вектор Φ_I . Поток Φ_{II} наводит в кольцах э.д.с. E_k , отстающие от него по фазе на 90° , которые обуславливают в кольцах токи I_k^1 (приведены к

числу витков обмотки реле), примерно совпадающие с ними по фазе (пренебрегая потоком рассеяния, который невелик). Поток Φ_I определяется током намагничивания $I_{нам} = I_p + I'_k$ и совпадает с ним по фазе (пренебрегая потерями в стали).

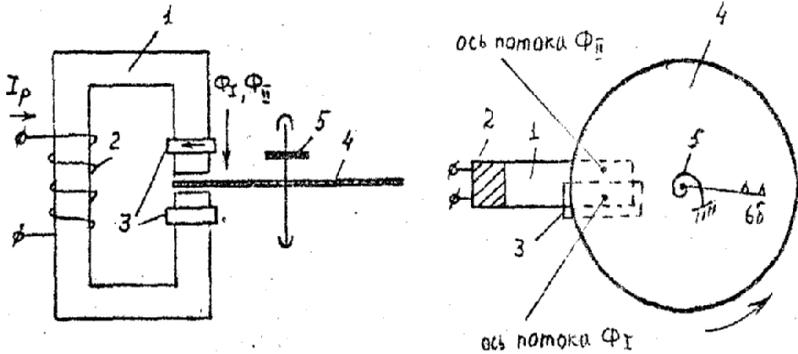


Рис.5.1.

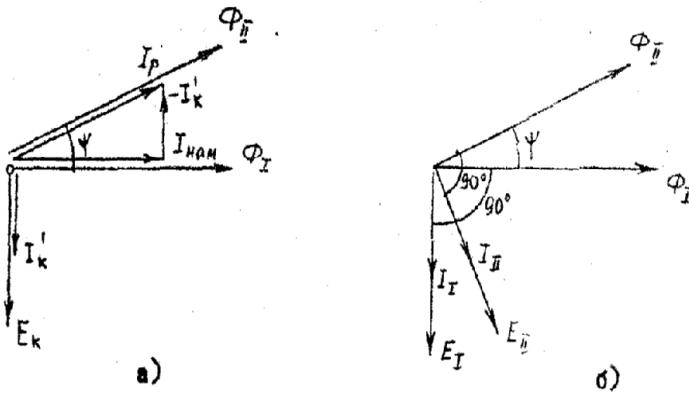


Рис.5.2.

$$\text{Ток } I_p = I_{нам} - I'_k . \quad (5.1)$$

Поток Φ_{II} , выходящий из части полюса без короткозамкнутого витка, при отсутствии насыщения пропорционален току I_p и при тех же допущениях совпадает с ним по фазе.

Работа реле, как указывалось выше, основана на взаимодействии части общего потока Φ_1 с током I_{II} , индуцированным в диске потоком Φ_{II} , и потока Φ_{II} с током I_I , индуцированным в диске потоком Φ_I (рис.5.2,б). Пространственный сдвиг потоков обеспечен конструкцией реле (рис.5.1), фазовый сдвиг получен также за счет наличия короткозамкнутого витка на части полюса. Следовательно, все условия для работы реле есть. На основе закона Био и Савара можно вывести значение вращающего момента, который равен

$$M_{BR} = K^1 \Phi_I \Phi_{II} \sin \psi . \quad (5.2)$$

Считая, что магнитная система реле не насыщена и что потоки Φ_I и Φ_{II} , созданные одним током I_p , пропорциональны ему, имеем

$$M_{BR} = K I_p^2. \quad (5.3)$$

Время срабатывания реле (от начала вращения диска до замыкания контакта) будет зависеть от величины тока I_p и расстояния между подвижной и неподвижной частями контакта. При постоянном расстоянии между подвижной и неподвижной частями контакта время срабатывания зависит от величины тока I_p и реле имеет характеристику (рис.5.3), которая теоретически должна была бы иметь вид (а). Практически, начиная от тока I_p , при котором магнитная система насыщается, характеристика идет параллельно оси тока (б). Отсюда такая характеристика получила название ограниченно зависимой характеристики выдержки времени.

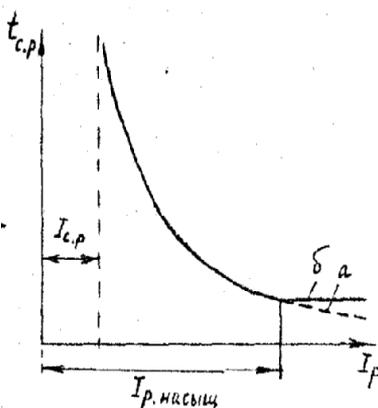


Рис.5.3.

Принципиально не отличаясь от рассмотренного выше, реле РТ-80 конструктивно выполнено иначе. Реле является комбинированным и состоит из двух элементов (рис.5.4): индукционного с диском, создающего ограниченно зависимую характеристику выдержки времени, и электромагнитного мгновенного действия. Оба элемента используют одну общую магнитную систему.

Индукционный элемент реле состоит из магнитопровода 1 с намотанной на нем обмоткой 3, имеющей ответвления для регулирования тока срабатывания. На полюсах магнитопровода укреплены короткозамкнутые витки 2. Ответвления обмотки подключены к гнездам штепсельного мостика 4 и переключаются винтами 5. Между полюсами магнитопровода расположен алюминиевый диск 16, ось которого укреплена на подвижной рамке 13, укрепленной на своей неподвижной оси 14.

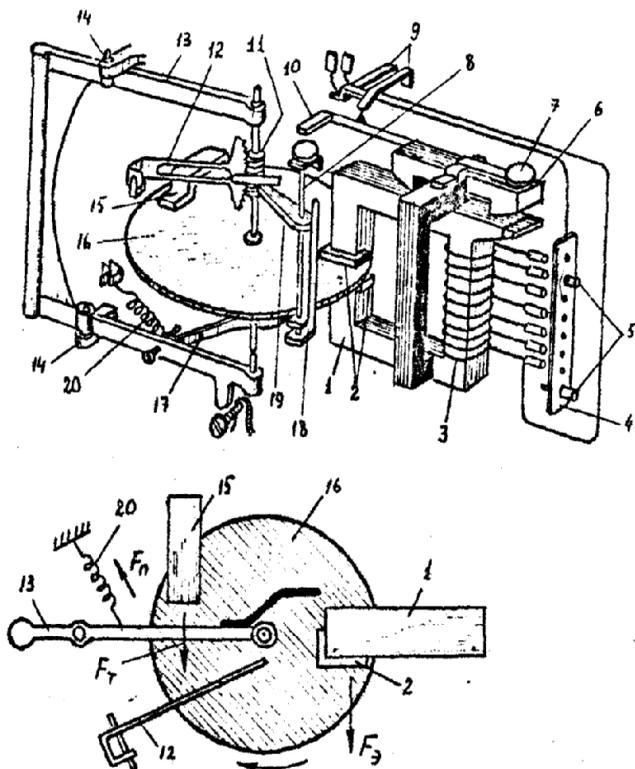


Рис.5.4. Конструкция реле типа РТ-80.

При токе в обмотке реле меньше тока срабатывания индукционного элемента, рамка 13 оттянута пружиной 20 в крайнее положение. При этом червяк 11, насаженный на ось диска, не сцеплен с зубчатым сегментом 12, который может свободно перемещаться вверх и вниз. Сегмент 12 упирается на устройство 18, состоящее из регулировочного винта и движка 19. Устройство 18 служит для регулирования выдержки времени реле за счет изменения пути, который должен пройти сегмент 12 для того, чтобы поднять коромысло 10 и замкнуть контакт реле 9.

Диск реле начинает вращаться при токе, равном $10 \div 20\%$ от тока срабатывания индукционного элемента, но при этом рамка 13 находится в крайнем положении и сегмент 12 не сцеплен с червяком 11. На вращающийся диск действуют силы – $F_{\text{Э}}$, вызывающая вращение диска, $F_{\text{Т}}$ – сила торможения, создаваемая за счет пересечения потока постоянного магнита 15 вращающимся диском. Обе эти силы зависят от величины тока в реле ($F_{\text{Э}}$) и скорости вращения диска ($F_{\text{Т}}$). Установившейся скорости вращения диска соответствует равновесие этих сил. Равнодействующая этих сил F стремится повернуть рамку 13 с диском в сторону зацепления червяка 11 с сегментом 12. Этому противодействует сила пружины 20 $F_{\text{П}}$. При токе в реле, равном току срабатывания индукционного элемента, сила F преодолевает силу пружины $F_{\text{П}}$, рамка 13 повернется, червяк 11 войдет в зацепление с сегментом 12, и последний начнет подниматься вверх. В момент зацепления червяка с сегментом появляется за счет трения дополнительная сила, которая снижает скорость и силу F . Для предотвращения расцепления червячной передачи установлена стальная скоба 17, которая за счет потоков рассеяния создает дополнительное усилие, удерживающее рамку в притянутом положении. Время от момента сцепления червяка с сегментом до замыкания контакта является выдержкой времени реле. Скорость подъема зависит от скорости вращения диска, то есть от величины тока в катушке реле. Этим создается зависимая характеристика выдержки времени от величины тока.

У реле РТ-80 насыщение магнитной системы наступает при токе в реле равном 6-7 кратному току срабатывания реле. При этом зависимость времени срабатывания от тока прекращается; реле имеет ограниченно зависимую от тока характеристику выдержки времени.

Выдержка времени реле регулируется винтом 8, меняющим расстояние от нижнего положения сегмента 12 до планки 10. На

шкале реле указаны времена в независимой от тока части характеристики.

Ток срабатывания индукционного элемента реле регулируется изменением числа витков обмотки реле путем перестановки винтов 5.

Электромагнитный элемент реле состоит из якоря 6 с коромыслом (планкой) 10. Работа его происходит за счет притягивания якоря 6 к магнитопроводу реле 1. При срабатывании электромагнитного элемента 6, он с помощью планки 10 замыкает контакт. Ток срабатывания электромагнитного элемента зависит от числа витков обмотки реле, то есть связан с током срабатывания индукционного элемента реле. Кроме того, ток срабатывания электромагнитного элемента может меняться винтом 7 за счет изменения расстояния от якоря 6 до магнитопровода 1 в пределах 2-8 от тока срабатывания индукционного элемента. При этих токах электромагнитный элемент срабатывает мгновенно. Для уменьшения вибрации якоря 6 имеется короткозамкнутый виток. Назначение электромагнитного элемента заключается также в создании надежного и четкого замыкания контакта реле при работе индукционного элемента: сегмент 12 перед замыканием контакта 9 поднимает планку 10, тем самым уменьшая расстояние от якоря электромагнитного элемента 6 до магнитопровода 1. При приближении якоря 6 к магнитопроводу 1 электромагнитная сила, притягивающая якорь к магнитопроводу возрастает и притягивает якорь 6, чем обеспечивается мгновенное замыкание контактов и создается их надежное замыкание.

Наличие в реле двух независимых элементов позволяет с помощью одного реле РТ-80 выполнить две защиты – максимальную защиту с зависимой от тока характеристикой выдержки времени и токовую отсечку без выдержки времени. Характеристика этой зависимости показана на рис.5.5.

Описанная конструкция реле позволяет иметь $K_v = 0,8-0,85$. Потребляемая мощность реле при токе уставки составляет 10 ВА.

Разные реле серии РТ-80 имеют различное исполнение контактной системы и разные пределы регулирования тока и времени срабатывания.

Ток срабатывания реле РТ-85-2 регулируется в пределах от 2 до 5 А ступенями через 0,5 А, выдержка времени плавно от 0,5 до 4 сек. Реле имеет один переключающий контакт, который способен переключать ток до 150 А без разрыва цепи.

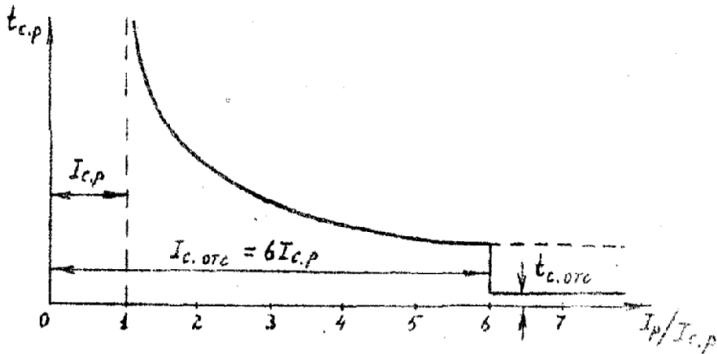


Рис.5.5.

Задание на работу

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия.
2. Ознакомиться со схемой испытания реле (рис.5.6).
3. Проверить шкалу уставок и разброс точек тока срабатывания реле.
4. Определить коэффициент возврата реле.
5. Проверить характеристики реле при $I_{уст} = 2$ А и подаче тока до 16 А. Определить разброс точек времени срабатывания реле.
6. Настроить отсечку реле.
7. Составить отчет по работе.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией реле и принципом его действия:
 - а) записать паспортные данные реле;
 - б) осмотреть магнитную систему реле, цепи измерительного органа, контактную систему реле и схему его включения;
 - в) ознакомиться со способами регулирования тока и времени срабатывания реле.
2. Собрать схему испытания реле (рис.5.6).

При отключенных автомате SF и тумблере S собрать схему испытания реле (подключить катушку и контакты реле так, как показано на рис.5-6 пунктирными линиями). Остальная часть схемы, показанная сплошными линиями, находится в собранном состоянии.

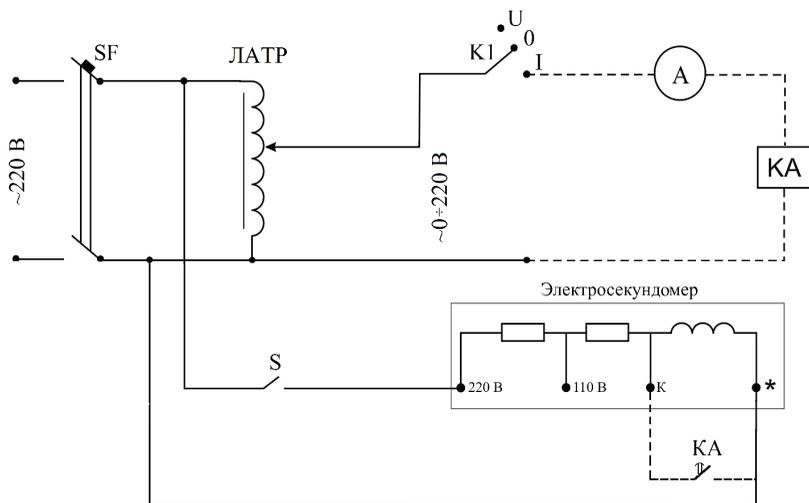


Рис.5.6. Схема испытания реле РТ-80.

3. Проверить точность работы реле, шкалу уставок и разброс точек тока срабатывания реле.
 - 3.1. Для проведения испытаний токового реле ключ К1 установить в положение I – цепи тока.
 - 3.2. Автотрансформатор (ЛАТР) установить в крайнее левое положение, соответствующее минимальному напряжению на стенде.
 - 3.3. На шкале реле установить минимальную уставку тока срабатывания реле $I_{уст}$.
 - 3.4. Включить автомат SF и подать напряжение на схему испытания реле.
 - 3.5. Увеличивая с помощью ЛАТРа ток до тех пор, пока реле не придет в действие, определить величину тока срабатывания $I_{с.р}$. Уменьшая ток после срабатывания реле до той величины, при которой реле возвращается в исходное состояние, определить ток возврата реле $I_{в.р}$.
 - 3.6. При разных уставках на шкале производится проверка работы реле: ЛАТРОм плавно увеличивается ток в катушке реле до его срабатывания (сегмент входит в зацепление с

червяком), фиксируется величина тока срабатывания. Затем также ток снижается до отпадания рамки и фиксируется ток возврата реле. Величины токов срабатывания и возврата заносятся в табл. 5.1.

4. По средним значениям из трех замеров $I_{C.P.}$ и $I_{B.P.}$ определить коэффициент возврата реле K_B . Опыт проводится для трех различных уставок реле (табл. 5.1).

Таблица 5.1

$I_{уст}$ (А)				
$I_{C.P.}$ (А)	$I_{C.P. 1}$			
	$I_{C.P. 2}$			
	$I_{C.P. 3}$			
	$I_{C.P. СРЕДН.}$			
$I_{B.P.}$ (А)	$I_{B.P. 1}$			
	$I_{B.P. 2}$			
	$I_{B.P. 3}$			
	$I_{B.P. СРЕДН.}$			
K_B				
$\Delta I_{C.P.}$ (%)				

Коэффициент возврата реле K_B определяется по формуле (1.4), погрешность (разброс точек тока срабатывания) реле $\Delta I_{C.P.}$ - по формуле (1.5).

5. Проверка характеристики реле РТ-86 при $I_{уст} = 2A$ и подаче тока $I_{макс} = 16 A$. Определение разброса точек времени срабатывания при постоянной уставке времени срабатывания.

- а) Включив автомат SF, увеличивают ток в катушке реле ЛАТРОм (при отключенном тумблере S) до величины $I_{макс}$ (при этом сталь сердечника магнитной системы реле насыщается, а уставки времени срабатывания реле на шкале справедливы при насыщении сердечника, т.е. при максимуме тока). Затем отключаем автомат SF, включаем тумблер S, и, установив стрелку секундомера на ноль, включаем вновь автомат SF. При срабатывании реле электросекундомер фиксирует время его срабатывания.

Примечание: при производстве описанного и следующего испытания регулировочный винт электромагнитного элемента реле должен быть вывернут до предела, чтобы не срабатывала отсечка.

По трем замерам определяем среднее время срабатывания реле и разброс точек времени срабатывания в %. Результаты заносим в табл. 5.2.

Таблица 5.2

$t_{уст. (с)}$	$t_{С.Р. 1 (с)}$	$t_{С.Р. 2 (с)}$	$t_{С.Р. 3 (с)}$	$t_{С.Р.СРЕДН.(с)}$	$\Delta t_{С.Р. (\%)}$

б) Снятие характеристики $t_{С.Р.} = f(I_p / I_{С.Р.})$.

В катушку реле подается последовательно ток $I_p = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 I_{С.р.}$ и при постоянной уставке по времени снимается кривая $t_{С.Р.} = f(I_p / I_{С.Р.})$.

При отключенном тумблере S устанавливается ЛАТРОм определенный ток в цепи катушки реле. Отключив автомат SF, включаем тумблер S, а затем вновь включаем автомат SF. При срабатывании реле электросекундомер фиксирует время его срабатывания. То же повторяем для других значений тока. Данные заносим в табл. 5.3.

Таблица 5.3

$k=I_p/I_{С.р.}$	2	3	4	5	6	7	8
$t_{С.Р. (с)}$							

6. Проверка работы электромагнитного элемента реле.

Регулировочным винтом добиваемся срабатывания электромагнитного элемента реле при $I_p = k I_{С.р.}$ (k – задается преподавателем); установив регулировочный винт в определенное положение, ЛАТРОм поднимают ток до срабатывания электромагнитного элемента. Выполняется несколько попыток до получения требуемого тока срабатывания. Показания шкалы электромагнитного элемента и величины тока срабатывания заносятся в отчет:

$I_{уст.} =$

$I_{С.р.} =$

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание реле.
3. Порядок проведения работы.
4. Схема испытания реле.
5. Результаты проведенных испытаний реле в виде таблиц 5.1, 5.2 и 5.3.
6. График построенной характеристики реле $t_{C.P.} = f(I_P / I_{C.P.})$.
7. Сравнение технических данных реле с результатами испытаний. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы индукционного токового реле.
2. Может ли индукционное реле работать на постоянном токе?
3. Из каких основных элементов состоит реле РТ-80?
4. Назначение короткозамкнутых витков, охватывающих часть сечения магнитопровода реле РТ-80?
5. Каким образом регулируют ток срабатывания индукционного и электромагнитного элементов реле?
6. Назначение постоянного магнита, охватывающего алюминиевый диск реле РТ-80.
7. Каким образом регулируется время срабатывания реле?
8. За счет чего характеристика $t_{C.P.} = f(I_P / I_{C.P.})$ получается ограниченно зависимой?

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И РЕЛЕ

Цель работы: Ознакомление с различными схемами соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и реле, а также векторными диаграммами токов реле при различных схемах соединения

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и реле

1. Соединение вторичных обмоток трансформаторов тока и реле в полную звезду.

Схема (рис.6.1) осуществляется тремя трансформаторами тока, включаемыми в фазы А, В и С защищаемой трехфазной цепи и тремя реле, обмотки которых присоединяются соответственно на вторичные зажимы трансформаторов тока.

Таким образом, при любых видах повреждений реле питаются токами J_a , J_b , J_c , пропорциональными токам J_A , J_B , J_C (при отсутствии насыщения трансформаторов).

Поэтому векторные диаграммы вторичных токов трансформаторов тока и токов в реле имеют вид, изображенный на рис.6.2.

По нулевому проводу схемы протекают вторичные токи при повреждениях, вызывающих появление токов нулевой последовательности в защищаемом участке, т.е. при однофазных замыканиях и двухфазных коротких замыканиях на землю.

Рассматриваемая схема соединений вторичных обмоток трансформаторов тока в звезду обладает следующими достоинствами:

а) реагирует на все виды повреждений, сопровождающиеся токами большими, чем $J_{с.з.}$ защиты, так как имеет трехфазное выполнение;

б) одинаково чувствительна ко всем видам повреждений, так как на ее реле действуют полные вторичные токи трансформаторов тока;

в) при замыкании между фазами действует весьма надежно, так как срабатывают, по меньшей мере, реле в двух фазах;

г) коэффициент схемы $K_{сх}$, равный отношению токов в реле ко вторичным токам трансформаторов тока, при всех видах коротких замыканий равен 1.

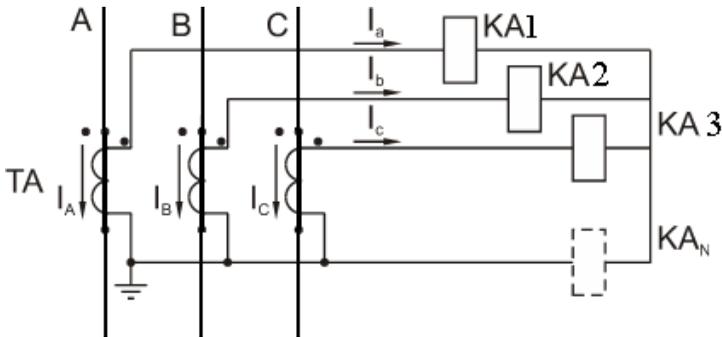
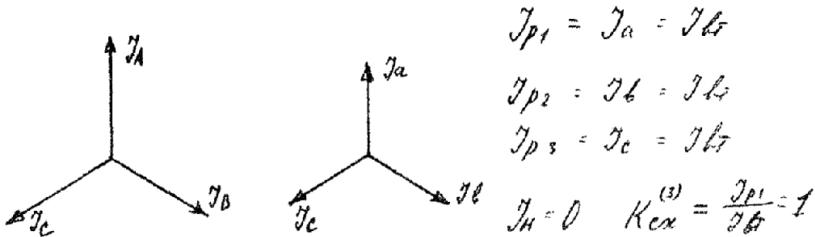
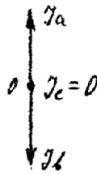
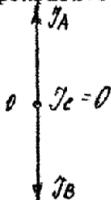


Рис.6.1.



а/ Трёхфазное короткое замыкание



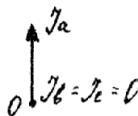
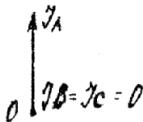
$$I_{p1} = I_a = I_b$$

$$I_{p2} = I_c = I_b$$

$$I_{p3} = 0; \quad I_n = 0$$

$$K_{сх}^{(2)} = \frac{I_{p1}}{I_b} = 1$$

б/ Двухфазное короткое замыкание фаз А и В



$$I_{p1} = I_a = I_b$$

$$I_{p2} = I_{p3} = 0$$

$$I_n = -I_a$$

$$K_{сх}^{(1)} = \frac{I_{p1}}{I_b} = 1$$

в/ Однофазное короткое замыкание фазы А

Рис.6.2.

Схема эта применяется в сетях с большими токами замыкания на землю. Ее существенными недостатками являются относительно большая стоимость и потребность в большом количестве трансформаторов тока и реле. Поэтому в сетях с малыми токами замыкания на землю (в сетях напряжением 3-35 кВ) обычно применяются более простые схемы соединения трансформаторов тока и реле в неполную звезду или включение одного реле на разность вторичных токов трансформаторов тока двух фаз.

2. Схема соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и реле в неполную звезду.

Схема (рис.6.3) состоит из двух трансформаторов тока, включенных в какие-либо две фазы трехфазной системы (например, А и С), и двух реле, включенных соответственно в их вторичные обмотки. Таким образом, в этой схеме при трехфазных повреждениях и при замыкании фаз А и С реле питаются токами J_a и J_c , пропорциональными J_A и J_C , при замыканиях между фазами А и В или С и В соответственно токами J_a и J_c .

При однофазных повреждениях фаз А или С в реле попадает ток J_a либо J_c . При однофазном замыкании фазы В ток в реле не попадает. Векторные диаграммы вторичных токов трансформаторов тока и токов в реле при различных видах повреждений имеют вид, показанный на рис.6.4.

Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме вторичных токов трансформаторов тока, взятой с обратным знаком. В частности, при симметричном замыкании между тремя фазами или нормальной работе его абсолютная величина равна току в фазе, а направление совпадает с направлением вектора тока фазы В, не имеющей трансформатора тока (рис.6.4,а).

Таким образом, нулевой провод требуется здесь для правильной работы схемы при междуфазных замыканиях.

При замыканиях между тремя фазами или между теми двумя, на которых установлены трансформаторы тока, в схеме работают два реле. При однофазных замыканиях фазы, не имеющей трансформатора тока, реле не срабатывает и, следовательно, в этом случае защита не реагирует на этот вид повреждения. Таким образом, схема с соединением вторичных обмоток трансформаторов тока по схеме неполной звезды не пригодна для защиты от однофазных

замыканий на землю. Схема широко применяется в сетях 35 кВ и ниже, где при замыкании фазы на землю токи малы.

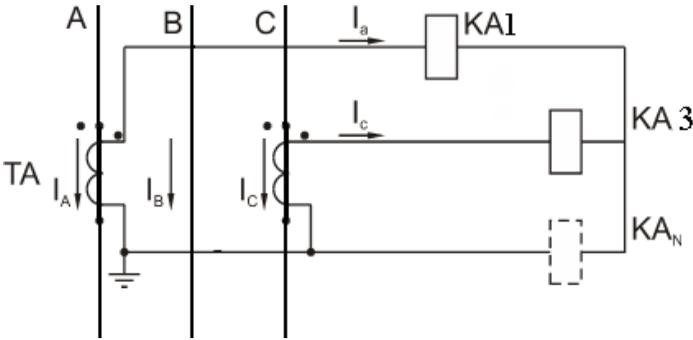
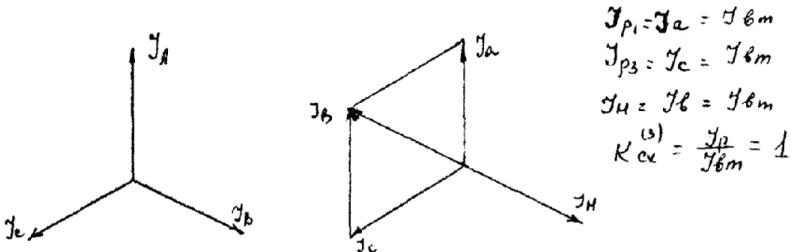


Рис.6.3.



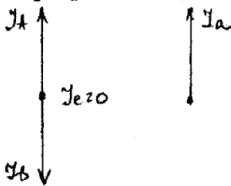
$$I_{p1} = I_a = I_{\phi m}$$

$$I_{p3} = I_c = I_{\phi m}$$

$$I_{\Sigma} = I_b = I_{\phi m}$$

$$K_{сх}^{(3)} = \frac{I_p}{I_{\phi m}} = 1$$

а/ Трехфазное короткое замыкание



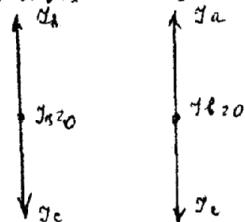
$$I_{p1} = I_a = I_{\phi m}$$

$$I_{p3} = 0$$

$$I_{\Sigma} = -I_a$$

$$K_{сх}^{(2)} = \frac{I_p}{I_{\phi m}} = 1$$

б/ Двухфазное короткое замыкание фаз А и В



$$I_{p1} = I_a = I_{\phi m}$$

$$I_{p3} = I_c = I_{\phi m}$$

$$I_{\Sigma} = 0$$

$$K_{сх}^{(2)} = \frac{I_p}{I_{\phi m}} = 1$$

в/ Двухфазное короткое замыкание фаз А и С

Рис.6.4.

3. Схема соединения вторичных обмоток трансформаторов тока в треугольник, а токовых обмоток реле в звезду.

Схема (рис.6.5) осуществляется тремя трансформаторами тока, вторичные обмотки которых соединены в треугольник, и тремя реле, соединенными в звезду.

Токи через реле J_{p1} , J_{p2} , J_{p3} определяются на основании первого закона Кирхгофа для точек «Н».

$$\dot{J}_{p1} = \dot{J}_a - \dot{J}_b; \quad \dot{J}_{p2} = \dot{J}_b - \dot{J}_c; \quad \dot{J}_{p3} = \dot{J}_c - \dot{J}_a.$$

Они представляют собой, таким образом, геометрические разности токов двух фаз (векторные диаграммы токов для исследуемой схемы приведены на рис.6.6).

На векторной диаграмме токов при разных видах повреждений и приведенных выше выражений токов в реле, видим, что схема обладает неодинаковой чувствительностью к различным видам повреждений. При симметричных трехфазных замыканиях токи в реле (рис.6.6,а) в $\sqrt{3}$ раза больше токов во вторичных обмотках трансформаторов:

$$I_{p1} = I_{p2} = I_{p3} = \sqrt{3} J_{вт}.$$

При замыканиях между двумя фазами, например, В и С, наибольший ток в реле в два раза больше тока во вторичной обмотке трансформатора тока.

Ток трогания реле должен выбираться по максимальному рабочему току, который в $\sqrt{3}$ раз больше фазного тока в обмотке трансформатора тока.

Отличительной особенностью схемы является то, что она не реагирует на слагающие нулевой последовательности токов повреждения. Объясняется это тем, что токи нулевой последовательности имеют одинаковую величину и фазу во всех трех фазах системы. Поэтому их разность равна нулю и они циркулируют в замкнутом треугольнике вторичных обмоток трансформаторов тока, никуда из него не выходя. Схема для защиты от однофазных замыканий не применяется.

Схема соединения вторичных обмоток трансформаторов тока в треугольник находит широкое применение в дифференциальной защите силовых трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме звезда – треугольник, и в дистанционной защите линий, действующей при коротких замыканиях между фазами.

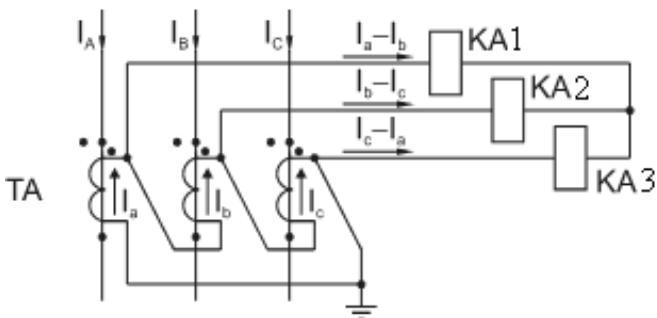
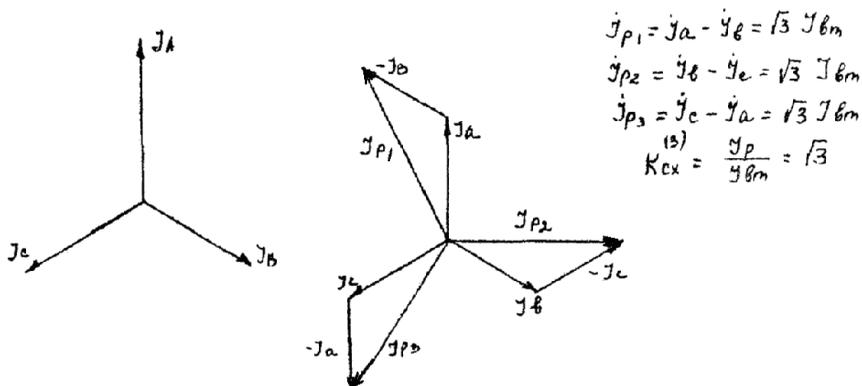
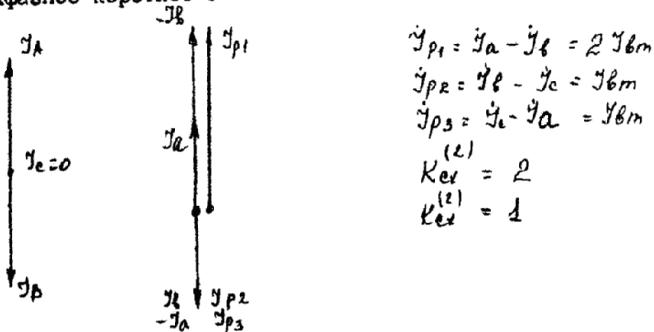


Рис.6.5.



а/ Трехфазное короткое замыкание



б/ Двухфазное короткое замыкание фаз А и В

Рис.6.6.

4. Схема включения реле на разность токов вторичных обмоток трансформаторов тока двух фаз.

Схема (рис.6.7) осуществляется двумя трансформаторами тока, включенными в какие-либо две фазы линии (например, А и С), и одним реле.

Как и для предыдущей схемы, ток, протекающий через реле (векторные диаграммы токов для исследуемой схемы при разных видах повреждений показаны на рис.6.8), при принятом для него условном положительном направлении равен:

$$\dot{I}_p = \dot{I}_a - \dot{I}_c.$$

Аналогично предыдущему можно показать, что рассматриваемая схема при различных видах повреждений обладает неодинаковой чувствительностью. Соотношения токов в реле для случаев трехфазного замыкания, двухфазного замыкания между фазами, где установлены трансформаторы тока и двухфазного замыкания между фазой с трансформатором тока и фазой без трансформатора тока, составляет 3; 2; 1.

При однофазном замыкании на землю фазы, не имеющей трансформатор тока, а также при некоторых видах двойных замыканий на землю реле может не действовать.

Схема с включением реле на разность токов двух фаз является менее совершенной, чем схема включения по неполной звезде. Однако ее применение для максимальной токовой защиты от многофазных замыканий широко рекомендуется в целях экономии реле в распределительных сетях напряжение 10 кВ и ниже, если в зону защиты не попадает трансформатор со схемой соединения Y/Δ-11.

5. Соединение вторичных обмоток трансформаторов тока в схему фильтра токов нулевой последовательности.

Эта схема (рис.6.9) осуществляется тремя трансформаторами тока, вторичные обмотки которых соединяются одноименными концами «Н» и «К» параллельно одним реле.

Векторные диаграммы токов для исследуемой схемы при различных видах повреждений показаны на рис.6.10.

Ток в реле J_p при принятом для него положительном направлении определяется как:

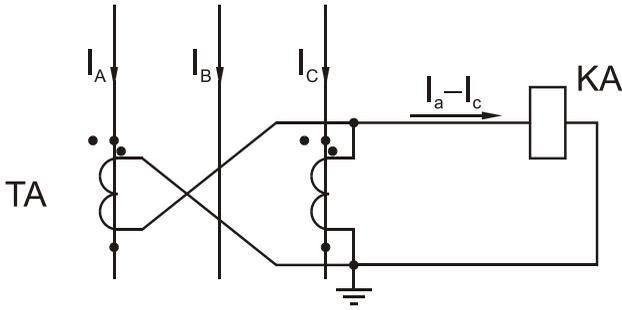
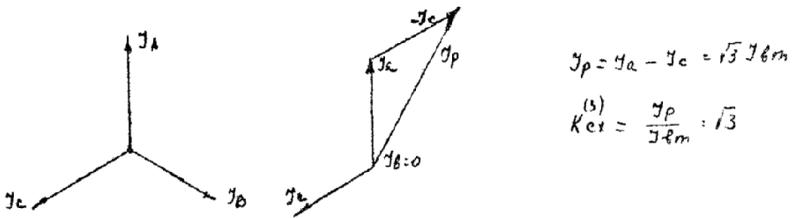
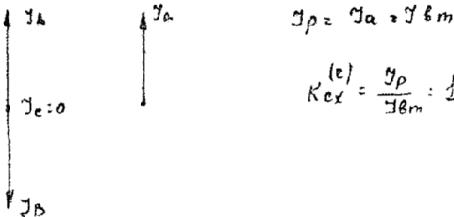


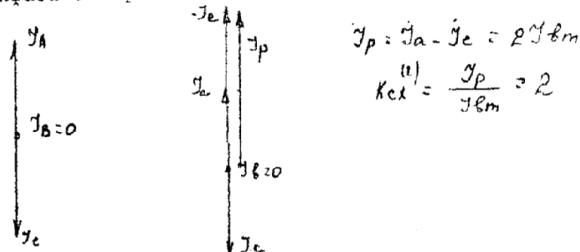
Рис.6.7.



а) Трёхфазное короткое замыкание



б) Двухфазное короткое замыкание фаз А и В



в) Двухфазное короткое замыкание фаз А и С

Рис.6.8.

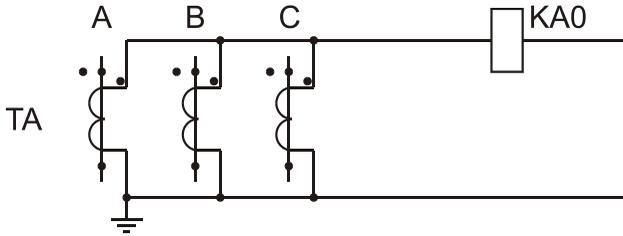
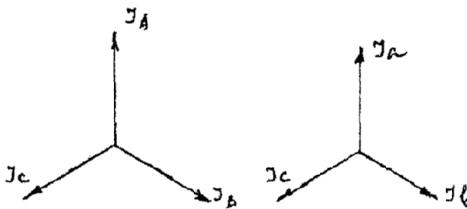


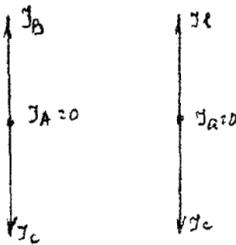
Рис.6.9.



$$I_p = I_A + I_B + I_C$$

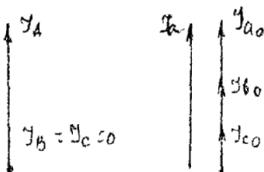
$$I_p = I_A + I_B + I_C \approx 0$$

а) Трёхфазное короткое замыкание



$$I_p = I_B + I_C = 0$$

б) Двухфазное короткое замыкание



$$I_p = I_a = 3 I_0$$

в) Однофазное короткое замыкание

Рис.6.10.

$$\dot{J}_p = \dot{J}_a + \dot{J}_b + \dot{J}_c;$$

учитывая, что $\dot{J}_{BT} = \dot{J}'_п - \dot{J}'_{нам}$, можно написать:

$$\dot{J}_p = (\dot{J}'_A + \dot{J}'_B + \dot{J}'_C) - (\dot{J}'_{Анам} + \dot{J}'_{Внам} + \dot{J}'_{Снам}) = 3\dot{J}'_0 - \dot{J}'_{нб},$$

так как $\begin{cases} \sum \dot{J}_1 = 0 \\ \sum \dot{J}_2 = 0 \end{cases}$, то $\sum \dot{J}'_{нам} = \dot{J}'_{нб}$.

Таким образом, при нормальной работе и замыканиях между фазами, когда ток нулевой последовательности $J_{10} = 0$, через реле протекает только относительно небольшой ток небаланса $J_{нб}$ (см. рис.6.10), и схема не действует. При замыканиях на землю токи в фазах имеют слагающие нулевой последовательности, которые дают соответствующий ток через реле, значительно больший, чем $J_{нб}$, и реле может работать.

Основным преимуществом схемы является ее высокая чувствительность, обусловленная независимостью от токов нагрузки (если пренебречь $J_{нб}$). Поэтому она широко применяется для защит от замыканий на землю, главным образом в сетях с большими токами при однофазных коротких замыканиях.

Программа работы.

1. Исследование схемы включения вторичных обмоток трансформатора тока и реле в полную звезду с нулем.
2. Исследование схемы включения вторичных обмоток трансформатора тока и реле в неполную звезду.
3. Исследование схемы включения вторичных обмоток трансформаторов тока в треугольник и реле в звезду.
4. Исследование схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока на разность токов двух фаз.
5. Исследование соединения вторичных обмоток трансформаторов тока в схему фильтра токов нулевой последовательности.
6. Исследование схемы последовательного включения вторичных обмоток трансформаторов тока.
7. Исследование схемы параллельного включения вторичных обмоток трансформаторов тока.

Пояснение к работе.

1. Исследование схемы включения вторичных обмоток трансформатора тока и реле в полную звезду с нулем.

Схема испытания показана на рис.6.11. Схема получает питание от трехфазной сети 220/127В. В каждую фазу включают последовательно следующие приборы: первичная обмотка трансформатора тока, амперметр, реостат для регулирования тока в первичной цепи. Движки реостата, включенные в различные фазы, соединяют между собой в звезду, к нулю которой подводится нулевой провод от питающей сети.

Вторичные обмотки трансформатора тока соединяют по схеме, приведенной на рис.6.1, с той разницей, что вместо реле включают амперметры для измерений токов, которые должны пройти в реле.

Порядок проведения работы таков:

а) с помощью реостатов устанавливаем во всех фазах первичной цепи одинаковые токи, чем имитируем трехфазное короткое замыкание, и измеряем токи во вторичной цепи трансформаторов тока (эти же токи являются токами в реле);

б) отключив от цепи одну из фаз и нулевой провод, устанавливаем одинаковые токи в оставшихся фазах первичной цепи, чем имитируем двухфазное короткое замыкание, и измеряем токи вторичной цепи трансформаторов тока;

в) отключив еще одну фазу (имитация однофазного короткого замыкания) и, включив нулевой провод, измеряем токи в первичных обмотках трансформаторов тока, вторичных обмотках, реле и нулевом проводе;

г) данные измерений сводим в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Вид к.з.	Трехфазное	Двухфазное	Однофазное
J_A			
J_B			
J_C			
$J_a = J_{p1}$			
$J_b = J_{p2}$			
$J_c = J_{p3}$			
$J_0 = J_n$			

д) строим векторные диаграммы вторичных токов при различных видах повреждений (см. рис.6.2) и сравниваем результаты измерений с величинами, получаемыми из векторных диаграмм.

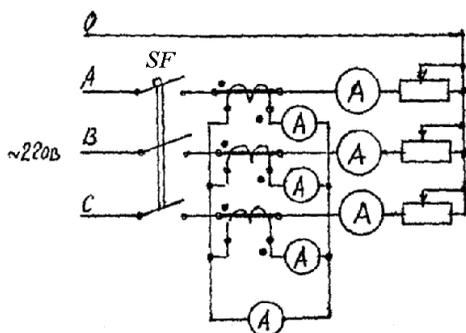


Рис.6.11.

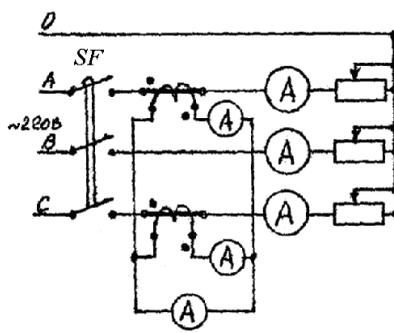


Рис.6.12.

2. Исследование схемы включения вторичных обмоток трансформаторов тока в неполную звезду.

Схема испытаний показана на рис.6.12. Она отличается от предыдущей тем, что в одной фазе отсутствует трансформатор тока.

Порядок проведения работы.

а) с помощью реостатов устанавливаем во всех фазах первичной цепи одинаковые токи и измеряем токи во вторичных цепях трансформаторов тока. Эти токи будут протекать через обмотки реле. Этим опытом имитируем трехфазное короткое замыкание.

б) отключив от цепи одну из фаз и нулевой провод, устанавливаем одинаковые токи в оставшихся фазах первичной цепи, чем имитируем двухфазное короткое замыкание, и измеряем токи во вторичной цепи трансформаторов тока. Этот опыт делают дважды для случаев:

- замыкание между фазами, в которых установлены трансформаторы тока;
- замыкание между фазой с трансформатором тока и фазой, в которой трансформатор тока отсутствует.

Табл. 6.2, в которую заносят результаты измерений, имеет вид:

Таблица 6.2

Вид к.з.	Трехфазное	Двухфазное АС	Двухфазное АВ	Однофазное
J_A				
J_B				
J_C				
$J_a = J_{p1}$				
$J_c = J_{p3}$				
$J_0 = J_n$				

в) строим векторные диаграммы вторичных токов при различных видах повреждений (см. рис.6.4) и сравниваем результаты измерений с величинами, получаемыми из векторных диаграмм.

3. Исследование схемы включения вторичных обмоток трансформаторов тока в треугольник и реле в звезду.

Схема испытания (рис.6.13) отличается от схемы рис.6.11 тем, что вторичные обмотки трансформаторов тока соединены в треугольник, в каждую сторону которого включено по одному амперметру для измерений токов во вторичных обмотках трансформаторов тока.

Порядок проведения работы такой же, как и для схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока в звезду.

Табл. 6.3 для записи результатов измерений токов такова:

Таблица 6.3

Вид к.з.	Трехфазное	Двухфазное АС	Однофазное
J_A			
J_B			
J_C			
J_a			
J_b			
J_c			
J_{p1}			
J_{p2}			
J_{p3}			

Строим векторные диаграммы вторичных токов при различных видах повреждений (см. рис.6.6) и сравниваем результаты измерений с величинами, получаемыми из векторных диаграмм.

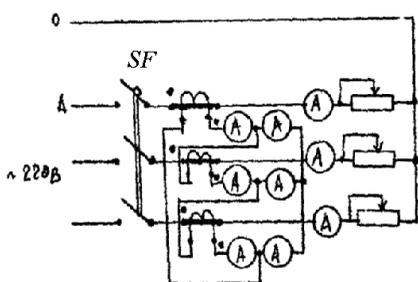


Рис.6.13.

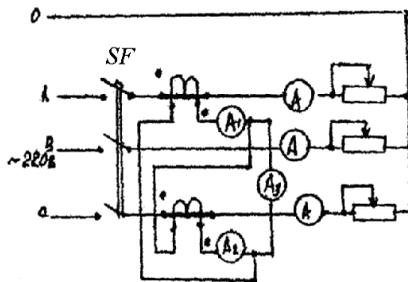


Рис.6.14.

4. Исследование схемы включения реле на разность токов вторичных обмоток трансформатора тока.

Схема испытания показана на рис.6.14. От предыдущих схем она отличается тем, что вторичные обмотки трансформаторов тока соединены так, как на рис.6.7, но вместо обмотки реле включают амперметр для измерения тока, который должен попасть в реле.

Порядок проведения работы.

а) с помощью реостатов устанавливаем во всех фазах первичной цепи одинаковые токи и измеряем токи во вторичных цепях трансформаторов тока. Ток, протекающий через A_3 – это ток через реле. Этим опытом имитируем трехфазное короткое замыкание.

б) отключив от цепи одну из фаз и нулевой провод, устанавливаем одинаковые токи в оставшихся фазах первичной цепи, чем имитируем двухфазное короткое замыкание, и измеряем токи в амперметрах A_1 , A_2 и A_3 . Этот опыт делают дважды для случаев:

- замыкания между фазами, в которых установлены трансформаторы тока;
- замыкания между фазой с трансформатором тока и фазой, в которой трансформатора тока нет.

Табл. 6.4 для записи результатов измерений такова:

Таблица 6.4

Вид к.з.	Трёхфазное	Двухфазное АС	Двухфазное АВ	Однофазное
J_A				
J_B				
J_C				
$J_a (A_1)$				
$J_c (A_3)$				
$J_p (A_3)$				

Строим векторные диаграммы вторичных токов при различных видах повреждений (см. рис.6.8) и сравниваем результаты измерений с величинами, получаемыми из векторных диаграмм.

5. Исследование схемы фильтра тока нулевой последовательности.

Схема испытаний (рис.6.15) отличается от предыдущих тем, что вторичные обмотки трансформаторов тока и обмотка реле соединены между собой параллельно.

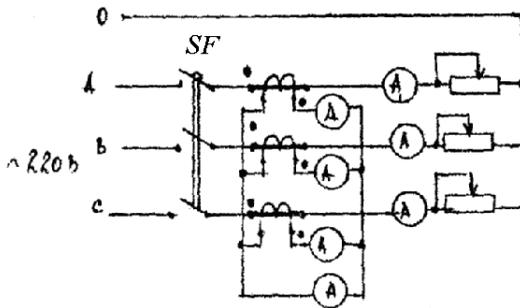


Рис.6.15.

Порядок проведения работы такой же, как и для схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока в полную звезду.

Табл. 6.5 для записи измерений такова:

Таблица 6.5

Вид к.з.	Трехфазное	Двухфазное	Однофазное
J_A			
J_B			
J_C			
J_a			
J_b			
J_c			
J_p			

Строим векторные диаграммы вторичных токов при различных видах повреждений (см. рис.6.10) и сравниваем результаты измерений с величинами, получаемыми из векторных диаграмм.

6. Исследование схемы последовательного включения вторичных обмоток двух трансформаторов тока.

Схема испытания показана на рис.6.16,а. Питание схема получает от сети 220В через рубильник. Первичная цепь схемы состоит из последовательно соединенных первичных обмоток трансформаторов тока, амперметра и реостата для регулирования величины тока. Вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются между собой последовательно и в их цепь включают амперметр.

Установив с помощью реостата определенный ток в первичной цепи, измеряем ток во вторичной цепи трансформаторов тока, определяем коэффициент трансформации $n = J_{\text{п}}/J_{\text{вт}}$ и сравниваем его с номинальным коэффициентом трансформации одного трансформатора тока.

Примечание:

Сначала измеряют первичные и вторичные токи, следовательно, и коэффициент трансформации одного трансформатора тока, для чего собирают схему, состоящую из последовательно включенных реостата, амперметра и первичной обмотки трансформатора тока, во вторичную обмотку которого включают амперметр.

7. Исследование схемы параллельного включения вторичных обмоток двух трансформаторов тока.

Эта схема (рис.6.16,б) отличается от предыдущей тем, что вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются между собой параллельно.

Порядок проведения работы такой же, как и при исследовании схемы последовательного соединения вторичных обмоток трансформаторов тока.

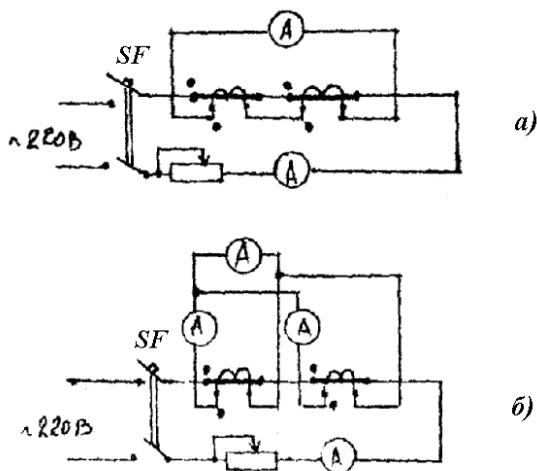


Рис. 6.16.

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Название и цель работы.
2. Схемы соединений вторичных обмоток трансформаторов тока и реле.
3. Порядок проведения работы.
4. Схемы испытаний (рис.6.11 – 6.16) и результаты измерений (табл. 6.1 – 6.5).

5. Векторные диаграммы токов во вторичных цепях трансформаторов тока и реле при разных схемах соединений вторичных обмоток трансформаторов тока и реле.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. В каких защитах применяется каждая из перечисленных схем соединения трансформаторов тока и реле?
2. Что называется коэффициентом схемы?
3. Начертите векторные диаграммы токов для схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и реле в полную звезду.
4. Начертите векторные диаграммы токов для схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока в треугольник, а реле в звезду.
5. В каких случаях применяют последовательное соединение вторичных обмоток двух трансформаторов тока одной фазы?
6. Напишите выражения для определения наибольшего сопротивления нагрузки трансформатора тока по известным сопротивлениям соединительных проводов $\Gamma_{пр}$ и сопротивлению реле Z_p для каждой из перечисленных в работе схем.

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ ВЫПОЛНЕНИЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ (токовая трехступенчатая ненаправленная защита тупиковых ЛЭП)

Цель работы: Ознакомление со схемой и принципом действия токовой трехступенчатой ненаправленной защиты радиальной сети

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основной защитой радиальных линий служит ступенчатая токовая защита, состоящая из комбинации токовых отсечек без выдержки времени и с выдержкой времени и максимальной токовой защиты (МТЗ). Принципиальная схема этой защиты дана на рис.7.1.

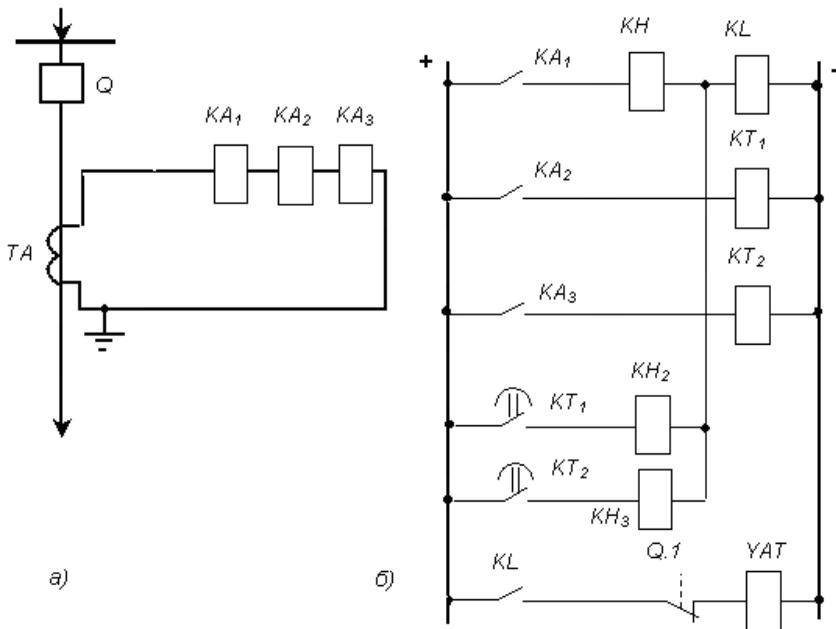


Рис. 7.1. Принципиальная схема трехступенчатой токовой защиты:
а) схема цепей переменного тока; б) схема цепей оперативного тока.

Принцип выполнения и настройки защиты рассмотрим на примере радиальной сети, изображенной на рис.7.2,а.

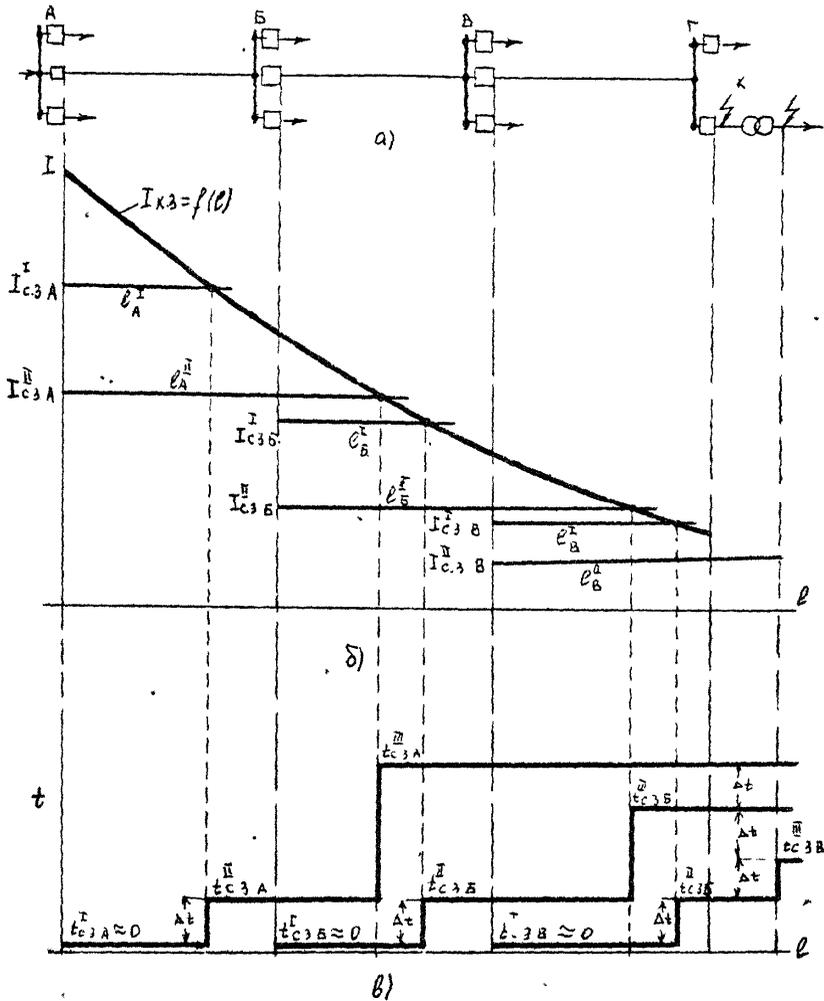


Рис.7.2. Принцип выполнения и настройки трехступенчатой токовой защиты радиальной сети:

- а) – принципиальная схема сети;
- б) – диаграмма выбора уставок токов срабатывания защит;
- в) – диаграммы выбора уставок выдержек времени срабатывания защит.

I степень защиты – токовые отсечки без выдержек времени, установленные на п/ст А, Б и В для обеспечения селективности действия выбираются с токами срабатывания $I_{с.з.А}^I$, $I_{с.з.Б}^I$ и $I_{с.з.В}^I$, отстроенными от токов внешних к.з. Ток срабатывания токовой отсечки без выдержки времени определяется по выражению:

$$I_{с.з.}^I = K_n I_{к.з.макс}^{(3)}, \quad (7.1)$$

где $K_n = 1,3 \div 1,5$ – коэффициент надежности;

$I_{к.з.макс}^{(3)}$ – максимальный ток к.з., протекающий через место установки защиты при трехфазном к.з. в конце защищаемой зоны (на шинах подстанции).

I степень защиты должна защищать 20÷80% длины отходящей линии. На рис.7.2,б такими зонами являются зоны ℓ_A^I , ℓ_B^I и ℓ_V^I .

Время срабатывания I степени обычно принимается равным нулю. Фактически оно составляет 0,06 : 0,1 сек. за счет собственных времен срабатывания реле.

II степень защиты – токовые отсечки с выдержкой времени – защищают всю длину защищаемой линии и часть (50 ÷ 60%) следующего смежного участка. Ток срабатывания защиты II степени обычно принимается на 10 ÷ 15% больше тока срабатывания I степени последующего участка для обеспечения отстройки от тока к.з. при к.з. за пределом зоны действия I степени этого участка. Так для п/с А:

$$I_{с.з.А}^{II} = K_n I_{с.з.Б}^I, \quad (7.2)$$

где $K_n = 1,1 \div 1,5$ – коэффициент надежности.

II степень защиты п/ст А резервирует работу I степени защиты п/ст Б.

По условию селективности необходимо, чтобы время срабатывания II степени было больше на ступень выдержки времени, чем время срабатывания I степени защиты:

$$t_{с.з.}^{II} = t_{с.з.}^I + \Delta t, \quad \text{где } \Delta t = 0,5 \text{ сек.}$$

$$\text{Если } t_{с.з.}^I = 0, \text{ то } t_{с.з.}^{II} = 0,5 \text{ сек.}$$

III степень защиты – максимальная токовая защита - зона ее действия распространяется достаточно далеко и может охватывать полностью смежные участки. Назначением III степени защиты

является резервирование действия защит и выключателей смежных участков, а также отключение повреждений на защищаемой линии при малых токах к.з. и отказе более грубых токовых отсеков (предыдущих ступеней защиты).

Ток срабатывания этой ступени отстраивается от максимальных рабочих токов нагрузки:

$$I_{с.з.}^{III} = \frac{K_n K_{сам}}{K_B} * I_{раб.маx} , \quad (7.3)$$

$K_n = 1,2 \div 1,4$ – коэффициент надежности;

$K_{сам} = 1 \div 3$ – коэффициент самозапуска (при отсутствии точных данных $K_{сам} = 1,5 \div 2$);

$K_B = 0,8$ – коэффициент возврата защиты.

Для обеспечения селективности должно быть:

$$t_{с.з.(n)}^{III} = t_{с.з.(n-1)}^{III} + \Delta t . \quad (7.4)$$

Так, для п/ст А: $t_{с.з.А}^{III} = t_{с.з.В}^{III} + \Delta t .$

Задание на работу

1. Ознакомиться с принципиальной схемой трехступенчатой токовой защиты радиальной линии (рис.7.1).
2. Ознакомиться с принципом выполнения и настройки трехступенчатой токовой защиты радиальной сети.
3. Для заданного варианта исходных данных рассчитать токи к.з.
4. Произвести определение уставок защит и выставить уставки на реле стенда.
5. С разрешения преподавателя включить стенд и рассмотреть действие защит при к.з. в зоне и вне зоны защиты.

Порядок выполнения работы

1. Начертить принципиальную схему трехступенчатой токовой защиты радиальной линии.
2. Ознакомиться с принципом выполнения и настройки трехступенчатой токовой защиты радиальной сети.

3. Для схемы рис.7.2,а рассчитать токи к.з. на шинах подстанций. Для расчета токов к.з. задаются следующие исходные данные:
- мощность системы $S_{\text{сист}} = 1000$;
 - напряжение системы $U_{\text{сист}} = 110$ кВ;
 - сопротивление линий задаются по табл. 7.1 преподавателем.

Таблица 7.1

Линия		АБ	БВ	ВГ
Сопротивление, (Ом)	1			
	2			
	3			

4. Определить токи нагрузки линий по показаниям амперметров, установленных на стенде. Амперметры показывают величину вторичного тока. Для расчета первичного тока нагрузки необходимо учесть коэффициент трансформации трансформаторов тока:

$$K_{\text{тт}} = 200/1.$$

5. По известным значениям токов нагрузки и токов к.з. рассчитать для каждой линии токи срабатывания всех ступеней трехступенчатой защиты и токи срабатывания реле, а также время срабатывания всех ступеней защиты. Ток срабатывания реле определяется по выражению:

$$I_{\text{ср}} = I_{\text{с.з.}} * \frac{K_{\text{сх}}}{K_{\text{тт}}}, \quad (7.5)$$

где $K_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы – принимается равным 1.

Исходные данные и расчетные величины занести в табл. 7.2.

6. Полученные значения токов срабатывания реле выставить на соответствующих реле стенда.
7. Проверить действие защит при к.з. для случаев:
- а) нормальной работы выключателей;
 - б) при отказе выключателей.

Таблица 7.2

Линия		АБ	БВ	ВГ
Сопротивление линии $X_{л}$, (Ом)				
Ток нагрузки, (А)	первичный $I_{нагр}$			
	вторичный $I_{нагр.вт.}$			
Ток к.з. $I_{к.з.}^{(3)}$, (А)				
Ток срабатывания защиты и реле (А) и время срабатывания защиты (сек)	I ступень	$I_{с.з.}^I$		
		$I_{с.р.}^I$		
		$t_{с.з.}^I$		
	II ступень	$I_{с.з.}^{II}$		
		$I_{с.р.}^{II}$		
		$t_{с.з.}^{II}$		
	III ступень	$I_{с.з.}^{III}$		
		$I_{с.р.}^{III}$		
		$t_{с.з.}^{III}$		

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Название и цель работы.
2. Задание на работу.

3. Принципиальная схема трехступенчатой токовой защиты радиальной линии.
4. Принципиальная схема защищаемой радиальной сети.
5. Порядок проведения работы.
6. Формулы для расчета тока срабатывания всех ступеней защиты.
7. Схема замещения сети и расчет токов к.з.
8. Расчет уставок защит для всех ступеней защиты.
9. Кривая спада тока к.з. для радиальной сети и диаграммы уставок токов и выдержек времени срабатывания защит.
10. Расчет уставок токов срабатывания реле.

Контрольные вопросы:

1. Где применяется трехступенчатая максимальная токовая защита?
2. По каким условиям выбирается ток срабатывания токовой отсечки?
3. Как выбирается ток срабатывания II и III ступеней защиты?
4. Для какой цели II и III ступени защиты выполняются с выдержкой времени?
5. Как определить выдержку времени III ступени защиты?
6. Схема МТЗ и ее основные органы.
7. Схема мгновенной токовой отсечки.
8. Схема трехступенчатой токовой защиты тупиковой ЛЭП.
9. Каковы достоинства и недостатки трехступенчатой максимальной токовой защиты?

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита. - М.: Энергия, 1976.
3. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.
4. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 1991. – 496 с.
5. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты - М.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Беркович М.А., Семенов В.А. Основы техники и эксплуатации релейной защиты - М.: Энергия, 1971. – 584 с.
7. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
8. Какуевичкий Л.И., Смирнова Т.И. Справочник реле защиты и автоматики. – М.: Энергия, 1972.
9. Алиев И.И., Абрамов М.Б. Электрические аппараты. Справочник. – М.: РадиоСофт, 2004. -256 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). /Инспекция «Узгосэнергонадзор». Под общ. ред. Б.Х.Гулямова, А.Г.Салиева, Б.Т.Ташпулатова, Б.М.Тешабаева. Ташкент, 2007 г. – 732 с. (Раздел III. Защита и автоматика)
11. Радионова О.В. Релейная защита и автоматика: Конспект лекций. – Т.: ТашГТУ, 2007.
12. <http://www.rele.ru>
13. <http://www.s-avtomatika.ru>
14. <http://www.pea.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Испытание реле максимального тока типа РТ-40	3
Лабораторная работа № 2. Испытание электромагнитного реле напряжения типа РН-54	11
Лабораторная работа № 3. Испытание реле времени типа РВ-247	16
Лабораторная работа № 4. Испытание промежуточного реле РП-23 и указательного реле РУ-21	21
Лабораторная работа № 5. Испытание индукционного реле тока типа РТ-86	30
Лабораторная работа № 6. Изучение схем включения вторичных обмоток трансформаторов тока и реле	41
Лабораторная работа № 7. Изучение схем выполнения токовых защит	59
Литература	66

Редактор Ахметжанова Г.М.

Корректор Марданова Э.З.