

**УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ  
ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС**

## **УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС**

Методические указания к лабораторным работам  
по дисциплине «Релейная защита электроэнергетических систем»  
для студентов очной и заочной форм обучения специальностей  
140204 – Электрические станции; 140205 – Электроэнергетические  
системы и сети; 140203 – Релейная защита и автоматика  
электроэнергетических систем; 140211 – Электроснабжение

Екатеринбург  
2006

УДК 621.316.925.2 (025.8)

Составители: Л.Л. Богатырев, Л.Ф. Богданова, В.П. Федотов  
Научный редактор доц., д-р техн. наук Паздерин А.В.

**УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС:** Методические указания к лабораторным работам /Л.Л. Богатырев, Л.Ф. Богданова, В.П. Федотов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 40 с.

В методических указаниях излагается содержание лабораторных работ по дисциплине «Релейная защита электроэнергетических систем». Описываются устройство и принцип действия статических реле тока, напряжения, времени, направления мощности и сопротивления, реле с быстронасыщающимися трансформаторами типов РНТ и ДЗТ, приводится методика их испытаний и проверки, а также расчет и настройка схем релейной защиты трансформаторов и линий электропередачи.

Библиогр.: 3 назв. Табл. 17. Рис. 25.

© ГОУ ВПО «Уральский государственный  
технический университет–УПИ», 2006

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторные работы проводятся параллельно с лекционными занятиями по дисциплине «Релейная защита электроэнергетических систем».

Основная задача лабораторных занятий – практическое изучение реле и схем защиты, получение навыков самостоятельного проведения основных типовых испытаний релейной аппаратуры, знакомство с методикой расчета и настройки отдельных реле и схем защиты в целом.

Руководство предусматривает максимальное развитие у студентов навыков самостоятельной работы и умения пользоваться технической литературой.

### **Правила работы в лаборатории релейной защиты и автоматики электрических систем**

1. Лабораторные работы выполняются бригадами по два-три человека в соответствии с графиком, составленным преподавателем.

2. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, о чем делается запись в соответствующем журнале.

3. Студенты обязаны подготовиться к очередному лабораторному занятию, используя рекомендуемую литературу, продумать план его проведения, составить предварительный отчет, быть готовым ответить на все вопросы, указанные в данной работе. Предварительный отчет составляется каждым студентом и включает название работы, ее цель, содержание и порядок проведения, а также схемы и таблицы испытания отдельных реле, схемы защит и методику их расчета. Студент, не представивший предварительный отчет или не ответивший на контрольные вопросы, не допускается к данному лабораторному занятию.

4. При выполнении работы студенты должны:

а) сдать теоретический коллоквиум;

б) самостоятельно собрать и проверить схему испытаний;

в) включать напряжение только после проверки схемы преподавателем или по его указанию лаборантом;

г) осторожно и бережно обращаться с реле, приборами и другой аппаратурой и в случае неисправности или повреждения их немедленно сообщить об этом руководителю;

д) вдумчиво и критически относиться к результатам испытаний, делать соответствующие выводы;

е) активно участвовать в проведении всех элементов работы, рационально распределять обязанности между членами бригады;

ж) после окончания работы и просмотра преподавателем протокола испытаний разобрать схему и привести рабочее место в порядок.

5. Окончательный отчет представляется преподавателю перед началом следующего лабораторного занятия. Студент, не представивший отчет по предыдущей работе, не допускается к очередному занятию.

## Лабораторная работа 1 ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

**Цель работы:** целью работы является проведение некоторых видов типовых испытаний трансформаторов тока (ТТ) [1, с. 96–112, 114–126].

Испытание ТТ и снятие вольтамперной характеристики производится на выносном ТТ типа ТКФ-3 ( $n_T = 10/5$ , класс 0,5).

В работе используется только переменное напряжение.

### Порядок проведения работы

1. Проверка коэффициента трансформации и определение токовой погрешности.

В опыте определяется влияние токовой погрешности на величину коэффициента трансформации трансформатора тока и ее зависимость от величины вторичной нагрузки. Коэффициент трансформации, абсолютная и относительная величина токовой погрешности трансформатора тока определяется при отсутствии и наличии сопротивления  $R_2$  в цепи вторичной обмотки испытуемого трансформатора тока. Схема опыта приведена на рис. 1.

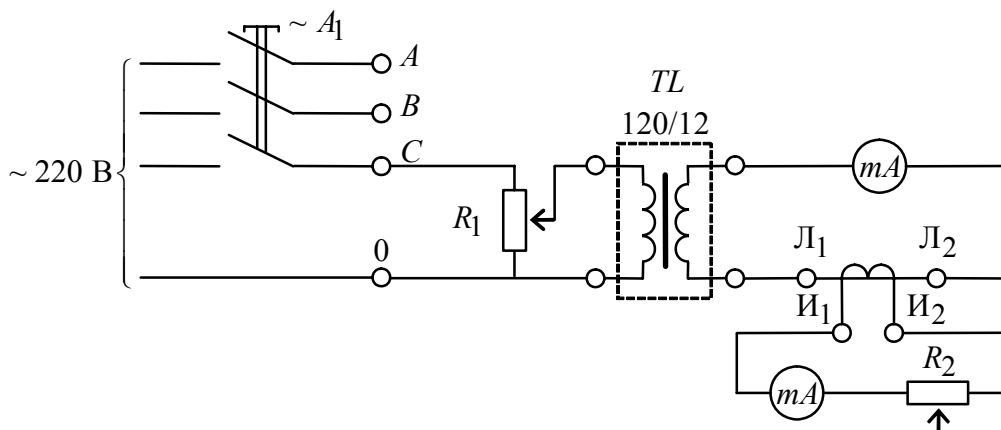


Рис. 1. Схема для проверки коэффициента трансформации

Результаты опыта заносятся в табл. 1.

Таблица 1

Тип ТТ, его параметры (паспортный $n_{\delta} = I_1/I_2$ )	Сопротивление (вторичная цепь)	Первичный ток $I_1$ , мА	Вторичный ток $I_2$ , мА	Коэффициент трансформации $n_{\delta}$ (действит.)	Токовая погрешность	
					абсолютная $\Delta I$ , мА	относительная $f$ , %
	да					
	нет					

2. Снятие характеристики намагничивания (вольтамперной характеристики).

Собрать схему, приведенную на рис. 2, и снять 7–8 точек для двух случаев: отсутствия и наличия короткозамкнутых (КЗ) витков во вторичной обмотке трансформатора тока. Для имитации короткозамкнутых витков нужно несколько раз продеть соединительный провод в окно железа трансформатора тока и замкнуть его накоротко, закрепив под один из зажимов первичной обмотки. Ре-

зультаты опыта занести в табл. 2. По данным табл. 2 построить график  $U = f(I)$ .

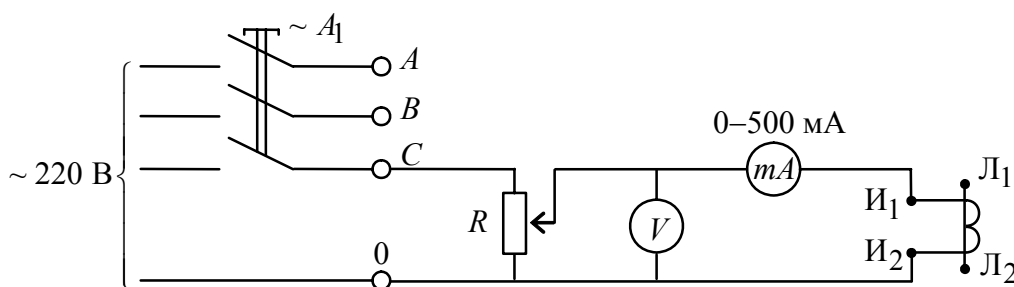


Рис. 2. Схема для снятия характеристики намагничивания

Таблица 2

Тип ТТ и его паспортные данные ( $n_0$ )	Напряжение $U$ , В									
	Ток $I$ , мА	без КЗ витков								
с КЗ витками										

После снятия характеристики производится размагничивание сердечника ТТ путем двух- или трехкратного подъема и спуска до нуля напряжения на его вторичной обмотке.

### Содержание отчета

1. Цель работы, порядок ее проведения.
2. Схемы опытов, таблицы замеров, результаты вычислений, графики.
3. Выводы, объясняющие влияние величины вторичной нагрузки на погрешность ТТ, изменение характеристики намагничивания при появлении витков.

### Контрольные вопросы

1. Чем обусловлены погрешности трансформаторов тока, виды погрешностей, допустимая величина погрешности трансформаторов тока для релейной защиты?
2. Как и для чего снимается характеристика намагничивания?
3. Какие существуют схемы соединения трансформаторов тока?
4. Что такое  $k_{сх}$  и для какого режима работы сети он определяется?
5. Почему нельзя разрывать цепь вторичной обмотки трансформатора тока? Для чего заземляются вторичные обмотки трансформаторов тока?
6. С какой целью схема полной звезды дополняется четвертым реле, а схема неполной звезды – третьим?

## Лабораторная работа 2

## КОМБИНИРОВАННОЕ ТОКОВОЕ РЕЛЕ СЕРИИ РТ- 80

**Цель работы:** изучение конструкции и принципа действия комбинированного токового реле серии РТ-80, а также практическое знакомство с регулировкой его параметров [1, с. 50–59].

### Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией реле. Обратит внимание на магнитную и контактную систему реле, на расположение выводов катушек и контактов, на способы и пределы регулирования уставок индукционного и электромагнитного элементов реле, установленных на стенде (тип реле, номинальный ток, пределы регулирования тока и времени срабатывания электромагнитного элемента, количество контактов реле).

2. Определить токи срабатывания  $I_{ср}$  и токи возврата  $I_{в}$  для всех установок по шкале индукционного элемента. Для этого необходимо собрать схему для испытания реле, показанную на рис. 3. Схема выполнена с помощью нагрузочного устройства (ПУ).

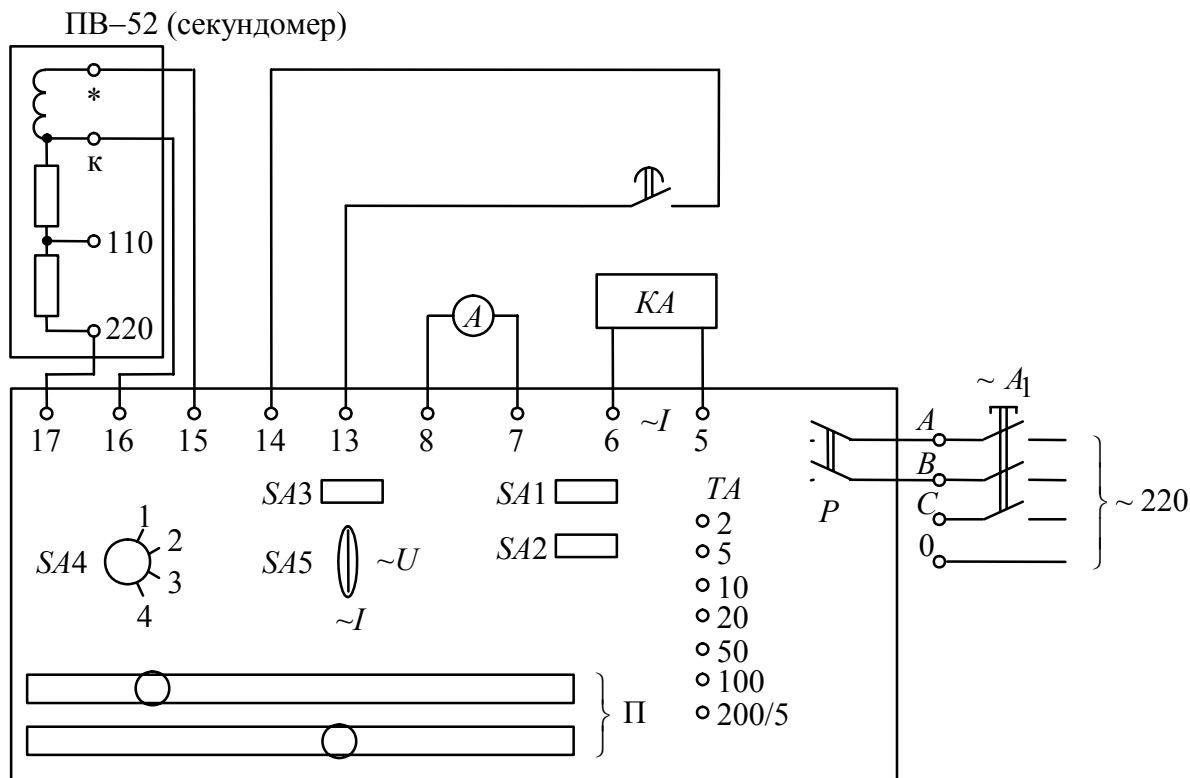


Рис. 3. Схема испытания реле РТ-80

Тумблеры  $SA1$  и  $SA2$  служат для ступенчатого регулирования тока, тумблер  $SA3$  – для подключения секундомера. Плавно ток регулируется с помощью потенциометра  $\Pi$ . Штепсель измерительного автотрансформатора  $TA$  установить на 10 А. Обратите внимание, что замер токов необходимо производить с учетом коэффициента трансформации измерительного  $TA$  ( $n_{\text{ЭЛ}} = I_{1i} / 5$ ). Ключ  $SA5$  – в положении « $I$ ».

Включить рубильник Р, автомат «~А1». Потенциометром П плавно увеличить ток в реле до момента зацепления червяка рамки с зубчатым сегментом. Минимальное значение тока при этом будет равно току срабатывания  $I_{\text{ср}}$  индукционного элемента реле при данной уставке ( $I_{\text{уст}}$ ) по шкале тока.

Ток возврата определяется по моменту расцепления сегмента и червяка при плавном снижении тока ниже значения  $I_{\text{ср}}$ . Результаты опыта занести в табл. 3 и рассчитать коэффициент возврата  $k_{\text{в}}$ .

Таблица 3

$I_{\text{уст}}, \text{А}$								
$I_{\text{ср}}, \text{А}$								
$I_{\text{в}}, \text{А}$								
$k_{\text{в}}$								

3. Снять зависимость времени срабатывания  $t_{\text{ср}}$  индукционного элемента реле от тока в реле  $I_{\delta}$  для двух различных значений  $I_{\text{уст}}$  при одном  $t_{\text{уст}}$  и затем для двух различных  $t_{\text{уст}}$  при одной  $I_{\text{уст}}$ .

При снятии характеристик придерживаются следующего порядка:

1) выставить заданные значения уставок по току и времени. Кратность тока срабатывания электромагнитного элемента при этом должна быть наибольшей;

2) при отключенном SA3 включить Р и установить  $I_{\text{р}}$ , превышающий  $I_{\text{уст}}$  на 1–2 А, после чего ПУ отключить. Секундомер установить на «0», включить SA3, Р и замерить время срабатывания реле  $t_{\text{ср}}$  при данном  $I_{\text{р}}$ . Опыт повторить несколько раз при различных значениях  $I_{\text{р}}$ , больших чем  $I_{\text{уст}}$ , но не превышающих его 7-кратное значение;

3) изменить значение  $I_{\text{уст}}$  и снять зависимость  $t_{\text{ср}}$  от  $I_{\text{р}}$  при новом значении  $I_{\text{уст}}$ .

Аналогично снимаются зависимости  $t_{\text{ср}} = f(I_{\text{р}})$  при одинаковой  $I_{\text{уст}}$  и двух различных  $t_{\text{уст}}$ . Результаты опытов занести в табл. 4. Построить зависимость  $t_{\text{ср}} = f(I_{\text{р}})$  для всех снятых значений  $t_{\text{уст}}$  и  $I_{\text{уст}}$ .

4. Определить ток срабатывания электромагнитного элемента реле (элемент отсечки). Для этого при одной из наименьших уставок индукционного элемента установить кратность отсечки по шкале  $k_{\text{отс}}$  и для каждого значения кратности определить наименьшее значение тока, при котором реле срабатывает без выдержки времени. Это будет  $I_{\text{ср.отс}}$ .

Данные опыта занести в табл. 5. Момент срабатывания электромагнитного элемента указать на графике  $t_{\text{ср}} = f(I_{\text{р}})$  при данной  $I_{\text{уст}}$ .

Таблица 4



$t_{уст}, с$	$I_{уст1}, А$	$I_p, А$								
		$t_{ср}, с$								
	$I_{уст2}, А$	$I_p, А$								
		$t_{ср}, с$								
$I_{уст}, А$	$t_{уст1}, с$	$I_p, А$								
		$t_{ср}, с$								
	$t_{уст2}, с$	$I_p, А$								
		$t_{ср}, с$								

Таблица 5

$I_{уст}$ индукционного элемента, А	$k_{отс}$ по шкале электромагнитного элемента	$I_{ср}$ электромагнитного элемента, А	$k_{отс}$ действительная
	2		
	4		
	6		
	8		

### Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения.
2. Схема испытания реле, таблицы с замерами результатов опытов, графики зависимостей  $t_{ср} = f(I_p)$  при различных  $t_{уст}$  и  $I_{уст}$ .
3. Выводы, объясняющие вид характеристик  $t_{ср} = f(I_p)$ , их смещение относительно друг друга при изменении уставок реле, срабатывание электромагнитного элемента.

### Контрольные вопросы

1. Каковы принцип действия и конструкция реле РТ-80?
2. Как регулируется ток и время срабатывания индукционного элемента реле, ток срабатывания электромагнитного элемента?
3. Объясните вид характеристики  $t_{ср} = f(I_p)$  индукционного элемента. Чему равно  $t_{ср}$  на независимой части характеристики?
4. Как определяется  $I_{ср}$  и  $I_B$  индукционного элемента?
5. Как определяется  $k_{\hat{a}}$ ?
6. Когда и как начинает работать электромагнитный элемент реле?

## Лабораторная работа 3

## МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С НЕЗАВИСИМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

**Цель работы:** практическое испытание электромагнитных реле и схемы максимальной токовой защиты с независимой характеристикой [1, с. 28–47, 13–38; 3, с. 60–63, 81–83, 86–95].

### Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией реле серии Т-40, РН-50, РВ-100, РП-23(25), РУ-21. Обратит внимание на расположение выводов катушек и контактов на стенде, на способы и пределы регулирования тока, напряжения и времени срабатывания. Записать паспортные данные реле, установленных на стенде (тип реле, номинальный ток и напряжение, пределы регулирования тока, напряжения и времени срабатывания, число контактов реле).

2. Проверка работы реле РТ-40. Для каждого значения уставки (по шкале уставок реле) определить ток срабатывания  $I_{ср}$  и ток возврата  $I_{в}$ . По данным замеров рассчитать коэффициент возврата  $k_{в}$ . Токи  $I_{ср}$  и  $I_{в}$  определить для последовательного и параллельного соединения катушек реле РТ-40. Схема испытания реле приведена на рис. 4. Данные опытов занести в табл. 6.

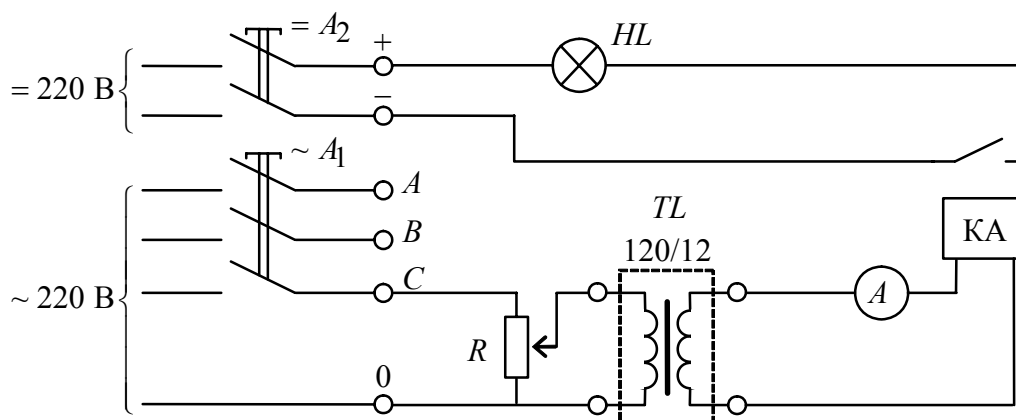


Рис. 4. Схема испытаний токового реле

Таблица 6

Уставка тока по шкале	$I_{уст}, A$						
Последовательное соединение катушек	$I_{ср}, A$						
	$I_{в}, A$						
	$k_{в}$						
Параллельное соединение катушек	$I_{ср}, A$						
	$I_{в}, A$						
	$k_{в}$						

3. Проверка работы реле РН-50.

Для двух диапазонов уставок (первый 40–80 В, второй 80–160 В) определить напряжение срабатывания  $U_{ср}$  и напряжение возврата  $U_{в}$ . Данные опыта занести в табл. 7. Схема испытаний реле приведена на рис. 5.

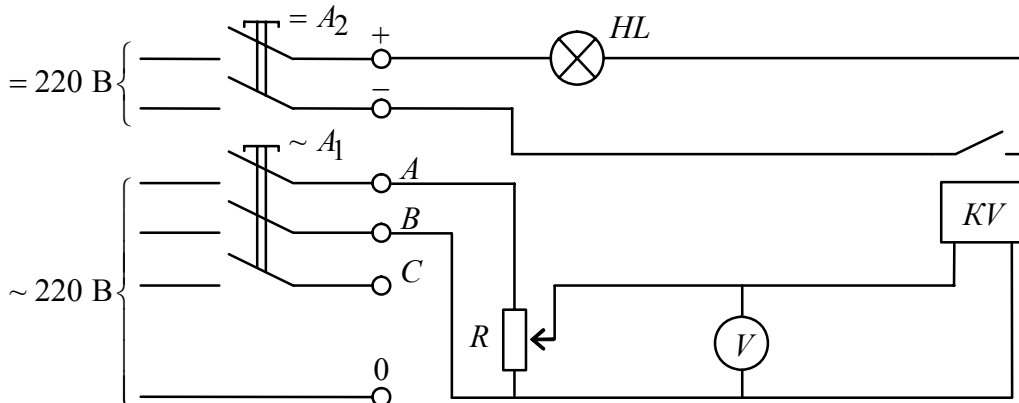


Рис. 5. Схема испытаний реле напряжения

Таблица 7

Уставка по шкале $U_{уст}$ , В	Диапазон уставки									
	первый (4–8)					второй (2–8)				
	40	50	60	70	80	80	100	120	140	160
$U_{ср}$ , В										
$U_{в}$ , В										
$k_{в}$										

#### 4. Проверка реле времени РВ-100:

а) определить минимальное напряжение срабатывания.

Реле должно четко срабатывать при напряжении  $0,7 U_{ном}$ . Четкое срабатывание реле определяется мгновенным втягиванием якоря реле в катушку. Этим обеспечивается соответствие реального времени срабатывания реле и времени, установленного на шкале. Собрать схему испытания реле, приведенную на рис. 6.

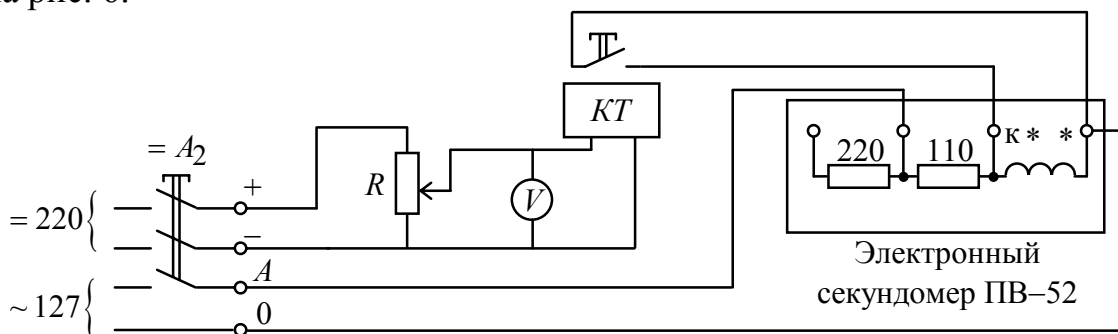


Рис. 6. Схема испытания реле времени

Для определения  $U_{\text{ср}}$  секундомер не подключать. Подать на обмотку реле напряжение  $0,7 U_{\text{ном}}$ . Затем отключить автомат «=A2» и снова включить его. Если якорь реле втягивается в катушку медленно, то нужно повысить напряжение, затем снова отключить и включить автомат «=A2». Добиться четкого срабатывания реле, то есть мгновенного втягивания якоря реле в катушку.

Записать найденное значение  $U_{\text{ср.min}}$ ;

б) проверить шкалу уставок реле времени.

Для этого подключить секундомер, установить напряжение на реле  $U_{\text{ном}}$ .

Для 6–7 уставок по времени определить по секундомеру действительное время срабатывания реле. Результаты опытов занести в табл. 8.

Таблица 8

Уставка по шкале времени, $t_{\text{уст}}$ , с								
Действительное время срабатывания, $t_{\text{ср}}$ , с								

5. Проверить работу схемы максимальной токовой защиты с независимой характеристикой:

а) собрать схему защиты по рис. 7;

б) настроить защиту на заданные уставки по току и времени;

в) установить переменный ток, при котором срабатывает токовое реле, проследить работу защиты и взаимодействие ее элементов.

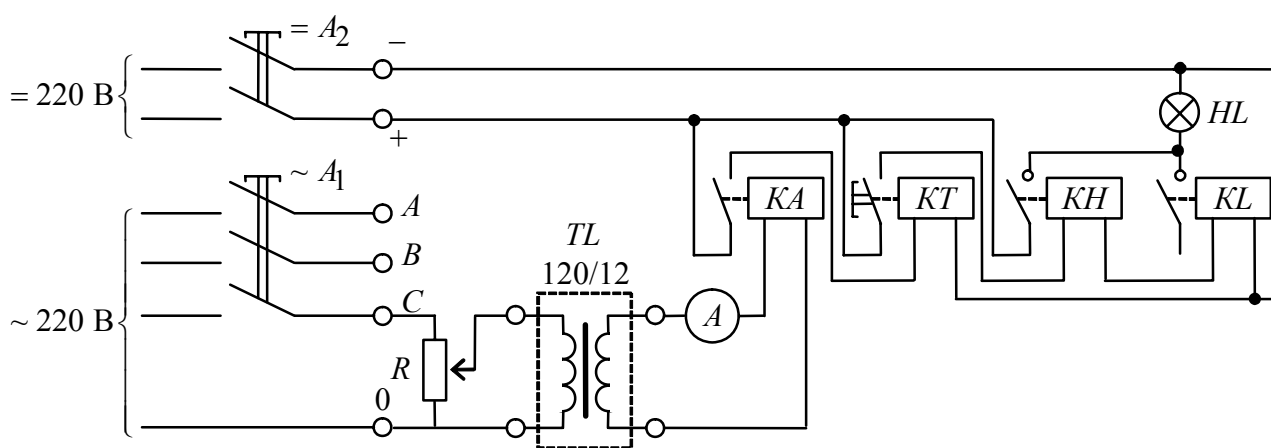


Рис. 7. Схема испытания максимальной токовой защиты

### Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения.
2. Схема испытаний реле и защиты, таблицы замеров и расчетов.
3. Выводы, объясняющие способы регулирования тока, напряжения и времени срабатывания соответствующих реле.

## Контрольные вопросы

1. Каковы конструкция и принцип действия токового реле РТ-40 и реле напряжения РН-50?
2. Каковы конструкция и принцип действия реле времени РВ-100?
3. Каковы конструкция и принцип действия промежуточных реле РП-25 и РП-23 и указательного реле РУ-21?
4. Как и в каких пределах регулируются ток и напряжение срабатывания реле тока РТ-40 и реле напряжения РН-50, а также время срабатывания реле времени РВ-100?
5. Что такое  $I_{с.р.}$ ,  $I_B$ ,  $U_{с.р.}$ ,  $U_B$  и как определяется  $k_B$ ?
6. Как влияет на ток срабатывания реле РТ-40 переключение последовательного соединения катушек на параллельное?

## Лабораторная работа 4 ИНДУКЦИОННОЕ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ТИПА РБМ

**Цель работы:** знакомство с конструкцией индукционных реле направления мощности и способами их проверки [1, с. 59–66; 4, с. 148–152].

### Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией реле типа РБМ-177. Обратить внимание на магнитную и контактную системы реле. Записать паспортные данные реле (тип реле, номинальный ток и напряжение, значение угла  $\varphi_{м.ч} = 70^\circ$ ,

$S_{ср.мин} = 3$  ВА при  $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$  и  $I_p = I_{ном}$ ).

2. Определение внутреннего угла  $\alpha$  и угла максимальной чувствительности  $\varphi_{м.ч}$  для двух типов реле.

Собрать схему испытаний реле РБМ-177 согласно рис. 8, соблюдая полярность зажимов обмоток реле и полюсов источников питания.

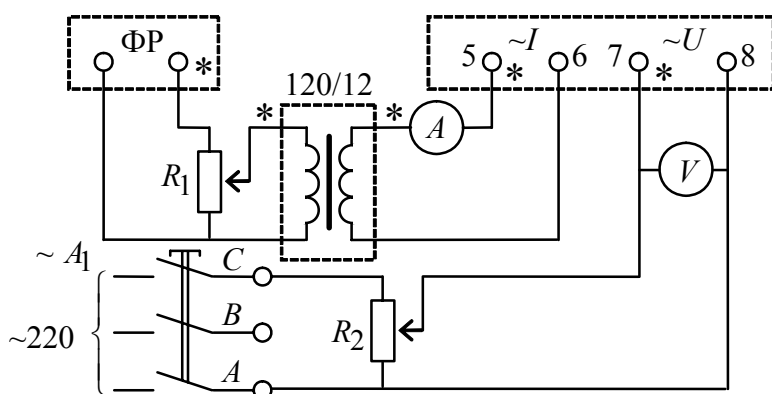


Рис. 8. Схема испытания реле направления мощности

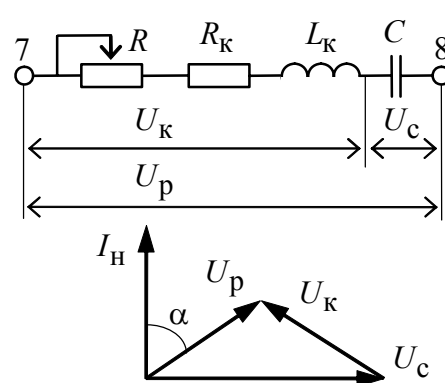


Рис. 9. Схема внутренних соединений обмоток напряжения

Схема внутренних соединений обмоток напряжения реле РБМ-177 приведена на рис. 9.

Для определения внутреннего угла  $\alpha$  подать на обмотку реле напряжение 80 В. Предварительно разобравшись в схеме внутренних соединений реле, замерить падение напряжения на отдельных элементах цепи обмотки напряжения, как это показано на рис. 9.

Построить векторную диаграмму напряжений, определить угол  $\alpha$  и вычислить  $\varphi_{м.ч}$ . Обратить внимание на знак угла  $\alpha$  у реле РБМ-177.

### 3. Проверка зоны работы реле РБМ-177.

По собранной схеме испытания реле при неизменных значениях  $I_p = 5$  А и  $U_p = 100$  В с помощью фазорегулятора менять угол сдвига между током и напряжением от 0 до 360°. При этом, наблюдая за состоянием контактов реле, определить по фазометру рабочую и нерабочую зоны. Рабочая зона соответствует замкнутому состоянию контактов реле и загоранию сигнальной лампы на лабораторном стенде.

По замеренным углам определить угол  $\varphi_{м.ч}$  и сравнить его с полученным ранее значением.

### 4. Снятие и построение угловой характеристики $S_{ср} = f(\varphi_p)$ .

Характеристика снимается для реле при постоянном значении тока  $I_p = 5$  А. Изменяя угол  $\varphi_p$  в пределах рабочей зоны при постоянном токе, определить наименьшее значение  $U_{ср}$ , при котором реле срабатывает.

Результаты заносят в табл. 9 (при  $I_p = 5$  А = const), затем вычисляют  $S_{ср} = U_{ср}I_p$  и строят зависимость  $S_{ср} = f(\varphi_p)$ .

Таблица 9

$\varphi_p, ^\circ$									
$U_{ср}, В$									
$S_{ср}, В\cdot А$									

### 5. Снятие и построение вольтамперной характеристики реле РБМ-177 $U_{ср} = f(I_p)$ .

Установить фазорегулятором угол  $\varphi_p = \varphi_{м.ч}$  и при постоянном значении  $\varphi_p$  для токов от 0 до 10 А определить наименьшее значение напряжения, при котором срабатывает реле. Результаты опыта завести в табл. 10, определить значение  $S_{ср}$  и построить характеристики  $S_{ср} = f(I_p)$  и  $U_{ср} = f(I_p)$ .

Таблица 10

$I_p, A$									
$U_{cp}, B$									
$S_{cp}, B \cdot A$									

По данным опытов 4 и 5 определить  $S_{cp.min}$ . Полученные величины  $\alpha$ ,  $\varphi_{M.ч}$  и  $S_{cp.min}$  сравнить с паспортными данными соответствующего реле.

### Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения.
2. Схема испытаний реле, таблица замеров, графики зависимости  $S_{cp} = f(\varphi_p)$ ,  $S_{cp} = f(I_p)$ ,  $U_{cp} = f(I_p)$ , векторные диаграммы для определения угла  $\alpha$ .
3. Выводы, объясняющие знаки углов  $\alpha$  и  $\varphi_{M.ч}$  реле, вид угловой и вольт-амперной характеристик, соотношения опытных и паспортных данных.

### Контрольные вопросы

1. Каковы конструкция, принцип действия и работа индукционного реле направления мощности?
2. Что такое внутренний угол реле и как его определить? От чего зависит величина внутреннего угла?
3. Что такое угол максимальной чувствительности реле направления мощности и как его определить?
4. Как проверить зону работы реле? Как построить на векторной диаграмме линию изменения знака момента?
5. Что такое угол  $\varphi_p$ ? От чего зависит его величина?
6. Какой вид имеет угловая характеристика реле, вольтамперная характеристика? Как их снять?
7. Для чего и как обозначаются однополярные зажимы у обмоток реле направления мощности?

## Лабораторная работа 5 МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА РАДИАЛЬНОЙ СЕТИ

**Цель работы:** изучение методики расчета параметров и согласования характеристик максимальных токовых защит (МТЗ) сети с односторонним питанием на реле РТ-81/2 и РТ-85/1 [1, с. 57–59, 134, 135; 3, с. 167–169].

Внешний вид лабораторного стенда показан на рис. 10. Сеть содержит три линии электропередачи, на которых установлены МТЗ с зависимой характеристикой, выполненные на индукционном элементе реле РТ-81/2 (2 шт.) и РТ-85/1.

Тумблер SB1 (Возврат–Срабатывание) в положении «Срабатывание» питает схему сети и секундомер в режиме, установленном на ключах управления

$SA1-SA4$ . Ключ управления  $SA1$  (секундомер) позволяет производить замер времени срабатывания:  $t_1$  – время срабатывания защиты 1 (Л1);  $t_2$  – время срабатывания защиты 2 (Л2);  $t_3$  – время срабатывания защиты 3 (Л3). Ключ управления  $SA2$  может находиться в одном из пяти положений: «НР» – нормальный режим, « $K_4$ », « $K_3$ », « $K_2$ », « $K_1$ » – короткие замыкания (КЗ).

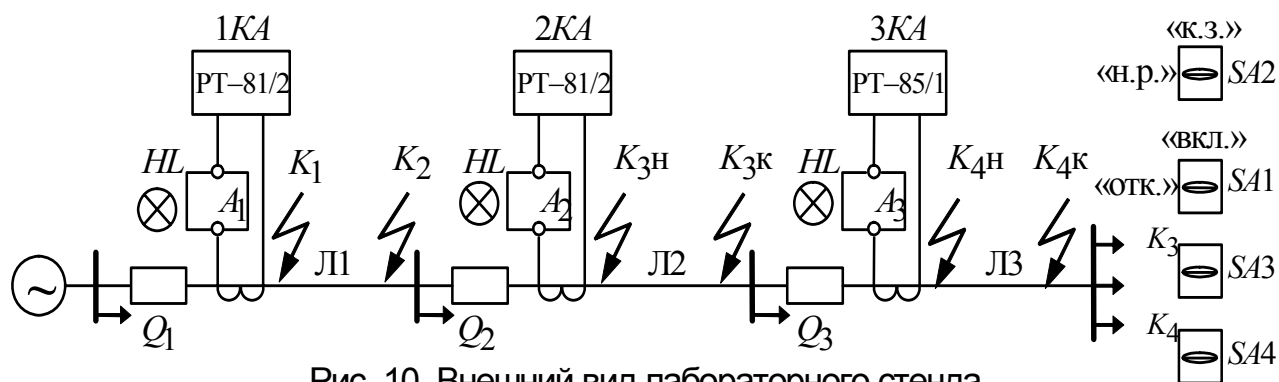


Рис. 10. Внешний вид лабораторного стенда

Ключ управления  $SA3$  может находиться в одном из двух положений: « $K_3$  н» (КЗ в начале линии Л2) и « $K_3$  к» (КЗ в конце линии Л2). Переключения ключом  $SA3$  производим в том случае, когда ключ  $SA2$  находится в положении « $K_3$ ». При нахождении ключа  $SA2$  в положении «НР» ключ  $SA3$  обязательно должен быть в положении « $K_3$  н».

Ключ  $SA4$  может находиться в одном из двух положений: « $K_4$  н» (КЗ в начале линии Л3) и « $K_4$  к» (КЗ в конце линии Л3). Переключения ключом  $SA4$  производим в том случае, когда ключ  $SA2$  находится в положении « $K_4$ ». Выбор места КЗ производится установкой ключей в нужное положение.

Все операции с ключами  $SA1-SA4$  производится при отключенном тумблере  $SB1$  (положение «Возврат»).

Лампы контроля положения выключателей  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$  сигнализируют:

- красная – выключатель включен;
- зеленая – выключатель отключен;
- красная лампочка мигает – отказ выключателя  $Q$ .

Питание на лабораторный стенд подается автоматом  $SF$ , при этом загорается лампа контроля напряжения над автоматом. Питание на розетку 220 В подается тумблером  $SB4$  без включения автомата  $SF$ .

### Порядок проведения работы

1. Изменение токов нагрузки линий ( $I_{нагр}$ )

Установить ключ управления  $SA1$  в положение «Откл.».

Установить ключ управления  $SA2$  в положение «НР»,  $SA3$  – в положение « $K_3$  н»,  $SA4$  – в положение « $K_4$  н» и включить тумблер  $SB1$  в положение «Срабатывание». Показания амперметров занести в табл. 11.



## Токи линий в нормальной режиме

ЛЭП	Ток нагрузки $I_{\text{нагр}}, \text{А}$	Ток срабатывания реле		Коэффициент чувствительности	
		Расчетный $I_{\text{ср}}, \text{А}$	Устанавливаемый $I_{\text{уст}}, \text{А}$	Основной	Резервный
Л1					
Л2					
Л3					

Данные по замеру в начале и конце линий занести в табл. 12.

## Токи линий в аварийных режимах

ЛЭП	Ток КЗ., А		Расчетные значения в точке согласования				$t_{\text{уст}}, \text{с}$	Действительное значение времени срабатывания защиты $t_{\text{ср}}, \text{с}$ , при замыкании		
			Кратность тока		Время $t_{\text{ср.расч}}, \text{с}$			в на- чале ЛЭП	в конце ЛЭП	на сосед- ней ЛЭП
	начало	конец	начало ЛЭП	конец ЛЭП	начало ЛЭП	конец ЛЭП				
Л1										
Л2										
Л3										

2. Изменение токов короткого замыкания ( $I_{\text{кз}}$ )

Установить ключ  $SA2$  в положение « $K_4$ », а ключ  $SA4$  – в положение « $K_4$ к», включить тумблер  $SB1$ . Ток КЗ при таком положении ключей является током конца линии Л3.

Отключить тумблер  $SB1$  («Возврат»), установить ключ  $SA4$  в положение « $K_4$ н», включить тумблер  $SB1$  в положение «Срабатывание». Ток КЗ при таком положении ключей является током начала линии Л3.

Далее также при помощи ключей  $SA2$ ,  $SA3$  и тумблера  $SB1$  исследовать остальные точки КЗ.

## 3. Расчет защиты.

По измеренным токам нагрузки рассчитать токи срабатывания реле всех защит и выбрать уставки по току

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} k_{\text{с.з}} I_{\text{н}},$$

где  $n_{\text{т}} = 1$ ;  $k_{\text{н}} = 1,1-1,2$ ;  $k_{\text{в}} = 0,85$ ;  $k_{\text{с.з}} = 1$ ;  $k_{\text{сх}} = 1$ .

Определить кратности тока  $m$  в начале и конце каждой линии для соответствующей защиты

$$m = I_{\hat{e}.\zeta} / I_{\hat{o}\hat{n}\hat{o}} .$$

Определить уставки по времени всех защит, использующих временные характеристики реле РТ-81/2 и РТ-85/1, по графикам на рис. 11.

Выдержка времени на п/ст. 4 ( $t_4^{K4i}$ ) задается преподавателем.

Пример выбора уставки по времени защиты линии ЛЗ.

Для обеспечения селективности должно выполняться условие  $t_3 > t_4$ , следовательно, при КЗ в точке « $K_4$ к»

$$t_3^{K4\hat{e}} = t_4^{K4\hat{e}} + \Delta t; \quad \Delta t = 0,8, \text{ с.}$$

При кратности тока  $I_{\hat{e}\zeta}$  в точке КЗ « $K_4$ к» для защиты линии ЛЗ  $m_3^{K4\hat{e}}$  и  $t_3^{K4\text{к}}$  определим кривую из семейства характеристик на рис. 11, на которую попадает точка с этими координатами.

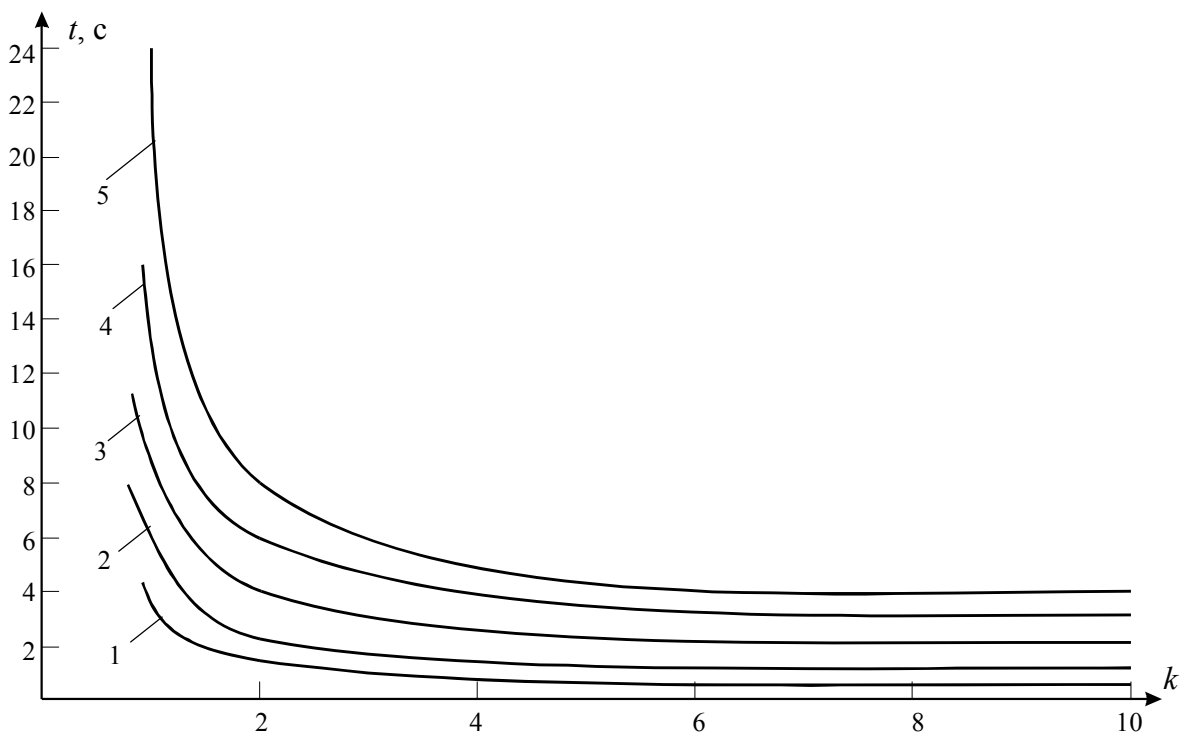


Рис. 11. Временные характеристики реле РТ-81, РТ-85:

1 – уставка 0,5 с; 2 – уставка 1 с; 3 – уставка 2 с; 4 – уставка 3 с; 5 – уставка 4 с

Время  $t_{уст3}$ , выставяемое на реле, определяется по независимой части кривой (параллельной оси кратности), на которую попала точка с координатами  $(t_3^{K4\text{к}}; m^{K4\text{к}})$ .

Время действия  $t_3^{K4\text{н}}$  защиты линии ЛЗ при КЗ в начале ЛЗ определяется по кривой  $t_{уст3}$  и кратности  $m_3^{K4\text{н}}$ .

Время действия защиты линии Л2 при КЗ в конце Л2 (точка КЗ « $K_3$ к») определяется как  $t_2^{K_3\hat{e}} = t_3^{K_4i} + \Delta t$ .

Выбор  $t_{уст2}$  выполняется аналогично описанному ранее.

Результаты расчета уставок и коэффициентов чувствительности занести в табл. 11, а кратности токов и время действия защиты в табл. 12.

4. Экспериментальная проверка работы защиты линий.

Принятые значения  $I_{уст}$  и  $t_{уст}$  всех линий должны быть выставлены на реле.

Проверить селективность действия защит и замерить времена их срабатывания по секундомеру. Если время действия защиты не соответствует расчетному, то подрегулировать  $t_{уст}$  и снова произвести замер.

При окончательно выбранных  $t_{уст}$  замерить и записать в табл. 12 все времена действия защит в начале и конце каждой линии.

Проверить взаимное резервирование действия защит и замерить их в действии в качестве резервных.

Для проверки взаимного резервирования защиты линии Л3 защитой линии Л2 включить ключ управления  $SA2$  в положение « $K_4$ »,  $SA4$  – в положение « $K_4$ к»,  $SA1$  – в положение « $t_2$ », а тумблер  $SB3$  – в положение «Отказ» и, ориентируясь на лампы сигнализации положения выключателей  $Q_2$  и  $Q_3$ , измерить время  $t_2$ .

Для проверки резервирования защиты линии Л2 защитой линии Л1 необходимо поставить ключи  $SA2$  в положение « $K_3$ »,  $SA3$  – в положение « $K_3$ к»,  $SA1$  в положение « $t_1$ », тумблер  $SB2$  – в положение «Отказ».

Данные по замерам времени действия защит в качестве основных и резервных занести в табл. 12. Построить графики согласования защит по времени  $t_{ср} = f(I_{\hat{e}\zeta})$  (зависимость  $t_{ср}$  от тока КЗ на защищаемом участке и в зоне резервирования). Графики построить по расчетным и экспериментальным данным.

### Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, внешний вид лабораторной установки.
2. Таблицы с результатами замеров и расчетов, графики согласования защит по времени.
3. Выводы, объясняющие работу защит и преимущества и недостатки МТЗ с зависимой характеристикой.

### Контрольные вопросы

1. Как замерить токи нагрузки в отдельных элементах схемы сети?
2. Как замерить токи КЗ в начале и конце каждой линии? Как подключить для замера токов КЗ измерительный ТТ?
3. Как рассчитать  $I_{ср}$  МТЗ? Как выбрать и установить на реле  $I_{уст}$ ?
4. Как производится согласование защит по времени?

5. Как определяется и устанавливается на реле  $t_{уст}$  ?
6. Как производится проверка селективности действия защит?
7. Как определить коэффициент чувствительности защиты?

## **Лабораторная работа 6** **НАПРАВЛЕННАЯ МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА** **СЕТИ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ**

**Цель работы:** знакомство со схемой направленной максимальной токовой защиты (МТЗ), методикой расчета ее параметров, согласованием временных характеристик [1, с. 186–196, 300–304].

Внешний вид лабораторного стенда приведен на рис. 12.

Сеть с двусторонним питанием содержит три линии электропередачи, на которых установлены шесть МТЗ с независимой характеристикой, причем две из них (МТЗ 2 и МТЗ 5) выполнены направленными. Тумблеры  $SB1–SB6$  имитируют выключатели линий, включенное положение которых контролируется загоранием сигнальных ламп. Ключ  $SA1$  служит для подачи на установку постоянного и переменного напряжения, ключ  $SA2$  – для выбора режим работы («НР» – нормальный режим; «КЗ» – режим короткого замыкания). Выбор места КЗ производится путем установки переключки в какое-либо из гнезд  $K1–K5$ . Гнезда  $A1–A6$ , установленные в цепях трансформаторов тока защит, предназначены для подключения амперметров в целях замера токов нагрузки и токов КЗ в линиях (при отключенных амперметрах в гнездах должны быть установлены переключки). Накладки  $SX1$  и  $SX2$  служат для выведения из работы соответственно МТЗ 3 и МТЗ 4 путем снятия с них оперативного тока.

Напряжение на стенд подается автоматами « $\sim A1$ » и « $=A2$ ».

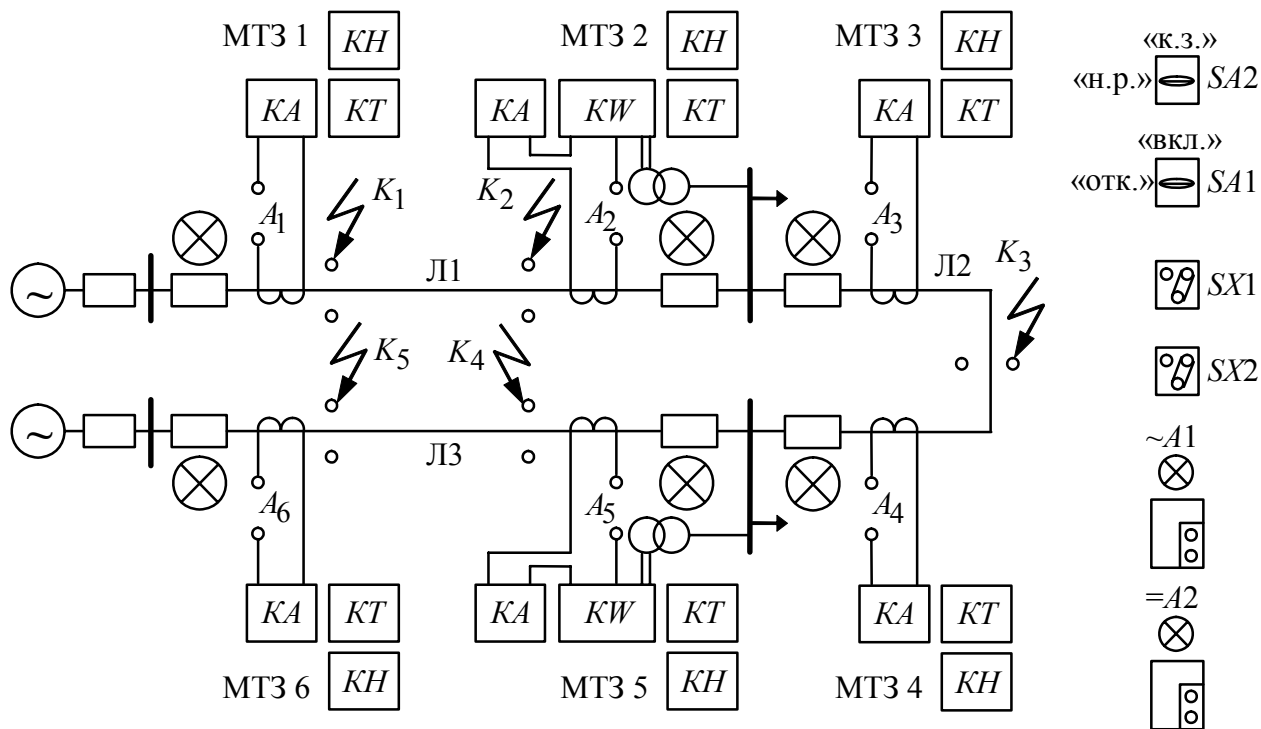


Рис. 12. Внешний вид лабораторного стенда

### Порядок выполнения работы

1. Измерить максимальные нагрузочные токи в линиях ( $I_{\text{нагр. max}}$ ) для чего:

- подключить амперметры в гнезда А1–А6;
- установить ключ SA1 в положение «Отк.», а ключ SA2 - в положение «НР»;
- подать напряжение на стенд (включить автоматы А1 и А2);
- подать напряжение на схему, установив SA1 в положение «Вкл.»;
- измерить  $I_{\text{нагр. max}}$  в каждой линии. Учтеть, что в сети с двусторонним питанием  $I_{\text{нагр. max}}$  соответствует отключению какого-либо источника питания.

Поочередно отключая каждую из линий тумблерами SB1–SB6 и, замеряя  $I_{\text{нагр}}$  в каждой защите, выбрать максимальный ток нагрузки для каждой линии. Результаты замеров занести в табл. 13;

- снять напряжение со схемы (ключ SA1 – в положение «Отк.»).

Таблица 13

Номер линии	Л1		Л2		Л3	
Номер защиты	1	2	3	4	5	6
$I_{\text{нагр. max}}$ , А						
$I_{\text{с.р}}$ , А						
$t_{\text{с.з}}$ , с						
$I_{\hat{\epsilon}\phi}$ , А						
$k_{\text{ч}}$ основной						
$k_{\text{ч}}$ резервный						

2. Расчет защит:

– по замерам  $I_{\text{нагр.маж}}$  рассчитать токи срабатывания реле

$$I_{\text{с.р}} = I_{\text{нагр.маж}} k_{\text{н}} k_{\text{с.з}} k_{\text{сх}} / k_{\text{в}},$$

где  $k_{\text{в}} = 0,85$  – коэффициент возврата;  $k_{\text{н}} = 1,2$  – коэффициент надежности;  $k_{\text{с.з}} = 1$  – коэффициент самозапуска;  $k_{\text{сх}} = 1$  – коэффициент схемы;

– выбрать выдержки времени защит по встречно-ступенчатому принципу, приняв  $\Delta t = 0,5$  с. Согласование произвести с защитами линий, отходящих от шин подстанций 1 и 4, выдержки времени которых задаются преподавателем;

– данные расчетов занести в табл. 13;

– построить график согласования защит по времени.

3. Экспериментальная проверка работы защит линий:

– рассчитанные значения  $I_{\text{с.р}}$  и  $t_{\text{с.з}}$  (уставки) выставить на соответствующих реле. На токовых реле необходимо учесть соединение обмоток при выставлении уставок;

– проверить работу защит при КЗ в различных точках сети для чего: установить закоротку в гнездо  $K_1$  или  $K_2$ ; включить ключ  $SA1$ ; перевести ключ  $SA2$  в положение «КЗ»; восстановить схему ( $SA1$  – «Отк.»;  $SA2$  – «НР»); поднять флажки сработавших указательных реле). В аналогичном порядке провести опыты для КЗ в точках  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_5$ ;

– провести опыт с отказом защит МТЗ 3 и МТЗ 4 для чего: установить закоротку в гнездо  $K_3$ ; снять оперативный ток с МТЗ 3 (накладку Н4 разомкнуть); включить ключ  $SA1$ ; перевести ключ  $SA2$  в положение «КЗ»; восстановить схему (ключ  $SA1$  – в положение «Отк.», ключ  $SA2$  – в положение «НР», поднять флажки сработавших указательных реле, замкнуть Н4);

– в аналогичном порядке провести опыт с отказом МТЗ 4.

4. Измерение токов короткого замыкания.

Измерение токов КЗ необходимо провести для определения чувствительности защит. Для этого амперметр подключается к гнездам трансформаторов тока данной защиты и определяется точка к.з. в сети, при к.з. в которой необходимо замерить ток для проверки чувствительности защиты как основной для данной линии и как резервной, для чего:

– установить закоротку в гнездо  $K_3$ ;

– включить ключ  $SA1$ ;

– перевести ключ  $SA2$  в положение «к.з.»;

– замерить токи в защитах. Учесть, что токи к.з. протекают кратковременно, пока не подействует защита (1–2 с);

– восстановить схему ( $SA1$  – «Отк.»;  $SA2$  – «Н.Р.»; флажки сработавших указательных реле подняты);

– результаты замеров внести в табл. 13.

5. Расчет коэффициента чувствительности:

– по данным замеров токов к.з. и рассчитанным значениям токов срабатывания реле определить коэффициент чувствительности защит – основной и резервный:

$$k_{\text{ч}} = I_{\text{к.з.}} / I_{\text{с.р.}}$$

- результаты расчетов внести в табл. 13;
- сравнить полученные значения  $k_{\text{ч}}$  с требуемыми по ПУЭ.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы, последовательность ее выполнения, внешний вид лабораторного стенда, упрощенная схема направленной МТЗ.
2. Таблица с результатами замеров и расчетов, график согласования защит по времени.
3. Выводы, анализирующие работу защит и объясняющие необходимость выполнения МТЗ 2 и МТЗ 5 направленными.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему в сетях с двусторонним питанием необходимо применение направленных МТЗ?
2. Основные элементы схемы направленной МТЗ?
3. Принцип согласования выдержек времени направленных МТЗ?
4. Как определяются максимальные токи нагрузки в сети с двусторонним питанием?
5. Как рассчитать коэффициент чувствительности защит?
6. Почему в схеме сети на стенде только две МТЗ выполнены направленными?

## **Лабораторная работа 7 ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА РАДИАЛЬНОЙ СЕТИ НА ПЕРЕМЕННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ С ДЕШУНТИРОВАНИЕМ КАТУШКИ ОТКЛЮЧЕНИЯ**

**Цель работы:** изучение конструктивного исполнения, методики расчета параметров и согласования характеристик токовых защит на переменном оперативном токе с дешунтированием катушки отключения сети с односторонним питанием [1, с. 151–156, 165–167, 169, 170].

### **Описание лабораторной установки**

Внешний вид лабораторного стенда показан на рис. 14, а.

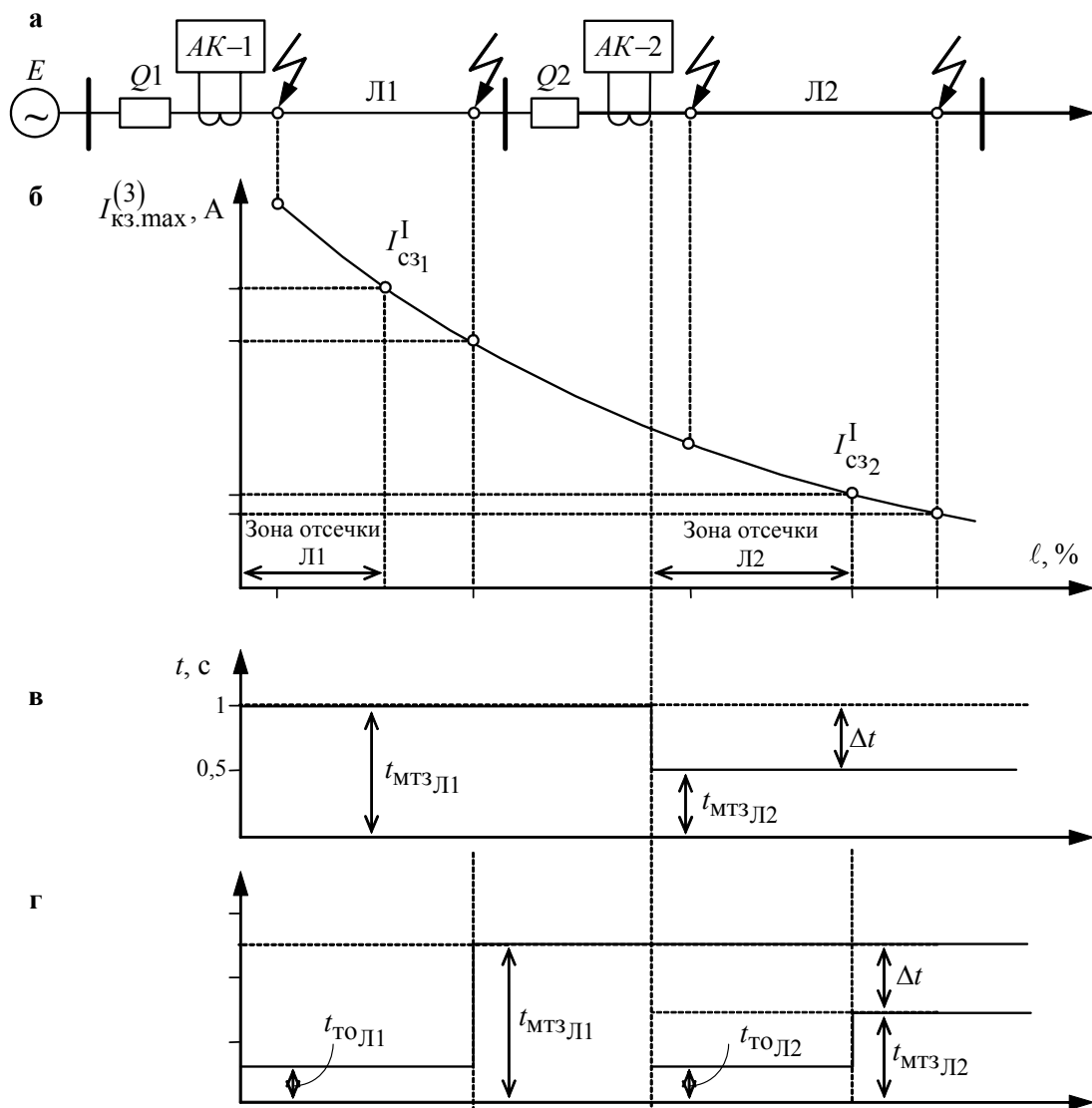


Рис. 14. Графическое определение параметров и согласование характеристик двухступенчатых токовых защит:

а – схема защищаемой сети; б – графическое определение зоны токовых отсеков; в – характеристика максимальных токовых защит; г – согласование характеристик двухступенчатых токовых защит

Сеть содержит две линии электропередачи, на которых установлены двухступенчатые токовые защиты (токовая отсечка и МТЗ), расположенные в комплектах защит типа КЗ-37, и подключенных к трансформаторам тока, соединенным в звезду, с коэффициентом трансформации 300/5. Защиты вводятся в работу с помощью накладок *SX1* и *SX2*. Выключатели линий Л1 и Л2 управляются кнопками управления, положение выключателей контролируется соответствующими сигнальными лампами.

Кнопка «КЗ» служит для создания трехфазного короткого замыкания в точке сети, выбранной с помощью ключа режима.

### Порядок выполнения работы

#### 1. Измерение токов нагрузки и токов КЗ.

Для измерения токов необходимо вывести защиты из работы накладками *SX1* и *SX2*.



Кнопками управления включить выключатели линий и замерить токи нагрузки по показаниям амперметров. Результаты замеров занести в табл. 14.

Таблица 14

ЛЭП	Ток нагрузки, А	Ток короткого замыкания, А	
		в начале ЛЭП	в конце ЛЭП
Л1			
Л2			

После измерения токов нагрузки ключ режима SA установить на точку КЗ в начале и конце соответствующей линии.

Кнопкой «КЗ» создать трехфазное КЗ, по амперметрам замерить ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту соответствующей линии. Результаты занести в табл. 14.

## 2. Расчет параметров защиты.

По измеренным токам трехфазного к.з. рассчитать токи срабатывания защиты и токи срабатывания реле первых ступеней (токовых отсечек) защит линий:

$$I_{сз} = k_H I_{кз}; \quad I_{ср} = \frac{I_{сз}}{n_T} k_{сх},$$

где  $k_H = 1,2$ ;  $k_{сх} = 1$ ;  $n_T = 300/5$ .

Результаты расчетов занести в табл. 15.

Таблица 15

ЛЭП	Уставки I ступени		Уставки II ступени			
	$I_{сз}, А$	$I_{ср}, А$	$I_{сз}, А$	$I_{ср}, А$	$t_{ср}, с$	$k_{ч}$
Л1						
Л2						

По измеренным токам нагрузки рассчитать токи срабатывания защиты и токи срабатывания реле вторых ступеней (МТЗ) защит линий:

$$I_{сз} = \frac{k_H}{k_B} I_{нагр} k_{сз}; \quad I_{ср} = \frac{I_{сз}}{n_T} k_{сх}; \quad k_{ч} = \frac{I_{кз.min}}{I_{сз}},$$

где  $k_H = 1,2$ ;  $k_B = 0,85$ ;  $k_{сх} = 1$ ;  $n_T = 300/5$ ;  $k_{сз} = 1,2$ ;  $I_{кз.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{кз}$ .

Результаты расчетов занести в табл. 15.

Определить уставки по времени вторых ступеней максимальных токовых защит линий, приняв  $\Delta t = 0,5 с$ :

$$t_{ср}^I = t_{ср}^{II} + \Delta t.$$

Время срабатывания второй ступени защиты второй линии отстраиваются от времени сгорания предохранителей и задается преподавателем.

Результаты расчетов занести в табл. 15.

3. Экспериментальная проверка селективности работы защит линий.

Рассчитанные параметры защит ( $I_{cp}$ ,  $t_{cp}$ ) линий выставить на реле комплектов защит линий. Накладками  $SX1$  и  $SX2$  ввести в работу защиты линий. Установить ключ режима в положение трехфазного КЗ в соответствующей точке линии. Нажав кнопку «КЗ», создать трехфазное КЗ и по сработавшим указательным реле определить защиту и ступень, от которой было отключено КЗ. Результаты занести в табл. 16.

Таблица 16

Точка КЗ	К1	К2	К3	К4
Защита				
Ступень				

### Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее проведения, внешний вид лабораторной установки.
2. Таблицы с результатами замеров, расчетов и наблюдений.
3. Выводы, объясняющие работу двухступенчатых токовых защит и необходимость применения двухступенчатых МТЗ.

### Контрольные вопросы

1. Как измерить токи нагрузок линий?
2. Как измерить токи КЗ в начале и в конце каждой линии?
3. Как рассчитать  $I_{сз}$  и  $I_{ср}$ , в чем их разница?
4. Как производится согласование защит по времени?
5. Как определяется  $k_{ч}$  защит?
6. Как производится проверка селективности действия защит?
7. Устройство и работа реле РВМ-12(13) и РП-341 в схемах защит с дешунтированием катушки отключения выключателя.

## Лабораторная работа 8 БЛОК РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРС–1

**Цель работы:** изучение конструкции, знакомство со способами настройки на заданные уставки и снятие основных характеристик полупроводникового реле полного сопротивления типа КРС-1 [2, с. 385–395].

Технические данные реле КРС-1:

- 1) номинальные данные: ток 5 А; напряжение 100 В; частота 50 Гц;
- 2) углы максимальной чувствительности:  $\varphi_{м.ч} = (65 \pm 5)^\circ; (80 \pm 5)^\circ$ ;
- 3) пределы регулирования уставки по сопротивлению от 1 до 20 Ом;
- 4) диапазон токов точной работы: 1,6–50 А (для окружности); 2,2–50 А (для эллипса).

## Порядок проведения работы

1. Познакомиться с конструкцией реле сопротивления типа КРС-1, обратить внимание на расположение элементов, способы и пределы регулировки параметров. Записать паспортные данные реле.

2. Рассчитать и установить на реле сопротивление срабатывания.

Для заданного преподавателем значения  $Z_{\text{ср}}$  и минимальной величины сопротивления срабатывания реле  $Z_{\text{уст. min}} = 1$  Ом определить процентное отношение включенных витков к общему числу вторичных витков трансформатора напряжения  $TV1$  по формуле

$$N\% = \frac{Z_{\text{уст. min}}}{Z_{\text{ср}}} 100\%$$

Переключатели уставки в цепях напряжения на лицевой панели реле ставятся в положение, при котором сумма чисел у гнезд переключателя равна  $N\%$  или наиболее близка к ней.

3. Проверить сопротивление срабатывания реле.

Собрать схему для испытания реле сопротивления (рис. 15), соблюдая полярность зажимов обмоток реле и полюсов источников питания.

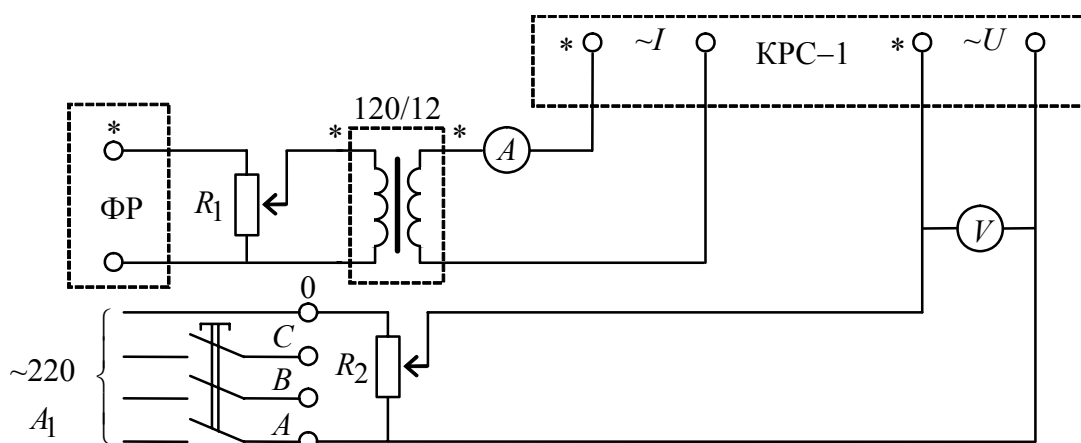


Рис. 15. Схема испытания реле сопротивления

Переключатели на лицевой панели реле установить в следующие положения: 1Н – «а–б» (смещение характеристики реле в III квадрант комплексной плоскости сопротивлений); 2Н – «а–б» (торможение исполнительного органа реле для получения эллиптической характеристики); 3Н – «а–б» и 4Н – «а–б» (угол  $\varphi_{\text{м.ч}} = 65^\circ$ ); 5Н – «1» (круговая характеристика срабатывания).

Включить автоматы  $SF1$  и  $SF2$ . Движками реостатов установить необходимые значения тока и напряжения срабатывания реле, рассчитанные исходя из формулы:

$$Z_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{ср}}}{2I_{\text{ср}}}$$

Величина  $I_{\text{ср}}$  может быть принята равной  $I_{\text{ном}}$  реле. С помощью фазорегулятора выставить угол между током и напряжением  $\varphi_p = 65^\circ$ .

Изменяя положение потенциометра  $14R$  добиться срабатывания реле сопротивления. Момент срабатывания реле фиксировать по загоранию сигнальной лампы  $HL$ . Оставить движок сопротивления  $14R$  в положении, соответствующем срабатыванию реле. Повторить опыт, плавно понижая напряжение до момента срабатывания реле, при постоянных значениях  $I_p$  и  $\varphi_p$ . В случае несоответствия расчетного и фактического напряжения срабатывания добиться их равенства путем изменения величины сопротивления  $14R$  или положения переключателей на лицевой панели реле. Записать значения  $U_{\text{ср}}$  и  $I_{\text{ср}}$ .

4. Определить угол максимальной чувствительности реле методом засечек.

Выставить угол между током и напряжением  $\varphi'_p$  на  $20 - 30^\circ$  меньше, чем угол  $\varphi_{\text{м.ч}}$ . При неизменном значении тока  $I_p$  плавно понижать напряжение  $U_p$  до момента срабатывания реле. Отметить полученное  $U_{\text{ср}}$ . Затем при полученных значениях  $U_{\text{ср}}$  и  $I_{\text{ср}}$  увеличить угол между током и напряжением до момента размыкания контактов реле. Отметить это значение угла как  $\varphi''_p$ . Полу-сумма углов  $\varphi'_p$  и  $\varphi''_p$  даст угол максимальной чувствительности реле. Сравнить расчетное значение  $\varphi_{\text{м.ч}}$  с паспортными данными реле.

5. Определение тока точной работы.

Для определения тока точной работы снимается зависимость сопротивления срабатывания от тока в реле  $Z_{\text{ср}} = f(I_p)$  при  $\varphi_p = \varphi_{\text{м.ч}}$  и значениях тока от 0 до 5 А. Для определения начальной точки характеристики ( $I_{\text{ср.мин}}$ ) напряжение снимается с реле полностью и плавно увеличивается ток до момента срабатывания реле. Затем увеличивают ток, поднимают напряжение выше напряжения возврата реле и, снижая напряжение, определяют  $U_{\text{ср}}$ . Для каждого значения тока подсчитывается  $Z_{\text{ср}}$ . Данные опыта заносятся в табл. 17. Строится зависимость  $Z_{\text{ср}} = f(I_p)$  и определяется ток точной работы.

Таблица 17

$I_p, \text{А}$								
$U_{\text{ср}}, \text{В}$								
$Z_{\text{ср}}, \text{Ом}$								

Характеристика  $Z_{\text{ср}} = f(I_p)$  снимается для реле сопротивления с круговой характеристикой.

6. Снятие характеристики срабатывания реле  $Z_{\text{ср}} = f(\varphi_p)$ .

Снятие характеристики срабатывания производится при постоянном значении тока  $I_p = I_{ном}$  для двух положений накладки 5Н – «1» и «0,5», соответствующих круговой и эллиптической характеристикам реле. Изменяя фазорегулятором угол между током  $I_p$  и напряжением  $U_p$  от 0 до 150° (с шагом 30°), определяют напряжение срабатывания реле для каждого значения угла. Данные опыта заносятся в табл. 18.

Таблица 18

Вид характеристики	Параметры срабатывания реле	$\varphi_p, ^\circ$						
		0	30	60	65	90	120	150
Окружность	$U_{ср}, В$							
	$Z_{ср}, Ом$							
Эллипс	$U_{ср}, В$							
	$Z_{ср}, Ом$							

По значениям  $I_p$  и  $U_{ср}$  вычислить  $Z_{ср}$  и построить зависимость  $Z_{ср} = f(\varphi_p)$

### Содержание отчета

1. Цель работы, последовательность ее поведения, схема испытаний реле.
2. Расчет уставок реле, таблицы замеров, значения  $I_{ср.min}$ ,  $I_{т.р}$ , графики зависимостей  $Z_{ср} = f(I_p)$  и  $Z_{ср} = f(\varphi_p)$ .
3. Выводы, объясняющие различие заданного и действительного  $Z_{ср}$ , характер зависимостей  $Z_{ср} = f(I_p)$  и  $Z_{ср} = f(\varphi_p)$ .

### Контрольные вопросы

1. Каковы принцип действия и работа реле КРС-1?
2. Способы расчета и регулирования сопротивления срабатывания реле?
3. Что такое ток точной работы реле сопротивления и как его определить?
4. Чем определяется погрешность в сопротивлении срабатывания реле?
5. Что такое характеристика срабатывания реле сопротивления и как она снимается? Какой вид она имеет у реле КРС-1?

## Библиографический список

1. Чернобровов, Н.В. Релейная защита. - М. : Энергия, 1971. – 680 с.
2. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
3. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
4. Алексеев В.С. и др. Реле защиты. – М. : Энергия, 1976. –364 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Правила работы в лаборатории релейной защиты и автоматики электрических систем .....	3
Лабораторная работа 1. Испытание трансформаторов тока.....	4
Лабораторная работа 2. Комбинированное токовое реле серии РТ- 80	6
Лабораторная работа 3. Максимальная токовая защита с независимой характеристикой.....	9
Лабораторная работа 4. Индукционное реле направления мощности типа РБМ .....	12
Лабораторная работа 5. Максимальная токовая защита радиальной сети .....	14
Лабораторная работа 6. Направленная максимальная токовая защита сети с двусторонним питанием.....	18
Лабораторная работа 7. Двухступенчатая токовая защита радиальной сети на переменном оперативном токе с дешунтированием катушки отключения.....	22
Лабораторная работа 8. Блок реле сопротивления КРС–1 .....	25
Библиографический список .....	28

Богатырев Леонард Леонардович  
Богданова Лариса Федоровна  
Федотов Владимир Павлович

## УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС

Редактор издательства *О.В. Климова*  
Компьютерная верстка *Е.В. Осипова*

---

Подписано в печать

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 2,6

Печать плоская

Тираж

Заказ

Формат 60×84 1/16

Усл. п.ч. 2,32

Цена «С»

---

ГОУ ВПО УГТУ–УПИ  
620002, Екатеринбург, Мира, 19

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ–УПИ  
620002, Екатеринбург, Мира, 19