

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

**Ожерельевский ж.д. колледж - филиал ПГУПС**

СОГЛАСОВАНО

Методист

\_\_\_\_\_ Л.А. Елина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

\_\_\_\_\_ Н.Н. Иванова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ  
РАБОТ**

**по МДК.01.03 Релейная защита и автоматические системы  
управления устройствами электроснабжения**

**Раздел 5. Устройство и эксплуатация релейной защиты и  
автоматизированных систем управления**

**ПМ.01 Техническое обслуживание оборудования электрических  
подстанций и сетей**

**специальность 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям)**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Пояснительная записка	5
2. Перечень практических работ	7
3. Перечень лабораторных работ	8
3. Практическая работа № 1	10
4. Практическая работа № 2	17
5. Практическая работа № 3	23
6. Практическая работа № 4	27
7. Практическая работа № 5	32
8. Практическая работа № 6	38
9. Практическая работа № 7	43
10. Практическая работа № 8	46
11. Практическая работа № 9	49
12. Практическая работа № 10	51
13. Практическая работа № 11	53
25. Лабораторная работа № 1	56
26. Лабораторная работа № 2	61
27. Лабораторная работа № 3	65
28. Лабораторная работа № 4	69
29. Лабораторная работа № 5	74
30. Лабораторная работа № 6	80
31. Лабораторная работа № 7	85
32. Лабораторная работа № 8	89
33. Лабораторная работа № 9	91
36. Лабораторная работа № 10	94
37. Лабораторная работа № 11	97
38. Лабораторная работа № 12	100
39. Лабораторная работа № 13	103
40. Лабораторная работа № 14	106
41. Лабораторная работа № 15	108

42. Лабораторная работа № 16	111
43. Лабораторная работа № 17	113
44. Лабораторная работа № 18	116
45. Лабораторная работа № 19	120
46. Лабораторная работа № 20	124
47. Лабораторная работа № 21	128
48. Лабораторная работа № 22	132
49. Лабораторная работа № 23	136
50. Лабораторная работа № 24	138
51. Лабораторная работа № 25	140
52. Лабораторная работа № 26	142
53. Лабораторная работа № 27	145
54. Перечень литературы	147

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ к Разделу 5 Устройство и эксплуатация систем релейной защиты и автоматизированных систем управления по МДК 01.03. Релейная защита и автоматические системы управления устройствами электроснабжения составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников СПО по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и на основе рабочей программы профессионального модуля ПМ 01 Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей.

В результате освоения междисциплинарного курса обучающийся должен **иметь практический опыт:**

- составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей;
- модернизации схем электрических устройств подстанций;
- обслуживания оборудования распределительных устройств электроустановок;
- применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов.

В результате освоения междисциплинарного курса обучающийся должен **уметь:**

- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей;
- вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств;
  - обеспечивать проведение работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок;
- использовать нормативную техническую документацию и инструкции;
- выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование;
- оформлять отчеты о проделанной работе;
- проверять работу устройств релейной защиты и автоматики, автоматизированных систем управления.

В результате освоения междисциплинарного курса обучающийся должен **знать:**

- устройство оборудования электроустановок;
- условные графические обозначения элементов электрических схем;
- логику построения схем, типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок;
  - виды и технологии работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств;
- основные положения правил технической эксплуатации электроустановок;
- виды технологической и отчетной документации, порядок ее заполнения;

- схемы и принцип действия устройств релейной защиты, автоматики и автоматизированных систем управления.

*Процесс изучения междисциплинарного курса направлен на освоение общих компетенций, включающих в себя способность:*

ОК 01 - понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес;

ОК 02 - организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество;

ОК 03 - принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность;

ОК 04 - осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития;

ОК 05 - использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 06 - работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями;

ОК 07 - брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий;

ОК 08 - самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации;

ОК 09 - ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

*Общей целью проведения практических и лабораторных занятий является формирование у обучающихся профессиональных компетенций:*

ПК 1.1. Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей;

ПК 1.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем;

ПК 1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

Рабочая программа профессионального модуля предусматривает в МДК 01.03. 22 часа практических работ и 54 часа лабораторных работ.

## Перечень практических работ

№ п/п	Название работы	Объем часов
1	Изучение конструкции реле (тока, напряжения, времени, промежуточного и указательного)	2
2	Изучение конструкции реле сложных защит (сопротивления, мощности)	2
3	Расчет МТЗ и ТО линии электропередачи	2
4	Расчет дистанционной защиты линии электропередачи	2
5	Расчет МТЗ и ТО силового трансформатора	2
6	Ознакомление с оборудованием энергодиспетчерского пункта	2
7	Ознакомление с аппаратурой телемеханики контролируемого пункта (подстанции)	2
8	Изучение конструкции стойки контролируемого пункта	2
9	Построение схемы сбора и передачи информации на контролируемом пункте	2
10	Исследование взаимодействия шкафа управления подстанцией и рабочего места энергодиспетчера при передаче команд телеуправления	2
11	Исследование взаимодействия шкафа управления подстанцией и рабочего места энергодиспетчера при приеме телесигнализации	2
ИТОГО		22

## Перечень лабораторных работ

№ п/п	Название работы	Объем часов
1	Исследование работы реле тока	2
2	Исследование работы реле напряжения	2
3	Исследование работы реле времени	2
4	Исследование работы промежуточного и указательного реле	2
5	Исследование работы реле мощности	2
6	Исследование работы микропроцессорного устройства защиты линии электропередачи	2
7	Исследование работы микропроцессорного устройства защиты трансформатора	2
8	Исследование схемы и элементов автоматики фидера питающей линии (ввода подстанции)	2
9	Исследование схемы и элементов автоматики фидера питающей линии районного потребителя	2
10	Исследование схемы и элементов автоматики фидера питающей линии специального назначения (фидера контактной сети)	2
11	Обнаружение неисправностей в схеме автоматики фидера питающей линии районного потребителя	2
12	Обнаружение неисправностей в схеме автоматики фидера питающей линии специального назначения (фидера контактной сети)	2
13	Исследование схемы и элементов автоматики понижающего трансформатора	2
14	Исследование схемы и элементов автоматики измерительного трансформатора	2
15	Обнаружение неисправностей в схеме автоматики трансформатора	2
16	Исследование схемы и элементов общеподстанционной сигнализации	2
17	Технический осмотр устройства релейной защиты и автоматики	2
18	Опробование устройства релейной защиты и автоматики	2
19	Комплексная проверка устройства защиты и автоматики питающей линии	2
20	Комплексная проверка устройства защиты и автоматики трансформатора	2
21	Тестовый контроль микропроцессорного устройства релейной защиты и автоматики	2

№ п/п	Название работы	Объем часов
22	Проверка устройства релейной защиты и автоматики при новом включении	2
23	Проверка работы аппаратуры энергодиспетчерского пункта	2
24	Проверка работы аппаратуры контролируемого пункта в режиме приема команды управления	2
25	Проверка работы аппаратуры контролируемого пункта в режиме телесигнализации	2
26	Исследование работы аппаратуры каналов связи в режиме телеуправления	2
27	Исследование работы аппаратуры каналов связи в режиме телесигнализации	2
ИТОГО		54

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Тема: Изучение конструкции реле (тока, напряжения, времени, промежуточного и указательного)

Цель работы: изучить назначение, конструкцию, параметры электро-механических реле тока, напряжения, времени, промежуточного и указательного.

Оборудование и приборы:

*KA* – реле тока;

*KV* – реле напряжения;

*KT* – реле времени;

*KL* – промежуточное реле;

*KH* – указательное реле;

технические паспорта реле и справочная литература.

### Краткие теоретические сведения

Для ограничения развития аварий при коротких замыканиях и уменьшении перерыва в электроснабжении потребителей применяют специальные устройства, которые называются релейной защитой. Релейная защита обеспечивает быстрое автоматическое отключение поврежденного элемента электроустановки путем воздействия на электромагнит отключения выключателя, а также сигнализирует об отключении.

Релейная защита состоит из комплекта реле, связанных между собой по определенным схемам.

Реле представляет собой автоматическое устройство, которое способно реагировать на изменение контролируемой им величины. Реле имеет два органа: воспринимающий и исполнительный. У электро-механических реле воспринимающим органом являются обмотки, исполнительным - контакты.

По назначению реле делятся на измерительные или основные и логические или вспомогательные. К основным реле относятся реле тока и напряжения, вспомогательным - реле времени, промежуточные, указательные.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, конструкцию и номинальные параметры электромеханического реле тока.

1.1. Указать назначение реле тока, в каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

1.2. Выполнить эскиз реле тока, указать название основных элементов.

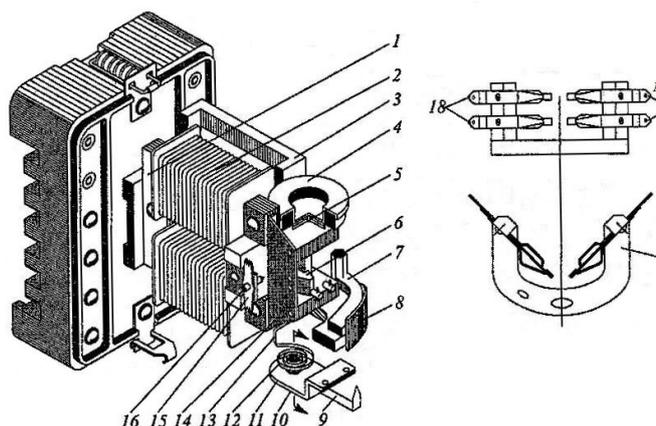


Рисунок 1.1.1. Реле тока РТ-40

1 – сердечник; 2 – каркас с обмоткой; 3 – алюминиевая стойка; 4 – демпфер; 5 – верхняя полуось; 6 – подвижной контакт; 7 – изоляционная колодка; 8 – шкала уставок; 9 – указатель уставки; 10 – пружинодержатель; 11 – шестигранная втулка; 12 – спиральная пружина; 13 – хвостовик; 14 – якорь; 15 – фасонная пластинка; 16 – левый упор; 17 – правая пара неподвижных контактов; 18 – левая пара неподвижных контактов.

1.3. Привести схему внутренних соединений реле.

1.4. В таблице 1.1.1 указать характеристики изучаемого реле тока

Таблица 1.1.1 - Характеристики реле тока

Марка реле тока	Число обмоток	Количество контактов замыкающихся	Количество контактов размыкающихся	Пределы уставок по току при послед. соединении обмоток	Пределы уставок по току при паралл. соединении обмоток

Привести расшифровку полной маркировки реле тока.

2. Изучить назначение, конструкцию и номинальные параметры электромеханического реле напряжения.

2.1. Указать назначение реле напряжения, в каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

2.2. Выполнить эскиз реле напряжения, указать название основных элементов.

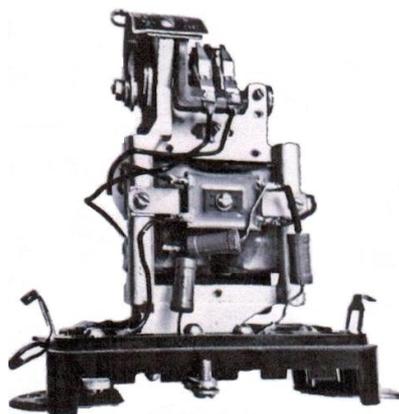


Рисунок 1.1.2. Общий вид реле напряжения РН-50

2.3. Привести схему внутренних соединений реле.

2.4. В таблице 2 указать характеристики изучаемого реле напряжения

Таблица 1.1.2 - Характеристики реле напряжения

Марка реле напряжения	Число обмоток	Количество контактов замыкающихся	Количество контактов размыкающихся	Пределы уставок по напряжению при послед. соединении обмоток	Пределы уставок по напряжению при паралл. соединении обмоток

Привести расшифровку полной маркировки реле напряжения.

3. Изучить назначение, конструкцию и номинальные параметры электромеханического реле времени.

3.1. Указать назначение реле времени, в каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

3.2. Выполнить эскиз реле времени, указать название основных элементов.

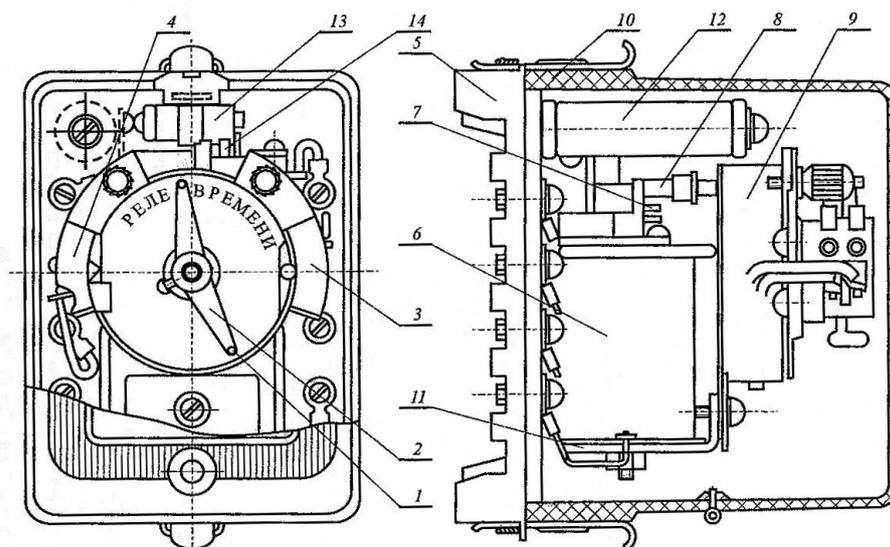


Рисунок 1.1.3. Реле времени РВ-100.

1 – мостик подвижного контакта; 2 – траверса; 3 – колодка неподвижного основного контакта; 4 – колодка неподвижного временно замыкающего контакта; 5 – цоколь; 6 – обмотка; 7 – якорь; 8 – заводной рычаг часового механизма; 9 – часовой механизм; 10 – кожух; 11 – магнитопровод; 12 – добавочный резистор; 13 – конденсатор; 14 – толкатель контактов мгновенного действия.

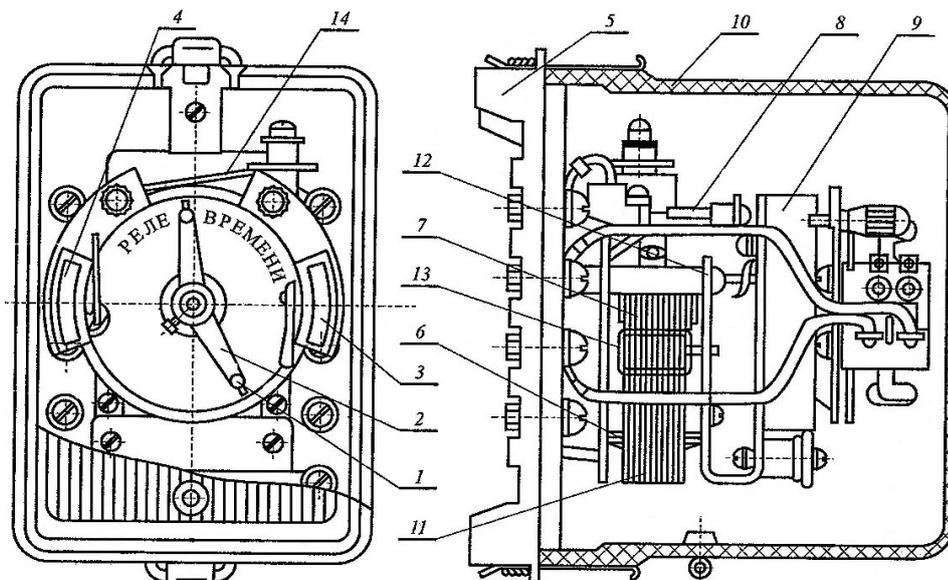


Рисунок 1.1.4. Реле времени РВ-200

1 – мостик подвижного контакта; 2 – траверса; 3 – колодка неподвижного временно замыкающего контакта; 4 – колодка неподвижного основного контакта; 5 – цоколь;

6 – обмотка; 7 – якорь; 8 – заводной рычаг часового механизма; 9 – часовой механизм; 10 – кожух; 11 – магнитопровод; 12 – стягивающая рамка; 13 – короткозамкнутый виток; 14 – переключающий контакт мгновенного действия.

3.3. Привести схему внутренних соединений реле.

3.4. В таблице 1.1.3 указать характеристики изучаемого реле времени.

Таблица 1.1.3 - Характеристики реле времени

Марка реле времени	Число обмоток	Количество контактов замыкающихся	Количество контактов размыкающихся	Пределы уставок по времени	Номинальное напряжение и род тока

Привести расшифровку полной маркировки реле времени.

4. Изучить назначение, конструкцию и номинальные параметры электромеханического промежуточного реле.

4.1. Указать назначение промежуточного реле, в каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

4.2. Выполнить эскиз промежуточного реле, указать название основных элементов.

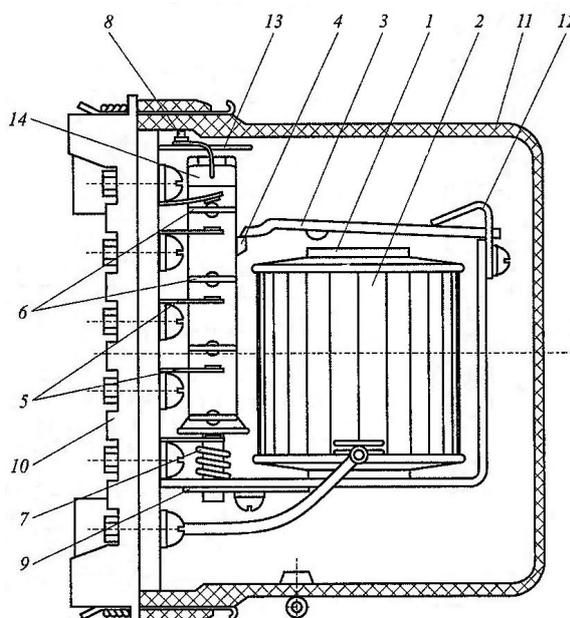


Рисунок 1.1.5. Реле промежуточное РП-23.

1 – сердечник; 2 – обмотка; 3 – якорь; 4 – хвостовик якоря; 5 – неподвижные контакты; 6 – подвижные контакты; 7 – возвратная пружина; 8 – направляющая скоба; 9 – пластинка; 10 – цоколь; 11 – кожух; 12 – упор якоря; 13 – верхний упор;

14 – упорная колодка.

4.3. Привести схему внутренних соединений реле.

4.4. В таблице 1.1.4 указать характеристики изучаемого промежуточного реле.

Таблица 1.1.4 - Характеристики промежуточного реле

Марка реле промежуточного	Число обмоток	Количество контактов замыкающихся	Количество контактов размыкающихся	Номинальное напряжение и род тока

Привести расшифровку полной маркировки промежуточного реле.

5. Изучить назначение, конструкцию и номинальные параметры электромеханического указательного реле.

5.1. Указать назначение указательного реле, в каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

5.2. Выполнить эскиз указательного реле, указать название основных элементов.

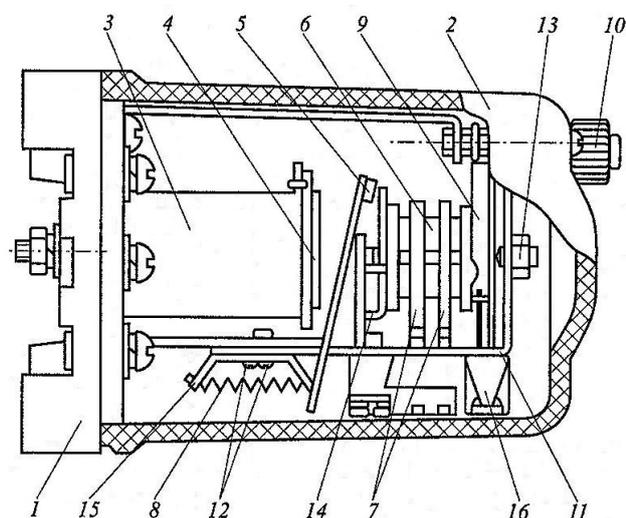


Рисунок 1.1.6. Указательное реле РУ-21

1 – цоколь; 2 – кожух; 3 – обмотка; 4 – сердечник; 5 – якорь; 6 – барабанчик; 7 – неподвижные контакты; 8 – возвратная пружина; 9 – флажок; 10 – ручка возврата флажка; 11 – скоба; 12 – винты крепления скобы; 13 – полуось; 14 – скоба барабанчика; 15 – регулировочная скоба; 16 – скоба возврата.

5.3. Привести схему внутренних соединений реле.

5.4. В таблице 1.1.5 указать характеристики изучаемого указательного реле.

Таблица 1.1.5 - Характеристики указательного реле

Марка реле указательного	Число обмоток	Количество контактов	Номинальное напряжение и род тока

Привести расшифровку полной маркировки указательного реле.

#### Контрольные вопросы.

1. Каково конструктивное отличие реле тока от реле напряжения?
2. Назначение часового механизма у реле времени.
3. Каким способом осуществляется возврат указательного реле?

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и приборов.
3. Назначение изученных реле.
4. Эскизы изученных реле с указанием основных элементов.
5. Таблицы с характеристиками реле.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: Изучение конструкции реле сложных защит (сопротивления, мощности)

Цель работы: изучить назначение, конструкцию, параметры реле сопротивления и мощности.

Оборудование и приборы:

$KZ$  – реле полного сопротивления;

$KW$  – реле мощности;

технические паспорта реле и справочная литература.

### Краткие теоретические сведения

В сложных электрических сетях обычные токовые защиты не всегда удовлетворяют требованиям селективности, чувствительности и быстродействия. Для защиты линий электропередачи сложной конфигурации применяются дистанционные, направленные максимальные токовые и дифференциальные релейные защиты.

Дистанционная релейная защита работает на принципе измерения полного сопротивления от места установки ее до точки короткого замыкания на линии. Измерительным органом дистанционной защиты является реле полного сопротивления (чаще всего применяется реле полного сопротивления). К реле сопротивления подводится напряжение  $U_p$  от измерительного трансформатора напряжения и ток  $I_p$  от измерительного трансформатора тока. Реле минимального полного сопротивления срабатывает при условии  $Z_p \ll Z_{y.cр}$ .

Реле сопротивления КРС 131 (132) состоит из исполнительного органа (индукционного реле), трансформаторов и других вспомогательных элементов. Реле содержит резонансные колебательные контуры, имеющие частоту

собственных колебаний, близкую к 50 Гц, предотвращающие кратковременное ложное срабатывание реле в неустановившихся режимах (особенно при малых значениях токов и напряжения). Один из резонансных контуров обеспечивает также кратковременное действие реле при близких трехфазных коротких замыканиях, когда напряжение практически снижается до нуля (короткое замыкание в «мертвой зоне»). Полное устранение «мертвой зоны» при близких двухфазных коротких замыканиях и возможной потере направленности под действием напряжения между поврежденной и неповрежденной фазами достигается подключением к обмотке реле через резистор R5 напряжения неповрежденной фазы. Этот резистор создает подпитку обмотки реле током, практически совпадающим по фазе с основным током поляризующей цепи.

Схема реле позволяет автоматически менять уставку срабатывания переключением в цепи напряжения. В схемах дистанционных двухступенчатых защит это переключение следует производить, не допуская бестоковой паузы. При наличии разрыва цепи напряжения в момент переключения реле с первой на вторую зону возможно удлинение последней.

Реле включается на токи двух фаз и соответствующее линейное напряжение. Реле срабатывает при значении сопротивления на зажимах реле, равном или меньшем заданного характеристикой реле. Подключение реле на линейное напряжение и разность соответствующих токов обеспечивают одинаковый замер сопротивления фазы как при трехфазных коротких замыканиях, так и при коротких замыканиях двух фаз и двух фаз на землю, на которые включено реле, пропорциональных сопротивлению прямой последовательности до места к.з.

Уставка реле – сопротивление срабатывания реле при  $X/R = \arctg \varphi_{м.ч.}$ , равна диаметру характеристической окружности.

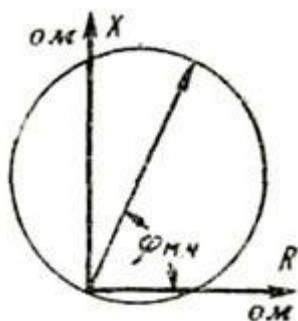


Рисунок 1.2.1. Характеристика реле КРС 131 (132).

$\varphi_{м.ч.}$  – угол максимальной чувствительности.

Регулировка уставки реле производится с помощью регулировочных винтов, включающих ответвления обмоток трансформатора тока  $T_x$  и трансформатора напряжения  $T_n$ . Гнезда ответвлений трансформаторов  $T_x$  и  $T_n$  маркированы числами, для которых принимаются соответственно обозначения  $Z_0$  и  $n$  (под  $n$  понимается сумма чисел, маркирующих используемые ответвления обмоток трансформатора  $T_n$ ). Значения  $Z_0$  для обеих обмоток  $T_x$  должны быть одинаковы.  $n = 100/N$ , где  $N$  — отношение числа первичных витков трансформатора напряжения включенных вторичных витков.

Реле КРС 132 имеет ряд особенностей: отсутствует регулировка уставок реле в цепях тока (на трансреакторе  $T_x$ ), она осуществляется только в цепях напряжения (на автотрансформаторе напряжения  $T_n$ ) и отсутствует возможность автоматического изменения уставок реле.

Уставка срабатывания реле регулируется только с помощью ответвлений трансформатора напряжения ( $T_n$ ) в пределах 2—20 Ом при  $I_n = 5$  А со ступенями, не превышающими 5% наибольшей величины уставки. Реле позволяет осуществлять одну ступень защиты.

Для защиты линий с двусторонним питанием, двух параллельных ЛЭП применяются направленная и дифференциальная защиты. Органом, реагирующим на определенное направление мощности короткого замыкания в названных защитах, является реле направления мощности (реле мощности). Двухсекционная токовая обмотка реле подключается к измерительному трансформатору тока, четырехсекционная обмотка по напряжению подклю-

чается к измерительному трансформатору напряжения. Обмотка по току подключается на фазный ток линии, обмотка по напряжению - на линейное напряжение двух других фаз.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, конструкцию и номинальные параметры реле полного сопротивления.

1.1. Указать назначение реле сопротивления, в каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является. Используя материалы стенда, начертить схему подключения обмоток реле сопротивления.

1.2. Начертить электрическую схему реле сопротивления, указать название и назначение элементов схемы.

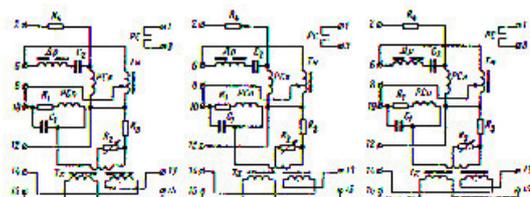


Рисунок 1.2.2. Схема внутренних соединений реле КРС-132

Тн - автотрансформатор напряжения;

Тх – трансектор;

Др – дроссель;

С1 - конденсатор МБГЧ-1-1 (13мкФ);

С2 - конденсатор МБГЧ-1-1 (0,75мкФ);

РСя – обмотка на ярме реле сопротивления  $W_{я}=1600 \times 4$ ;

РСп – обмотка на полюсах реле сопротивления  $W_{п}=780 \times 2$ ;

Резисторы: R1, R3, R4 (100 Ом);

R2 регулируемый до 30 Ом;

R5 (39 кОм).

1.3. Пояснить принцип работы реле сопротивления.

1.4. В таблице 1.2.1 указать характеристики изучаемого реле сопротивления.

Таблица 1.2.1 - Характеристики реле сопротивления

Марка реле	Номинальный переменный ток, А	Номинальный постоянный ток, А	Потребляемая мощность в цепях напряжения переменного тока, ВА	Потребляемая мощность в цепях напряжения постоянного тока, Вт	Потребляемая мощность переменного тока, ВА

2. Изучить назначение, конструкцию и номинальные параметры реле направления мощности.

2.1. Указать назначение реле направления мощности, в каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

2.2. Начертить конструктивную схему и схему электрических соединений реле направления мощности, указать названия и назначение элементов схем.

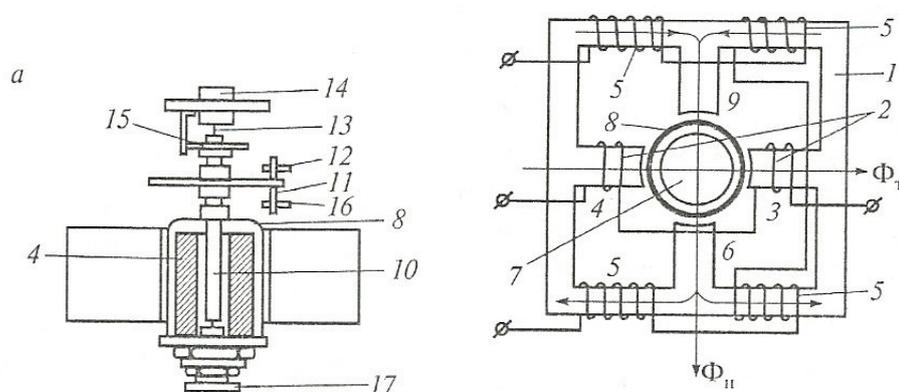


Рисунок 1.2.3 Конструктивная схема и схема электрических соединений реле направления мощности.

- 1 – стальной магнитопровод с выступающими полюсами;
- 2 – токовые обмотки;
- 3, 4, 6, 9 – полюсы магнитопровода;
- 5 – обмотки напряжения;
- 7 – стальной сердечник;
- 8 – цилиндрический алюминиевый ротор;
- 10 – ось с выводами 13;
- 11 – подвижной контакт;
- 12, 16 - неподвижные контакты;
- 14, 17 – верхний и нижний подпятники;
- 15 – спиральная пружина.

2.3. Пояснить принцип работы реле направления мощности.

2.4. В таблице 1.2.2 указать характеристики изучаемого реле мощности.

Таблица 1.2.2 - Характеристики реле мощности.

Марка реле	Номинальный переменный ток, А	Номинальный постоянный ток, А	Потребляемая мощность по цепи тока, ВА	Потребляемая мощность по цепи напряжения, ВА	Коэффициент возврата	Время срабатывания, с

Привести расшифровку маркировки реле направления мощности.

#### Контрольные вопросы.

1. Сколько могут иметь контактов реле направления мощности ?
2. Что такое угол максимальной чувствительности реле мощности?
3. Назначение трансреакторов и трансформаторов напряжения в реле сопротивления.
4. Назовите способы регулирования сопротивления срабатывания реле сопротивления.

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и приборов.
3. Назначение изученных реле.
4. Схемы изученных реле с указанием основных элементов.
5. Таблицы с характеристиками реле.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Тема: Расчет МТЗ и ТО линии электропередачи

Цель работы: научиться рассчитывать токи срабатывания МТЗ и ТО линии электропередачи, определять чувствительность релейных защит.

Исходные данные:

1.  $I_{раб.мах}$  – наибольший рабочий ток линии электропередачи, А;
2.  $I_{к.мин1}$  – минимальный ток трехфазного КЗ в конце защищаемой линии, кА;
3.  $I_{к.мин2}$  – минимальный ток трехфазного КЗ в начале защищаемой линии, кА;
4.  $I_{к.мах1}$  – максимальный ток трехфазного КЗ в конце защищаемой линии, кА;
5.  $K_1$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока, к которым подключены защиты;

Схема соединения трансформаторов тока и реле тока (задается преподавателем: полная звезда, неполная звезда, полный треугольник, неполный треугольник).

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 1.3.1.

Порядок выполнения работы

1. Начертить совмещенную схему МТЗ и ТО линии электропередачи.
2. Выполнить расчет МТЗ и ТО линии электропередачи.
  - 2.1 Расчет МТЗ линии электропередачи.
    - 2.1.1 Расчет тока срабатывания МТЗ, А

$$I_{с.мтз} = K_n \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.мах},$$

где  $K_n$  – коэффициент надежности,  $K_n = 1,15 - 1,25$ ;

$K_{сзп}$  – коэффициент , учитывающий увеличение нагрузки линии при самозапуще неотключившихся двигателей после восстановления напряжения,  $K_{сзп} = 2 – 3$ .

Таблица 1.3.1 – Исходные данные для расчета

Вариант	$I_{раб.мах},$ А	$K_{с.з.п}$	$I_{к.min1},$ кА	$I_{к.min2},$ кА	$I_{к.max1},$ кА	$K_1$	Схема соед.ТТ и реле защиты
1	120	2	0,8	2,9	1,3	30	Полная "звезда"
2	150	2,5	1,1	3,3	1,4	40	Неполная "звезда" с двумя реле
3	210	3	1,4	4,3	1,8	60	Полная "звезда"
4	250	2	1,6	4,8	2,1	60	Неполная "звезда" с двумя реле
5	280	3	2,0	6,5	2,9	80	Полная "звезда"
6	310	2,5	2,2	6,9	3,0	80	Неполная "звезда" с двумя реле
7	350	3	3,0	8,1	3,8	120	Полная "звезда"
8	460	2	3,2	9,8	4,5	120	Неполная "звезда" с двумя реле
9	85	2,5	1,0	5,1	2,0	20	Полная "звезда"
10	500	2	3,5	10,1	4,8	160	Неполная "звезда" с двумя реле
11	130	2	0,9	3,0	1,4	30	Полная "звезда"
12	145	2,5	1,0	3,2	1,5	40	Неполная "звезда" с двумя реле
13	200	3	1,5	4,4	1,9	60	Полная "звезда"
14	260	2	1,4	4,7	2,2	60	Неполная "звезда" с двумя реле
15	270	3	2,1	6,6	3,0	80	Полная "звезда"
16	320	2,5	2,0	6,8	3,1	80	Неполная "звезда" с двумя реле
17	340	3	3,1	8,2	3,9	120	Полная "звезда"
18	450	2	3,0	9,7	4,6	120	Неполная "звезда" с двумя реле
19	90	2,5	1,1	5,2	2,1	20	Полная "звезда"
20	490	2	3,4	10,0	4,9	160	Неполная "звезда" с двумя реле
21	110	2	1,1	2,8	1,5	30	Полная "звезда"
22	160	2,5	0,8	3,4	1,6	40	Неполная "звезда" с двумя реле
23	200	3	1,7	4,2	1,9	60	Полная "звезда"
24	260	2	1,5	4,9	2,3	60	Неполная "звезда" с двумя реле
25	270	3	2,3	6,4	3,1	80	Полная "звезда"
26	320	2,5	2,1	7,0	3,2	80	Неполная "звезда" с двумя реле
27	340	3	3,1	8,0	4,0	120	Полная "звезда"
28	470	2	3,3	9,9	4,7	120	Неполная "звезда" с двумя реле
29	80	2,5	1,1	5,0	2,2	20	Полная "звезда"
30	510	2	3,4	10,2	5,0	160	Неполная "звезда" с двумя реле

### 2.1.2 Расчет тока уставки срабатывания реле, А

$$I_{у.ср} = \frac{I_{с.мтз}}{K_B \cdot K_1} \cdot K_{сх},$$

где  $K_B$  – коэффициент возврата реле,  $K_B = 0,85 - 0,9$ ;

$K_{сх}$  – коэффициент схемы, при включении реле на фазные токи (схема соединения ТА полная или неполная звезда)  $K_{сх} = 1$ , при включении реле на

разность фазных токов (схема соединения ТА полный или неполный треугольник)  $K_{CX} = \sqrt{3}$ .

### 2.1.3 Расчет коэффициента чувствительности МТЗ

$$K_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{K.min}}{I_{C.MTЗ}},$$

где  $I^{(2)}_{K.min}$  – наименьший ток двухфазного короткого замыкания в конце защищаемой линии, А.

$$I^{(2)}_{K.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K.min1}.$$

МТЗ является чувствительной, если коэффициент чувствительности  $K_{\text{ч}} \gg 1,5$ .

## 2.2 Расчет ТО линии электропередачи.

### 2.2.1 Расчет тока срабатывания ТО, А

$$I_{C.TO} = K_n \cdot I_{K.max1},$$

где  $K_n$  – коэффициент надежности,  $K_n = 1,2 - 1,3$ .

Расчет тока уставки срабатывания реле, А

$$I_{y.cp} = \frac{I_{C.TO}}{K_1} \cdot K_{CX},$$

$K_{CX}$  – коэффициент схемы, при включении реле на фазные токи (схема соединения ТА полная или неполная звезда)  $K_{CX} = 1$ , при включении реле на разность фазных токов (схема соединения ТА полный или неполный треугольник)  $K_{CX} = \sqrt{3}$ .

### 2.2.2 Расчет коэффициента чувствительности ТО

$$K_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{K.min}}{I_{C.TO}},$$

где  $I^{(2)}_{K.min}$  – наименьший ток двухфазного короткого замыкания в начале защищаемой линии, А.

$$I^{(2)}_{K.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K.min2}.$$

ТО является чувствительной, если коэффициент чувствительности  $K_{\text{ч}} \gg 1,5$ .

**Примечание:** при расчете коэффициентов чувствительности МТЗ и ТО необходимо учитывать, чтобы токи  $I_{к.min}^{(2)}$  и  $I_{с.мтз}$  ( $I_{с.то}$ ) имели одинаковые единицы измерения.

3. Начертить диаграмму селективности МТЗ и ТО ЛЭП, пояснить действие защит при коротком замыкании в точке К (точка короткого замыкания К задается преподавателем).

#### Контрольные вопросы.

1. Назовите достоинства и недостатки МТЗ ЛЭП.
2. Назовите достоинства и недостатки ТО ЛЭП.
3. В конце ЛЭП ТО имеет мертвую зону. Как защитить этот участок ЛЭП от токов КЗ?
4. Назовите отличия МТЗ от ТО.

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные.
3. Совмещенная схема МТЗ и ТО линии электропередачи.
4. Расчет МТЗ и ТО линии электропередачи.
5. Схема селективности МТЗ и ТО линии электропередачи.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Тема: Расчет дистанционной защиты линии электропередачи

Цель работы: научиться рассчитывать сопротивления срабатывания дистанционной трехступенчатой защиты линии электропередачи, определять чувствительность релейной защиты.

Исходные данные:

1.  $U_n$  – номинальное напряжение на шинах подстанции, кВ;
2.  $I_{раб.мах}$  – наибольший рабочий ток линии электропередачи, А;
3.  $I_{к1}$  – ток трехфазного КЗ, проходящий по линии  $L_{11}$  при коротком замыкании в конце линии  $L_{12}$ , кА;
4.  $I_{к2}$  – ток трехфазного КЗ, проходящий по линии  $L_{12}$  при коротком замыкании в конце линии  $L_{12}$ , кА;
5.  $Z_{11}$  - сопротивление защищаемой линий  $L_{11}$ , Ом;
6.  $Z_{12}$  - сопротивление защищаемой линий  $L_{12}$ , Ом;
7.  $\varphi_{мч}$  – угол максимальной чувствительности направленного реле сопротивления,  $^{\circ}$ ;
8.  $K_I$  – коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока;
9.  $K_U$  - коэффициент трансформации измерительного трансформатора напряжения.

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 1.4.1

Порядок выполнения работы

1. Начертить принципиальную схему дистанционной направленной трехступенчатой защиты линии электропередачи.

Таблица 1.4.1 – Исходные данные для расчета

Вариант	$U_n, \text{кВ}$	$I_{\text{раб.мах}}, \text{А}$	$I_{\text{к1}}, \text{кА}$	$I_{\text{к2}}, \text{кА}$	$Z_{11}, \text{Ом}$	$Z_{12}, \text{Ом}$	$\varphi_{\text{мч}}, ^\circ$	$K_I$	$K_U$
1	35	63	0,275	0,240	15,6	20,3	60	20	3,5
2	110	120	5,3	4,6	4,4	10,6	65	30	11
3	35	136	3,2	2,4	5,8	8,6	55	40	3,5
4	110	90	4,6	3,8	10,4	12,3	60	20	11
5	35	50	2,5	1,9	8,6	10,2	65	16	3,5
6	110	75	3,8	3,3	5,4	6,8	55	25	11
7	35	135	0,275	0,240	6,5	7,8	60	22	3,5
8	110	150	5,3	4,6	10,6	12,3	65	30	11
9	35	80	3,2	2,4	15,6	20,3	55	16	3,5
10	110	110	4,6	3,8	4,4	10,6	60	25	11
11	35	63	2,5	1,9	5,8	8,6	65	20	3,5
12	110	120	3,8	3,3	10,4	12,3	55	30	11
13	35	136	0,275	0,240	8,6	10,2	60	40	3,5
14	110	90	5,3	4,6	5,4	6,8	65	20	11
15	35	50	3,2	2,4	6,5	7,8	55	16	3,5
16	110	75	4,6	3,8	10,6	12,3	60	25	11
17	35	135	2,5	1,9	15,6	20,3	65	22	3,5
18	110	150	3,8	3,3	4,4	10,6	55	30	11
19	35	80	0,275	0,240	5,8	8,6	60	16	3,5
20	110	110	5,3	4,6	10,4	12,3	65	25	11
21	35	63	3,2	2,4	8,6	10,2	55	20	3,5
22	110	120	4,6	3,8	5,4	6,8	60	30	11
23	35	136	2,5	1,9	6,5	7,8	65	40	3,5
24	110	90	3,8	3,3	10,6	12,3	55	20	11
25	35	50	0,275	0,240	15,6	20,3	60	16	3,5
26	110	75	5,3	4,6	4,4	10,6	65	25	11
27	35	135	3,2	2,4	5,8	8,6	55	22	3,5
28	110	150	4,6	3,8	10,4	12,3	60	30	11
29	35	80	2,5	1,9	8,6	10,2	65	16	3,5
30	110	110	3,8	3,3	5,4	6,8	55	25	11

2. Выполнить расчет дистанционной направленной трехступенчатой защиты линии электропередачи.

2.1. Рассчитать сопротивления срабатывания первой зоны линии  $L_{11}$  и  $L_{12}$  (определяется из условий отстройки от коротких замыканий на шинах противоположной подстанции), Ом:

$$Z_{1c311} = K_n \cdot Z_{11},$$

$$Z_{1c312} = K_n \cdot Z_{12},$$

где  $Z_{11}$  и  $Z_{12}$  – сопротивления защищаемых линий  $L_{11}$  и  $L_{12}$  соответственно, Ом;

$K_H$  – коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешности реле сопротивления, измерительных трансформаторов тока и напряжения,  $K_H = 0,8-0,85$ .

2.2. Рассчитать сопротивления срабатывания второй зоны (определяется из условий отстройки от конца первой зоны дистанционной защиты и смежной линии  $L_{12}$ , Ом:

$$Z_{2сз} = K_H \cdot (Z_{11} + K_{H1} \cdot K_{рТ} \cdot Z_{1ср12}),$$

где  $K_{H1}$  - коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешности реле сопротивления, измерительных трансформаторов тока и напряжения,

$$K_H = 0,7 - 0,8;$$

$K_{рТ}$  – коэффициент распределения токов.

Коэффициент распределения токов определяется по формуле:

$$K_{рТ} = \frac{I_{K2}}{I_{K1}},$$

где  $I_{K1}$  – ток трехфазного КЗ, проходящий по линии  $L_{11}$  при коротком замыкании в конце линии  $L_{12}$ , кА;

$I_{K2}$  – ток трехфазного КЗ, проходящий по линии  $L_{12}$  при коротком замыкании в конце линии  $L_{12}$ , кА.

2.3 Рассчитать коэффициент чувствительности защиты второй зо-  
НЫ:

$$K_{ч2} = \frac{Z_{2сз}}{Z_{11}} \gg 1,2$$

2.4 Рассчитать сопротивления срабатывания третьей зоны для на-  
правленного реле сопротивления (определяется из условия отстройки от наи-  
большого тока нагрузки  $I_{раб.мах}$  и наименьшего эксплуатационного напряже-  
ния  $U_{раб.мин}$  на шинах подстанции), Ом:

$$Z_{3сз} = \frac{0,9U_H}{\sqrt{3} \cdot I_{раб.мах} \cdot K_{сзн} \cdot K_H \cdot K_{\epsilon} \cdot \cos(\varphi_{мч} - \varphi_H)},$$

где  $I_{раб.мах}$  – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А;

$U_H$  – номинальное напряжение на шинах подстанции

$$(0,9U_n = U_{\text{раб.мин}})B;$$

$K_{\text{сзп}}$  – коэффициент самозапуска неотключившихся асинхронных электродвигателей,  $K_{\text{сзп}} = 2-3$ ;

$K_n$  – коэффициент надежности,  $K_n = 1,2 - 1,25$ ;

$K_B$  – коэффициент возврата реле,  $K_B = 0,85-0,9$ ;

$\varphi_{\text{мч}}$  – угол максимальной чувствительности направленного реле сопротивления,  $^{\circ}$ ;

$\varphi_n$  – угол нагрузки между вектором тока  $I_{\text{раб.мах}}$  и вектором напряжения  $U_{\text{раб.мин}}$ ,  $\varphi_n = 30 - 40^{\circ}$ .

2.5. Рассчитать коэффициент чувствительности защиты третьей зоны:

$$K_{\text{чз}} = \frac{Z_{\text{зсз}}}{Z_{11} + Z_{12}} \gg 1,2$$

Сделать вывод о чувствительности релейной защиты.

2.6. Рассчитать уставку сопротивления срабатывания реле, Ом:

$$Z_{\text{у.ср}} = Z_{\text{сз}} \frac{K_I}{K_U},$$

где  $K_I$  – коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока;

$K_U$  – коэффициент трансформации измерительного трансформатора напряжения.

3. Начертить диаграмму селективности трехступенчатой направленной дистанционной защиты. Описать работу ступеней защит при коротком замыкании в точке К (точка КЗ задается преподавателем).

#### Контрольные вопросы.

1. В сетях какого напряжения применяют дистанционную защиту?
2. Назовите достоинства и недостатки дистанционной защиты.
3. Каким образом обеспечивается селективное действие трехступенчатой направленной дистанционной защиты?
4. Какие реле в дистанционной защите являются измерительными органами?

## Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные.
3. Принципиальная схема дистанционной направленной трехступенчатой защиты линии электропередачи .
4. Расчет дистанционной направленной трехступенчатой защиты линии электропередачи.
5. Диаграмма селективности трехступенчатой направленной дистанционной защиты линии электропередачи с описанием работы ступеней при КЗ в заданной точке.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Тема: Расчет МТЗ и ТО силового трансформатора

Цель работы: научиться рассчитывать токи срабатывания МТЗ и ТО силового трансформатора, определять чувствительность релейных защит.

Исходные данные:

1.  $I_{к.min1}$  – минимальный ток трехфазного КЗ в месте установки защит, кА;
2.  $I_{к.min2}$  – минимальный ток трехфазного КЗ за трансформатором, кА;
3.  $I_{к.max}$  – максимальный ток трехфазного КЗ на шинах вторичного напряжения одиночно работающего трансформатора, кА;
4.  $S_{H.TP}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА;
5.  $U_{H1}$  – номинальное напряжение первичной обмотки силового трансформатора, кВ;
6.  $U_{H2}$  – номинальное напряжение вторичной обмотки силового трансформатора, кВ;
7. Схема соединения трансформаторов тока и реле тока (задается преподавателем: полная звезда, неполная звезда, полный треугольник, неполный треугольник).

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 1.5.1.

Порядок выполнения работы

1. Начертить совмещенную схему МТЗ и ТО силового двухобмоточного трансформатора.
2. Выполнить расчет МТЗ и ТО силового двухобмоточного трансформатора.
  - 2.1. Рассчитать МТЗ силового двухобмоточного трансформатора.
    - 2.1.1. Рассчитать ток срабатывания МТЗ, А:

$$I_{с.мтз} = \frac{K_H \cdot K_{сзп} \cdot I_{раб.маx}}{K_B},$$

где  $K_H$  – коэффициент надежности,  $K_H = 1,1 - 1,2$ ;

$K_{сзп}$  – коэффициент, учитывающий увеличение нагрузки при самозапуске неотключившихся двигателей после восстановления напряжения,  $K_{сзп} = 2 - 3$ ;

$K_B$  – коэффициент возврата реле,  $K_B = 0,85 - 0,9$ ;

$I_{раб.маx}$  – максимальный рабочий ток первичной обмотки силового трансформатора, А.

Таблица 1.5.1 – Исходные данные для расчетов

Вариант	$S_{Н.Тр}$ , кВА	$U_{Н1}$ , кВ	$U_{Н2}$ , кВ	$I_{к.min2}$ , кА	$I_{к.max}$ , кА	$I_{к.min1}$ , кА	$K_{сзп}$	Схема соед.
1	4000	10	0,4	1,5	2,1	1	2,5	Неполная "звезда" с 2 реле
2	6300	35	0,4	9,1	12,2	3	2	Полная "звезда" с 3 реле
3	10000	35	10	1,9	2,9	1,2	2,5	"Δ" с 3 реле
4	1600	35	10	2,0	2,1	1,5	3	"Δ" с 2 реле
5	2500	110	10	2,6	3,8	1,4	2	"Δ" с 3 реле
6	4000	35	10	4,5	6,0	2,5	2,5	Полная "звезда" с 3 реле
7	2500	10	0,4	6,8	8,0	2,5	3	Неполная "звезда" с 2 реле
8	16000	10	0,4	5,0	7,2	1,5	2	Неполная "звезда" с 2 реле
9	100	10	0,4	4,0	5,6	1,3	2,5	Неполная "звезда" с 2 реле
10	10000	110	10	16	21	10	2	Полная "звезда" с 3 реле
11	4000	10	0,4	2,5	6,8	1,6	2,5	Неполная "звезда" с 2 реле
12	6300	35	0,4	8,6	14,5	2,8	2	Полная "звезда" с 3 реле
13	10000	35	10	2,0	2,1	1,5	2,5	"Δ" с 3 реле
14	1600	35	10	1,9	2,9	1,2	3	"Δ" с 2 реле
15	2500	110	10	2,8	4,0	1,6	2	"Δ" с 3 реле
16	4000	35	10	4,7	6,3	2,7	2,5	Полная "звезда" с 3 реле
17	2500	10	0,4	7,0	8,4	2,8	3	Неполная "звезда" с 2 реле
18	16000	10	0,4	5,2	7,6	1,7	2	Неполная "звезда" с 2 реле
19	100	10	0,4	4,3	5,8	1,5	2,5	Неполная "звезда" с 2 реле
20	10000	110	10	18	23	12	2	Полная "звезда" с 3 реле
21	4000	10	0,4	1,3	1,9	1	2,5	Неполная "звезда" с 2 реле
22	6300	35	0,4	9,0	12,0	2,8	2	Полная "звезда" с 3 реле
23	10000	35	10	1,7	2,7	1,0	2,5	"Δ" с 3 реле
24	1600	35	10	1,9	4,1	1,3	3	"Δ" с 2 реле
25	2500	110	10	2,4	3,6	1,2	2	"Δ" с 3 реле
26	4000	35	10	4,3	5,8	2,3	2,5	Полная "звезда" с 3 реле
27	2500	10	0,4	6,6	7,8	2,4	3	Неполная "звезда" с 2 реле
28	16000	10	0,4	4,8	7,0	1,3	2	Неполная "звезда" с 2 реле
29	100	10	0,4	3,7	5,4	1,1	2,5	Неполная "звезда" с 2 реле
30	10000	110	10	14	19	8	2	Полная "звезда" с 3 реле

Максимальный рабочий ток первичной обмотки силового трансформатора определяется по формуле:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{S_{\text{н.тп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н1}}},$$

2.1.2. Рассчитать ток уставки срабатывания реле, А:

$$I_{\text{y.ср}} = \frac{I_{\text{с.мтз}}}{K_1} \cdot K_{\text{сх}},$$

где  $K_{\text{сх}}$  – коэффициент схемы, при включении реле на фазные токи (схема соединения ТА полная или неполная звезда)  $K_{\text{сх}} = 1$ , при включении реле на разность фазных токов (схема соединения ТА полный или неполный треугольник)  $K_{\text{сх}} = \sqrt{3}$ ;

$K_1$  = коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока.

Для определения  $K_1$  необходимо по рабочему току  $I_{\text{раб.мах}}$  выбрать измерительный трансформатор тока с первичным током  $I_{\text{н1}} \gg I_{\text{раб.мах}}$ . Коэффициент трансформации рассчитать по формуле:

$$K_1 = \frac{I_{\text{н1}}}{I_{\text{н2}}},$$

где  $I_{\text{н2}}$  – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока,  $I_{\text{н2}} = 5\text{А}$ .

2.1.3. Рассчитать коэффициент чувствительности МТЗ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{р.мин}}^{(2)}}{I_{\text{y.ср}}},$$

где  $I_{\text{р.мин}}^{(2)}$  – наибольший из вторичных токов, протекающих в одном из реле защиты при двухфазном КЗ за трансформатором в минимальном режиме работы схемы, А.

Формулы для расчета  $I_{\text{р.мин}}^{(2)}$  приведены в таблице 1.5.2.

МТЗ является чувствительной, если коэффициент чувствительности  $K_{\text{ч}} \gg 1,5$ .

Таблица 1.5.2 - Формулы для расчета тока двухфазного КЗ за трансформатором

Схема соединения ТА	Коэффициент схемы $K_{СХ}$	Расчетные формулы
полная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{I_{K.min 2}}{K_I}$
неполная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{0,5I_{K.min 2}}{K_I}$
полный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{1,5I_{K.min 2}}{K_I}$
неполный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{1,5I_{K.min 2}}{K_I}$

2.2. Рассчитать ТО силового трансформатора.

2.2.1. Рассчитать ток срабатывания ТО, кА:

$$I_{с.то} = K_n \cdot I_{к.мах},$$

где  $K_n$  – коэффициент надежности,  $K_n = 1,4$ .

Рассчитать ток уставки срабатывания реле, А:

$$I_{у.сп} = \frac{I_{с.то}}{K_I \cdot K_T},$$

$K_T$  – коэффициент трансформации защищаемого трансформатора.

Коэффициент трансформации силового трансформатора определяется по формуле:

$$K_T = \frac{U_{H1}}{U_{H2}},$$

где  $U_{H1}$  и  $U_{H2}$  – номинальные напряжения первичной и вторичной обмоток силового трансформатора соответственно, кВ.

2.2.2. Рассчитать коэффициент чувствительности ТО:

$$K_{ч} = \frac{I_{p.min}^{(2)}}{I_{у.сп}},$$

где  $I_{p.min}^{(2)}$  – наибольший из вторичных токов, протекающих в одном из реле защиты при двухфазном КЗ в минимальном режиме работы схемы, А.

Формулы для расчета  $I_{p.min}^{(2)}$  приведены в таблице 1.5.3.

Таблица 1.5.3 - Формулы для расчета тока двухфазного КЗ в месте установки защиты

Схема соединения ТА	Коэффициент схемы $K_{СХ}$	Расчетные формулы
полная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}I_{к.min 1}}{K_I}$
неполная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}I_{к.min 1}}{2K_I}$
полный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}I_{к.min 1}}{K_I}$
неполный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}I_{к.min 1}}{2K_I}$

ТО является чувствительной, если коэффициент чувствительности  $K_{\text{ч}} \gg 1,5$ .

**Примечание:** при расчете коэффициентов чувствительности МТЗ и ТО необходимо учитывать, чтобы токи  $I_{p.min}^{(2)}$  и  $I_{y.cp}$  имели одинаковые единицы измерения.

3. Пояснить действие МТЗ и ТО при коротком замыкании в точке К (точка короткого замыкания К задается преподавателем).

#### Контрольные вопросы.

1. На какие выключатели воздействуют МТЗ и ТО при коротком замыкании в защищаемом трансформаторе?
2. У реле тока какой защиты ток уставки срабатывание реле больше?
3. Назовите достоинства и недостатки МТЗ и ТО силового трансформатора.

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Исходные данные.

3. Совмещенная схема МТЗ и ТО двухобмоточного силового трансформатора.

4. Расчет МТЗ и ТО двухобмоточного силового трансформатора.

5. Описание действия каждой из защит в заданной точке КЗ.

7. Ответы на контрольные вопросы.

8. Вывод.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Тема: Ознакомление с оборудованием энергодиспетчерского пункта

Цель работы: практически ознакомиться с составом оборудования энергодиспетчерского пункта и установить порядок формирования команд телеуправления и работу в режиме приема информации.

Оборудование и приборы:

- Рабочее место энергодиспетчера (персональный компьютер, оснащенный программой рабочего места энергодиспетчера);
- Сигнальные (щитовые) мониторы;
- Компьютерная программа, моделирующая прием информации от контролируемых пунктов.

Краткие теоретические сведения

В настоящее время в дистанциях электроснабжения применяются системы телемеханики различных поколений.

В старых системах телемеханики алгоритм работы реализован в схемах, то есть, выполнен с помощью жесткой (монтажной) логики. Такие системы были выполнены на основе электронной и микроэлектронной элементной базы, имеют ограниченные возможности по объему передаваемой информации. Для передачи команд управления в таких системах, как правило, применяется пульт управления, передающий полукомплект телеуправления (стойка диспетчерского пункта) и частотный передатчик. Новые системы телемеханики выполняются на основе микропроцессорных устройств, и алгоритм работы реализуется в них программно. В этом случае на энергодиспетчерском пункте устанавливаются несколько персональных компьютеров, соединенных в локальную сеть.

Примерная структурная схема аппаратуры рабочего места энергодиспетчера для микропроцессорной системы телемеханики представлена на рисунке 1.6.1.

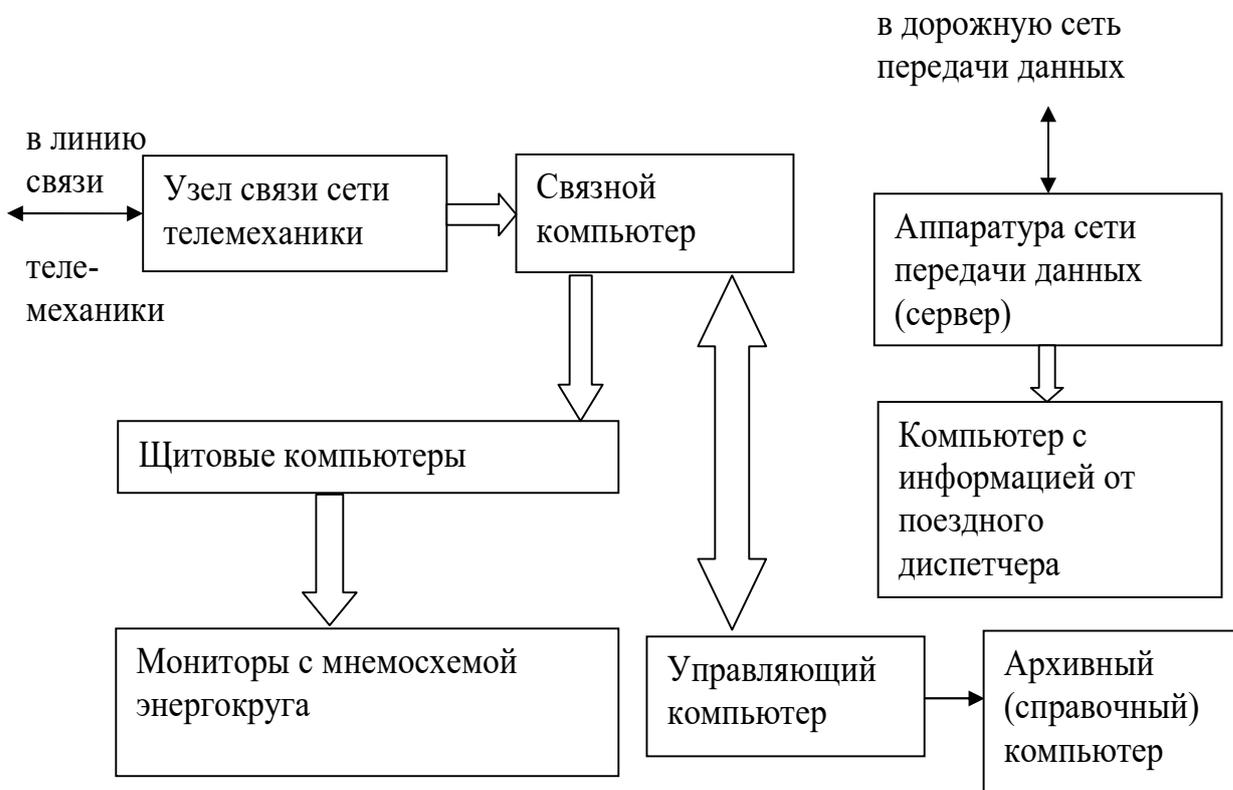


Рисунок 1.6.1. Структурная схема энергодиспетчерского пункта.

С помощью управляющего компьютера энергодиспетчер осуществляет оперативные переключения. Щитовые компьютеры управляют мониторами, на которых в реальном масштабе времени отображается состояние объектов управления на тяговых подстанциях, разъединителей контактной сети, выключателей и разъединителей автоблокировки, и т.д. В архивном компьютере содержится вся информация по телеуправлению, телесигнализации и требуемые данные по телеизмерениям и диагностике. На управляющем компьютере может быть установлена программа автоматизированного рабочего места энергодиспетчера, позволяющая оформлять приказы, заявки и распоряжения в автоматизированном режиме.

## Порядок выполнения работы

1. Определить назначение оборудования энергодиспетчерского пункта, данные занести в таблицу 1.6.1.

Таблица 1.6.1 – Состав оборудования энергодиспетчерского пункта

Наименование оборудования	Назначение	Технические данные	Присоединенная аппаратура	Вид соединительных кабелей

2. Зарисовать функциональную схему рабочего места энергодиспетчера.

3. Определить и записать в отчет количество контролируемых пунктов, обслуживаемых энергодиспетчерским кругом, виды параметрической и диагностической информации.

4. С помощью инструкции для энергодиспетчера по работе в системе телемеханики составить алгоритм действий персонала при передаче команд на включение (отключение) объектов телеуправления на заданном преподавателем контролируемом пункте.

Зарисовать или выписать в отчет данные по изменению графических обозначений и надписей при успешной передаче команды и при ее блокировке или несрабатывании.

5. Изучить структуру и форму отображения архива энергодиспетчера (при наличии соответствующей программы) и составить сообщения, которые должны появиться в архиве при выполнении операций п.4.

6. При введенном в работу оборудовании рабочего места энергодиспетчера по заданию преподавателя подать подтверждающую команду на один из объектов телеуправления и проследить за положением световых индикаторов на элементах узла связи.

7. Изучить мнемосхему энергокруга и выписать условные обозначения оборудования, а также телеизмерительную информацию и виды

общеподстанционной сигнализации (аварийной и предупредительной), выводимые на экран монитора.

8. С помощью моделирующего стенда имитировать срабатывание телесигнализации 2-3 контролируемых объектов и пронаблюдать изменение условных обозначений. Результаты наблюдения занести в отчет.

9. В программе архива определить информацию, соответствующую сработавшим объектам, и выписать в отчет.

10. Снять питание с оборудования.

#### Контрольные вопросы.

1. Как обеспечивается сохранение информации о произведенных энергодиспетчером действиях?
2. Что входит в состав аппаратуры каналов связи энергодиспетчерского пункта?
3. Сигнализация включенного (отключенного) положения объектов управления.
4. Перечислите порядок действий энергодиспетчера при подаче команды телеуправления.
5. Какими условными обозначениями на мнемосхеме определяется включенное (отключенное) положение объектов управления?
6. Перечислите виды аварийной сигнализации, выводимые на монитор рабочего места энергодиспетчера.
7. Какая телеизмерительная информация поступает на энергодиспетчерский пункт?
8. Какие сообщения поступают при нарушении связи с контролируемыми пунктами?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Функциональная схема оборудования рабочего места энергодиспетчера.

3. Заполненная таблица 1.6.1.
4. Техническая характеристика оборудования рабочего места энергодиспетчера.
5. Алгоритм действий персонала при подаче заданной команды телеуправления и составленные сообщения архива.
6. Условные обозначения, применяемые на мнемосхеме энергокруга.
7. Виды аварийной и предупредительной сигнализации.
8. Параметрическая информация, принимаемая на энергодиспетчерском пункте.
9. Сообщения архива
10. Вывод об особенностях работы оборудования в режиме телеуправления и телесигнализации.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

Тема: Ознакомление с аппаратурой телемеханики контролируемого пункта (подстанции)

Цель работы: практически ознакомиться с составом оборудования контролируемого пункта и установить порядок приема сведений о состоянии объектов телесигнализации в изучаемой системе телемеханики.

Оборудование и приборы:

- Стойка телемеханики контролируемого пункта;
- Операторская станция (промышленный компьютер);
- Стенд для проверки работы стойки телемеханики в режиме телесигнализации;
- Руководство по эксплуатации изучаемой стойки телемеханики.

Порядок выполнения работы

1. Ответить на вопросы преподавателя по составу оборудования контролируемого пункта и его назначению.
2. По заданию преподавателя выборочно определить соответствие между подключаемыми объектами телесигнализации, клеммниками стойки и модулями первоначального преобразования сигналов. Данные занести в таблицу 1.7.1.

Таблица 1.7.1 – Данные объектов телесигнализации

Объект телесигнализации	Номер ТС	Назначение	Номер клеммы	Номер в модуле (код ТС)

3. Зарисовать структурную схему стойки контролируемого пункта (обозначить на ней модули, работающие в режиме приема телесигнализации). Определить назначение отдельных модулей стойки.

3. Определить и записать в отчет количество объектов телесигнализации.

4. С помощью руководства по эксплуатации шкафа телемеханики составить алгоритм работы элементов стойки при опросе заданных объектов телесигнализации. Определить, в каких случаях формируются сигналы о наличии неисправностей.

Зарисовать или выписать в отчет данные по изменению графических обозначений и надписей на экране компьютера при изменении состояния объектов ТС и при срабатывании аварийной и предупредительной сигнализации.

5. Подать питание на стойку телемеханики. С помощью светодиодной индикации убедиться в ее успешном запуске. Под контролем преподавателя включить управляющий компьютер и запустить программу с функцией телесигнализации. При введенном в работу оборудовании по заданию преподавателя изменить положение объектов телесигнализации (нажать кнопки проверки телесигнализации на испытательном стенде). Проследить за положением световых индикаторов на испытательном стенде стойки, на модулях первоначального преобразования информации, а также изменение цвета обозначений на мониторе компьютера. Выписать в отчет результаты наблюдения.

#### Контрольные вопросы.

1. От чего зависит количество объектов телесигнализации на контролируемом пункте? Можно ли изменить количество объектов в изучаемой системе телемеханики?
2. В какой момент времени происходит сохранение информации об изменении состояния объектов ТС?

3. Каким образом организована гальваническая развязка при передаче сигналов ТС между оперативными цепями и цепями стойки телемеханики?
4. Какой элемент стойки определяет номер опрашиваемого в данный момент времени объекта телесигнализации?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема стойки контролируемого пункта.
3. Заполненная Таблица 1.7.1.
4. Техническая характеристика стойки контролируемого пункта в части объектов телесигнализации.
5. Алгоритм работы элементов стойки при опросе объектов телесигнализации.
6. Вывод об особенностях работы оборудования контролируемого пункта в режиме телесигнализации.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

Тема: Изучение конструкции стойки контролируемого пункта

Цель работы: практически ознакомиться со структурой и основными элементами шкафа контролируемого пункта и установить порядок взаимодействия его с операторской станцией и управляемыми объектами.

Оборудование и приборы:

- Стойка телемеханики контролируемого пункта;
- Операторская станция (промышленный компьютер);
- Стенд для проверки работы стойки телемеханики;
- Руководство по эксплуатации изучаемой стойки телемеханики.

Краткие теоретические сведения

В системах телемеханики на контролируемых пунктах (тяговых подстанциях, постах секционирования и т.д.) устанавливаются стойки или шкафы контролируемых пунктов (КП). Это оборудование может выполнять функции приема серий телеуправления (стойки ТУ КП) или передачи серий телесигнализации (стойки ТС КП). В микропроцессорных системах на контролируемых пунктах устанавливается только одна стойка, которая работает и в режиме телеуправления, и в режиме телесигнализации, а также позволяет собирать телеизмерительную и диагностическую информацию и передавать ее на энергодиспетчерский пункт по линиям связи различного типа.

Стойки или шкафы контролируемых пунктов могут иметь различные модификации. Как правило, в их состав входит микропроцессорный контроллер (один или несколько), блок питания, узел связи (модем), устройство для декодирования сигналов управления, устройство для первичного преобразования дискретных сигналов (телесигнализации),

клеммы для подключения цепей телеуправления и телесигнализации, дополнительные адаптеры для подключения устройств телеизмерения. Для передачи команд в оперативные цепи применяются специальные малогабаритные промежуточные реле, устанавливаемые в модуле стойки контролируемого пункта. Количество объектов телеуправления и телеконтроля может варьироваться в зависимости от типа контролируемого пункта. Если на контролируемом пункте предусмотрено постоянное дежурство, то кроме стойки КП на нем устанавливается промышленный компьютер для дистанционного управления объектами. Организация сохранения и предоставления информации в таком компьютере аналогична оборудованию диспетчерского пункта.

#### Порядок выполнения работы

1. Определить назначение оборудования контролируемого пункта, данные занести в таблицу 1.8.1.

Таблица 1.8.1 – Состав оборудования контролируемого пункта

Наименование оборудования	Назначение	Технические данные	Присоединенная аппаратура	Вид соединительных кабелей

2. Зарисовать структурную схему шкафа контролируемого пункта. Определить назначение отдельных модулей шкафа и выписать их в отчет.
3. Определить и записать в отчет количество объектов телеуправления и телесигнализации.
4. С помощью руководства по эксплуатации шкафа телемеханики составить алгоритмы работы элементов шкафа при приеме команды телеуправления и сборе данных телесигнализации. Определить, в каких случаях выполнение команды будет блокироваться.
5. Подать питание на стойку телемеханики. С помощью светодиодной индикации убедиться в ее успешном запуске.

5.1. Под контролем преподавателя включить управляющий компьютер и запустить программу с функцией телеуправления. При введенном в работу оборудовании по заданию преподавателя подать подтверждающую команду на один из объектов телеуправления. Проследить за положением световых индикаторов на испытательном стенде стойки. Выписать в отчет результаты наблюдения.

5.2. Под контролем преподавателя произвести переключение объектов телемеханики вручную. Проследить за положением световых индикаторов телесигнализации на испытательном стенде стойки. Выписать в отчет результаты наблюдения.

#### Контрольные вопросы.

1. Какие модули стойки контролируемого пункта определяют скорость выполнения команды и объем передаваемой информации?
2. Что входит в состав аппаратуры шкафа телемеханики?
3. В каком случае выполнение команды телеуправления будет заблокировано?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема шкафа контролируемого пункта.
3. Заполненная таблица 1.
4. Техническая характеристика шкафа контролируемого пункта.
5. Алгоритм работы элементов стойки при приеме команды телеуправления и сбора данных телесигнализации.
6. Вывод об особенностях работы оборудования контролируемого пункта.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

Тема: Построение схемы сбора и передачи информации на контролируемом пункте.

Цель работы: закрепить знания об устройствах телемеханики путем практического построения схемы сбора и передачи информации на контролируемом пункте (подстанции) и определения количества объектов телеуправления и телесигнализации.

Исходные данные: однолинейная схема подстанции (тяговой или трансформаторной), технические характеристики аппаратуры телемеханики – шкафов системы АСТМУ (КП-Б или КП-М).

### Порядок выполнения работы

1. Используя однолинейную схему тяговой подстанции, определить количество объектов телеуправления.
2. Составить таблицу с указанием телеизмерительной информации и телесигнализации по выбранным объектам.

Таблица 1.9.1 – Телеизмерительная информация и объекты ТС, ТУ

Распределительное устройство	Объект телеуправления	Функции телесигнализации (управление, релейная защита)	Функции телеизмерения и диагностики

Составить структурную схему сбора и передачи информации.

3. Подсчитать общее количество объектов телесигнализации и телеуправления, результаты расчета свести в таблицу 1.9.2.

Таблица 1.9.2 – Общее количество объектов телемеханики

Распределительное устройство	Количество объектов ТУ	Количество объектов ТС	Количество токовых петель для телеизмерительной информации
Итого			

5. Определить требуемое количество модулей мультиплексоров телеуправления и телесигнализации и выбрать требуемую стойку телемеханики (шкаф КП-Б или КП-М).

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Тип заданой подстанции, перечень распределительных устройств, количество фидеров каждого вторичного РУ.
3. Заполненная таблица 1.9.1.
4. Структурная схема сбора и передачи информации.
5. Заполненная таблица 1.9.2.
6. Вывод с указанием требуемого количества мультиплексоров и выбранной стойки телемеханики (шкафа КП-Б или КП-М).

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10

Тема: Исследование взаимодействия шкафа управления подстанцией и рабочего места энергодиспетчера при передаче команд телеуправления

Цель работы: практически ознакомиться с особенностями конструкции шкафа управления подстанцией и установить порядок приема и реализации команд телеуправления.

Оборудование и приборы:

- Шкаф управления подстанцией;
- Рабочее место энергодиспетчера;
- Инструкция энергодиспетчера;
- Руководство по эксплуатации шкафа управления подстанцией.

Порядок выполнения работы

1. Изучить структурную схему оборудования энергодиспетчерского пункта и зарисовать в отчет.
2. Определить назначение модулей шкафа управления подстанцией, данные занести в таблицу 1.10.1.

Таблица 1.10.1 Модули шкафа управления подстанцией

Наименование оборудования	Назначение	Присоединенная аппаратура

3. Зарисовать структурную схему шкафа управления подстанцией.
4. Определить и записать в отчет количество объектов телеуправления.
5. С помощью руководства по эксплуатации шкафа управления подстанцией и инструкции энергодиспетчера составить алгоритм работы элементов шкафа при приеме команды телеуправления для заданного преподавателем объекта. Определить, в каких случаях выполнение команды будет блокироваться.

Зарисовать или выписать в отчет данные по изменению графических обозначений и надписей на экране компьютера при успешном выполнении команды и при ее блокировке или несрабатывании.

6. Изучить структуру и форму отображения архива компьютера (при наличии соответствующей программы) и составить сообщения, которые должны появиться в архиве при выполнении операций п.5.

7. Подать питание на ячейки распределительных устройств и на шкаф управления подстанцией. При введенном в работу оборудовании по заданию преподавателя подать подтверждающую команду на один из объектов телеуправления. Проследить за положением сигналов на экране монитора шкафа. Выписать в отчет результаты наблюдения.

#### Контрольные вопросы.

1. Какие элементы ШУП определяют скорость выполнения команды и объем передаваемой информации?
2. Что входит в состав аппаратуры шкафа управления подстанцией?
3. В каком случае выполнение команды телеуправления будет заблокировано?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема энергодиспетчерского пункта
3. Структурная схема шкафа управления подстанцией.
4. Заполненная таблица 1.10.1.
5. Алгоритм работы элементов шкафа при передаче команды телеуправления и составленные сообщения архива.
6. Вывод об особенностях работы оборудования шкафа управления подстанцией в режиме телеуправления.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11

Тема: Исследование взаимодействия шкафа управления подстанцией и рабочего места энергодиспетчера при приеме телесигнализации

Цель работы: практически ознакомиться с особенностями сбора информации шкафом управления подстанцией и установить порядок приема сведений о состоянии объектов телесигнализации, параметрической и диагностической информации с контролируемых присоединений.

Оборудование и приборы:

- Шкаф управления подстанцией;
- Рабочее место энергодиспетчера;
- Инструкция энергодиспетчера;
- Руководство по эксплуатации шкафа управления подстанцией;
- Микропроцессорные устройства, осуществляющие первоначальные преобразования и сохранение параметрической информации, диагностику присоединения, совместимое со стойкой телемеханики;
- Испытательный стенд.

Порядок выполнения работы

1. Определить назначение модулей шкафа управления подстанцией, выполняющих функции сбора сведений о состоянии объектов телесигнализации.
3. Определить и записать в отчет количество объектов телесигнализации с учетом общеподстанционной телесигнализации.
4. С помощью руководства по эксплуатации (шкафа) телемеханики или по материалам конспекта составить алгоритм работы элементов ШУП при опросе заданных объектов телесигнализации. Определить, в каких случаях формируются сигналы о наличии неисправностей.

5. Зарисовать или выписать в отчет данные по изменению графических обозначений и надписей на экране компьютера при изменении состояния объектов ТС и при срабатывании аварийной и предупредительной сигнализации.
6. Определить назначение оборудования контролируемого пункта, выполняющего функции телеизмерения, данные занести в таблицу 1.11.1.

Таблица 1.11.1 – Организация сбора телеизмерительной информации

Наименование оборудования	Назначение	Технические данные (в части телеизмерений)	Присоединенная аппаратура	Вид соединительных кабелей

7. Определить и записать в отчет количество объектов телеизмерения, виды параметрической информации, диапазон измеряемых величин, коэффициенты передачи при преобразовании сигналов.
8. Подать питание на микропроцессорные устройства, испытательный стенд, пронаблюдать за изменениями показаний параметров присоединений, результаты наблюдений занести в отчет.
9. Определить назначение оборудования контролируемого пункта, выполняющего функции диагностики, данные занести в таблицу 1.11.2.

Таблица 1.11.2 – Организация сбора диагностической информации

Наименование оборудования	Функции диагностики	Вид присоединенного высоковольтного оборудования	Способ передачи информации

10. Определить и записать в отчет количество объектов диагностики, собираемые данные, диапазон измеряемых величин.

11. Снять питание с испытательного стенда, микропроцессорных устройств, шкафа управления подстанцией.

#### Контрольные вопросы.

1. Какой элемент стойки определяет номер опрашиваемого в данный момент времени объекта телесигнализации?
2. Как осуществляется преобразование измеряемых сигналов с целью передачи их по каналам телемеханика?
3. От чего зависит максимальный объем передаваемой информации?
4. Какие предварительные данные необходимо занести в микропроцессорное устройство для организации диагностики?
5. С какой целью осуществляется сбор данных о механическом и коммутационном ресурсе высоковольтного выключателя?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Назначение модулей ШУП, выполняющих функции сбора информации.
3. Количество объектов телесигнализации.
4. Алгоритм работы элементов ШУП при опросе объектов телесигнализации.
5. Данные по изменению графических обозначений.
6. Заполненная таблица 1.11.1.
7. Данные по параметрической информации.
8. Заполненная таблица 1.11.2.
9. Данные по диагностической информации.
10. Вывод об особенностях работы оборудования шкафа управления подстанцией в режиме телесигнализации, сбора параметрической и диагностической информации.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Исследование работы реле тока

Цель работы: ознакомиться с принципом действия электромагнитного реле тока, способами регулирования параметров срабатывания, определить коэффициент возврата и погрешность реле, пригодность реле к эксплуатации.

Оборудование и приборы:

*AT* – автотрансформатор TDGC ( $U_n = 0-250$  В);

*TLA* – нагрузочный трансформатор ( $U_{n1} = 300$  В,  $U_{n2} = 12$  В,  $S_n = 300$  ВА)

*KA* – исследуемое реле тока;

*HL*- сигнальная лампа;

*PA* – мультиметр (амперметр).

*PV* – мультиметр (вольтметр).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия исследуемого реле тока. В таблицу 2.1.1 записать характеристики реле.

Таблица 2.1.1 - Характеристики реле тока

Марка реле тока	Номинальный ток $I_n$ , А	Пределы уставок по току при последовательном соединении обмоток	Пределы уставок по току при параллельном соединении обмоток

2. Собрать электрическую схему. Соединить обмотки реле тока последовательно.

3. Регулятор тока уставки выставить на минимальное значение.

4. Дать проверить схему преподавателю.

5. Включить лабораторный стенд. С помощью автотрансформатора  $AT$  плавно повышать напряжение (при этом ток в цепи обмоток реле тоже будет повышаться) до замыкания контактов реле (загорится сигнальная лампа). По амперметру  $PA$  определить ток срабатывания реле  $I_{ср}$ . Плавно снижая автотрансформатором напряжение, добиться возврата контактов реле в начальное состояние (гаснет сигнальная лампа). По амперметру определить ток возврата реле  $I_{вр}$ . Результаты измерений занести в таблицу 2.1.2.

6. Регулятор тока уставки реле выставить на максимальное значение. Повторить измерения, указанные в п.5. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.2.

7. Регулятор тока уставки реле выставить на значение, заданное преподавателем. Повторить измерения, указанные в п.5. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.2.

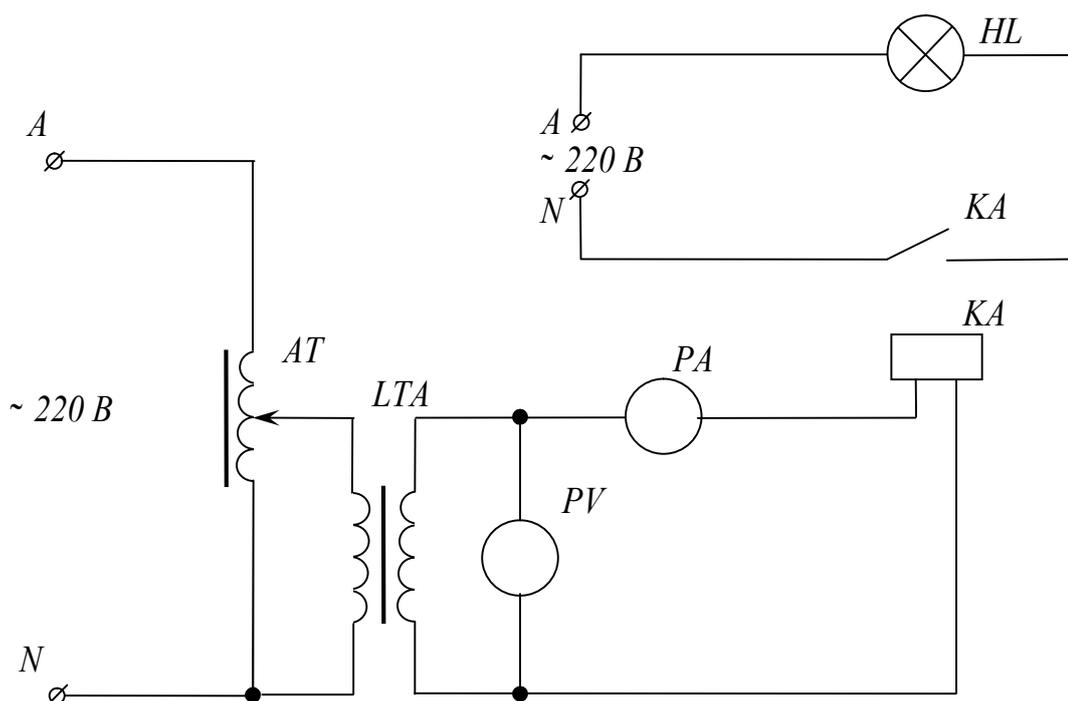


Рисунок. 2.1.1. Электрическая схема испытания реле тока

8. Отключить стенд. Обмотки реле тока соединить параллельно. Дать проверить схему преподавателю. Включить стенд. Выполнить измерения при минимальном, максимальном и заданном преподавателем значениях тока уставки. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.3.

9. Отключить стенд.

10. Рассчитать коэффициенты возврата для каждого из значений токов уставки по формуле

$$K_B = \frac{I_{\text{вр}}}{I_{\text{ср}}},$$

$$K_{B.\text{ср}} = \frac{K_{\text{с1}} + K_{\text{с2}} + K_{\text{с3}} + K_{\text{с4}} + K_{\text{с5}}}{5},$$

Результаты расчетов занести в таблицы 2.1.2 и 2.1.3.

11. Для одной рабочей уставки, заданной преподавателем, определить значение погрешности тока срабатывания реле по формуле

$$\gamma = \frac{I_{\text{ср.ср}} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{уст}}} \cdot 100\%,$$

$$I_{\text{ср.ср}} = \frac{I_{\text{ср1}} + I_{\text{ср2}} + I_{\text{ср3}} + I_{\text{ср4}} + I_{\text{ср5}}}{5},$$

Таблица 2.1.2 - Результаты измерений и расчетов при последовательном соединении обмоток реле

Ток уставки реле $I_{\text{уст}}$ , А	Ток срабатывания реле $I_{\text{ср}}$ , А	Ток возврата реле $I_{\text{вр}}$ , А	Коэффициент возврата $K_B$	Среднее значение коэффициента возврата $K_{\text{ср}}$
$I_{\text{уст.min}} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$I_{\text{уст.max}} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$I_{\text{уст.зад.}} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			

Таблица 2.1.3 - Результаты измерений и расчетов при параллельном соединении обмоток реле

Ток уставки реле $I_{уст}$ , А	Ток срабатывания реле $I_{ср}$ , А	Ток возврата реле $I_{вр}$ , А	Коэффициент возврата $K_v$	Среднее значение коэффициента возврата $K_{ср}$
$I_{уст.min} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$I_{уст.max} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$I_{уст.зад.} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			

12. Определить мощность, потребляемую обмотками реле тока при минимальной уставке по формуле

$$S = I_{уст.min} \cdot U_{ср},$$

где  $U_{ср}$  – значение напряжения в момент замыкания контактов реле тока, В.

Сделать вывод о качестве исследованного реле тока.

Контрольные вопросы.

1. От чего зависит ток срабатывания реле тока?
2. Какими способами регулируется ток срабатывания реле тока?
3. Почему при изменении соединения обмоток реле ток уставки изменяется?

## Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и приборов.
3. Таблица с характеристиками реле тока.
4. Электрическая схема испытания реле тока
5. Таблицы с результатами измерений и расчетов
6. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Исследование работы реле напряжения

Цель работы: ознакомиться с принципом действия электромагнитного реле напряжения, способами регулирования параметров срабатывания, определить коэффициент возврата и погрешность реле, пригодность реле к эксплуатации.

Оборудование и приборы:

*AT* – автотрансформатор TDGC ( $U_n = 0-250$  В);

*KV* – исследуемое реле напряжения;

*HL*- сигнальная лампа;

*PV* – мультиметр (вольтметр).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия исследуемого реле напряжения. В таблицу 2.2.1. записать характеристики реле.

Таблица 2.2.1 - Характеристики реле напряжения

Марка реле напряжения	Номинальное напряжение $U_n$ , В	Пределы уставок по напряжению при последовательном соединении обмоток	Пределы уставок по напряжению при параллельном соединении обмоток

2. Собрать электрическую схему. Соединить обмотки реле напряжения последовательно.

3. Регулятор уставки по напряжению выставить на минимальное значение.

4. Дать проверить схему преподавателю.

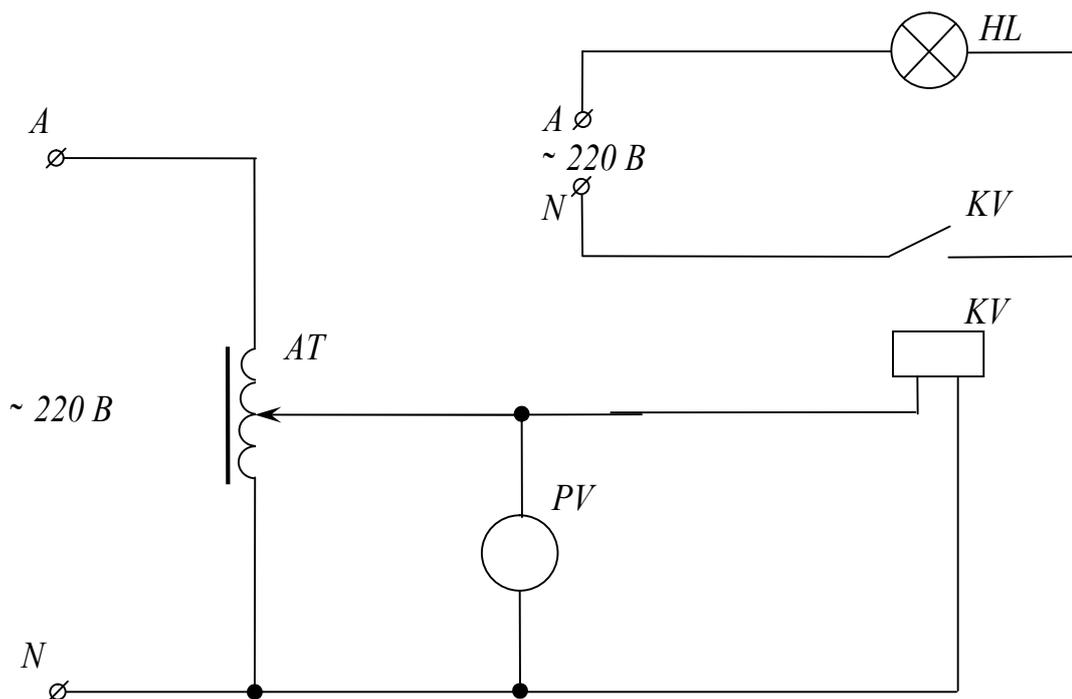


Рисунок 2.2.1. Электрическая схема испытания реле напряжения

5. Включить лабораторный стенд. С помощью автотрансформатора  $AT$  плавно повышать напряжение до замыкания контактов реле (загорится сигнальная лампа). По вольтметру  $PV$  определить напряжение срабатывания реле  $U_{ср}$ . Плавно снижая автотрансформатором напряжение, добиться возврата контактов реле в начальное состояние (гаснет сигнальная лампа). По вольтметру определить напряжение возврата реле  $U_{вр}$ . Результаты измерений занести в таблицу 2.2.2.

6. Регулятор уставки по напряжению реле выставить на максимальное значение. Повторить измерения, указанные в п.5. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.2.

7. Регулятор уставки по напряжению реле выставить на значение, заданное преподавателем. Повторить измерения, указанные в п.5. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.2.

8. Отключить стенд. Обмотки реле напряжения соединить параллельно. Дать проверить схему преподавателю. Включить стенд. Выполнить

измерения при минимальном, максимальном и заданном преподавателем значениях уставок. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.3.

9. Отключить стенд.

10. Рассчитать коэффициенты возврата для каждого из значений уставок по формуле:

$$K_B = \frac{U_{\text{вп}}}{U_{\text{сп}}},$$

$$K_{B,\text{ср}} = \frac{K_{\text{в}1} + K_{\text{в}2} + K_{\text{в}3} + K_{\text{в}4} + K_{\text{в}5}}{5},$$

Результаты расчетов занести в таблицы 2.2.2 и 2.2.3.

Таблица 2.2.2 - Результаты измерений и расчетов при последовательном соединении обмоток реле

Уставки реле $U_{\text{уст}}, \text{В}$	Напряжение срабатывания реле $U_{\text{сп}}, \text{В}$	Напряжение возврата реле $U_{\text{вп}}, \text{В}$	Коэффициент возврата $K_B$	Среднее значение коэффициента возврата $K_{\text{ср}}$
$U_{\text{уст.min}} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$U_{\text{уст.max}} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$U_{\text{уст.зад.}} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			

11. Для одной рабочей уставки, заданной преподавателем, определить значение погрешности напряжения срабатывания реле по формуле

$$\gamma = \frac{U_{\text{сп.ср}} - U_{\text{уст}}}{U_{\text{уст}}} 100\% \cdot$$

$$U_{\text{сп.ср.}} = \frac{U_{\text{сп1}} + U_{\text{сп2}} + U_{\text{сп3}} + U_{\text{сп4}} + U_{\text{сп5}}}{5},$$

Таблица 2.2.3 - Результаты измерений и расчетов при параллельном соединении обмоток реле

Уставки реле $U_{уст}, В$	Напряжение срабатывания реле $U_{ср}, В$	Напряжение возврата реле $U_{вр}, В$	Коэффициент возврата $K_v$	Среднее значение коэффициента возврата $K_{ср}$
$U_{уст.min} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$U_{уст.max} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			
$U_{уст.зад.} =$	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			

Сделать вывод о качестве исследованного реле напряжения.

#### Контрольные вопросы.

1. Укажите минимальное и максимальное значения уставок по напряжению реле напряжения РН-54/100 .

2. Какими способами регулируется напряжение срабатывания реле напряжения?

3. Как определить сопротивление цепей реле напряжения переменному току?

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и приборов.
3. Таблица с характеристиками реле напряжения.
4. Электрическая схема испытания реле напряжения.
5. Таблицы с результатами измерений и расчетов
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Исследование работы реле времени

Цель работы: ознакомиться с принципом действия электромагнитного реле времени, способами регулирования параметров срабатывания, определить разброс времени срабатывания, пригодность реле к эксплуатации.

Оборудование и приборы:

*AT* – автотрансформатор ( $U_H = 0-250$  В);

*KT* – исследуемое реле времени;

*HL* – сигнальная лампа;

*PV* – мультиметр (вольтметр);

*PA* – мультиметр (амперметр);

*PT* – электрический секундомер.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия исследуемого реле времени. В таблицу 2.3.1. записать характеристики реле.

Таблица 2.3.1 - Характеристики реле времени

Марка реле времени	Номинальное напряжение $U_H$ , В	Пределы уставок по времени $t_{уст}$ , с

2. Собрать электрическую схему. Контакт *S2* отсоединен (исключено одновременное замыкание контактов *S1* и *S2*).

3. Дать проверить схему преподавателю.

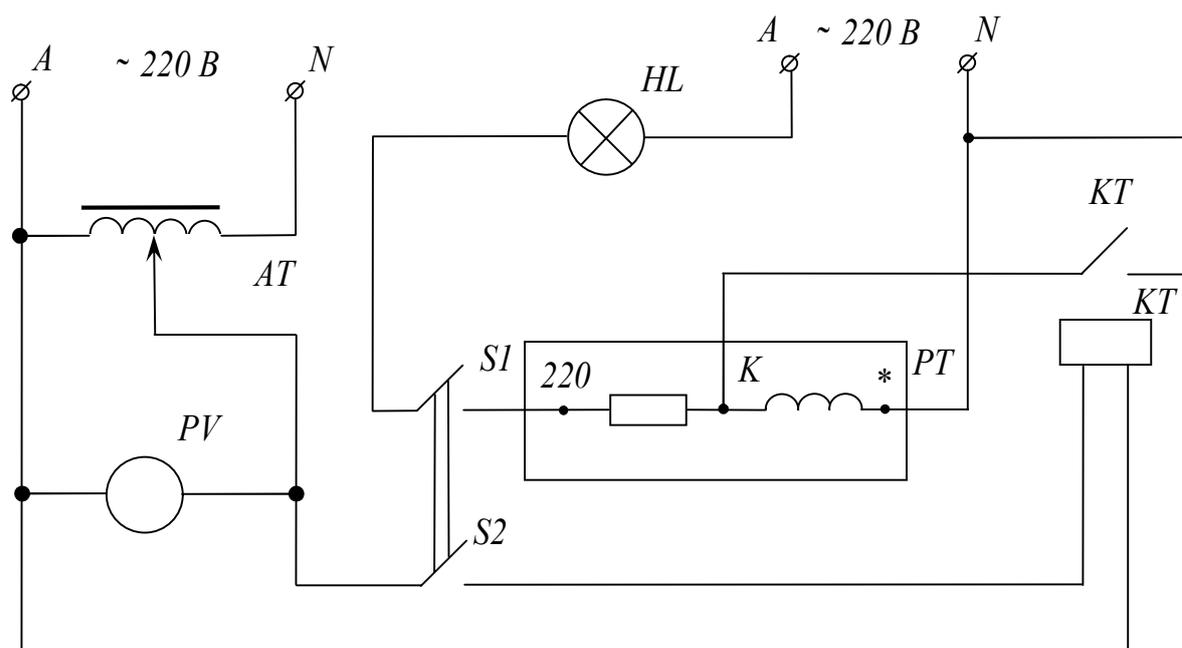


Рисунок 2.3.1. Электрическая схема испытания реле времени

4. Включить лабораторный стенд. С помощью автотрансформатора *AT* плавно повышать напряжение до срабатывания реле (якорь реле втягивается до упора). По вольтметру *PV* определить напряжение срабатывания реле  $U_{cp}$ . Плавно снижая автотрансформатором напряжение, по вольтметру *PV* определить значение напряжения возврата реле. Опыт повторить пять раз. Результаты измерений занести в таблицу 2.3.2. Отключить стенд.

Таблица 2.3.2 - Результаты измерений и расчетов коэффициентов возврата

Номинальное напряжение реле $U_n$ , В	Напряжение срабатывания реле $U_{cp}$ , В	Напряжение возврата реле $U_{ep}$ , В	Коэффициент возврата $K_B$	Среднее значение коэффициента возврата $K_{B,cp}$
	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			

Расчет коэффициентов возврата выполнить по формулам:

$$K_B = \frac{U_{ep}}{U_{cp}},$$

$$K_{B,cp} = \frac{K_{e1} + K_{e2} + K_{e3} + K_{e4} + K_{e5}}{5},$$

5. Внести изменение в схему – обеспечить одновременное замыкание контактов  $S1$  и  $S2$ . Дать проверить схему преподавателю.

6. Проверить время срабатывания реле на максимальной, минимальной и рабочей (заданной преподавателем) уставках по шкале при номинальном напряжении на обмотке. На каждой уставке следует произвести по 10 измерений.

7. При разомкнутых контактах  $S1$  и  $S2$  с помощью автотрансформатора выставить напряжение, равное номинальному напряжению реле времени. Напряжение на обмотку реле времени подать толчком – замыканием контактов  $S1$ . По электрическому секундомеру определить время, через которое загорится сигнальная лампа – время замыкания контактов реле времени. Результаты измерений занести в таблицу 2.3.3. Отключить стенд.

Таблица 2.3.3 - Результаты измерений и расчетов времени срабатывания

Уставка по шкале	Измерения времени срабатывания $t_{cp}$ , с										Расчеты	
	$t_{cp1}$	$t_{cp2}$	$t_{cp3}$	$t_{cp4}$	$t_{cp5}$	$t_{cp6}$	$t_{cp7}$	$t_{cp8}$	$t_{cp9}$	$t_{cp10}$	$\Delta t, с$	$\gamma, с$
$t_{уст}, с$												
$t_{уст.min}, с$												
$t_{уст.max}, с$												
$t_{уст.зад}, с$												

8. Определить абсолютное значение разброса времени срабатывания (разность между максимальным и минимальным значениями времени срабатывания на одной уставке):

$$\Delta t = t_{max} - t_{min},$$

9. Определить среднее значение времени срабатывания реле на каждой уставке:

$$t_{cp.cp} = \frac{t_{cp1} + t_{cp2} + t_{cp3} + \dots + t_{cp10}}{10},$$

10. Определить отклонение от уставки (разность между средним значением времени срабатывания реле и уставкой):

$$\gamma = t_{cp.cp} - t_{уст},$$

11. Сравнить результаты расчетов с допустимыми значениями параметров, которые указаны в таблице 2.3.4.

Сделать вывод о качестве исследуемого реле времени.

Таблица 2.3.4 - Допустимые отклонения и разбросы времени срабатывания реле времени

Диапазон уставок реле, с	Разброс времени срабатывания, с	Отклонение от минимальной уставки, с	Отклонение от максимальной уставки, с
0,1-1,3	0,06	$\pm 0,05$	$\pm 0,15$
0,25-3,5	0,12	$\pm 0,1$	$\pm 0,4$
0,5-9	0,25	$\pm 0,12$	$\pm 0,5$
1-20	0,8	$\pm 0,2$	$\pm 1,5$

#### Контрольные вопросы.

1. Назначение реле времени в схемах релейных защит.
2. Как производится регулирование выдержки времени у реле времени?
3. Как обеспечивается мгновенный возврат реле времени после снятия напряжения с его обмотки?

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и приборов.
3. Таблица с характеристиками реле времени.
4. Электрическая схема испытания реле времени.
5. Таблицы с результатами измерений и расчетов
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: Исследование работы промежуточного и указательного реле

Цель работы: ознакомиться с принципом действия промежуточного и указательного электромагнитных реле, определить их пригодность к эксплуатации.

Оборудование и приборы:

*AT* – автотрансформатор ( $U_H = 0 - 250$  В);

*KL* – исследуемое реле промежуточное;

*KH* – исследуемое реле указательное;

*HL1, HL2* – сигнальные лампы;

*PV* – мультиметр (вольтметр);

*PA* – мультиметр (амперметр);

*HA* – прибор звуковой сигнализации (электрических звонков);

*RP* – потенциометр.

Порядок выполнения работы

### 1 Исследование работы промежуточного реле

1. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия исследуемого промежуточного реле. В таблицу 2.4.1 записать характеристики реле.

Таблица 2.4.1 - Характеристики промежуточного реле

Марка реле	Номинальное напряжение $U_H$ , В	Число обмоток	Число пар размыкающихся контактов	Число пар замыкающихся контактов

2. Собрать электрическую схему.

3. Дать проверить схему преподавателю.

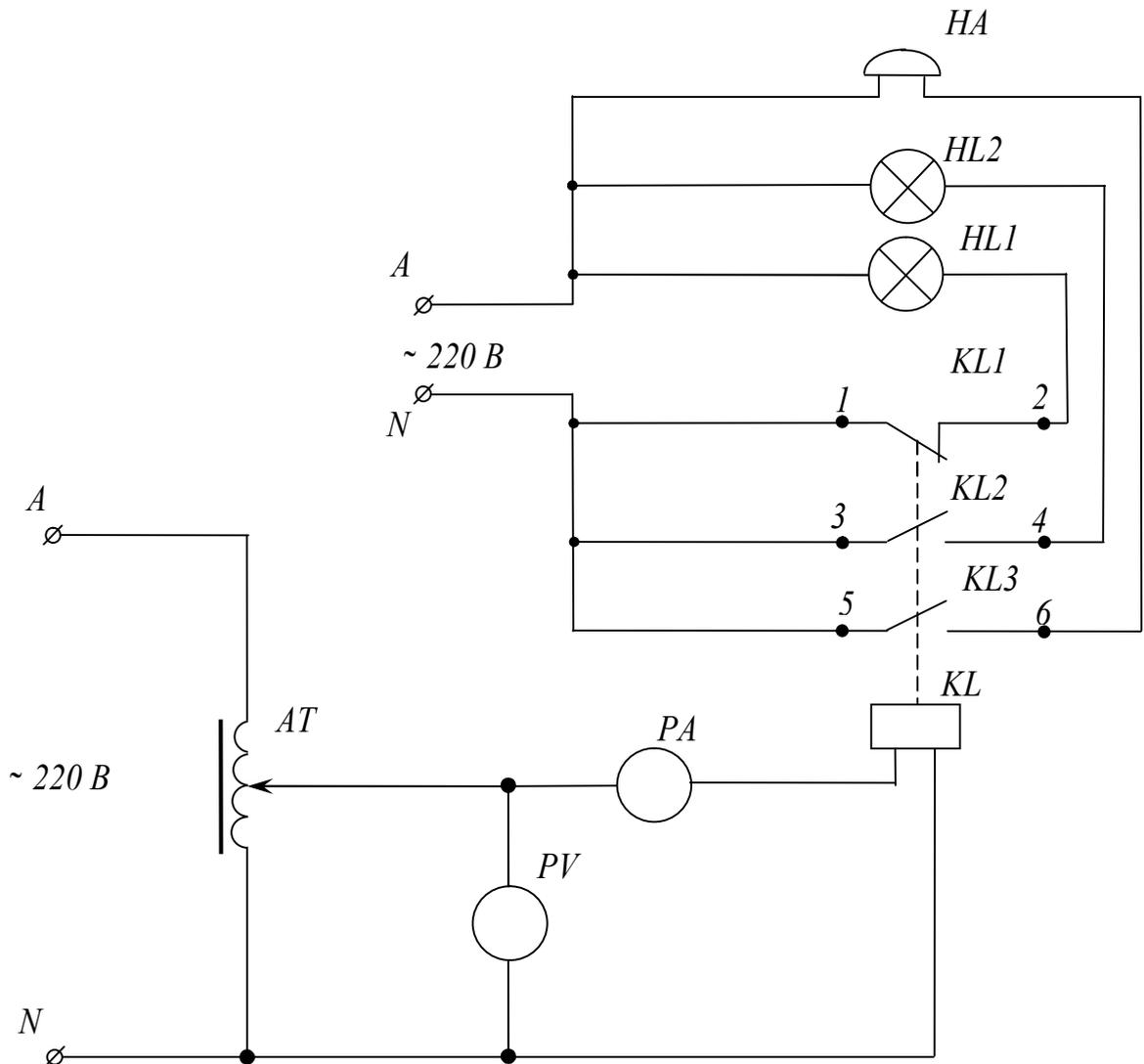


Рисунок 2.4.1. Электрическая схема испытания промежуточного реле

4. Включить лабораторный стенд. В таблицу 2.4.2 записать состояние сигнальных приборов до срабатывания реле (напряжение на выходе автотрансформатора равно 0 В).

5. С помощью автотрансформатора *AT* повысить напряжение до значения, при котором промежуточное реле работает. В таблицу 2.4.2 записать состояние сигнальных приборов после срабатывания реле.

Таблица 2.4.2 - Результаты наблюдений

Номера контактов	Состояние сигнальных приборов до срабатывания реле	Состояние сигнальных приборов после срабатывания реле
<i>KL1</i> или 1-2		
<i>KL2</i> или 3-4		
<i>KL3</i> или 5-6		

6. С помощью автотрансформатора *AT* повысить напряжение до значения, при котором промежуточное реле срабатывает. По вольтметру *PV* определить напряжение срабатывания реле  $U_{cp}$ . Плавно снижая автотрансформатором напряжение, по вольтметру *PV* определить значение напряжения возврата реле. Опыт повторить пять раз.

7. Результаты измерений занести в таблицу 2.4.3. Отключить стенд.

Таблица 2.4.3 - Результаты измерений и расчетов коэффициентов возврата

Номинальное напряжение реле $U_n$ , В	Напряжение срабатывания реле $U_{cp}$ , В	Напряжение возврата реле $U_{вр}$ , В	Коэффициент возврата $K_v$	Среднее значение коэффициента возврата $K_{v,cp}$
	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			

8. Расчет коэффициентов возврата выполнить по формулам

$$K_v = \frac{U_{вр}}{U_{cp}},$$

$$K_{v,cp} = \frac{K_{v1} + K_{v2} + K_{v3} + K_{v4} + K_{v5}}{5},$$

9. Определить мощность, потребляемую обмоткой промежуточного реле в момент срабатывания реле,  $S = U_{cp} \cdot I_{cp}$ .

Сделать вывод о пригодности промежуточного реле к эксплуатации.

## 2 Исследование работы указательного реле

10. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия исследуемого указательного реле. В таблицу 2.4.4 записать характеристики реле.

Таблица 2.4.4 - Характеристики указательного реле

Марка реле	Номинальное напряжение $U_n$ , В	Число обмоток	Сопротивление обмотки, Ом	Потребляемая мощность реле, Вт

11. Собрать электрическую схему.

12. Дать проверить схему преподавателю.

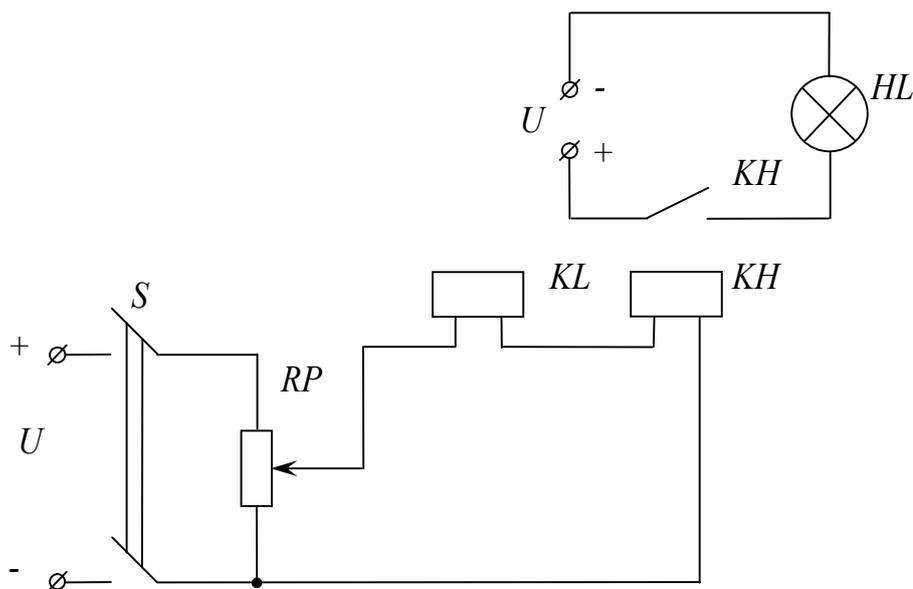


Рисунок 2.4.2. Электрическая схема испытания указательного реле

13. Включить лабораторный стенд. С помощью потенциометра увеличить напряжение до значения, при котором произойдет срабатывание указательного реле. По амперметру определить значение тока, при котором сработало указательное реле. Опыт повторить пять раз. Результаты измерений занести в таблицу 2.4.5. Отключить стенд.

Таблица 2.4.5 - Результаты измерений и расчетов

$I_{cp1}$ , А	$I_{cp2}$ , А	$I_{cp3}$ , А	$I_{cp4}$ , А	$I_{cp5}$ , А	$I_{cp.ср}$ , А	$I_{cp.расч}$ , А

14. Определить среднее значение тока срабатывания реле по формуле:

$$I_{cp.ср} = \frac{I_{cp1} + I_{cp2} + I_{cp3} + I_{cp4} + I_{cp5}}{5}.$$

15. Определить ток обмотки указательного реле по формуле:

$$I_{кн} = \frac{0,8 \cdot U_n}{R_{кл}},$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение, приложенное к цепи (110 или 220 В);

$R_{кл}$  – сопротивление обмотки промежуточного реле, включенного последовательно с реле указательным (определяется по паспортным данным или измерением), Ом.

16. Определить ток срабатывания указательного реле по формуле

$$I_{ср.расч} = \frac{I_{кн}}{k_H},$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности,  $k_H = 1,2$ .

17. Сравнить значения токов срабатывания реле  $I_{ср.ср}$  и  $I_{ср.расч}$ , которые получены расчетным и опытным способами.

Сделать вывод о состоянии исследуемого указательного реле.

#### Контрольные вопросы.

1. Каковы конструктивные отличительные особенности промежуточного реле постоянного и переменного тока?
2. С какой целью проводилось исследование работы промежуточного и указательного реле?
3. Как определить по указательному реле с механическим указателем срабатывания релейную защиту, перешедшую в режим тревоги?

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и приборов.
3. Таблицы с характеристиками промежуточного и указательного реле.
4. Электрические схемы испытания промежуточного и указательного реле.
5. Таблицы с результатами измерений и расчетов
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема: Исследование работы реле мощности

Цель работы: ознакомиться с принципом действия индукционного реле мощности, научиться снимать его характеристики.

Оборудование и приборы:

*KW* – исследуемое реле направления мощности;

*HL* - сигнальная лампа;

*PV* – мультиметр (вольтметр);

*PA* – мультиметр (амперметр);

*Pφ* – фазометр;

*R* – реостат для регулирования тока;

*AT* - автотрансформатор;

*SF* – автоматический воздушный выключатель; фазорегулятор.

### Краткие теоретические сведения

Индукционное реле направления мощности в релейных защитах является органом, реагирующим на определенное направление мощности короткого замыкания.

Реле направления мощности состоит из стального магнитопровода с выступающими полюсами и цилиндрического алюминиевого ротора, вращающегося на оси вокруг стального сердечника.

Реле имеет две обмотки;

- по току, состоящую из двух секций, которые расположены на двух противоположных полюсах сердечника. Секции соединены последовательно и подключаются к вторичной обмотке измерительного трансформатора тока защищаемой линии на фазный ток;

- по напряжению, состоящую из четырех секций, которые расположены на ярме магнитопровода и соединены последовательно. Обмотка по напряжению подключена к вторичной обмотке измерительного трансформатора напряжения на линейное напряжение двух других фаз.

При протекании токов по обмоткам реле возникают магнитные потоки, сдвинутые в пространстве на  $90^0$  и по фазе на некоторый угол. Магнитные потоки пронизывают алюминиевый цилиндр и индуцируют в нем вихревые токи. Взаимодействие этих токов с магнитными потоками приводит к созданию вращающего момента.

Для получения девяностиградусной схемы необходимо обмотки по току и напряжению подключать согласно указаниям, представленным в таблице 2.5.1.

Таблица 2.5.1 - Указания к подключению обмоток реле мощности

Реле направления мощности	Подключение обмотки по току на фазный ток	Подключение обмотки по напряжению на линейное напряжение
фаза А	$I_A$	$U_{BC}$
фаза В	$I_B$	$U_{CA}$
фаза С	$I_C$	$U_{AB}$

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия исследуемого реле направления мощности. В таблицу 5.2 записать характеристики реле.

Таблица 2.5.2 - Характеристики реле направления мощности

Марка реле	Номинальный ток реле $I_H, A$	Номинальное напряжение реле $U_H, B$	Пределы регулирования мощности срабатывания реле, ВА	Угол максимальной чувствительности реле $\varphi_{мч}, ^0$	Мощность токовых цепей, ВА	Мощность цепей напряжения, ВА	Время действия, с

2. Собрать электрическую схему.
3. Дать проверить схему преподавателю.

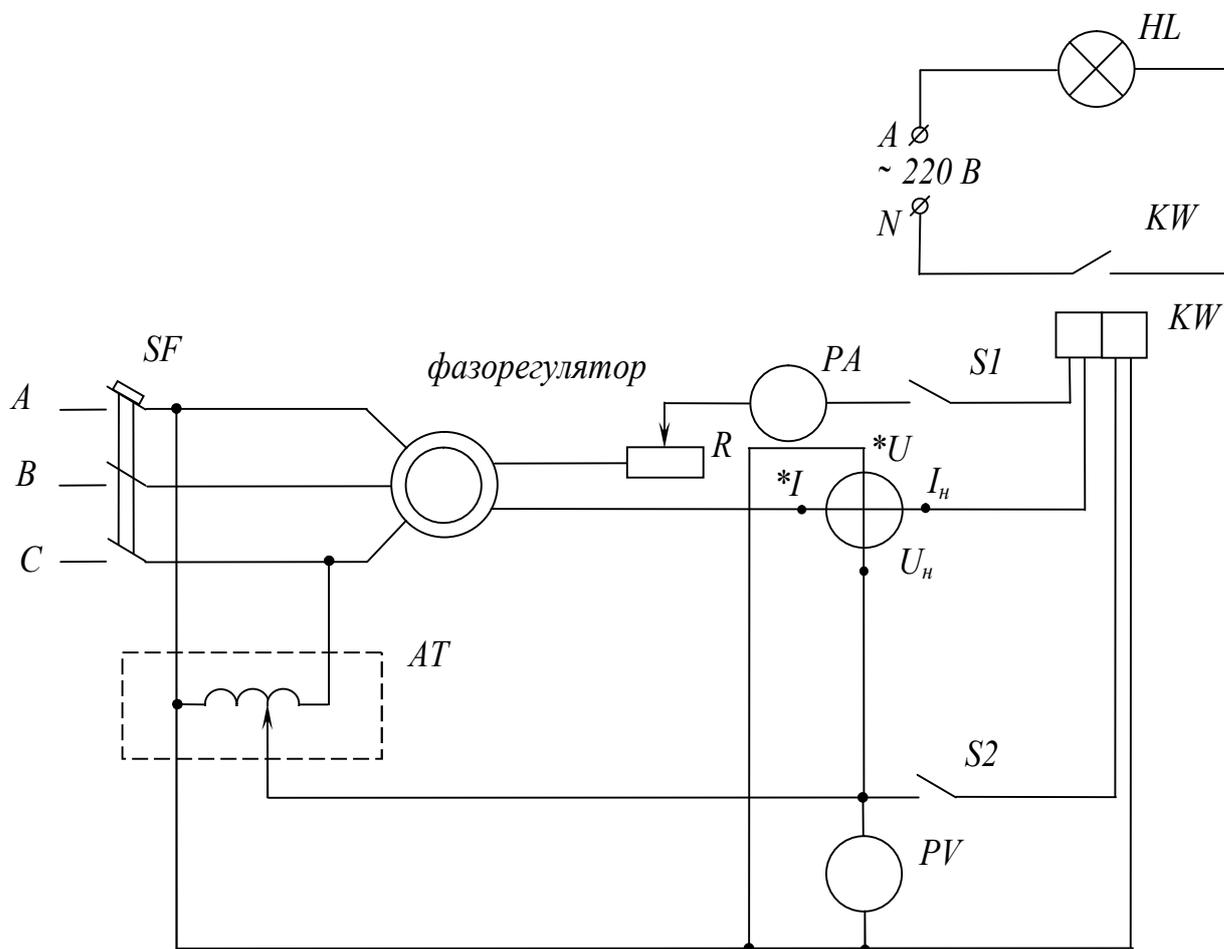


Рисунок 2.5.1. Электрическая схема испытания реле направления мощности

4. Проверить реле мощности на отсутствие самохода.

Самоходом называется возникновение дополнительного вращающего момента, вызывающего перемещение подвижной системы реле при наличии питания только одной обмотки, когда основной вращающий момент отсутствует. Отличают самоход от тока (обрыв цепи напряжения) и самоход от напряжения (обрыв цепи тока). Для проверки реле мощности на отсутствие самохода необходимо:

4.1. Разомкнуть рубильник  $S1$ . Замкнуть рубильник  $S2$ . С помощью автотрансформатора  $AT$  установить номинальное напряжение в обмотке реле по напряжению (самоход от напряжения);

4.2. Разомкнуть рубильник  $S2$ . Замкнуть рубильник  $S1$ . С помощью реостата  $R$  установить номинальную силу тока в обмотке реле по току (самоход от тока).

По результатам опытов сделать вывод о самоходе реле мощности.

5. Определить мощность, потребляемую обмотками реле.

5.1. Потребляемая мощность обмотки напряжения определяется как произведение силы тока на напряжение (напряжение выставить  $57,7\text{ В}$ );

5.2. Потребляемая мощность токовой обмотки – произведение силы тока на напряжение (сила тока выставляется с помощью реостата  $R$ ).

Сравнить полученные результаты с паспортными данными.

6. Определить полярность обмоток реле:

6.1. Замкнуть рубильник  $S1$ , установить реостатом  $R$  ток в обмотке реле по току  $1\text{ А}$ ;

6.2. Замкнуть рубильник  $S2$ , автотрансформатором установить напряжение в обмотке по напряжению реле  $57,7\text{ В}$ .

6.3. Поворотом рукоятки фазорегулятора установить угол между током и напряжением  $90^\circ$ . Если реле не сработало, то ток и напряжение сдвинуты на угол  $180^\circ$  и для того, чтобы устранить этот сдвиг, необходимо поменять местами провода, питающие обмотку тока реле или обмотку напряжения реле.

7. Определение зоны срабатывания реле:

Установить в токовой цепи ток  $I_p = I_{\text{ном}}$ , в цепи напряжения  $U_p = U_{\text{ном}}$  и, изменяя угол  $\varphi_p$  от  $0$  до  $360^\circ$ , определить зону срабатывания. Построить векторную диаграмму, указав на ней зону срабатывания, линии

максимальных и минимальных моментов и угол максимальной чувствительности,  $\varphi_{м,ч}$ .

8. Определить мощность срабатывания реле.

Мощность срабатывания определяется при номинальном токе в обмотке тока и при угле максимальной чувствительности

$$S_{с.р} = I_H \cdot U_{min},$$

где  $U_{min}$  – минимальное напряжение, подводимое к реле, при котором реле сработает (замкнет контакты).

9. Определить мощность возврата реле.

Мощность возврата реле определяется по формуле:

$$S_B = I_H \cdot U_{max},$$

где  $U_{max}$  – максимальное напряжение, подводимое к реле, при котором происходит возврат реле (размыкание контактов реле).

10. Определить коэффициент возврата реле:

$$K_B = \frac{S_B}{S_{с.р}}.$$

11. Установить ток в токовой цепи  $I_P = I_H$ , напряжение в цепи напряжения  $U_P = U_H$  и, изменяя  $\cos\varphi$  от 0,5 индуктивного до 0,5 емкостного, определить зону срабатывания реле направления мощности.

12. Снять угловую характеристику реле направления мощности  $U_{ср.р} = f(\varphi_p)$  при  $I_n = 5$  А. Результаты замеров занести в таблицу 2.5.3. По результатам измерений построить угловую характеристику.

Таблица 2.5.3 - Результаты измерений для угловой характеристики

$\cos\varphi$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$\varphi_p$											
$U_{ср.р}$ , В											

13. Снять вольт-амперную характеристику реле направления мощности  $U_{ср.р} = f(I_p)$  при постоянном  $\cos\varphi$ . Результаты замеров занести в таблицу 2.5.4. По результатам измерений построить вольт-амперную характеристику.

Таблица 2.5.4 - Результаты измерений для вольт-амперной характеристики

$I_p, A$	1	2	3	4	5
$U_{ср.р}, B$					

#### Контрольные вопросы.

1. Построить векторную диаграмму токов и напряжений, на которой указать линии максимальных и нулевых моментов.
2. Что такое угол максимальной чувствительности реле?
3. Будет ли срабатывать реле мощности при трехфазном коротком замыкании в начале защищаемой линии?

#### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и приборов.
3. Таблицы с характеристиками реле направления мощности.
4. Электрическая схема испытания реле направления мощности.
5. Таблицы с результатами измерений.
6. Угловая и вольт-амперная характеристики.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема: Исследование работы микропроцессорного устройства защиты линии электропередачи

Цель работы: практически изучить конструкцию и принцип действия микропроцессорного устройства релейной защиты линии электропередачи (фидера контактной сети), проверить действие устройства в различных режимах работы линии.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- стенд с микропроцессорным устройством релейной защиты и автоматики или ячейка фидера учебной тяговой подстанции, оснащенная микропроцессорным устройством защиты;
- мультиметры или тестеры;
- комплектное устройство или стенд для настройки и проверки работы микропроцессорного устройства релейной защиты;
- набор инструментов с изолированными рукоятками;
- техническая документация (технический паспорт, руководство по эксплуатации микропроцессорного устройства).

Краткие теоретические сведения

В общем случае микропроцессорные устройства защиты и автоматики выполняют следующие функции:

- измерение текущих токов и напряжений защищаемого присоединения;
- вычисление параметров сети (средних значений фазных токов и напряжений, токов и напряжений нулевой и обратной последовательностей,

углов сдвига фаз между током и напряжением, сопротивлений, мощностей и т.д.);

- защиты присоединения от токов короткого замыкания и перегрузки;

- автоматики (автоматического повторного включения, автоматического включения резерва, устройства резервирования отказов выключателя, логической защиты шин и т.д.);

- управления коммутационными аппаратами (высоковольтными выключателями и разъединителями);

- сигнализации;

- самодиагностики;

- контроля выработки механического и коммутационного ресурса выключателя.

Микропроцессорное устройство может применяться как самостоятельный комплекс (интеллектуальный терминал), так и в составе автоматизированной системы управления подстанцией в качестве подсистемы нижнего уровня.

Конструктивно микропроцессорные устройства релейной защиты выполняются как в виде единого блока с встроенным пультом управления, дисплеем и сигнальными элементами, так и в виде комплекта, состоящего из отдельных блоков управления и защиты.

Общая структура микропроцессорного комплекса защиты представлена на рисунке 2.6.1.

Модуль дискретных входов обычно выполняется на основе оптронных пар. Преобразователи аналоговых сигналов представляют собой трансформаторы с ферромагнитным сердечником, а также трансформаторы тока, резистивные делители т.д., и служат для пропорционального уменьшения измеряемых напряжений (токов).

На вход аналого-цифрового преобразователя подаются масштабированные аналоговые сигналы, которые преобразуются в цифровые

коды и далее поступают на соответствующие входы микропроцессорных модулей (микропроцессорных контроллеров).

Микропроцессорные контроллеры осуществляют функции вычислений, анализа параметрической информации и сигналов из оперативных цепей и цепей телемеханики (АСУ), сравнение с уставками защит, выработку команд и сигналов.

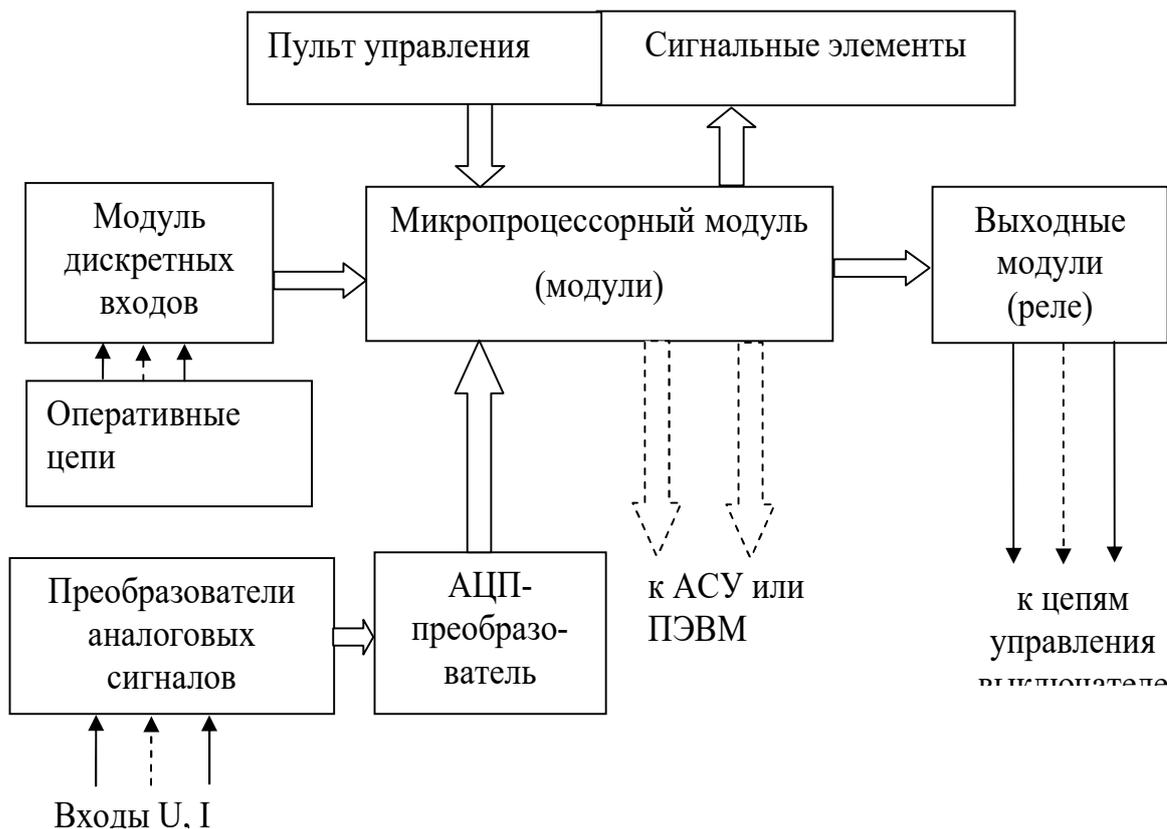


Рисунок 2.6.1. Структурная схема микропроцессорного устройства

Команды поступают на малогабаритные реле, расположенные в выходных модулях, а информация о работе устройства отображается на дисплее и сигнальных элементах пульта; записывается в оперативную память устройства и по запросу из системы управления передается по каналам связи.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию блока микропроцессорной релейной защиты, записать назначение кнопок и сигнальных элементов. При наличии в устройстве отдельных блоков, выписать их назначение.

2. Определить назначение каждого модуля блока (устройства) и данные о них занести в таблицу 2.6.1.

Таблица 2.6.1 – Назначение и присоединения модулей

Обозначение модуля	Назначение модуля	Свето-диодная индикация модуля	Внешние выводы модулей		
			Подключенное устройство	Обозначение разъема или клеммного соединителя	Тип и количество кабелей

3. Начертить структурную схему микропроцессорного устройства. На схеме должны быть указаны связи между модулями, назначения используемых кабелей, внешние выводы устройства.

4. С разрешения преподавателя подать питание на схему стенда или ячейки.

5. Произвести проверку работы микропроцессорной релейной защиты линии в различных режимах.

5.1. Подать команду включения выключателя, убедиться в срабатывании устройства.

5.2. С помощью испытательного стенда подать на аналоговые входы напряжение и ток нагрузки, на дисплее проверяемого устройства должны высветиться измеренные параметры.

5.3. С помощью меню, в присутствии преподавателя определить заданные уставки по токовым защитам и выписать их в отчет.

5.4. Выставить на испытательном стенде или комплектной установке параметры аварийного режима, проследить запуск защиты и убедиться в аварийном отключении выключателя.

5.5. Произвести квитирование и повторно включить выключатель с помощью испытываемого микропроцессорного блока.

5.6. Повторить пункты 5.4 и 5.5, проверив работу остальных защит микропроцессорного устройства.

5.7. Результаты проведенных исследований занести в таблицу 2.6.2.

Таблица 2.6.2 – Результаты проверки устройства

Режим работы	Параметры, подаваемые на аналоговые входы	Световая индикация устройства	Параметрические данные, выводимые на дисплей

6. Снять питание с исследуемого устройства, оперативных цепей и испытательных стендов.

7. Сделать вывод об исправности работы устройства.

#### Контрольные вопросы.

1. Из каких составных частей, состоит микропроцессорное устройство релейной защиты?

2. Какие функции защиты выполнил изученный блок?

3. Виды сигнализации микропроцессорных устройств.

4. Осуществление АПВ с помощью с помощью микропроцессорных устройств.

5. Какие параметры измеряются микропроцессорными терминалами?

6. Каким образом программируемые устройства релейной защиты и автоматики могут предотвратить ошибочные действия обслуживающего персонала?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Назначение кнопок и сигнальных элементов.

3. Заполненная таблица 2.6.1.

4. Заполненная таблица 2.6.2.

5. Структурная схема микропроцессорного устройства.

6. Вывод о проделанной работе и работоспособности устройства.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема: Исследование работы микропроцессорного устройства защиты трансформатора

Цель работы: практически изучить конструкцию и принцип действия микропроцессорного устройства релейной защиты (защиты и автоматики) понижающего (преобразовательного) трансформатора, проверить действие устройства в различных режимах работы трансформатора.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- стенд с микропроцессорным устройством релейной защиты и автоматики трансформатора или ячейки управления выключателями трансформатора учебной тяговой подстанции, оснащенные микропроцессорным устройством защиты;
- мультиметры или тестеры;
- комплектное устройство или стенд для настройки и проверки работы микропроцессорного устройства релейной защиты;
- набор инструментов с изолированными рукоятками;
- техническая документация (технический паспорт, руководство по эксплуатации микропроцессорного устройства).

Краткие теоретические сведения

Для управления коммутационной аппаратурой трансформатора достаточно одного терминала, который устанавливается со стороны первичного напряжения, в ячейке соответствующего выключателя. При применении сложных защит, например, дифференциальной защиты трансформатора, используются отдельные микропроцессорные устройства,

которые подключаются к вторичным обмоткам измерительных трансформаторов как со стороны первичного, так и со стороны вторичного напряжения. Для проверки работы таких устройств необходима более сложная испытательная аппаратура, например – реле-томограф.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию блока микропроцессорной релейной защиты, записать назначение кнопок и сигнальных элементов. При наличии в устройстве отдельных блоков, выписать их назначение.

2. Определить назначение каждого модуля блока (устройства) и данные о них занести в таблицу 2.7.1. При заполнении таблицы произвести сравнительный анализ конструкции и способов подключения устройства с терминалом, изученным в части 1 лабораторного занятия.

Таблица 2.7.1 – Назначение модулей и внешние подключения

Обозначение модуля	Назначение модуля	Свето-диодная индикация модуля	Внешние выводы модулей		
			Подключенное устройство	Обозначение разъема или клеммного соединителя	Тип и количество кабелей

3. Начертить структурную схему микропроцессорного устройства. На схеме должны быть указаны связи между модулями, назначения используемых кабелей, внешние выводы устройства, организация управления выключателями со стороны высокого и низкого напряжения.

4. С разрешения преподавателя подать питание на схему стенда или ячейки.

5. Произвести проверку работы микропроцессорной релейной защиты трансформатора в различных режимах.

5.1. Подать команду включения выключателей, убедиться в срабатывании устройства.

5.2. С помощью испытательного стенда подать на аналоговые входы напряжение и ток нагрузки, на дисплее проверяемого устройства должны высветиться измеренные параметры.

5.3. С помощью меню, в присутствии преподавателя определить заданные уставки по защитам трансформатора и выписать их в отчет.

5.4. Выставить на испытательном стенде или комплектной установке параметры аварийного режима, проследить запуск защиты и убедиться в аварийном отключении управляемых коммутационных аппаратов.

5.5. Произвести квитирование и повторно произвести подключение трансформатора с помощью испытываемого микропроцессорного блока.

5.6. Повторить пункты 5.4 и 5.5, проверив работу остальных защит микропроцессорного устройства.

5.7. Результаты проведенных исследований занести в таблицу 2.7.2.

Таблица 2.7.2 – Результаты проверки устройства

Режим работы	Параметры, подаваемые на аналоговые входы	Световая индикация устройства	Параметрические данные, выводимые на дисплей	Состояние высоковольтных выключателей

6. Отключить коммутационные аппараты. Снять питание с исследуемого устройства, оперативных цепей и испытательных стендов.

7. Сделать вывод об исправности работы устройства.

#### Контрольные вопросы.

1. Виды защит силовых трансформаторов от коротких замыканий.
2. Какие диагностические функции выполняет изученный интеллектуальный терминал?

3. Перечислите неисправности оперативных цепей (коммутационных аппаратов), выявляемые микропроцессорным устройством.

4. В каком порядке производилось включение (отключение) силовых коммутационных аппаратов и почему?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Назначение кнопок и сигнальных элементов.
3. Заполненная таблица 2.7.1.
4. Заполненная таблица 2.7.2.
5. Структурная схема микропроцессорного устройства.
6. Сравнительный анализ конструкции и способов подключения устройств защиты присоединения линии и трансформатора.
7. Вывод о проделанной работе и работоспособности устройства.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Тема: Исследование схемы и элементов автоматики фидера питающей линии (ввода подстанции)

Цель работы: практически изучить взаимодействие элементов схемы автоматики ввода подстанции в различных режимах работы.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения переменного тока для питания стенда;
- стенд со схемой вторичной коммутации выключателя ввода;
- мультиметр или тестер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить принципиальную схему автоматики (выдается преподавателем).
2. Ответить на вопросы преподавателя об основных функциях, которые выполняет схема.
3. Определить назначение каждого из реле и автоматических выключателей и данные о них занести в таблицу 2.8.1.

Таблица 2.8.1 – Характеристики приборов и аппаратов

Условное обозначение	Тип реле или аппарата	Параметры обмоток (U, R)	Назначение в схеме

4. Устно рассказать преподавателю о назначении элементов схемы.
5. С разрешения преподавателя подать питание на схему автоматики.

6. С помощью автоматических выключателей проверить работу схемы в режимах АВР первого и второго вводов.
7. Проверить работу при восстановлении нормального режима.
8. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.8.2. При заполнении таблицы следует учитывать порядок срабатывания элементов схемы.

Таблица 2.8.2 – Результаты проверки схемы

Функция	Способ запуска функции	Наименование реле	Получает питание (+)/теряет питание (-)	Сигнализация

9. Вычертить монтажную схему для одной из операций автоматики по заданию преподавателя.
10. Снять питание со схемы автоматики.

#### Контрольные вопросы.

1. В каком порядке срабатывают элементы схемы при автоматическом включении резерва выключателя фидера питающей линии?
2. Световая сигнализация состояния выключателя.
3. Причины аварийного отключения выключателя фидера питающей линии.
4. Требования к устройствам автоматического включения резерва (АВР).
5. Основные типы реле, применяемые в схемах автоматики.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.8.1.
3. Заполненная таблица 2.8.2.
4. Заданный фрагмент монтажной схемы.
5. Вывод о результатах наблюдений, полученных в ходе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Тема: Исследование схемы и элементов автоматики фидера питающей линии районного потребителя

Цель работы: практически изучить взаимодействие элементов схемы автоматики фидера районного потребителя в различных режимах работы линии.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения переменного тока для питания стенда;
- стенд со схемой управления, оснащенный устройствами релейной защиты и автоматики;
- мультиметр или тестер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить принципиальную схему автоматики (выдается преподавателем).
2. Ответить на вопросы преподавателя об основных функциях, которые выполняет схема.
3. Определить назначение каждого из реле и данные о них занести в таблицу 2.9.1.

Таблица 2.9.1 – Характеристики реле

Условное обозначение	Тип реле	Параметры обмоток (U, R)	Назначение в схеме

4. Устно рассказать преподавателю о назначении элементов схемы.

5. С разрешения преподавателя подать питание на схему автоматики.
6. С помощью кнопок включения и отключения проверить работу схемы в режимах оперативного управления.
7. Проверить срабатывание максимальной токовой защиты на заданных уставках токовых реле и работу устройства автоматического повторного включения РПВ-58.
8. Проверить действие токовой отсечки с отключением выключателя и блокировкой АПВ. (Конденсатор не должен успевать зарядиться)
9. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.9.2. При заполнении таблицы следует учитывать порядок срабатывания элементов схемы.

Таблица 2.9.2 – Результаты проверки схемы

Функция	Способ запуска функции	Наименование реле	Получает питание (+)/теряет питание (-)	Сигнализация

10. Вычертить монтажную схему для одной из операций защиты или автоматики по заданию преподавателя.
11. Снять питание со схемы автоматики.

#### Контрольные вопросы.

1. Причины аварийного отключения выключателя фидера районного потребителя.
2. В каком порядке срабатывают элементы схемы при аварийном отключении выключателя фидера районного потребителя?
3. Световая и звуковая сигнализация аварийного состояния выключателя.
4. Требования к устройствам автоматического повторного включения (АПВ).
5. Порядок осуществления автоматического повторного включения.

## 6. Основные типы реле, применяемые для осуществления функции АПВ.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.9.1.
3. Заполненная таблица 2.9.2.
4. Заданный фрагмент монтажной схемы.
5. Вывод о результатах наблюдений, полученных в ходе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Тема: Исследование схемы и элементов автоматики фидера питающей линии специального назначения (фидера контактной сети)

Цель работы: практически изучить взаимодействие элементов схемы автоматики фидера контактной сети 3,3 кВ в различных режимах работы линии.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения переменного тока для питания стенда;
- стенд со схемой управления, оснащенный устройствами автоматики выключателя фидера контактной сети постоянного тока;
- мультиметр или тестер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить элементы стенда с цепями вторичной коммутации выключателя и принципиальную схему автоматики, выданную преподавателем.
2. Ответить на вопросы преподавателя об основных функциях, которые выполняет схема.
3. Определить назначение каждого из реле и автоматических выключателей и данные о них занести в таблицу 2.10.1.

Таблица 2.10.1 – Характеристики приборов и аппаратов

№№ цепей	Условное обозначение	Тип реле	Параметры обмоток (U, R)	Назначение в схеме

4. Устно рассказать преподавателю о назначении элементов схемы.

5. С разрешения преподавателя подать питание на схему автоматики.
6. С помощью кнопок включения и отключения проверить работу схемы в режимах оперативного управления, а также работу реле блокировки при повторном нажатии кнопки включения.
7. С помощью испытательной кнопки или управляя реле РДШ, выполнить имитацию аварийного отключения выключателя и проверить действие автоматического повторного включения.
8. Проверить блокировку АПВ и аварийную сигнализацию при отключенном положении тумблера ИКЗ.
9. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.10.2. При заполнении таблицы следует учитывать порядок срабатывания элементов схемы.

Таблица 2.10.2 – Результаты проверки схемы

Функция	Способ запуска функции	Наименование реле	Получает питание (+)/теряет питание (-)	Сигнализация

10. Вычертить монтажную схему для одной из операций защиты автоматики по заданию преподавателя.
11. Снять питание со схемы автоматики.

#### Контрольные вопросы.

1. В каком порядке срабатывают элементы схемы при оперативном включении (отключении) выключателя фидера контактной сети постоянного тока?
2. Световая и звуковая сигнализация положения выключателя фидера контактной сети.
3. Причины автоматического отключения выключателя фидера контактной сети постоянного тока.

4. Особенности организации автоматического повторного включения фидеров контактной сети постоянного тока.
5. Порядок осуществления автоматического повторного включения.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.10.1.
3. Заполненная таблица 2.10.2.
4. Заданный фрагмент монтажной схемы.
5. Вывод о результатах наблюдений, полученных в ходе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Тема: Обнаружение неисправностей в схеме автоматики фидера питающей линии районного потребителя

Цель работы: научиться на примере реальной схемы находить и устранять возможные неисправности в схемах релейно-контактной автоматики.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения переменного тока для питания стенда;
- стенд со схемой управления, оснащенный устройствами релейной защиты и автоматики;
- мультиметр или тестер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Краткие теоретические сведения

Основные виды неисправностей цепей вторичной коммутации:

- короткое замыкание в цепях схемы;
- замыкание на землю или на корпус (пробой изоляции);
- обрыв электрической цепи;
- выход из строя отдельных элементов схемы (перегорание сигнальных ламп).

О наличии короткого замыкания или замыкания на землю, как правило, свидетельствует перегоревший предохранитель или отключившийся автоматический выключатель. Чтобы избежать повторного включения на короткое замыкание, необходимо предварительно проверить сопротивление обесточенной схемы в месте подключения защитных аппаратов, проверить состояние катушек реле, выполнить «прозвонку» цепей, имитируя с помощью изолированных инструментов срабатывание реле.

Обрыв электрической цепи может быть вызван нарушением электрического соединения проводников, выходом из строя катушки реле, плохим контактным нажатием и т.д. При этом ряд функций схемы не выполняется, что также может привести к аварийному режиму работы.

При наличии подобных неисправностей, а также для обнаружения вышедших из строя элементов схемы (например, застрявших блок-контактов выключателя) следует выполнить последовательную проверку соответствующих электрических цепей с помощью принципиально-монтажной схемы, на которой должны быть указаны номера контактов реле.

#### Порядок выполнения работы

1. Получив разрешение преподавателя, провести исследование работы схемы автоматики, для чего:
  - проверить наличие электропитания;
  - опробовать работу схемы путем нажатия кнопок «включить» и «отключить»;
  - проверить работу схемы в режиме аварийного отключения выключателя, проверить работу устройства РПВ-58.
2. При отсутствии питания или при наличии какой-либо неисправности в работе схемы определить (сначала теоретически, по схеме) место или цепь повреждения и объяснить вид неисправности преподавателю.
3. Если цепь, в которой есть неисправность, определена теоретически правильно, то с разрешения преподавателя место повреждения окончательно устанавливается с помощью мультиметра или тестера. При использовании измерительного прибора в качестве омметра с установки предварительно снимается напряжение.
4. Обнаружив место повреждения, доложить преподавателю.
5. После устранения неисправности подать напряжение на установку и снова проверить действие схемы.
6. Добиться нормальной работы схемы во всех режимах работы.

7. Результаты проверки схемы занести в таблицу 2.11.1:

Таблица 2.11.1 – Результаты проверки схемы

Режим работы фидера	Состояние схемы автоматики	№ цепи	Причины повреждения	Способы устранения повреждения

8. Начертить в отчете принципиально-монтажную схему цепей, в которых обнаружены неисправности.

#### Контрольные вопросы.

1. Функции, осуществляемые схемой автоматики фидера районного потребителя.
2. Основные типы реле, применяемые в схеме.
3. Перечислить основные неисправности, которые могут встречаться в схемах релейно-контактной автоматики.
4. Методы поиска обрыва в цепях при ограниченном функционировании схемы (запуск защиты не ведет к отключению выключателя, не работает аварийная сигнализация, реле повторного включения не срабатывает).

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.11.1.
3. Принципиально-монтажная схема исправленных цепей.
4. Вывод о степени исправности схемы и о методах диагностирования, примененных в процессе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Тема: Обнаружение неисправностей в схеме автоматики фидера питающей линии специального назначения (фидера контактной сети)

Цель работы: научиться на примере реальной схемы находить и устранять возможные неисправности в цепях вторичной коммутации фидеров контактной сети.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения переменного тока для питания стенда;
- стенд со схемой управления, оснащенный устройствами автоматики выключателя фидера контактной сети постоянного тока;
- мультиметр или тестер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Краткие теоретические сведения

К возможным специфическим неисправностям автоматики фидеров контактной сети постоянного тока следует отнести несоответствие полярности при подключении держащей катушки выключателя или измерительной аппаратуры. Такие неисправности очень опасны и могут привести к отказам устройств защиты при коротких замыканиях.

Порядок выполнения работы

1. Получив разрешение преподавателя, провести исследование работы схемы автоматики, для чего:
  - проверить наличие электропитания;
  - опробовать работу схемы путем нажатия кнопок «включить» и «отключить»;

- с помощью кнопок имитации срабатывания защиты и испытателя коротких замыканий проверить работу схемы в режиме аварийного отключения выключателя, проверить работу устройства АПВ.
- 2. При отсутствии питания или при наличии какой-либо неисправности в работе схемы определить (сначала теоретически, по схеме) место или цепь повреждения и объяснить вид неисправности преподавателю.
- 3. Если цепь, в которой есть неисправность, определена теоретически правильно, то с разрешения преподавателя место повреждения окончательно устанавливается с помощью мультиметра или тестера. При использовании измерительного прибора в качестве омметра с установки предварительно снимается напряжение.
- 4. Обнаружив место повреждения, доложить преподавателю.
- 5. После устранения неисправности подать напряжение на установку и снова проверить действие схемы.
- 6. Добиться нормальной работы схемы во всех режимах работы.
- 7. Результаты проверки схемы занести в таблицу 2.12.1:

Таблица 2.12.1 – Результаты проверки схемы

Режим работы фидера	Состояние схемы автоматики	№ цепи	Причины повреждения	Способы устранения повреждения

- 8. Начертить в отчете принципиально-монтажную схему цепей, в которых обнаружены неисправности.

#### Контрольные вопросы.

1. Функции, осуществляемые схемой автоматики фидера контактной сети постоянного тока.
2. Особенности схем управления быстродействующих выключателей фидеров контактной сети постоянного тока.

3. Перечислить основные неисправности, которые могут встречаться в схемах релейно-контактной автоматики.
4. Методы поиска обрыва в цепях при ограниченном функционировании схемы (выключатель не включается, не работает сигнализация положения выключателя, реле фиксации команды управления не переключается, не срабатывает реле времени в функции АПВ).

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.12.1.
3. Принципиально-монтажная схема исправленных цепей.
4. Вывод о степени исправности схемы и о методах диагностирования, примененных в процессе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

Тема: Исследование схемы и элементов автоматики понижающего трансформатора

Цель работы: практически изучить взаимодействие элементов схемы автоматики понижающего трансформатора в различных режимах работы.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- источник напряжения переменного тока для питания испытательных устройств;
- ячейки выключателей со стороны высокого (низкого) напряжения понижающего трансформатора учебной подстанции;
- испытательный стенд для имитации аварийных режимов;
- мультиметры или тестеры;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить элементы ячейки с цепями вторичной коммутации трансформатора и принципиальную схему автоматики (выдается преподавателем).
2. Ответить на вопросы преподавателя об основных функциях, которые выполняет схема.
3. Определить назначение каждого из реле и автоматических выключателей и данные о них занести в таблицу 2.13.1.

Таблица 2.13.1 – Характеристики оборудования и аппаратов

Условное обозначение	Тип реле	Параметры обмоток (U, R)	Назначение в схеме

4. Устно рассказать преподавателю о назначении элементов схемы.
5. С разрешения преподавателя подать питание на схему автоматики.
6. С помощью кнопок включения и отключения проверить работу схемы в режимах оперативного управления, а также работу блокирующих реле при различных положениях выключателя и заземляющего ножа.
7. С помощью испытательного стенда и микропроцессорного блока (БМРЗ) проверить работу ячейки в режимах МТЗ и токовой отсечки.
8. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.13.2. При заполнении таблицы следует учитывать порядок срабатывания элементов схемы.

Таблица 2.13.2 – Результаты проверки схемы

Функция	Способ задания функции	Наименование реле	Получает питание (+)/теряет питание (-)	Сигнализация

9. Вычертить монтажную схему для одной из операций блокировки по заданию преподавателя.
10. Снять питание со схемы автоматики.

Контрольные вопросы.

1. В каком порядке происходит включение выключателей понижающего трансформатора и почему?
2. В чем отличие действия токовой отсечки и максимальной токовой защиты трансформатора?
3. Причины срабатывания газовой защиты понижающего трансформатора.

4. Какая из защит блокирует запуск АВР и чем это вызвано?
5. Требования к АВР трансформатора и принцип его работы.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.13.1.
3. Заполненная таблица 2.13.2.
4. Заданный фрагмент монтажной схемы.
5. Вывод о результатах наблюдений, полученных в ходе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Тема: Исследование схемы и элементов автоматики измерительного трансформатора

Цель работы: практически изучить взаимодействие элементов схемы вторичных цепей измерительного трансформатора напряжения.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- источник напряжения переменного тока для питания испытательных устройств;
- ячейка трансформатора напряжения учебной подстанции;
- испытательный стенд для имитации нагрузки;
- мультиметры или тестеры;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить элементы ячейки с цепями вторичной коммутации трансформатора и принципиальную схему цепей.
2. Ответить на вопросы преподавателя об основных функциях, которые выполняет схема.
3. Определить назначение каждого из реле и автоматических выключателей и данные о них занести в таблицу 2.14.1.

Таблица 2.14.1 – Характеристики оборудования и аппаратов

Условное обозначение	Тип реле	Параметры обмоток (U, R)	Назначение в схеме

4. Устно рассказать преподавателю о назначении элементов схемы.
5. С разрешения преподавателя подать питание на схему измерительного трансформатора.
6. Пронаблюдать изменение состояния реле. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.14.2.

Таблица 2.14.2 – Результаты проверки схемы

Реле	С какой ячейкой связано	Положение до подачи напряжения	Положение после подачи напряжения	Сигнализация

7. Вычертить монтажную схему для одного из реле по заданию преподавателя.
8. Снять питание со схемы автоматики.

#### Контрольные вопросы.

1. Каково назначение измерительных трансформаторов напряжения?
2. Каким образом обеспечивается работа блокировок безопасности?
3. Какие операции блокируются при отключенном трансформаторе напряжения?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.14.1.
3. Заполненная таблица 2.14.2.
4. Заданный фрагмент монтажной схемы.
5. Вывод о результатах наблюдений, полученных в ходе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

Тема: Обнаружение неисправностей в схеме автоматики трансформатора

Цель работы: на примере схемы управления несколькими коммутационными аппаратами закрепить навыки поиска и устранения возможных неисправностей в схемах релейно-контактной автоматики.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- источник напряжения переменного тока для питания испытательных устройств;
- ячейки выключателей со стороны высокого (низкого) напряжения преобразовательного трансформатора учебной подстанции;
- испытательный стенд;
- мультиметры или тестеры;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Порядок выполнения работы

1. Получив разрешение преподавателя, провести исследование работы схемы автоматики, для чего:
  - проверить наличие электропитания;
  - опробовать работу схемы путем нажатия кнопок «включить» и «отключить»;
  - с помощью кнопок имитации срабатывания защиты проверить работу схемы в режиме аварийного отключения выключателей трансформатора.

2. При отсутствии питания или при наличии какой-либо неисправности в работе схемы определить (сначала теоретически, по схеме) место или цепь повреждения и объяснить вид неисправности преподавателю.
3. Если цепь, в которой есть неисправность, определена теоретически правильно, то с разрешения преподавателя место повреждения окончательно устанавливается с помощью мультиметра или тестера. При использовании измерительного прибора в качестве омметра с установки предварительно снимается напряжение.
4. Обнаружив место повреждения, доложить преподавателю.
5. После устранения неисправности подать напряжение на установку и снова проверить действие схемы.
6. Добиться нормальной работы схемы во всех режимах работы.
7. Результаты проверки схемы занести в таблицу 2.15.1:

Таблица 2.15.1 – Результаты проверки схемы

Режим работы трансформатора	Состояние схемы автоматики	Причины повреждения	Способы устранения повреждения

8. Начертить в отчете принципиально-монтажную схему цепей, в которых обнаружены неисправности.

#### Контрольные вопросы.

1. Функции, осуществляемые схемой цепей вторичной коммутации понижающего трансформатора.
2. Основные типы реле, применяемые в схеме.
3. Роль блокировок включения в схемах управления выключателями трансформаторов и преобразовательных агрегатов.
4. Перечислить основные неисправности, которые могут встречаться в схемах релейно-контактной автоматики.

5. Методы поиска обрыва в цепях при ограниченном функционировании схемы (выключатели трансформатора не включаются или включается только один выключатель, запуск защиты не ведет к отключению выключателей трансформатора, не работает аварийная сигнализация, реле запускается функция АВР).

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.15.1.
3. Принципиально-монтажная схема исправленных цепей.
4. Вывод о степени исправности схемы и о методах диагностирования, примененных в процессе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

Тема: Исследование схемы и элементов общеподстанционной сигнализации

Цель работы: практически изучить взаимодействие элементов схемы общеподстанционной сигнализации в различных режимах работы.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения переменного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- стенд со схемой, имитирующей общеподстанционную сигнализацию;
- мультиметр или тестер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить принципиальную схему общеподстанционной сигнализации.
2. Ответить на вопросы преподавателя об основных функциях, которые выполняет схема.
3. Определить назначение каждого из реле и сигнальных элементов и данные о них занести в таблицу 2.16.1.

Таблица 2.16.1 – Характеристики оборудования

№№ цепей	Условное обозначение	Тип реле/сигнального элемента	Параметры обмоток (U, R)	Назначение в схеме

4. Устно рассказать преподавателю о назначении элементов схемы.

5. С разрешения преподавателя подать питание на схему общеподстанционной сигнализации.
6. С помощью кнопок испытания работы сигнализации проверить работу схемы в режимах предупредительной и аварийной сигнализации.
7. Результаты наблюдений занести в таблицу 2.16.2. При заполнении таблицы следует учитывать порядок срабатывания элементов схемы.

Таблица 2.16.2 – Результаты проверки схемы

Функция	Способ запуска функции	Наименование реле/сигнального элемента	Получает питание (+)/теряет питание (-)	Сигнализация

8. Вычертить монтажную схему для одной из операций запуска сигнализации по заданию преподавателя.
9. Снять питание со схемы.

#### Контрольные вопросы.

1. Причины срабатывания реле ОКЦ на подстанции?
2. Назначение предупредительной сигнализации.
3. Какие события могут вызвать срабатывание предупредительной сигнализации?
4. Причины аварийной сигнализации.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 2.16.1.
3. Заполненная таблица 2.16.2.
4. Заданный фрагмент монтажной схемы.
5. Вывод о результатах наблюдений, полученных в ходе выполнения работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17

Тема: Технический осмотр устройства релейной защиты и автоматики

Цель работы: получить практические навыки проведения технических осмотров устройств релейной защиты и автоматики.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- стенд с устройствами релейной защиты и автоматики высоковольтных выключателей;
- мультиметры или тестеры;
- набор инструментов с изолированными рукоятками;
- техническая документация (технические паспорта проверяемого оборудования).

Краткие теоретические сведения

В соответствии с нормативной документацией технические осмотры проводятся ежедневно оперативным персоналом подстанции и не реже двух раз в год оперативно-ремонтным персоналом бригады релейной защиты.

В ходе осмотров проверяется: состояние сигнальных ламп, кнопок, клеммных сборок; отсутствие признаков механического повреждения элементов устройства; соответствие положения накладок и переключающих устройств заданному режиму работы оборудования; наличие бирок на проводах и кабелях; отсутствие отсоединенных неизолированных концов кабелей и проводов; соответствие уставок предохранителей, и т.д. При обнаружении несоответствия режимов работы и повреждении оборудования производится соответствующая запись в журнале релейной защиты и

принимается решение о проведении внеочередной проверки работы устройства релейной защиты и автоматики.

#### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя комплект технической документации стенда заданного выключателя.
2. Произвести проверку соответствия схемы электрических соединений (монтажной схемы) проверяемому устройству релейной защиты и автоматики. Убедиться в правильности выполненной маркировки проводов и кабелей. При обнаружении обрывов или отсутствии маркировок сделать соответствующие записи в отчете.
3. При отсутствии видимых нарушений с разрешения преподавателя подать напряжение на схему.
4. Проверить состояние: сигнальных элементов, предохранителей, кнопок, клеммных сборок, контактных соединений, накладок и переключателей. Результаты проверки занести в таблицу 2.17.1.

Таблица 2.17.1 – Результаты технического осмотра

Элемент схемы	Условное обозначение	Наличие маркировок	Метод проверки, используемая аппаратура и инструменты	Заключение о состоянии элемента схемы

5. Снять питание со схемы автоматики.
6. По заданию преподавателя выборочно провести сверку принципиальной схемы стенда с монтажной схемой.
7. Сделать запись в отчете об окончательных результатах технического осмотра.

### Контрольные вопросы.

1. С какой целью выполняются технические осмотры устройств релейной защиты и автоматики?
2. Кто из персонала, обслуживающего подстанцию, и с какой периодичностью выполняет технические осмотры?
3. Какие неисправности и нарушения могут быть выявлены в результате технических осмотров?
4. Какая отчетная документация заполняется по результатам технического осмотра устройства релейной защиты и автоматики?

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Зафиксированные нарушения и неисправности (если были найдены).
3. Заполненная таблица 2.17.1.
4. Вывод о результатах проведенного технического осмотра.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

Тема: Опробование устройства релейной защиты и автоматики

Цель работы: получить практические навыки проведения опробований устройств релейной защиты и автоматики, научиться оформлять техническую и отчетную документацию.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- делитель напряжения или реостат для организации понижения напряжения питания оперативных цепей до 0,8 номинального значения;
- источник напряжения переменного тока для питания испытательных устройств;
- стенд с устройствами релейной защиты и автоматики высоковольтного выключателя;
- мультиметры или тестеры;
- набор инструментов с изолированными рукоятками;
- техническая документация (технические паспорта проверяемого оборудования).

Краткие теоретические сведения

Периодическое опробование устройств релейной защиты и автоматики выполняется с целью проверки работоспособности наименее надежных элементов цепей вторичной коммутации. К таким элементам относятся: реле времени с часовым механизмом, датчики, привода коммутационных аппаратов. Опробование с действием защиты на отключение выключателей проводится не реже 1 раза в год.

Опробование выполняется в два этапа:

- имитация аварийных режимов с проверкой действия защит и автоматики на выходные реле и на сигнал;

- проверка действия выходных реле на коммутационную аппаратуру.

При проведении опробования напряжение источника питания цепей вторичной коммутации должно быть равным 0,8 номинального значения. Схема подключения устройства релейной защиты и автоматики к источнику питания приведена на рисунке 2.18.1.

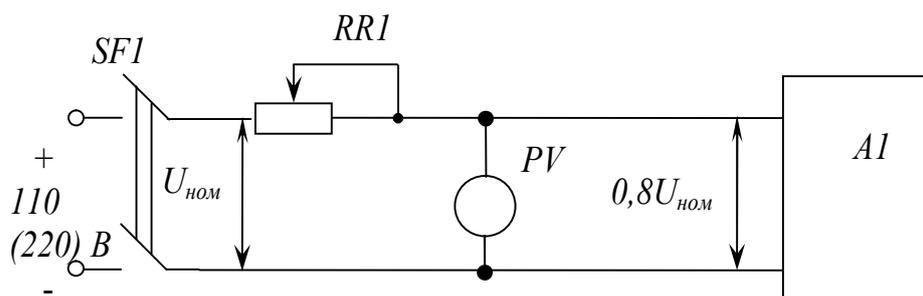


Рисунок 2.18.1. Схема подключения устройства релейной защиты для проведения опробования.

*SF1* – автоматический воздушный выключатель;

*RRI* – потенциометр для регулировки уровня напряжения питания на испытываемом оборудовании;

*AI* – подключенное для опробования устройство релейной защиты.

По результатам опробования делается соответствующая запись в журнале релейной защиты.

#### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя комплект технической документации стенда (панели управления) заданного выключателя.
2. Отключить проверяемую схему цепей вторичной коммутации от коммутационной аппаратуры.
3. С разрешения преподавателя подать напряжение оперативного тока на схему.

4. С разрешения преподавателя произвести опробование действия максимальной токовой защиты, токовой отсечки или других имеющихся защит на выходные реле. Убедиться в правильности срабатывания сигнальных элементов. Результаты проверки занести в таблицу 2.18.1.

Таблица 2.18.1 Результаты опробования защит

Наименование защиты	Ток срабатывания, А	Время, с	Выходные реле, состояние	Сигнальные элементы, состояние

5. Снять питание со схемы автоматики.
6. Произвести согласно схеме присоединение коммутационной аппаратуры к цепям вторичной коммутации.
7. С разрешения преподавателя подать пониженное напряжение оперативного тока на схему.
8. Произвести опробование действия выходных реле защит и автоматики на коммутационную аппаратуру. Убедиться в правильности срабатывания коммутационного аппарата (высоковольтного выключателя). Результаты проверки занести в таблицу 2.18.2.

Таблица 2.18.2 Результаты опробования действия на коммутационный аппарат

Наименование функции защиты или автоматики	Выходное реле функции	Время срабатывания, с	Коммутационный аппарат, состояние

9. Снять питание со схемы автоматики, привести в порядок рабочее место.
10. Сделать запись в отчете о результатах опробования.

Контрольные вопросы.

1. С какой целью выполняется периодическое опробование устройств релейной защиты и автоматики?
2. Кто из персонала, обслуживающего подстанцию, и с какой периодичностью выполняет опробование? Какое событие может быть засчитано за проведение очередного опробования?
3. Почему при проведении опробований рекомендуется понижать напряжение оперативных цепей?
4. Какие неисправности и нарушения могут быть выявлены в результате опробований?
5. Какая отчетная документация заполняется по результатам опробования устройств релейной защиты?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Зафиксированные нарушения и неисправности (если были найдены).
3. Заполненная таблица 2.18.1.
4. Заполненная таблица 2.18.2.
5. Вывод о результатах проведенного опробования.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

Тема: Комплексная проверка устройства защиты и автоматики питающей линии

Цель работы: получить практические навыки проведения комплексных проверок устройств релейной защиты и автоматики фидеров, научиться оформлять отчетную документацию.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- источник напряжения переменного тока для питания испытательных устройств;
- стенд с устройствами релейной защиты и автоматики высоковольтного выключателя;
- испытательный стенд для имитации аварийных режимов;
- мультиметры или тестеры, секундомер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками;
- техническая документация (технические паспорта проверяемого оборудования).

Краткие теоретические сведения

Комплексная проверка устройств релейной защиты и автоматики выполняется при номинальном напряжении цепей вторичной коммутации и подаче на устройство параметров аварийного режима от испытательного устройства.

При проведении комплексной проверки кожухи реле должны быть закрыты, а цепи – полностью собраны.

Ток и напряжение, соответствующие аварийному режиму, подаются на все ступени и все фазы проверяемого присоединения. При этом должно обеспечиваться надежное срабатывание реле.

#### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя комплект технической документации стенда заданного выключателя.
2. Отключить проверяемую схему цепей вторичной коммутации от коммутационной аппаратуры.
3. Собрать схему для проведения комплексной проверки, подключив испытательный стенд к проверяемому устройству.
4. С разрешения преподавателя подать напряжение оперативного тока на схему.
5. Включить испытательный стенд проверки защит.
6. С разрешения преподавателя подать ток, соответствующий 0,9 от уставки срабатывания реле максимальной токовой защиты и убедиться в отсутствии срабатывания. Затем увеличить ток до величины 1,1 от уставки срабатывания реле МТЗ и убедиться в надежном срабатывании соответствующего реле тока. Проверить действие схемы запуска АПВ. Произведя квитирование, повторно подать на токовое реле параметры аварийного режима и при токе, соответствующем 1,3 от уставки срабатывания реле МТЗ, с помощью секундомера зафиксировать время срабатывания защиты. Убедиться в правильности срабатывания сигнальных элементов. Результаты проверки занести в таблицу 2.19.1.

Таблица 2.19.1 – Результаты проверки схемы

Наименование защиты	Ток срабатывания, А	Ток возврата, А	Время, с при 1,3Iуст	Устройства автоматики, состояние	Сигнальные элементы, состояние

7. С разрешения преподавателя подать ток, соответствующий 0,9 от уставки срабатывания реле токовой отсечки и убедиться в отсутствии срабатывания. Затем увеличить ток до величины 1,1 от уставки срабатывания реле ТО и убедиться в надежном срабатывании соответствующего реле тока. Проверить блокировку схемы запуска АПВ. Произведя квитирование, повторно подать на токовое реле параметры аварийного режима и при токе, соответствующем 1,3 от уставки срабатывания реле ТО, с помощью секундомера зафиксировать время срабатывания защиты. Убедиться в правильности срабатывания сигнальных элементов. Результаты проверки занести в таблицу 2.19.1.
8. Отключить испытательный стенд.
9. Снять питание со схемы автоматики, привести в порядок рабочее место.
10. Сделать запись в отчете о результатах комплексной проверки.

#### Контрольные вопросы.

1. С какой целью выполняется комплексная проверка устройств релейной защиты и автоматики?
2. В какие виды технического обслуживания входит комплексная проверка устройств релейной защиты?
3. При каком соотношении тока аварийного режима и тока уставки реле должно обеспечиваться его надежное срабатывание?
4. Какие неисправности и нарушения могут быть выявлены в результате комплексной проверки?
5. Какая отчетная документация заполняется по результатам комплексной проверки устройств релейной защиты?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Описание выполненной работы и запись значений тока, устанавливаемых в результате проведенных испытаний.
3. Зафиксированные нарушения и неисправности (если были найдены).
4. Заполненная таблица 2.19.1.
5. Вывод о результатах проведенной проверки.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20

Тема: Комплексная проверка устройства защиты и автоматики трансформатора

Цель работы: получить практические навыки проведения комплексных проверок устройств релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов, научиться оформлять отчетную документацию.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- источник напряжения переменного тока для питания испытательных устройств;
- панели цепей вторичной коммутации выключателей трансформатора учебной тяговой подстанции;
- испытательный стенд для имитации аварийных режимов;
- мультиметры или тестеры, секундомер;
- набор инструментов с изолированными рукоятками;
- техническая документация (технические паспорта проверяемого оборудования).

Краткие теоретические сведения

Комплексная проверка устройств релейной защиты и автоматики производится при основных видах обслуживания устройств релейной защиты, а именно при:

- проверке (наладке) при новом включении;
- проведении профилактического контроля;
- проведении профилактического восстановления.

При проведении комплексной проверки ток и напряжение должны подаваться на все фазы устройства, оборудованные измерительными органами. Для защит, действующих на превышение уставки, для контроля несрабатывания должно подаваться 0,9 уставки; для контроля срабатывания защиты – 1,1 уставки; для проверки времени срабатывания -1,3 уставки. При проверке работы дифференциальных защит ток должен подаваться поочередно в каждое из плеч. Если в схеме защиты и автоматики трансформатора выполнено несколько видов защит, следует поочередно проверить каждую из них.

По результатам комплексной проверки делается соответствующая запись в журнале релейной защиты.

#### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя комплект технической документации панели управления трансформатора.
2. При проведении занятия в учебной лаборатории отключить проверяемую схему цепей вторичной коммутации от коммутационной аппаратуры.
3. Собрать схему для проведения комплексной проверки, подключив испытательный стенд к проверяемому устройству.
4. С разрешения преподавателя подать напряжение оперативного тока на схему.
5. Подключить испытательный стенд проверки токовых защит.
6. С разрешения преподавателя подать ток, соответствующий 0,9 от уставки срабатывания реле максимальной токовой защиты и убедиться в отсутствии срабатывания. Затем увеличить ток до величины 1,1 от уставки срабатывания реле МТЗ и убедиться в надежном срабатывании соответствующего реле тока. Проверить действие схемы запуска АВР, если таковая присутствует. Произведя квитирование, повторно подать на токовое реле параметры аварийного режима и при токе, соответствующем 1,3 от уставки срабатывания реле МТЗ, с помощью секундомера зафиксиро-

вать время срабатывания защиты. Убедиться в правильности срабатывания сигнальных элементов. Результаты проверки занести в таблицу 2.20.1.

Таблица 2.20.1 – Результаты проверки защит

Наименование защиты	Ток срабатывания, А	Ток возврата, А	Время, с при 1,3Iуст	Устройства автоматики, состояние	Сигнальные элементы, состояние

7. С разрешения преподавателя подать ток, соответствующий 0,9 от уставки срабатывания реле токовой отсечки и убедиться в отсутствии срабатывания. Затем увеличить ток до величины 1,1 от уставки срабатывания реле ТО и убедиться в надежном срабатывании соответствующего реле тока. Произведя квитирование, повторно подать на токовое реле параметры аварийного режима и при токе, соответствующем 1,3 от уставки срабатывания реле ТО, с помощью секундомера зафиксировать время срабатывания защиты. Убедиться в правильности срабатывания сигнальных элементов. Результаты проверки занести в таблицу 2.20.1.
8. Произвести проверку действия остальных защит схемы, если таковые имеются.
9. Отключить испытательный стенд.
10. Снять питание со схемы автоматики, привести в порядок рабочее место.
11. Сделать запись в отчете о результатах комплексной проверки.

#### Контрольные вопросы.

1. Какие функции схем релейной защиты и автоматики трансформаторов проверяются при комплексной проверке?
2. Какие инструкции определяют требования к проведению комплексных проверок устройств релейной защиты и автоматики?

3. Перечислите известные вам комплектные установки и приборы, с помощью которых можно проводить комплексные проверки устройств релейной защиты и автоматики.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Зафиксированные нарушения и неисправности (если были найдены).
3. Заполненная таблица 2.20.1.
4. Вывод о результатах проведенной комплексной проверки.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21

Тема: Тестовый контроль микропроцессорного устройства релейной защиты и автоматики

Цель работы: получить практические навыки проведения тестового контроля микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, научиться оформлять техническую и отчетную документацию.

Оборудование и приборы:

- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- ячейка присоединения учебной тяговой подстанции, оснащенная микропроцессорным устройством управления;
- мультиметры;
- набор инструментов с изолированными рукоятками;
- мегаомметр на 500 В;
- техническая документация (технические паспорта проверяемого оборудования, руководство по эксплуатации микропроцессорного устройства).

Краткие теоретические сведения

Тестовый контроль релейной защиты и автоматики проводится для устройств на микроэлектронной базе в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Рекомендуется проводить тестовый контроль не реже 1 раза в год.

Для микропроцессорных устройств, как правило, в объем тестового контроля включаются операции проверки сопротивления изоляции, тестовой проверки работоспособности и проверки сохранности в памяти параметров настройки. Все эти операции следует выполнять в соответствии с

руководством по эксплуатации конкретного микропроцессорного устройства.

Проверку сопротивления изоляции выполняют, как правило, мегаомметром на напряжение 500 В или 1000 В (2500 В) для тех внешних цепей, для которых эта проверка предусмотрена инструкцией завода-изготовителя.

Тестовая проверка работоспособности микропроцессорных устройств, в общем случае, выполняется в следующем порядке:

- проверяется наличие заземлений блоков устройства;
- подается напряжение питания в оперативные цепи и на блоки устройства;

- проверяется состояние индикаторов, которые должны сигнализировать о нормальной работе;

- с помощью пульта управления в меню проверяемого устройства выбирается кадр «диагностика» или «тест», в котором проверяется состояние дискретных входов и выходов устройства;

- производится опробование дискретных выходов с помощью кнопок управления, при этом тестером контролируется факт появления сигналов на соответствующих выходах. При опробовании выходов присоединенные к ним внешние цепи должны быть отключены, чтобы исключить возможность подачи команд управления на высоковольтные выключатели.

По результатам тестового контроля делается соответствующая запись в журнале релейной защиты.

#### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя комплект технической документации проверяемого микропроцессорного устройства.
2. Проверить наличие заземлений корпусов блоков.
3. В присутствии преподавателя проверить мегаомметром электрическое сопротивление изоляции внешних цепей. При проверке обязательно

следовать методике, изложенной в инструкции завода-изготовителя проверяемого устройства или блока.

4. Отключить соединители, подключенные к дискретным выходам.
5. С разрешения преподавателя подать питание в оперативные цепи, подключенные к входам проверяемого устройства.
6. С разрешения преподавателя подать питание на проверяемое устройство.
7. Пронаблюдать включение индикаторов и записать их состояние в отчет.
8. Зайти в меню проверяемого устройства, просмотреть все кадры меню и подменю и выписать в отчет заданные преподавателем параметры.
9. Под контролем преподавателя зайти в меню диагностики (тестирования) и проверить состояние дискретных входов устройства. Результаты проверки занести в таблицу 2.21.1.

Таблица 2.21.1 – Результаты проверки дискретных входов устройства

Порядковый номер входа (входного дискретного сигнала)	Обозначение соединителя и клеммы	Наименование входного сигнала по меню	Назначение	Состояние (наличие или отсутствие потенциала)

10. Под контролем преподавателя с помощью кнопок управления выборочно проверить появление сигналов на дискретных выходах. Результаты проверки занести в таблицу 2.21.2.

Таблица 2.21.2. – Результаты проверки дискретных выходов устройства

Наименование выходного сигнала по меню	Назначение	Обозначение соединителя и клеммы	Напряжение, В	Логический уровень («1» или «0»)

11. Вернуться в главное меню проверяемого устройства.
12. Проверить сохранность в меню параметров настройки, дату и время.
13. Отключить напряжение питания.
14. Согласно принципиальной схеме и под контролем преподавателя подключить соединители внешних цепей к разъемам дискретных выходов.
15. Сделать запись в отчете о результатах тестового контроля.

#### Контрольные вопросы.

1. С какой целью выполняется тестовый контроль микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики?
2. Требования к персоналу, обслуживающему микропроцессорные устройства?
3. С какой целью необходимо выполнять проверку электрического сопротивления изоляции?
4. Какие неисправности и нарушения могут быть выявлены в результате тестового контроля?
5. Перечислите индикаторы, имеющиеся на внешней панели проверяемого устройства. Укажите состояние индикаторов, которое соответствует нормальной работе.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты проверки сопротивления изоляции.
3. Зафиксированные при просмотре кадров меню и индикаторов нарушения и неисправности (если были найдены).
4. Заполненные таблицы 2.21.1 и 2.21. 2.
5. Вывод о результатах проведенного тестового контроля.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22

Тема: Проверка устройства релейной защиты и автоматики при новом включении

Цель работы: закрепить практические навыки проведения основных этапов проверок устройств релейной защиты и автоматики, оформления технической и отчетной документации.

Оборудование и приборы:

- стенд с устройствами релейной защиты и автоматики высоковольтных выключателей;
- техническая документация (технические паспорта проверяемого оборудования);
- мегаомметр на 500 В;
- источник напряжения постоянного тока для питания цепей вторичной коммутации;
- источник напряжения переменного тока для питания испытательных устройств;
- испытательные стенды для имитации аварийных режимов;
- реостат для организации понижения напряжения питания оперативных цепей до 0,8 номинального значения;
- мультиметры или тестеры;
- набор инструментов с изолированными рукоятками.

Краткие теоретические сведения

Проверка (наладка) при новом включении выполняется с целью оценки исправности аппаратуры и вторичных цепей и состоит из следующих этапов:

1. Подготовительные работы к новому включению.
2. Внешний осмотр устройств защиты и автоматики.

3. Проверка соответствия проекту смонтированных устройств.
4. Внутренний осмотр, чистка и проверка механической части аппаратуры.
5. Проверка сопротивления изоляции.
6. Проверка электрических характеристик элементов устройств.
7. Измерение и испытание изоляции устройств в полной схеме.
8. Проверка взаимодействия элементов устройств релейной защиты и автоматики.
9. Выставление уставок реле.
10. Проверка взаимодействия проверяемого устройства с другими, включенными в работу устройствами и проверка действия устройства на коммутационное оборудование.
11. Проверка работы всей схемы присоединения при заданных уставках.
12. Подготовка устройств к включению.

По результатам проверки делается соответствующая запись в журнале релейной защиты о состоянии проверенных устройств и возможности включения их в работу; оформляются паспорта-протоколы устройства.

#### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя комплект технической документации стенда заданного выключателя.
2. Выполнить внешний осмотр стенда. Сделать соответствующую запись в отчете.
3. Выборочно, по заданию преподавателя, выполнить проверку соответствия фактического монтажа, схемы электрических соединений и принципиальной схемы устройства.
4. Снять крышки с реле и произвести их внутренний осмотр. Выполнить в отчете запись о результатах осмотра.
5. Визуально проверить состояние изоляции цепей.

6. Отсоединить коммутационное оборудование. С разрешения преподавателя подать напряжение оперативного тока на схему. Проверить электрические характеристики и уставки отдельных реле. Выполнить запись в отчете о соответствии уставок.
7. Отключить оперативные цепи. Установить на место все кожухи и крышки реле. Под контролем преподавателя с помощью мегаомметра выборочно измерить сопротивление изоляции электрически не связанных цепей относительно земли и между собой. Результаты измерений занести в отчет.
8. Подключить проверяемое устройство к оперативным цепям по схеме с пониженным напряжением оперативного тока, равным  $0,8U_{ном}$  и с разрешения преподавателя провести проверку 1-2 функций схемы. Результаты проверки занести в таблицу 2.22.1.

Таблица 2.22.1 – Результаты проверки схемы

Наименование функции	Сработавшие реле	Выходные реле, состояние	Напряжение на выходных зажимах, В	Сигнальные элементы, состояние

9. Визуально проверить уставки всех токовых реле, реле времени и других имеющихся защит. Отключить питание оперативных цепей.
10. Произвести согласно схеме присоединение коммутационной аппаратуры к цепям вторичной коммутации. С разрешения преподавателя подать на схему номинальное напряжение. Выборочно проверить взаимодействие реле и силового коммутационного оборудования.
11. Выписать в отчет результаты проверки схемы стенда.
12. Снять питание со схемы автоматики, привести в порядок рабочее место.

Контрольные вопросы.

1. С какой целью выполняется проверка (наладка) устройств релейной защиты и автоматики при новом включении?
2. Кто имеет право проводить проверки при новом включении и кто должен подписывать протокол проверки?
3. Какие испытательные установки могут быть использованы при наладке устройств релейной защиты и автоматики?
4. Какая документация заполняется при подготовке устройства релейной защиты к включению?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заключение по каждому этапу проверки.
3. Заполненная таблица 2.22.1.
4. Вывод о возможности ввода устройства в работу.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23

Тема: Проверка работы аппаратуры энергодиспетчерского пункта

Цель работы: исследовать работу оборудования энергодиспетчерского пункта в различных режимах.

Оборудование и приборы:

- Рабочее место энергодиспетчера (персональный компьютер, оснащенный программой рабочего места энергодиспетчера);
- Аппаратура узла связи (модем);
- Испытательный стенд для проверки телеуправления и телесигнализации;
- Мультиметр.

Порядок выполнения работы

1. Ответить на вопросы преподавателя по составу оборудования и принципу работы устройств передачи команд телеуправления и приема серий телесигнализации.
2. С разрешения преподавателя подать питание на исследуемое оборудование.
3. Запустить на компьютере программу рабочего места энергодиспетчера.
4. Проверить в соответствующем окне состояние связи с подключенным испытательным стендом.
5. Вывести на экран мнемосхему энергокруга.
6. Подать на один из объектов телеуправления команду «включить» или «отключить», подтверждающую его текущее состояние. Проверить передачу команды по сигналам модема и светодиодной индикации испытательного стенда.

7. Вывести на экран меню архива и выписать в отчет данные, соответствующие переданной команде.
8. Восстановить на экране монитора мнемосхему энергокруга.
9. С помощью подключенного испытательного стенда поочередно изменить положение 2-3 объектов телесигнализации и зафиксировать изменение цвета обозначений на мнемосхеме.
10. Выписать из архива сообщения, соответствующие изменившейся сигнализации.
11. При наличии неисправностей (например, обрыв соединительных проводов) при отключенном питании с помощью мультиметра найти место обрыва и восстановить контакт.
12. Снять питание с исследуемого оборудования.

#### Контрольные вопросы.

1. Какими нормативными документами следует руководствоваться при проверке телемеханических устройств?
2. Какие сообщения на экране монитора свидетельствуют о выполнении команды телеуправления?
3. Какие неисправности могут быть выявлены при проверке работы аппаратуры телемеханики энергодиспетчерского пункта?
4. Какие графические обозначения (сигналы) сообщают о том, что объект управления находится в состоянии несоответствия?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Сообщения, появляющиеся на мониторе компьютера при передаче команд телеуправления.
3. Сообщения архива при передаче команды телеуправления.
4. Сообщения архива при приеме телесигнализации.
5. Вывод о результатах проверки оборудования.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24

Тема: Проверка работы аппаратуры контролируемого пункта в режиме приема команды управления

Цель работы: исследовать работу стойки контролируемого пункта при формировании команд телеуправления.

Оборудование и приборы:

- Стойка телемеханики;
- Персональный компьютер (операторская станция);
- Испытательный стенд с сигнальными элементами;
- Выходные реле;
- мультиметры.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить функциональную схему стойки контролируемого пункта. По заданию преподавателя указать на стойке местоположение модулей и разъемов для подключения внешних цепей телеуправления.
2. Ответить на вопросы преподавателя о функциях, которые выполняет стойка телемеханики в режиме приема команд телеуправления.
3. Изучить таблицу кодирования объектов телеуправления и по заданию преподавателя найти соответствующие разъемы в стойке.
4. Подать напряжение на стойку телемеханики и на управляющий компьютер.
5. При включенной операторской станции произвести операции включения и отключения объектов телеуправления испытательного стенда, проверив появление потенциалов на соответствующих разъемах стойки телемеханики и срабатывание выходных реле.
6. Результаты замеров и наблюдений занести в таблицу 2.24.1.

Таблица 2.24.1 – Результаты проверки формирования команд ТУ

Вид операции	Номер ТУ	Откуда идет сигнал (стойка КП)	Куда поступает (элемент испытательного стенда)	U, В	Срабатывание/ несрабатывание реле

7. Сделать вывод о степени исправности стойки КП при работе в режиме телеуправления.
8. Вычертить фрагмент функциональной схемы стойки КП, указав на ней цепи тока при срабатывании команд телеуправления.
9. Снять питание со стойки телемеханики и отключить управляющий компьютер.

#### Контрольные вопросы.

1. Какие модули входят в состав стоек контролируемого пункта?
2. Уровень напряжения в цепях телеуправления.
3. Какие светодиодные индикаторы позволяют определить неисправности модулей стойки телемеханики?
4. Порядок проверки работы стойки в режиме телеуправления с применением таблиц кодирования.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Функциональная схема стойки телемеханики (или заданный фрагмент) с указанием цепей тока при проверке телеуправления.
3. Заполненная таблица 2.24.1.
4. Вывод о степени исправности стойки телемеханики.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25

Тема: Проверка работы аппаратуры контролируемого пункта в режиме телесигнализации

Цель работы: исследовать работу стойки контролируемого пункта при приеме телесигнализации.

Оборудование и приборы:

- Стойка телемеханики;
- Персональный компьютер (операторская станция) с мнемосхемой или таблицей телесигнализации;
- Испытательный стенд с кнопками, имитирующими срабатывание объектов телесигнализации;
- Мультиметры.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить функциональную схему стойки контролируемого пункта и модули, работающие в режиме телесигнализации. По заданию преподавателя указать на стойке местоположение модулей и разъемов для подключения внешних цепей телесигнализации.
2. Ответить на вопросы преподавателя о функциях, которые выполняет стойка телемеханики в режиме телесигнализации.
3. Изучить таблицу кодирования объектов телесигнализации и по заданию преподавателя найти соответствующие разъемы в стойке.
4. Подать напряжение на стойку телемеханики и на управляющий компьютер.
5. При включенной операторской станции и наличии напряжения в цепях испытательного стенда произвести операции изменения состояния объектов телесигнализации, проверив появление потенциалов на соответ-

вующих разъемах стойки телемеханики и изменение цвета графических обозначений на мониторе операторской станции.

6. Результаты замеров и наблюдений занести в таблицу 2.25.1.

Таблица 2.25.1 – Результаты проверки приема сигналов ТС

Вид операции	Откуда идет сигнал (элемент испытательного стенда)	Куда поступает (стойка КП)	U, В	Номер ТС в кодовой таблице	Состояние ТС

7. Сделать вывод о степени исправности стойки КП при работе в режиме телесигнализации.

8. Вычертить фрагмент функциональной схемы стойки КП, указав на ней цепи тока при появлении сигналов ТС.

9. Снять питание со стойки телемеханики и отключить управляющий компьютер.

#### Контрольные вопросы.

1. Какие модули входят в состав стоек контролируемого пункта?
2. Уровень напряжения в цепях телесигнализации.
3. Какие неисправности, определяемые с помощью средств самодиагностики, требуют замены модулей стойки?
4. Порядок проверки работы стойки в режиме телесигнализации с применением таблиц кодирования.

#### Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Функциональная схема стойки телемеханики (или заданный фрагмент) с указанием цепей тока при проверке телесигнализации.
- 3 Заполненная таблица 2.25.1.
- 4 Вывод о степени исправности стойки телемеханики.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 26

Тема: Исследование работы аппаратуры каналов связи в режиме телеуправления

Цель работы: исследовать работу аппаратуры канала связи контролируемого пункта в режиме приема телеуправления.

Оборудование и приборы:

- Стойка телемеханики с встроенным узлом связи (модемом);
- Персональный компьютер (операторская станция) с программой контроля элементов стойки телемеханики;
- Мультиметр;
- Руководство по эксплуатации изучаемого узла связи.

Краткие теоретические сведения

В качестве аппаратуры каналов связи в современных системах телемеханики применяются устройства различных поколений – от частотных приемников и передатчиков на электронной элементной базе до модемов на основе микропроцессорных устройств, аппаратуры сопряжения с сетями передачи данных, оптическими приемниками и передатчиками, и т.д. Устройство и принцип действия частотных приемников и передатчиков различных типов приведены в учебнике. При проверке аппаратуры каналов связи, выполненной на электронной элементной базе, контролируют величину и форму сигнала в контрольных точках с помощью осциллографа, снимают характеристику затухания фильтра и настраивают его, регулируют мощность усилительных элементов, измеряют сопротивление изоляции цепей устройства.

Применяемые в качестве аппаратуры каналов связи модемы имеют в своем составе программно управляемые микропроцессорные контроллеры,

которые регулируют режим работы устройства (прием сигналов из линии связи или передачу). Они управляют модуляцией вырабатываемого сигнала, а также производят самодиагностику и тестирование. Поэтому проверка такой аппаратуры в течение ее эксплуатации сводится к контролю уровня и качества напряжения источника питания, проверке уровней сигнала в каналах связи и визуальному контролю по светодиодной индикации.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить функциональную схему узла связи (модема) и ответить на вопросы преподавателя.
2. Подключить исследуемую аппаратуру к источнику питания.
3. При исследовании модема имитировать подачу команды управления и по светодиодной индикации проверить правильность его функционирования при передаче команды с энергодиспетчерского пункта на контролируемый пункт. Порядок переключения светодиодов для каждого вида аппаратуры изучаются по руководству по эксплуатации. Результаты наблюдений свести в таблицу 2.26.1.

Таблица 2.26.1 – Проверка работы в режиме телеуправления

Обозначение светодиода	Назначение	Фактическое состояние (степень исправности)

4. Снять питание с аппаратуры каналов связи.

#### Контрольные вопросы.

1. Из каких составляющих выполнена аппаратура каналов связи исследуемой системы телемеханики?
2. В каком диапазоне частот работает проверяемый узел связи?

3. Как меняются сигналы светодиодной индикации при передаче команды на контролируемый пункт?
4. Какая сигнализация или другие сообщения самодиагностики позволяют выявить неисправность модема?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Функциональная схема модема с указанием цепей тока при приеме сигнала из линии связи.
3. Заполненная таблица 2.26.1.
4. Вывод о степени исправности проверенной аппаратуры.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 27

Тема: Исследование работы аппаратуры каналов связи в режиме телесигнализации

Цель работы: исследовать работу аппаратуры канала связи контролируемого пункта в режиме приема вызова и передачи телесигнализации.

Оборудование и приборы:

- Стойка телемеханики с встроенным узлом связи (модемом);
- Персональный компьютер (операторская станция) с программой контроля элементов стойки телемеханики;
- Мультиметр;
- Руководство по эксплуатации изучаемого узла связи.

Порядок выполнения работы

1. Изучить функциональную схему узла связи модема и ответить на вопросы преподавателя.
2. Подключить исследуемую аппаратуру к источнику питания.
3. При исследовании модема по светодиодной индикации проверить правильность его функционирования при вызове с энергодиспетчерского пункта на контролируемый пункт и при ответе с контролируемого пункта. Порядок переключения светодиодов для каждого вида аппаратуры изучаются по руководству по эксплуатации. Результаты наблюдений свести в таблицу 2.27.1.

Таблица 2.27.1 – Проверка работы в режиме телесигнализации

Обозначение светодиода	Вид свечения светодиода в нормальном режиме	Фактическое состояние (степень исправности)

4. Снять питание с аппаратуры каналов связи.

#### Контрольные вопросы.

1. Назначение элементов модема.
2. Алгоритм работы проверяемого узла связи.
3. Как меняются сигналы светодиодной индикации при передаче телесигнализации с контролируемого пункта?
4. Как определить необходимость замены модема?

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Функциональная схема модема с указанием цепей тока при передаче сигнала в линию связи.
3. Заполненная таблица 2.27.1.
4. Вывод о степени исправности проверенной аппаратуры.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основные источники:

1. Кожунов В.И. Устройство электрических подстанций [Текст]: Учебное пособие. М.: ФБГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2016. – 401 с.
2. Почаевец В.С. Электрические подстанции: учебник. – М.: ФБГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2012. – 491 с.
3. Киреева Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 288 с.

### Дополнительные источники:

1. Ройзен О.Г. Релейная защита и автоматические системы управления устройствами электроснабжения. Раздел 5, темы 5.2. – 5.5. Методическое пособие по проведению лабораторных работ и практических занятий по профессиональному модулю «Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей». Специальность 140409. – М.: ФБГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015.
2. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2011. – 488 с.
3. Инструкция от 18.03.2008 г. № 4054. «Инструкция по безопасности при эксплуатации электроустановок тяговых подстанций и районов электроснабжения железных дорог» (4054). М.: ОАО «РЖД», 2008.
4. Правила содержания тяговых подстанций, трансформаторных подстанций и линейных устройств системы тягового электроснабжения [Электронный ресурс]: Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» № 1578р от 5.08.2016.
5. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утв. Пр.№328н от 24.07.2013г. – Новосибирск: Норматика, 2014. – 96 с.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. СПб.: ООО «БАРС», 2003.
7. Профилактические испытания электрооборудования и проверка релейных защит тяговых подстанций: Сборник справочных материалов. ЦЭ МПС РФ. М.: Трансиздат, 2001.
8. Типовые нормы времени на техническое обслуживание устройств релейной защиты и электроавтоматики тяговых подстанций, постов секционирования и линий 110–220 кВ электрифицированных железных дорог. М.: Трансиздат, 2001.