

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т. Г. ШЕВЧЕНКО

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет среднего профессионального образования

Кафедра электротехнологического оборудования

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ И АВТОМАТИКЕ

Методические указания

Тирасполь

*Издательство
Приднестровского
университета*

2025

УДК [621.316.925+681.5]:377.5(072.32)
ББК 327-051.3p20+Ч447.027.62p20
П69

Составители:

Л. Н. Дьяченко, ст. преподаватель,
Е. Б. Лукашевич, ст. преподаватель
С. К. Баранова, ст. преподаватель
А. В. Костантиновская, преподаватель

Рецензенты:

Д. Н. Калошин, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭЭ
О. А. Зосимов, начальник электромеханического производства ГУП
«ГК Днестрэнерго»

Практические занятия по релейной защите и автоматике : методические указания [Электронный ресурс] / ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко» ; Физико-технический институт ; составители : Л. Н. Дьяченко, Е. Б. Лукашевич, С. К. Баранова, А. В. Костантиновская. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2025. – 61 с.

Минимальные системные требования: CPU (Intel/AMD) 1,5 ГГц/ ОЗУ 2 Гб/HDD 450 Мб/1024*768/Windows 7 и старше/ Internet Explorer 11/Adobe Acrobat Reader 6 и старше.

Методические указания к выполнению практических занятий по МДК 02.03 «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 и на основе рабочей программы профессионального модуля ПМ02 Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей.

УДК [621.316.925+681.5]:377.5(072.32)
ББК 327-051.3p20+Ч447.027.62p20

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© Дьяченко Л.Н., Лукашевич Е.Б., Баранова С. К.,
Костантиновская А.В. составление, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	5
<i>Практическое занятие № 1</i>	6
<i>Практическое занятие № 2</i>	12
<i>Практическое занятие № 3</i>	18
<i>Практическое занятие № 4</i>	23
<i>Практическое занятие № 5</i>	33
<i>Практическое занятие № 6</i>	41
<i>Практическое занятие № 7</i>	47
<i>Практическое занятие № 8</i>	51
<i>Практическое занятие № 9</i>	53
<i>Практическое занятие № 10</i>	56
<i>Практическое занятие № 11</i>	58
ЛИТЕРАТУРА	60

ВВЕДЕНИЕ

Для успешного освоения профессионального модуля МДК 02.03 обучающийся должен обладать определённым уровнем практического опыта, который включает в себя несколько ключевых аспектов. Во-первых, необходимы навыки составления электрических схем для устройств электрических подстанций и сетей, что является основой для понимания функционирования энергосистем. Во-вторых, модернизация и обслуживание схем электрических устройств подстанций требуют глубокого понимания принципов работы и особенностей их эксплуатации.

Кроме того, важным аспектом является умение обслуживать оборудование распределительных устройств электроустановок. Это включает в себя не только технические навыки, но и знание инструкций и нормативных правил, необходимых для составления отчётов и разработки технологических документов. Обучающийся обязан уметь оформлять техническую документацию, касающуюся обслуживания и ремонта устройств релейной защиты и автоматики. Также критически важно знание порядка заполнения нарядов, нарядов-допусков и оперативных журналов проверки знаний по охране труда.

В процессе освоения модуля обучающийся должен не только практиковать эти навыки, но и иметь теоретическую базу. Он должен знать устройство оборудования релейной защиты и автоматики, условные графические обозначения на электрических схемах, а также принципы построения схем и типовые решения. Знания о видах и технологиях работ по обслуживанию оборудования устройств релейной защиты, а также основных положениях правил технической эксплуатации электроустановок, являются необходимыми для обеспечения безопасности и эффективности работ.

В рамках программы профессионального модуля предусмотрено 46 часов практических занятий, что позволяет учащимся получить не только теоретические знания, но и практические навыки, способствующие их профессиональному росту. Освоение всех вышеперечисленных компонентов создаёт прочную основу для будущей профессиональной деятельности в области релейной защиты и автоматики, что является важным этапом в подготовке квалифицированных специалистов данной сферы.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Практические занятия	Кол-во часов
1	Конструктивные особенности реле (тока, напряжения, времени, промежуточного и указательного)	4
2	Реле направления мощности и дифференциальное их конструкции и схемы включения	4
3	Релейная защита линии электропередачи	4
4	Релейная защита электродвигателей	4
5	Релейная защита цехового трансформатора	4
6	Дифференциальная защита трансформатора ГПП	4
7	Изучение оборудования энергодиспетчерского пункта	4
8	Аппаратура телемеханики и телеуправления	4
9	Оборудование контрольного пункта	4
10	Схемы сбора и передачи информации на контрольном пункте	4
11	Управление подстанцией с рабочего места энергодиспетчера в режимах телеуправления и телесигнализации	6
ИТОГО		46

Практическое занятие № 1

Тема: Конструктивные особенности реле (тока, напряжения, времени, промежуточного и указательного)

Цель работы: изучить конструкцию, назначение, характеристики электромеханических реле тока, напряжения, времени, промежуточного и указательного.

Приборы и оборудование:

Название реле	Буквенные обозначения на схеме
реле тока	КА
реле напряжения	KV
реле времени	КТ
промежуточное реле	KL
указательное реле	КН

Справочная литература и технические паспорта реле

Общие теоретические сведения

Релейной защитой называются специальные устройства, которые ограничивают зону аварийных повреждений при коротких замыканиях и сокращают перерывы электроснабжения потребителей. Релейная защита производит быстрое автоматическое отключение поврежденного элемента электроустановки, приводя в действие электромагнит отключения выключателя, и сигнализирует об отключении.

Схема релейной защиты состоит из различных реле, соединенных между собой по определенному алгоритму.

Реле – это автоматическое устройство, которое реагирует на изменение величины, которую оно контролирует. Реле имеет обмотки и контакты. У электромеханических реле воспринимающим органом являются обмотки, исполнительным – контакты.

Реле можно разделить на основные или измерительные и вспомогательные или логические. К измерительным реле относятся реле тока и напряжения, к логическим – реле времени, промежуточные, указательные.

Порядок выполнения работы

1. Исследовать назначение, конструкцию и параметры электромеханического реле тока.

1.1. В каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

1.2. Рассмотреть эскиз реле тока, назвать его основные элементы.

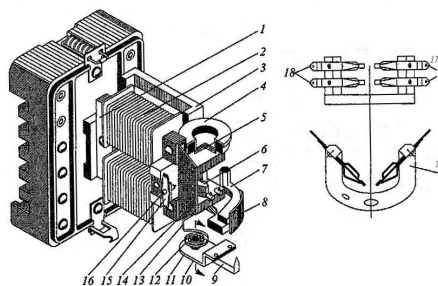


Рисунок 1.1.1 РТ-40 реле тока

- 1 – магнитопровод; 2 – обмотки; 3 – стойка алюминиевая; 4 – гаситель вибрации (демпфер); 5 – верхняя полюсь; 6 – подвижный контакт; 7 – изоляционная основа; 8 – шкала; 9 – указатель уставки; 10 – пружинодержатель; 11 – шестигранная втулка; 12 – пружина спиральная; 13 – поводок пружины спиральной; 14 – якорь; 15 – пластинка фасонная; 16 – упор; 17, 18 – пары неподвижных контактов.

1.3. Начертить схему соединений катушек реле.

1.4. В таблице 1.1.1 указать характеристики исследуемого реле тока

Таблица 1.1.1. - Характеристики реле тока

Марка реле тока	Число обмоток	Кол-во контактов нормально замкнутых	Кол-во контактов нормально разомкнутых	Пределы уставок при последовательном соединении обмоток	Пределы уставок при параллельном соединении обмоток

Расшифровать маркировку реле тока.

2. Изучение назначения, конструкции и характеристик электромеханического реле напряжения.

2.1. Применение реле напряжения в релейных защитах и его функция.

2.2. Основные элементы реле напряжения по назначению.

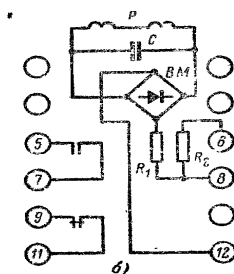
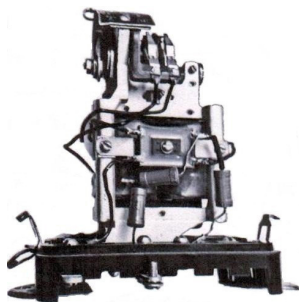


Рисунок 1.1.2. Общий вид и схема включения реле напряжения РН

2.3. Схема внутренних соединений реле напряжения.

2.4. Характеристики исследуемого реле напряжения в таблице 2

Таблица 1.1.2 - Характеристики реле напряжения

Марка реле напряжения	Число обмоток	Кол-во контактов нормально замкнутых	Кол-во контактов нормально разомкнутых	Пределы уставок	
				при вклю- чении R 1	при включе- нии R 1+ R 2

Расшифровать маркировку реле напряжения.

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

3.1. В каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

3.2. Начертить реле времени, указать название основных элементов.

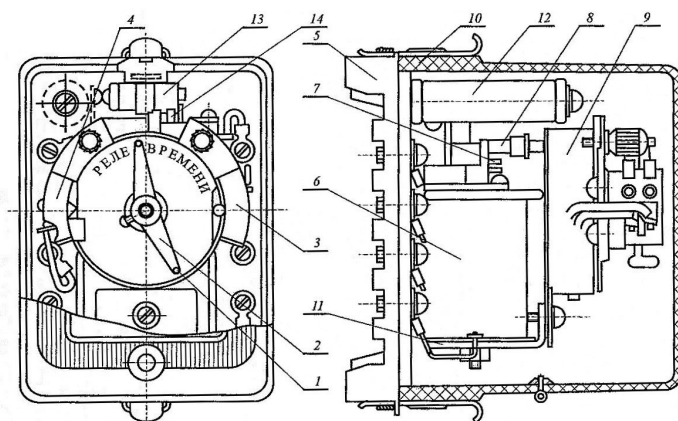


Рисунок 1.1.3. Реле времени РВ-100

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.

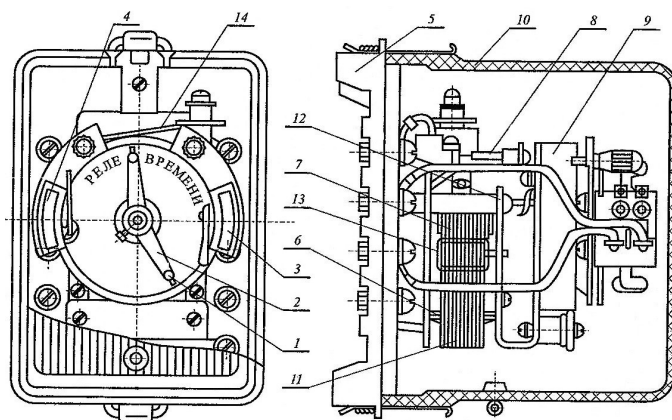


Рисунок 1.1.4. Реле времени РВ-200

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 исследуемого реле времени.

Таблица 1.1.3 - Характеристики реле времени

Марка реле времени	Число обмоток	Кол-во контактов нормально замкнутых	Кол-во контактов нормально разомкнутых	Пределы уставок по времени	Номинальное напряжение и род тока

Расшифровать маркировку реле времени.

4. Исследовать назначение, конструкцию и параметры электро-механического промежуточного реле.

4.1. В каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

4.2. Начертить промежуточное реле, указать название основных элементов.

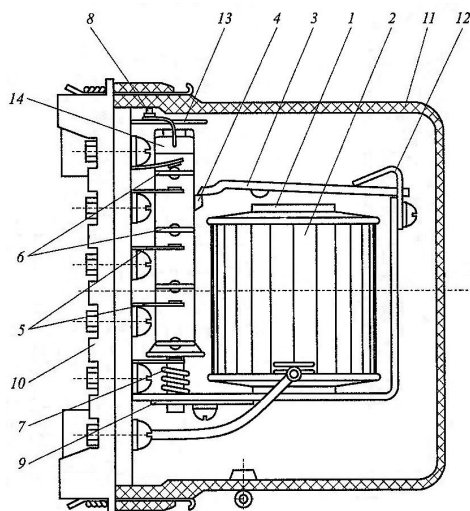


Рисунок 1.1.5. Реле промежуточное РП-23.

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 исследуемого реле.

Таблица 1.1.4. Характеристики промежуточного реле

Марка реле промежуточного	Число обмоток	Кол-во контак- тов нормально замкнутых	Кол-во контак- тов нормально разомкнутых	Номинальное напряжение и род тока

Расшифровать маркировку промежуточного реле.

5. Исследовать назначение, конструкцию и параметры электро-механического указательного реле.

5.1. В каких релейных защитах применяется, каким органом в этих защитах является.

5.2. Начертить указательное реле, указать название основных элементов.

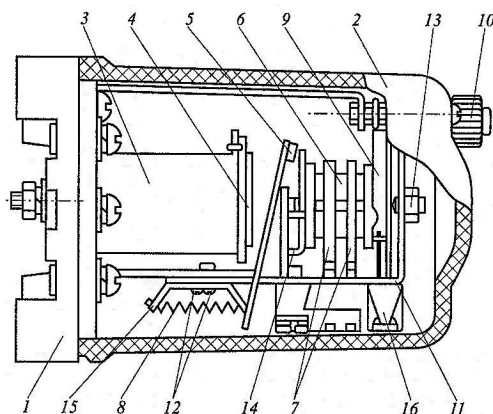


Рисунок 1.1.6. Указательное реле РУ-21

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 исследуемого указательного реле.

Таблица 1.1.5 - Характеристики указательного реле

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

Расшифровать маркировку указательного реле.

Контрольные вопросы.

1. Конструктивное отличие реле тока от реле напряжения?
2. Для чего часовой механизм у реле времени.
3. Как осуществляется возврат указательного реле?

Содержание отчета

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

Практическое занятие № 2

Тема: Реле направления мощности и дифференциальное их конструкции и схемы включения

Цель работы: изучить назначение, конструкцию, параметры реле мощности и дифференциального марки РНТ

Оборудование и приборы:

Название реле	Буквенные обозначения на схеме
реле мощности	KW
дифференциальное реле	ТКА

Технические паспорта реле и справочная литература.

Общие сведения о реле направления мощности

В кольцевых электрических сетях обычные токовые защиты не всегда удовлетворяют требованиям селективности, быстродействия и чувствительности

Защиты линий с двусторонним питанием, двух параллельных линий электропередач используют направленную защиту.

Воспринимающим органом, который реагирует на направление мощности короткого замыкания в этих защитах, является реле направления мощности (реле мощности).

Токовая обмотка реле, состоящая из двух секций, подключается к измерительному трансформатору тока, обмотка напряжения, разделённая на четыре секции, подключается к измерительному трансформатору напряжения. Токовая обмотка подключается на фазный ток линии, обмотка напряжения на линейное напряжение между фаз.

Схемы максимальных направленных защит выполняются в различных вариантах, отличающихся друг от друга в основном схемой включения органа направления мощности. Под схемой включения реле направления мощности понимается сочетание фаз токов и напряжений, подводимых к реле. Схемы включения должны обеспечивать правильное определение направления мощности в условиях короткого замыкания.

Наибольшее распространение получили две схемы: 30-градусная и 90-градусная. Сочетания токов и напряжений для этих схем приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

30-градусная схема		90-градусная схема	
Фазы тока	Фазы напряжения	Фазы тока	Фазы напряжения
IA	UAC	IA	UBC
IB	UBA	IB	UCA
IC	UCB	IC	UAB

Порядок работы

2. Исследовать конструкцию и назначение реле мощности. и его основные параметры

2.1. Привести пример релейных защит, в которых применяется реле мощности, каким органом в этих защитах оно является.

2.2. Начертить схему электрических соединений реле мощности, указать его марку и назначение элементов.

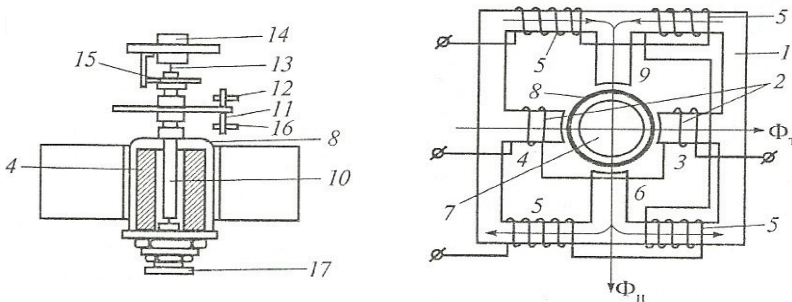


Рисунок 2.1. Конструкция и схема электрических соединений реле мощности.

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

2.3. Описать принцип работы схемы с реле направления мощности.

2.4. В таблице 2.2 внести основные характеристики реле мощности.

Таблица 2.2 – Основные 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	Коэфф. возврата	Время срабатывания, с

Расшифровать маркировки реле мощности.

Контрольные вопросы.

1. Количество контактов реле направления мощности?
2. Поясните что такое угол максимальной чувствительности реле мощности?

Общие теоретические сведения о дифференциальных реле

Дифференциальные реле с быстронасыщающимся трансформатором типов РНТ-565, РНТ-566, РНТ-567 используют в схемах дифференциальных токовых защит двух- и трехобмоточных трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов и сборных шин.

Реле состоит из промежуточного быстронасыщающегося трансформатора Т (БНТ), исполнительного органа КА (реле РТ-40/0,2) (рис.1.2.4.). Для регулировки тока срабатывания установлен резистор $R_{ш}$ и резистор R_k для плавной регулировки отстройки от апериодической составляющей тока КЗ. Реле серии РНТ-560 отличается только количеством рабочих обмоток. Быстронасыщающийся трансформатор БНТ представляет собой трехстержневую магнитную систему. Первичные обмотки: дифференциальная w_d и две уравнивательные: $w_{урI}$ и $w_{урII}$ расположены на среднем стержне. Где так же расположена первая секция короткозамкнутой обмотки w'_k ; на левом стержне вторичная рабочая обмотка w_2 и на правом стержне вторая секция короткозамкнутой обмотки w''_k . У дифференциальной и уравнивательной обмотки имеют выводы, которые секционированы. При помощи регулировочных винтов можно производить изменение числа витков (через один), которые устанавливаются в разъемные гнезда. Числу включаемых витков соответствуют числа, стоящие у гнезд.

Основное назначение быстронасыщающегося трансформатора предотвращать срабатывания защиты от бросков намагничивающего тока, в дифференциальной цепи при включении силового трансформатора (холостой ход трансформатора), а также при увеличенных токах небаланса в переходных режимах, которые обусловлены внешними КЗ со значительной апериодической составляющей тока.

При наличии апериодической составляющей магнитопровода насыщается, сопротивление цепи намагничивания уменьшается, а следовательно, трансформация периодической составляющей тока ухудшается, так как она замыкается в основном по ветви намагничивания.

Для более эффективной отстройки исполнительного органа защиты от переходных режимов, сопровождающихся появлением апериодической составляющей тока в дифференциальной цепи, на магнитопроводе БНТ предусмотрена короткозамкнутая обмотка (w'_k , w''_k).

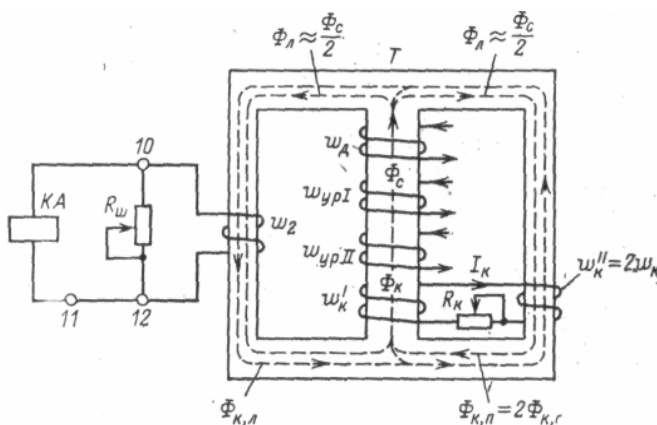


Рис. 2.2. Реле типа РНТ-565

Загрубить действия выходного реле можно путем регулирования сопротивления резистора R_K , который включен последовательно с цепью короткозамкнутой обмотки. Уменьшая R_K , мы увеличиваем степень насыщения стали промежуточного трансформатора, что повышает надежность отстройки от переходных токов с апериодической составляющей, однако время срабатывания реле при коротком замыкании в зоне защиты будет увеличиваться на время затухания апериодической составляющей в токе короткого замыкания.

Для выравнивания магнитных потоков, вызванных токами в плечах дифференциальной защиты, используются уравнивательные обмотки реле. В случае двухобмоточных трансформаторов можно применить одну уравнивательную обмотку, тогда как для трехобмоточных трансформаторов необходимо использовать обе обмотки.

Изменяя число витков дифференциальной обмотки, производится регулирование тока срабатывания реле.

Параметры исполнительного элемента не изменяются, поэтому значение минимального магнитного потока, при котором реле надежно замыкает контакты, постоянно. Для реле типов РНТ-565, РНТ-566, РНТ-567 магнитодвижущая сила срабатывания, составляет $F_{с.р.} = 100 \pm 5$ А и незначительно изменяется с помощью регулируемого резистора R_w , который к обмотке исполнительного реле включен параллельно. При синусоидальном токе и нормальной регулировке противодействующей пружины (движок реле установлен на красной черте) ток срабатывания этого реле равен 0,17 А, а напряжение на обмотке при этом 3,6 В.

Магнитодвижущая сила $F_{c.p.} = I_{c.p.} \cdot w_{\partial}$, равна значению тока срабатывания и зависит от числа используемых витков дифференциальной обмотки, т. е.

$$I_{c.p.} = 100 / w_{\partial}. \quad (1)$$

Ток срабатывания при включении только дифференциальной обмотки изменяется от 2,86 А (замкнуты гнезда 32, 3) до 12,5 А (замкнуты гнезда 8, 0).

Если включить в дифференциальную цепь последовательно две обмотки – уравнительную и дифференциальную – ток срабатывания уменьшается ($I_{c.p. \min} = 1,45 \text{ А}$). При включении реле по схеме на рис. 2.3. зажимами 4–6 (включена одна дифференциальная обмотка) и замкнуты гнезда у цифр 24 и 1 ток срабатывания реле будет

$$I_{c.p.} = 100 / (24 + 1) = 4 \text{ А}.$$

При подключении реле в цепь зажимами 1–6 и накладку 2–4 (включены последовательно две обмотки), то ток срабатывания реле окажется

$$I_{c.p.} = 100 / (4 + 21 + 24 + 1) = 2 \text{ А}.$$

В схеме с автотрансформатором или нагрузочным трансформатором для получения синусоидальной формы кривой тока последовательно с обмоткой реле включён резистор R, минимальные значения сопротивлений которого соответствует минимальному числу витков

Число витков первичной обмотки	5	10	20	40	60	120
R, Ом	1,5	3	5	10	15	30

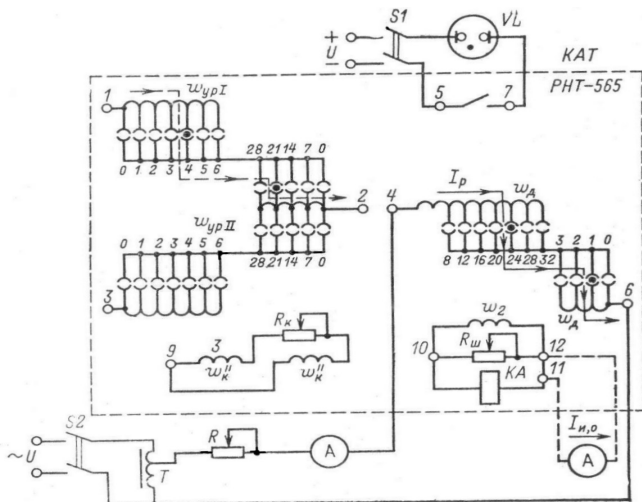


Рис. 2.3. Схема испытания и схема внутренних соединений реле типа РНТ-565

Порядок выполнения работы

1. Изучить особенности дифференциальной защиты трансформаторов, схемами соединения трансформаторов тока, составляющими тока небаланса.
2. Ознакомиться с принципом регулировки реле РНТ-565; начертить схему внутренних соединений, записать паспортные данные.
3. Составить схему продольной дифференциальной защиты трансформатора с соединением обмоток $Y / \Delta - 11$, указать, как протекают токи при трехфазном КЗ в зоне и вне зоны действия защиты.

Контрольные вопросы

1. Назначение быстронасыщающегося трансформатора?
2. Для чего уравнительные обмотки в реле типа РНТ-565.
3. Как регулируют ток срабатывания?
4. Какая магнитодвижущая сила срабатывания, у реле типа РНТ-565?
5. Какое назначение короткозамкнутой обмотки (w'_k , w_k) магнитопровода БНТ?
6. Как можно заглубить действия выходного реле?
7. Для чего в схеме реле типа РНТ-565 резисторы $R_{ш}$, R_k ?
8. Как в быстронасыщающемся трансформаторе БНТ выполнена магнитная система и как изменить число витков?

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Перечень оборудования и приборов.
3. Назначение изученных реле.
4. Указать основные элементы в схемах изученных реле.
5. Заполнить таблицы с характеристиками реле.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Вывод.

Практическое занятие № 3

Тема: Релейная защита линии электропередачи

Цель работы: изучить методы определения токов срабатывания МТЗ и ТО для линии электропередачи, а также оценить чувствительность релейных защит.

Исходные данные:

1. $I_{\text{раб.max}}$ – максимальный рабочий ток линии электропередачи, в амперах (А);

2. $I_{\text{к.min1}}$ – минимальный ток для трехфазного короткого замыкания в конце защищаемой линии, в кА;

3. $I_{\text{к.min2}}$ – минимальный ток для трехфазного короткого замыкания в начале защищаемой линии, в кА;

4. $I_{\text{к.max1}}$ – максимальный ток для трехфазного короткого замыкания в конце защищаемой линии, в кА;

5. КИТ – коэффициент трансформации трансформатора тока, к которым подключены защитные устройства;

Схема соединения трансформаторов тока и реле тока будет указана в задании. Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.1.

Порядок выполнения работы

1. Составить схему МТЗ и ТО для линии электропередачи.

2. Выполнить расчет МТЗ и ТО для линии электропередачи.

3.1 Расчет МТЗ для линии электропередачи.

3.1.1 Расчет тока срабатывания МТЗ

Защита воздушных и кабельных линий промышленного назначения выполняется для предотвращения следующих типов повреждений и ненормальных режимов работы:

- междуфазные короткие замыкания;
- замыкания на землю (трехфазные, двухфазные, двойные однофазные);
- разрывы фаз;
- перегрузки.

Уставка тока срабатывания МТЗ должна соответствовать ряду условий.

1) Одним из таких условий является то, что защита не должна срабатывать в случае послеаварийной перегрузки, которая возникает после отключения внешнего короткого замыкания (на одном из последующих участков сети).

Для расчета используется следующая формула:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3П} \cdot I_{\text{раб.макс.}}}{K_B};$$

где:

K_H - коэффициент надежности. Для реле РТ-40, РТ-80 принимается $K_H=1,1-1,2$, для реле прямого действия РТВ $K_H=1,2-1,4$;

K_B - коэффициент возврата, который равен 0,8-0,85 для реле РТ-40, РТ-80; 0,5-0,7 для реле РТВ;

$K_{C3П}$ - коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение нагрузки и одновременный запуск двигателей после кратковременного падения напряжения. Значение этого коэффициента находится в пределах 2–6;

$I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный длительный ток нагрузки защищаемой линии;

Защита обладает достаточной чувствительностью, если $K_{\text{ч}} > 1,5$ для основной зоны МТЗ и 1,2 для зоны резервирования.

Этот расчёт поможет установить корректные параметры для работы релейной защиты, избегая ложных срабатываний и обеспечивая стабильную работу линии электропередачи.

Если при расчете получается $K_{\text{ч}} < 1,5$, то для повышения чувствительности МТЗ дополняют ее пуском от реле минимального напряжения. Ток срабатывания защиты в этом случае отстраивается от длительной рабочей нагрузки без учета увеличения этого тока при самозапуске двигателей.

$$I_{C3} = \frac{K_H (nI_{\text{нд}}^A + nI_{\text{нд}}^C + I_{\text{тн}})}{K_B},$$

где:

$I_{\text{тн}}$ - номинальный ток подключенного к линии силового трансформатора;

n -число однотипных асинхронных двигателей, питаемых этой линией;

$I_{\text{нд}}^A, I_{\text{нд}}^C$ - номинальные токи асинхронного и синхронного двигателей.

Напряжения срабатывания защиты и реле определяют по формулам:

$$U_{C3} = \frac{U_{\text{мин}}}{K_H K_B}; \quad U_{CP} = \frac{U_{C3}}{K_{\text{тн}}}$$

где

$U_{\text{мин}} = 0,85 \cdot U_n$ - минимальное остаточное напряжение при самозапуске нагрузки

$k_n = 1,2$ коэффициент надежности

$k_b = 1,25$ коэффициент возврата.

U_n – номинальное напряжение,

$K_{т.н.}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Чувствительность защиты проверяется по коэффициенту чувствительности.

3.1.2 Расчет тока срабатывания реле

Ток срабатывания реле определим по формуле, при этом необходимо определить коэффициент трансформации трансформаторов тока и коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и реле:

$$I_{cp} = \frac{k_n \cdot k_{сз} \cdot k_{сх}}{k_6 \cdot K_{ТТ}} \cdot I_{раб. макс.}$$

где

$K_{ТТ}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_{сх}$ - коэффициент схемы, равный отношению тока в реле к вторичному току трансформатора тока (схема соединения ТА полная или неполная звезда) $k_{сх} = 1$, при включении реле на разность фазных токов (схема соединения ТА полный или неполный треугольник) $k_{сх} = \sqrt{3}$

3.1.3 Расчет коэффициента чувствительности МТЗ

Чувствительность защиты оценивается значением коэффициента чувствительности:

$$K_q > \frac{I_{КЗ. мин}^{(2)}}{I_{сз}}$$

где

$I_{КЗ мин}^{(2)}$ - минимальное значение тока двухфазного короткого замыкания

Чувствительность проверяется для двух режимов - основного и режима резервирования

Если защита РЗ1 работает как основная, то ее чувствительность проверяется по короткому замыканию в конце защищаемой линии, точка К1. Для максимальных токовых защит значение коэффициента чувствительности должно быть больше или равно 1,5

$$K_q = \frac{I_{КЗ. мин}^{(2)}(K_1)}{I_{сз}} \geq 1,5$$

3.2 Расчет ТО линии электропередачи

3.2.1 Расчет тока срабатывания ТО, А

$$I_{сз} = k_{омс} \cdot I_{КЗвн. max}^{(3)}$$

где

$k_{омс}$ – коэффициент надежности, $k_{омс} = 1,2 - 1,3$

Расчет тока уставки срабатывания реле, А

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{K_{ТТ}}$$

где

$K_{ТТ}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_{сх}$ – коэффициент схемы, равный отношению тока в реле к вторичному току трансформатора тока (схема соединения ТА полная или неполная звезда) $k_{сх} = 1$, при включении реле на разность фазных токов (схема соединения ТА полный или неполный треугольник) $k_{сх} = \sqrt{3}$

3.2.2 Расчет коэффициента чувствительности ТО

$$K_q = \frac{I_{КЗ.min}^{(2)}(K_1)}{I_{сз}} \geq 1,5$$

где

$I_{к.min}^{(2)}$ – наименьший ток двухфазного короткого замыкания в начале защищаемой линии, А.

$$I_{КЗ min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{КЗ min}^{(3)}$$

ТО считается чувствительной, если коэффициент чувствительности $K_q \geq 1,5$.

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

Контрольные вопросы.

1. Перечислите преимущества и недостатки МТЗ для линии электропередачи.
2. Перечислите преимущества и недостатки ТО для линии электропередачи.
3. В конце линии электропередачи ТО имеет мертвую зону. Как можно защитить этот участок от токов короткого замыкания?
4. Какие основные отличия между МТЗ и ТО?

Таблица 3.1. Исходные данные контрольной работы
по вариантам

Вариант	$I_{\text{раб. max}},$ А	$K_{\text{с.зп}}$	$I_{\text{к. min 1}}$ кА	$I_{\text{к. max 1}},$ кА	$K_{\text{тт}}$	Схема соединения ТТ и реле защиты
1	120	2	0,8	1,3	30	Полная «звезда»
2	150	2,5	1,1	1,4	30	Неполная «звезда»
3	210	3	1,4	1,8	50	Полная «звезда»
4	250	2	1,6	2,1	50	Неполная «звезда»
5	280	3	2,0	2,9	60	Полная «звезда»
6	310	2,5	2,2	3,0	70	Неполная «звезда»
7	350	3	3,0	3,8	70	Полная «звезда»
8	460	2	3,2	4,5	100	Неполная «звезда»
9	985	2,5	1,0	2,0	200	Полная «звезда»
10	500	2	3,5	4,8	100	Неполная «звезда»
11	130	2	0,9	1,4	30	Полная «звезда»
12	145	2,5	1,0	1,5	30	Неполная «звезда»
13	200	3	1,5	1,9	40	Полная «звезда»
14	260	2	1,4	2,2	60	Неполная «звезда»
15	270	3	2,1	3,0	80	Полная «звезда»

Содержание отчета

1. Название работы и цель исследования.
2. Исходные данные для выполнения расчетов.
3. Совмещенная схема МТЗ и ТО для линии электропередачи.
4. Расчет МТЗ и ТО для линии электропередачи.
5. Ответы на контрольные вопросы.
6. Выводы по результатам работы.

Практическое занятие № 4

Тема: Релейная защита электродвигателей

Цель работы: научиться рассчитывать защиту низковольтных и высоковольтных электродвигателей, используя предохранители, автоматические выключатели и реле.

Расчет защиты низковольтных асинхронных двигателей

В качестве защиты асинхронных двигателей напряжением 0,38 кВ можно использовать предохранители или автоматические выключатели

Параметр	Двигатель асинхронный
Номинальное напряжение, кВ	0,38
Номинальная мощность, кВт	5
Условия пуска	легкий
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,87
Коэффициент полезного действия, %	85

1. Выбор тока плавкой вставки предохранителей для защиты асинхронного электродвигателя

Условия выбора предохранителя:

$$I_{вст.} \geq I_{ном}; \quad (4.1)$$

$$I_{ном.} = \frac{P_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot \cos \varphi_{ном.} \cdot \eta_{ном.}} \quad (4.2)$$

где

$I_{вст.}$ - номинальный ток плавкой вставки, в амперах (А);

$I_{ном}$ - номинальный ток двигателя, в амперах (А);

α - коэффициент, учитывающий условия пуска двигателя;

Для тяжелого пуска $\alpha = 1,6 \div 2,0$;

Для легкого пуска $\alpha = 2,5$;

$I_{пук.}$ - пусковой ток двигателя, в амперах (А).

$$I_{\text{пуск.}} = K_{\text{п.}} \cdot I_{\text{ном.}} \quad (4.3)$$

где

$K_{\text{п.}}$ - кратность пускового двигателя (в пределах $5 \div 7$);
 $P_{\text{ном.}}$; $U_{\text{ном.}}$; $\cos \varphi_{\text{ном.}}$; $\eta_{\text{ном.}}$ - номинальные параметры: мощность, напряжение, коэффициент мощности и КПД двигателя.

Для двигателя мощностью 5 кВт:

$$I_{\text{ном.}} = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,85} = 10,27 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск.}} = 5 \cdot 10,27 = 51,35 \text{ А}$$

$$\frac{I_{\text{пуск.}}}{2,5} = \frac{51,35}{2,5} = 20,54 \text{ А}$$

Принимаем к установке предохранитель типа: ПР-2-60; $I_{\text{ном.}} = 10,27 \text{ А}$;
 $I_{\text{вст.}} = 25 \text{ А}$

2. Выбор уставок автоматов

Условия выбора

$$I_{\text{эм.уст.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пуск.}}; \quad (4.4)$$

где

$I_{\text{эм.уст.}}$ - номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя автомата, А;

Номинальный ток двигателя мощность 5 кВт:

$$I_{\text{ном.}} = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,85} = 10,27 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном}} = 10,27 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск.}} = 5 \cdot 10,27 = 51,35$$

$$I_{\text{эм.уст.}} \geq 1,25 \cdot 51,35 = 64,19 \text{ А}$$

Выбираем автомат типа ВА-25, $I_{\text{уст.}} = 12,5 \text{ А}$,

$$I_{\text{эм.уст.}} = 12,5 \cdot 7 = 87,5 \text{ А, без выдержки времени (t = 0 с.).}$$

Таблица 4.1. Характеристики предохранителей

Тип	Номинальный ток плавких вставок, А			
ПР-2-15	6	10	15	–
ПР-2-60	15	20	25	35,45,60
ПР-2-100	-	60	80	100
ПР-2-200	100	125	160	200
ПР-2-350	220	225	260	300,350
ПР-2-600	350	430	500	600
ПР-2-1000	600	700	850	1000

Таблица 4.2. Характеристики автоматических выключателей

Тип	Номинальный ток, А		Кратность установки		$I_{уст}$ кА
	$I_{н.л.}$	$I_{уст}$	$K_{от.двиг.}$	$K_{от.к.з.}$	
ВА 51-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	1,2	14	3
		2,0; 2,5; 3,15; 4; 5			1,5
ВА-25	25	6,3; 8	1,35	7,10	2
		10; 12,5			2,5
		16; 20; 25			3,0
		6,3; 8; 10; 12			2
ВА 51-31-1 ВА 51Г-31	100	10	1,35	3, 7, 10	2,5
		20; 25			3,5
		31,5; 40; 50; 63			5
		80; 100			0
		6,3; 8			2
ВА 51-31 ВА 51Г-31	100	10; 12,5	1,35	3, 7, 10	2,5
		10; 12,5			3,8
		31,5; 40; 50; 63			6
		80; 100			7
		6,3; 8			2
ВА 51-33 ВА 51Г-33	160	80; 100; 125; 160	1,25	10	12,5
ВА 51-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	15
ВА 51-37	400	250; 320; 400	1,25	10	25
ВА 51-39	630	400; 500; 630	1,25	10	35
ВА 52-31 ВА 52Г-31	100	16; 20; 25	1,35	3,7,10	12
		31,5; 40			15
		50; 63			18
		80; 100			25
ВА 52-33 ВА 52Г-33	160	80; 100	1,25	10	28
		125; 160			35
ВА 52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	30
ВА 52-37	400	250; 320; 400	1,25	10	30
ВА 52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	1,25	10	40

Таблица 4.3. Задание для контрольной работы

Контрольная работа.
Рассчитать и выбрать стандартную плавкую вставку предохранителя для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 18кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$; условия пуска легкие.
Рассчитать и выбрать стандартную плавкую вставку предохранителя для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 7кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$; условия пуска тяжелые.
Рассчитать и выбрать стандартную плавкую вставку предохранителя для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 10кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$; условия пуска легкие.
Рассчитать и выбрать стандартную плавкую вставку предохранителя для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 8кВт$; $\cos \varphi = 0,85$; $\eta = 0,8$; условия пуска тяжелые
Рассчитать и выбрать стандартную плавкую вставку предохранителя для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 20кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$; условия пуска легкие.
Рассчитать и выбрать стандартную плавкую вставку предохранителя для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 1кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$; условия пуска тяжелые.
Рассчитать уставку автоматического выключателя и выбрать стандартный автомат для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 15кВт$; $\cos \varphi = 0,82$; $\eta = 0,88$;
Рассчитать уставку автоматического выключателя и выбрать стандартный автомат для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 18кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$;
Рассчитать уставку автоматического выключателя и выбрать стандартный автомат для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 5кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$;
Рассчитать уставку автоматического выключателя и выбрать стандартный автомат для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 1кВт$; $\cos \varphi = 0,8$; $\eta = 0,86$;
Рассчитать уставку автоматического выключателя и выбрать стандартный автомат для асинхронного двигателя напряжение $U_H = 0.4кВ$; $P_H = 8кВт$; $\cos \varphi = 0,85$; $\eta = 0,8$;

Расчет защиты синхронных двигателей напряжением 6 кВ

Синхронные электродвигатели защищаются от различных повреждений и ненормальных рабочих режимов, таких как:

- междуфазные короткие замыкания в обмотке статора;
- замыкания на землю в обмотке статора;
- перегрузки;
- понижение напряжения;
- работы в асинхронном режиме.

Защита от междуфазных коротких замыканий в обмотке статора

Для защиты двигателя от междуфазных коротких замыканий в обмотке статора используется токовая отсечка с применением токовых реле типа РТ-40. Схема соединения трансформаторов тока – неполная звезда. Ток срабатывания отсечки настраивается таким образом, чтобы исключить срабатывание при пусковом токе двигателя, согласно формуле:

$$I_{сз.отс.} = k_n \cdot I_{пуск} \quad (4.5)$$

где k_n - коэффициент надежности, который для реле РТ-40 составляет 1,4.

Номинальный ток двигателя:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (4.6)$$

где $P_{ном.}$, $U_{ном}$, $\cos \varphi$, η – параметры синхронного двигателя (см. таблицу 1)

$$I_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,93} = 114,96 \text{ А}$$

Пусковой ток двигателя:

$$I_{пуск.} = 6 \cdot 114,96 = 689,76 \text{ А}$$

$$I_{с.з.отс.} = 1,4 \cdot 689,76 = 965,66 \text{ А}$$

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.отс.} = \frac{k_{сх.} \cdot I_{с.з.отс.}}{k_{ТТ}} \quad (4.7)$$

где $k_{сх.}$ - коэффициент схемы, равный 1 для схемы неполной звезды;
 $k_{ТТ}$ - коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Принимаем трансформатор тока типа ТВЛМ6-УЗ, с номинальным током 150 А и вторичным током 5 А

$$I_{с.р.омс.} = \frac{1 \cdot 965,66}{150 / 5} = 32,18 \text{ А}$$

Для защиты используется токовое реле РТ-40/50 с током срабатывания 32 А. Схема соединения катушек — параллельная.

Коэффициент чувствительности защиты:

$$K_{чувст.} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{сз}} \quad (4.8)$$

где

$I_{кз}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в сети 6 кВ.

$$I_{кз}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{S_{кз}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = 0,866 \frac{27000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2250 \text{ А}$$

где $S_{кз}$ – мощность КЗ = 27 МВА

$$K_{чувст.} = \frac{2250}{965,66} = 2,35$$

что удовлетворяет условию проверки.

Защита от замыканий на землю обмотки статора

Для защиты от замыканий на землю используется токовое реле, подключаемое к трансформатору тока нулевой последовательности с подмагничиванием.

Ток срабатывания защиты рассчитывается по формуле:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot k_\phi \cdot k_C, \quad (4.9)$$

где $k_n = 1,25$ – коэффициент надежности;

k_ϕ – учитывает бросок емкостного тока двигателя при внешних замыканиях на землю (для защиты без выдержки времени принимаем = 3,5);

Емкостной ток замыкания на землю:

$$I_C = \sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot \omega \cdot C_{Дв.} \cdot 10^{-3}, \quad (4.10)$$

где $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$ – угловая частота;

$U_{ном.}$ – номинальное напряжение двигателя, кВ;

$C_{Дв.} = 0,029$ мкФ/фазу -емкость двигателя:

где k – коэффициент, учитывающий класс изоляции ($k=40$ для класса изоляции В);

S – номинальная мощность двигателя, кВА;

$n_{Дв.}$ - скорость вращения ротора двигателя (данные на двигатель в табл. 1).

Номинальная мощность двигателя:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi \cdot \eta_{ном}} = \frac{1000}{0,9 \cdot 0,93} = 1194,74 \text{ кВА};$$

$$I_C = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 314 \cdot 0,029 \cdot 10^{-3} = 0,095 \text{ А}$$

$$I_{с.з.} = 1,25 \cdot 3,5 \cdot 0,095 = 0,41 \text{ А}$$

Если ток срабатывания защиты не превышает 10 А для двигателей до 2000 кВт, то защиту от замыканий на землю можно не устанавливать.

Защита от перегрузок

Для защиты от перегрузок используется однорелейная токовая защита. Ток срабатывания защиты рассчитывается по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot I_{ном.}}{k_{с.}}, \quad (4.11)$$

где $k_n = 1,2$;

$k_{с.}$ - коэффициент возврата (для реле РТ-40: $k_{с.} = 0,8$);

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 114,96}{0,8} = 172,44 \text{ А}$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх.} \cdot I_{с.з.}}{k_{ТТ}} = \frac{1 \cdot 172,44}{150/5} = 5,75 \text{ А}$$

Для защиты выбирается токовое реле РТ-40/10 с током срабатывания 5,75 А. Схема соединения катушек – параллельная. Для создания выдержки времени применяется реле времени ЭВ-143 с временем срабатывания 15 с.

Защита от понижения напряжения

Напряжение срабатывания защиты:

$$U_{c.з.} = 0,7 \cdot U_{ном.}, \quad (4.12)$$

$$U_{c.р.} = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ кВ}$$

Напряжение срабатывания реле:

$$U_{c.р.} = \frac{U_{c.з.}}{k_{н.} \cdot k_{в.} \cdot k_{тн}}, \quad (4.13)$$

где

$$k_{н.} = 1,25;$$

$k_{в.} = 1,2$ для реле минимального напряжения РН-54;

$k_{тн}$ - коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Принимаем трансформатор напряжения НТМИ-6-66:

$$U_{вн} = 6 \text{ кВ}, U_{нн} = 100 \text{ В},$$

$$U_{c.р.} = \frac{4200}{1,25 \cdot 1,2 \cdot 6000 / 100} = 46,67 \text{ В}$$

Для защиты от понижения напряжения используется реле минимального напряжения РН-54 с током срабатывания 47 В (первый диапазон). Для создания требуемой выдержки времени применяется реле времени ЭВ-123 с временем срабатывания 1 с.

Эта схема защиты обеспечит надежную работу синхронного двигателя при различных повреждениях и нестабильных рабочих режимах.

Таблица 4.5. Технические данные трансформаторов тока

Тип	U _{ном} кВ	Номинальный первичный ток, А	Варианты исполн.	Вторичная нагрузка, при которой обеспечивается класс точности					
				0,5		1		3	
				Ом	ВА	Ом	ВА	Ом	ВА
ТПЛ-10	10	5;10;15;20;30;40; 50;75;100;150;200	р/р 0,5/р	0,4	10	0,8	20	-	-
		300;400	р/р	0,6	15	1	25	30	-
ТПО- ЛА-10	10	600;800	Р/Р 0,5/Р	0,4	10	0,8	20	-	-
		1000;1500	Р/Р	0,6	15	1	25	12	30
ТПШЛ-10	10	2000;3000; 4000	0,5/Р	0,8	20	1,2	30	2,4	60
			Р/Р	1,2	30	3,0	75	6,0	150

Таблица 4.6. Технические данные реле тока

Тип реле	Ток срабатывания, А, при соединении катушек		Номинальный ток, А, при соединении катушек		Потребляемая мощность при минимальной уставке, В·А
	1-й диапазон последователь	2-й диапазон параллельно	1-й диапазон последователь	2-й диапазон параллельно	
РТ40/0,2	0,05–0,1	0,1–0,2	0,4	1	0,2
РТ40/0,6	0,15–0,3	0,3–0,6	1,6	2,5	0,2
РТ40/2	0,5–1,0	1–2	2,5	6,3	0,2
РТ40/6	1,5–3,0	3–6	10	16	0,5
РТ40/10	2,5–5,0	5–10	16	16	0,5
РТ40/20	5–10	10–20	16	16	0,5
РТ40/50	12,5–25	25–50	16	16	0,8
РТ40/100	25–50	50–100	16	16	1,8
РТ40/200	50–100	100–200	16	16	8,0

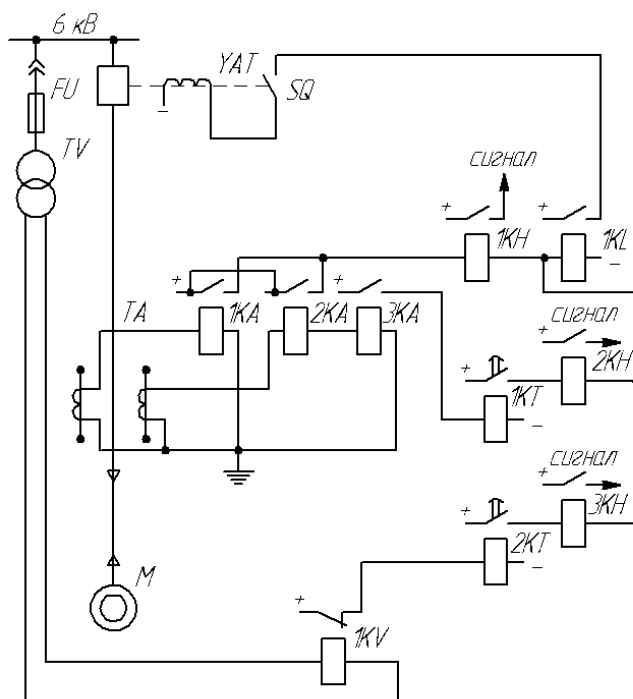


Рис. 4.1. Схема защиты высоковольтного двигателя

Таблица 4.7. Контрольная работа

Вариант 1	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 10\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,82$; $\eta = 0,9$; $S_{K3} = 70\text{МВА}$; $P_{H06} = 3000\text{кВт}$
Вариант 2	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 6\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,8$; $\eta = 0,85$; $S_{K3} = 30\text{МВА}$; $P_{H06} = 600\text{кВт}$
Вариант 3	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 6\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,84$; $\eta = 0,94$; $S_{K3} = 40\text{МВА}$; $P_{H06} = 1000\text{кВт}$
Вариант 4	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 10\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,8$; $\eta = 0,9$; $S_{K3} = 40\text{МВА}$; $P_{H06} = 300\text{кВт}$
Вариант 5	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 3\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,84$; $\eta = 0,88$; $S_{K3} = 30\text{МВА}$; $P_{H06} = 500\text{кВт}$
Вариант 6	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 6\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,84$; $\eta = 0,9$; $S_{K3} = 70\text{МВА}$; $P_{H06} = 1500\text{кВт}$
Вариант 7	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 10\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,8$; $\eta = 0,84$; $S_{K3} = 50\text{МВА}$; $P_{H06} = 800\text{кВт}$
Вариант 8	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 10\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,84$; $\eta = 0,94$; $S_{K3} = 80\text{МВА}$; $P_{H06} = 1000\text{кВт}$
Вариант 9	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 10\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,82$; $\eta = 0,9$; $S_{K3} = 70\text{МВА}$; $P_{H06} = 3000\text{кВт}$
Вариант 10	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 6\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,8$; $\eta = 0,85$; $S_{K3} = 30\text{МВА}$; $P_{H06} = 600\text{кВт}$
Вариант 11	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 6\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,84$; $\eta = 0,94$; $S_{K3} = 40\text{МВА}$; $P_{H06} = 1000\text{кВт}$
Вариант 12	Задача 1. Рассчитать защиту высоковольтного асинхронного двигателя при междуфазных КЗ в обмотках статора и на её выводах, проверить чувствительность; если $U_H = 10\text{кВ}$; $\cos\varphi = 0,8$; $\eta = 0,9$; $S_{K3} = 40\text{МВА}$; $P_{H06} = 300\text{кВт}$

Практическое занятие № 5

Тема: Релейная защита цехового трансформатора

Цель работы: овладеть навыками расчета токов срабатывания МТЗ и ТО для цехового трансформатора, а также умением определять чувствительность релейных защит.

Исходные данные:

1. $I_{к.min1}$ – минимальное значение тока для трехфазного короткого замыкания, происходящего в точке установки защиты, в кА;
2. $I_{к.min2}$ – минимальное значение тока для трехфазного короткого замыкания за трансформатором, в кА;
3. $I_{к.max}$ – максимальное значение тока для трехфазного короткого замыкания, происходящего на шинах вторичного напряжения одиночного работающего трансформатора, в кА;
4. $S_{H,TP}$ – полная мощность трансформатора, в кВА;
5. U_{H1} – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора, в кВ;
6. U_{H2} – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора, в кВ;
7. Схема соединения трансформаторов тока и реле тока схема соединения (например, полная звезда, неполная звезда, полный треугольник, неполный треугольник) будет определяться преподавателем.

Исходные данные для расчетов по вариантам представлены в таблице 5.1.

Порядок выполнения работы

5.1. Изобразить схему защиты и управления (МТЗ и ТО) для двухобмоточного силового трансформатора.

5.2. Выполнить расчет МТЗ и ТО для трансформатора.

5.2.1. Рассчитать ток срабатывания МТЗ для двухобмоточного трансформатора.

Ток срабатывания МТЗ рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{CЗ} \geq \frac{K_H \cdot K_{CЗП} \cdot I_{РАБ.МАКС.}}{K_B}$$

где

K_H – коэффициент надежности (в пределах от 1,1 до 1,2);

Ксзп – коэффициент, который учитывает увеличение нагрузки при самозапуске и неотключившихся двигателях при восстановлении напряжения (в пределах от 2 до 3);

КВ – коэффициент возврата реле (от 0,85 до 0,9);

$I_{\text{раб.мах}}$ – максимальный рабочий ток для первичной обмотки трансформатора.

Максимальный рабочий ток первичной обмотки трансформатора вычисляется следующим образом:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{S_{H/TP.}}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

Рассчитаем ток уставки срабатывания реле, А:

$$I_{cp} = \frac{I_{C3.MT3.} \cdot k_{cx}}{K_{TT}}$$

где

k_{cx} – коэффициент схемы (если реле включено на фазные токи, то $k_{cx} = 1$, если на разность фазных токов — то k_{cx} принимается в зависимости от типа схемы соединения (например, для полного треугольника $k_{cx} = \sqrt{3}$;

K_{TT} - коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока.

Для определения K_{TT} нужно выбрать трансформатор тока по рабочему току, например, для максимального рабочего тока $I_{\text{раб.мах}}$ можно выбрать измерительный трансформатор с первичным током $I_{H1} \geq I_{\text{раб.мах}}$

Коэффициент трансформации рассчитать по формуле:

$$K_{TT} = \frac{I_{H1}}{I_{H2}}$$

где

I_{H2} – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока, $I_{H2} = 5A$.

Расчет коэффициента чувствительности МТЗ:

$$I_{cp} = \frac{I_{C3.MT3.} \cdot k_{cx}}{K_{TT}}$$

где $I_{p.min}^{(2)}$ – наибольший из вторичных токов, который протекает в одном из реле защиты при двухфазном коротком замыкании за трансформатором в минимальном режиме работы схемы, в амперах.

Формулы для расчета $I_{p.min}^{(2)}$ приведены в таблице 5.2.

МТЗ считается чувствительной, если $K_q > 1,5$.

Таблица 5.2. Формулы для расчета тока двухфазного КЗ за трансформатором

Схема соединения ТТ	Коэффициент схемы	Расчетные формулы
Полная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{I_{K.min 2}}{K_{TT}}$
Неполная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{0,5 I_{K.min 2}}{2 K_{TT}}$
Полный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{1,5 \cdot I_{K.min 2}}{K_{TT}}$
Неполный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{1,5 \cdot I_{K.min 2}}{K_{TT}}$

5.2.2. Рассчитать ТО силового трансформатора.

Для вычисления тока срабатывания ТО (в кА) необходимо использовать следующую формулу:

$$I_{C.TO} = K_H \cdot I_{K \max}$$

где K_H – коэффициент надежности, принимающий значение 1,4.

Далее следует расчёт тока срабатывания реле (в амперах), который выполняется по следующей формуле:

$$I_{CP} = \frac{I_{CTO}}{K_{Tp} \cdot K_{TT}}$$

K_{Tp} – коэффициент трансформации для защищаемого трансформатора.

Значение коэффициента трансформации для силового трансформатора рассчитывается по формуле:

$$I_{CP} = \frac{I_{CTO}}{K_{Tp} \cdot K_{TT}}$$

где U_{H1} и U_{H2} – номинальные напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора, выраженные в кВ.

Для определения коэффициента чувствительности ТО используется следующая формула:

$$K_{\eta} = \frac{I_{p.min}^{(2)}}{I_{CP}}$$

где $I_{p.min}^{(2)}$ – наибольший ток, протекающий по вторичным обмоткам реле защиты при двухфазном коротком замыкании в минимальном режиме, в амперах (А).

Формулы для вычисления $I_{p.min}^{(2)}$ приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Формулы для расчета тока двухфазного КЗ
в месте установки защиты

Схема соединения ТТ	Коэффициент схемы	Расчетные формулы
Полная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K.min1}}{K_{TT}}$
Неполная звезда	1	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K.min1}}{2K_{TT}}$
Полный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K.min1}}{K_{TT}}$
Неполный треугольник	$\sqrt{3}$	$I_{p.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{K.min1}}{2K_{TT}}$

ТО является чувствительной, если коэффициент чувствительности $K_{\eta} > 1,5$.

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

Пример расчёта защиты цехового трансформатора

Цеховой трансформатор типа ТМ-630/10 защищают от следующих повреждений и ненормальных режимов:

- при междуфазных КЗ в обмотках трансформатора и на их выводах;
- при перегрузке;
- от витковых замыканий в одной фазе.

1. Защита трансформатора от междуфазных КЗ в обмотках и на их выводах

Для защиты трансформатора мощностью до 2500 кВА применяют предохранители с током плавкой вставки:

$$I_{CЗ} = \kappa_n \cdot I_{КЗ.ВН.max}^{(3)},$$

где I_{HT} – номинальный ток трансформатора.

$$I_{HT} = \frac{S_{HT}}{\sqrt{3} \cdot U_{HT}},$$

где $S_{HT} = 630 \text{ кВА}$ – номинальная мощность трансформатора.

$$I_{HT} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,37 \text{ А},$$

$$I_{пв} = 1,5 \cdot 36,37 = 54,56 \text{ А}.$$

По табл. 5.4 [6] выбираем предохранитель типа ПКТ101-10-31,5-12,5У1 с током плавкой вставки на 31,5 А.

$$I_{\kappa}^{(3)} = I_{\kappa 3(0,4)}^{(3)} \cdot \frac{U_{HH}}{U_{BH}},$$

где

$I_{\kappa 3(0,4)}^{(3)} = 12478 \text{ A}$ – ток трёхфазного КЗ на шинах НН трансформатора, приведённый к стороне ВН:

$$I_{\kappa}^{(3)} = 12478 \cdot \frac{0,4}{10} = 499,12 \text{ A}.$$

По кривым рис. 8 [8] для $I_{\text{пв}} = 31,5 \text{ A}$ и $I_{\kappa}^{(3)} = 499,12 \text{ A}$ находим время перегорания предохранителя FU1 равное $t_{FU1} = 0,9 \text{ с}$.

Для защиты трансформатора от междуфазных КЗ в обмотках и на их выводах принимаем токовую отсечку без выдержки времени с использованием реле типа РТ–40. Схема соединений трансформатора тока и обмоток реле – неполная звезда.

Ток срабатывания защиты (отсечки) определяем по формуле (21) [8].

$$I_{\text{сз}} = \kappa_n \cdot I_{\text{КЗ.ВН max}}^{(3)},$$

где

$\kappa_n = 1,4$ – коэффициент надежности;

$I_{\text{КЗ.ВН max}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ, протекающий через трансформаторы тока, установленные на стороне НН трансформатора

$$I_{\text{сз}} = 1,4 \cdot 499,12 = 698,77 \text{ A}$$

Ток срабатывания реле определяем по формуле (22) [8]

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot \kappa_{\text{сх}}}{\kappa_{\text{ТТ}}},$$

где

$\kappa_{\text{сх}} = 1$ – коэффициент схемы для схемы соединения трансформаторов и обмоток реле по схеме неполной звезды;

$\kappa_{\text{ТТ}} = 100/5$ – коэффициент трансформации трансформатора тока типа ТПЛ 10–У3–0,5/10Р

$$I_{\text{ср}} = \frac{698,77 \cdot 1}{100/5} = 34,94 \text{ A}$$

Выбираем реле типа РТ – 40/50 с током срабатывания 35 А при параллельном соединении катушек реле.

2. Защита от внешних коротких замыканий

Для защиты от внешних КЗ и резервирования токовой отсечки и газовой защиты принимаем МТЗ с выдержкой времени. Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле неполная звезда.

Ток срабатывания МТЗ определяем по формуле (26)[8]:

$$I_{сз} = \frac{\kappa_n \cdot \kappa_{сзн}}{\kappa_{\theta}} \cdot I_{н.Т},$$

где

$\kappa_n = 1,2$ – коэффициент надежности;

$\kappa_{сзн} = 3 \div 3,5$ – коэффициент самозапуска;

$\kappa_{\theta} = 0,8$ – коэффициент возврата;

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 3}{0,8} \cdot 36,37 = 165 \text{ А}.$$

Ток срабатывания реле определяем по (4.32):

$$I_{ср} = \frac{165 \cdot 1}{100/5} = 8,25 \text{ А}$$

Выбираем реле типа РТ– 40/10 с током срабатывания 8,3 А, соединение катушек параллельное

Чувствительность защиты проверяем по коэффициенту чувствительности:

$$\kappa_q = \frac{I_{КЗ(4)}^{(2)}}{I_{сз}} \geq 1,5$$

где

$I_{КЗ(4)}^{(2)}$ – ток двухфазного КЗ в конце линии, питающей силовой трансформатор

$$I_{КЗ(4)}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{п.0 (4)}$$

$$I_{КЗ(4)}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1929 = 1670,6 \text{ А}$$

$$\kappa_q = \frac{1670,6}{165} = 10,12 > 1,5$$

Защита обладает достаточной чувствительностью.

Контрольное задание

Варианты	Номинальное напряжение кВ	Номинальная мощность МВА	Напряжение К.З.ц _к %
1	6/0,4	1,6	5,5
2	35/0,4	1,6	6,5
3	6/0,4	0,63	5,5
4	35/0,4	1,6	6,5
5	6/0,4	0,4	5,5
6	6/0,4	1,0	5,5
7	10/0,4	2,5	6,5
8	20/0,4	1,6	6,5
9	10/0,4	1,6	5,5
10	35/0,4	1,6	6,5
11	10/0,4	1,6	5,5
12	35/0,4	1,0	6,5

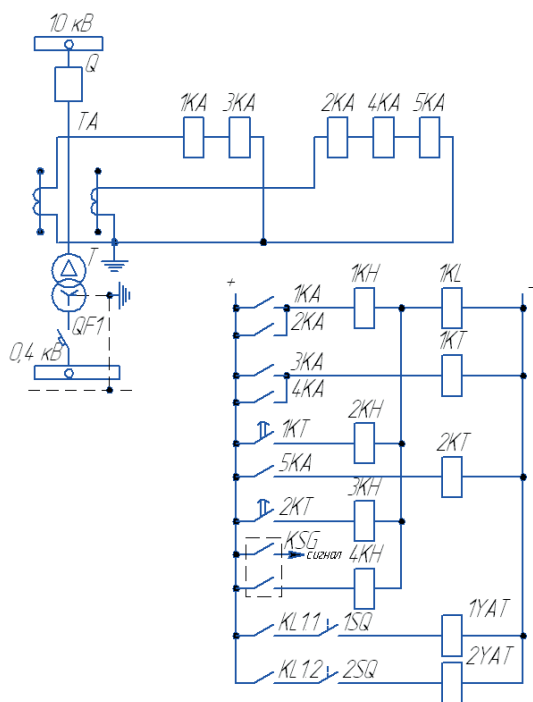


Рис. 5.1. Схема релейной защиты цехового трансформатора

Контрольные вопросы.

1. На какие типы выключателей влияют МТЗ и ТО при возникновении короткого замыкания в трансформаторе, который подвергается защите?
2. В какой защите реле тока имеет наибольший ток уставки для срабатывания?
3. Перечислить преимущества и недостатки МТЗ и ТО для силового трансформатора.

Содержание отчета

1. Название работы и её цель.
2. Исходные данные для расчета.
3. Совмещенная схема МТЗ и ТО для трансформатора с двумя обмоткам.
4. Выполнение расчета МТЗ и ТО для силового трансформатора с двумя обмотками в соответствии с заданным вариантом.
5. Описание работы каждой из защит в точке короткого замыкания.
7. Ответы на вопросы контроля знаний.
8. Подведение итогов и выводы.

Практическое занятие № 6

Тема: Дифференциальная защита трансформатора ГПП

Цель работы: научиться вычислять токи срабатывания дифференциальной защиты силового трансформатора ГПП и определять степень её чувствительности.

Для дифференциальной защиты (ДЗ) силовых трансформаторов характерно наличие дополнительных токов небаланса $I_{\text{нб}}$ (различия токов I_{21} и I_{22} в плечах дифзащиты), что отличает их от других типов дифференциальной защиты, применяемых для генераторов и мощных двигателей. Эти токи небаланса обусловлены особенностями работы трансформатора, и на их основе необходимо настраивать защиту, что создает определенные сложности в процессе её настройки и поддержания необходимой чувствительности.

Причины возникновения дополнительных токов небаланса в работе дифференциальной защиты трансформатора включают:

1. Бросок тока намагничивания ($I_{\text{бр.нам}}$) в обмотке, подключенной к источнику питания, при включении трансформатора под напряжение на холостом ходу или после устранения внешних коротких замыканий. Этот ток может превосходить номинальный в 6-8 раз и протекает только в обмотке ВН (через одно плечо ДЗ), полностью формируя ток небаланса – $I_{\text{нб}}$. Для компенсации броска тока намагничивания применяются следующие меры:

- Уменьшение порога срабатывания защиты, хотя это не всегда эффективно (дифференциальная отсечка);

- Использование реле с быстронасыщающимися трансформаторами (БНТ), которые меньше трансформируют бросок тока намагничивания в рабочую обмотку реле;

- Применение полупроводниковых реле, таких как РСТ-15 на аналоговых микросхемах, которые могут «различать» форму броска тока намагничивания $I_{\text{бр.нам}}$ и форму тока короткого замыкания в зоне защиты;

- Внедрение цифровой дифференциальной защиты.

2. Неравенство расчетных коэффициентов трансформации трансформаторов тока для реальной сети по сравнению с выбранными стандартными значениями приводит к различиям вторичных токов в плечах дифференциальной защиты I_{21} и I_{22} . Для устранения возникшего тока небаланса используется количество витков уравнительных обмоток $W_{\text{уп1}}$ и $W_{\text{уп2}}$ в специальных реле, обеспечивая их равенство $I_{21} \cdot W_{\text{уп1}} = I_{22} \cdot W_{\text{уп2}}$.

3. Причиной возникновения тока небаланса служит группа соединения обмоток силового трансформатора. Например, при схеме Y/Δ-11 векторы первичных токов трансформатора на высоком и низком напряжении сдвинуты по фазе на 30 градусов, что создает ток небаланса. Для его устранения вторичные обмотки трансформаторов тока в плечах ДЗ соединяются противоположно соединениям силовых обмоток трансформатора, т.е. по схеме Δ/Y.

4. Наличие регулирующего устройства на первом напряжении (РПН) у трансформатора, выполняющего автоматическое регулирование напряжения, нарушает равенство вторичных токов в плечах ДЗ I21 и I22 и вызывает появление тока небаланса $I_{нб}$, пропорционального диапазону регулирования напряжения трансформатора $\Delta U_{РПН}$.

5. Трансформаторы тока, используемые в дифференциальной защите, не идеальны и вносят погрешность в измерении тока. Ток небаланса из-за погрешности трансформаторов тока $I'_{нб}$ учитывается при расчетах тока срабатывания защиты. Погрешность трансформаторов тока принимается равной 10% от первичного максимального тока (ПУЭ).

В итоге, применяя специальные реле типа РНТ-560, ДЗТ-11 или РСТ-15 в схеме ДЗ величина расчетного тока небаланса $I_{нб.расч}$ будет состоять из двух составляющих

$$I_{нб.расч} = I'_{нб} + I''_{нб}$$

где $I'_{нб}$ – ток небаланса, определяемый токовой погрешностью трансформаторов тока в плечах дифференциальной защиты, и вычисляется по формуле

$$I'_{нб} = k_a \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{к.з. max(\kappa_1)}$$

где

k_a – коэффициент, учитывающий влияние апериодической составляющей тока К.З. на переходный процесс, для реле с БНТ он принимается равным 1, без БНТ – равным 2;

$k_{одн}$ – коэффициент однотипности, принимается равным 0,5 в тех случаях, когда ТТ однотипны, и равным 1 при разнотипных ТТ;

$\varepsilon=0,1$ – токовая погрешность ТТ, удовлетворяющих 10% кратности (ПУЭ);

$I_{к.з. max}$ – наибольший сквозной ток при внешнем к.з. т. K_1 (рис.1.6.1.)

$I_{нб}$ – ток небаланса, обусловленный изменением коэффициента трансформации защищаемого трансформатора при регулировании напряжения с РПН, вычисляется по формуле

$$I''_{нб} = \Delta U_{РПН}^* \cdot I_{к.з. \max(\kappa_1)}$$

где $\Delta U_{РПН} = 16\%$ – диапазон регулирования напряжения; относительная величина $\Delta U_{РПН}^* = 0,16$. При настройке продольной дифференциальной защиты необходимо выполнить главное требование, чтобы

$$I_{срДЗ} > I_{нб \max}$$

или

$$I_{срДЗ} = K_n \cdot I_{нб \max} (I_{нбрасч}),$$

где K_n – коэффициент надежности, равный 1,3-1,5 (ПУЭ).

Примерный расчет дифференциальной защиты силового трансформатора

Принципиальная схема для расчета дифференциальной защиты представлена на рис.1.6.1

Мощность рассматриваемого трансформатора 16 МВА.

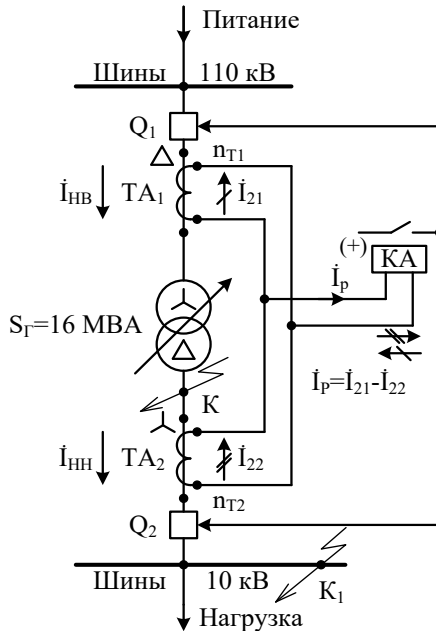


Рис. 1.6.1. Принципиальная схема для расчета ДЗ

Выбор трансформаторов тока и расчет вторичных токов в плечах дифференциальной защиты I_{21} и I_{22}

Определение первичных номинальных токов для обмоток трансформатора:

- высокое напряжение:

$$I_{HB} = \frac{S_{TH}}{\sqrt{3} \cdot U_{HB}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,0803 \text{ кА} = 80,3 \text{ А}$$

- низкое напряжение:

$$I_{HH} = \frac{S_{TH}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 11} = 0,840 \text{ кА} = 840 \text{ А}$$

Расчет коэффициентов трансформации для трансформаторов тока:

Со стороны высокого напряжения:

$$K_{TA} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HB}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 80,3}{5} = 27,8$$

Со стороны низкого напряжения:

$$K_{TY} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HH}}{5} = \frac{1 \cdot 840}{5} = 168$$

k_{cx} – это коэффициент схемы для высокой стороны, где трансформаторы тока подключены треугольником $k_{cx} = \sqrt{3}$, а для низкой стороны трансформаторы тока подключены неполной звездой и $k_{cx} = 1$, как показано на рис. 1.6.1.

Использование стандартной шкалы первичных токов для трансформаторов тока позволяет принять следующие значения коэффициентов трансформации для:

- высокого напряжения:

$$K_{T1} = \frac{I_1}{5} = \frac{150}{5} = 30$$

- низкого напряжения:

$$K_{T2} = \frac{I_2}{5} = \frac{1000}{5} = 200$$

Вторичные токи в плечах защиты при использовании стандартных коэффициентов трансформаторов тока могут отличаться от расчетных значений:

$$I_{21} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HB}}{n_{T1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 80,3}{30} = 4,64 \text{ А}$$

$$I_{22} = \frac{k_{cx} \cdot I_{HH}}{n_{T2}} = \frac{1 \cdot 840}{200} = 4,2 A$$

Токи в плечах ДЗ не равны 5А и в результате это приводит к появлению тока небаланса $I_{нб}$. Для устранения тока небаланса в реле дифференциальной защиты предусмотрены уравнивательные обмотки W_{yp1} и W_{yp2} . Это позволяет выровнять магнитодвижущие силы $F_{м.д.с.}$ путём подбора числа витков уравнивательных обмоток таким образом, чтобы выполнялось условие: $I_{21} W_{yp1} = I_{22} W_{yp2}$

Для защиты данного трансформатора измерительная часть защиты представлена на рис. 1.6.2. На низкой стороне силового трансформатора трансформаторы тока дифференциальной защиты можно подключить «неполной звездой» при этом используются только два реле (для сети 10кВ с изолированной нейтралью). Чтобы вторичные токи в плечах дифференциальной защиты I_{21} и I_{22} совпадали по фазе, трансформаторы тока на высокой стороне необходимо подключить треугольником, а на низкой стороне - неполной звездой. Такое подключение исключает появление тока небаланса, что связано с одиннадцатой группой соединений обмоток силового трансформатора по схеме $Y/\Delta-11$.

При нормальном режиме работы I_{21} и I_{22} будут совпадать по фазе, и токи через реле будут стремиться к нулю, что соответствует идеальному режиму работы защиты.

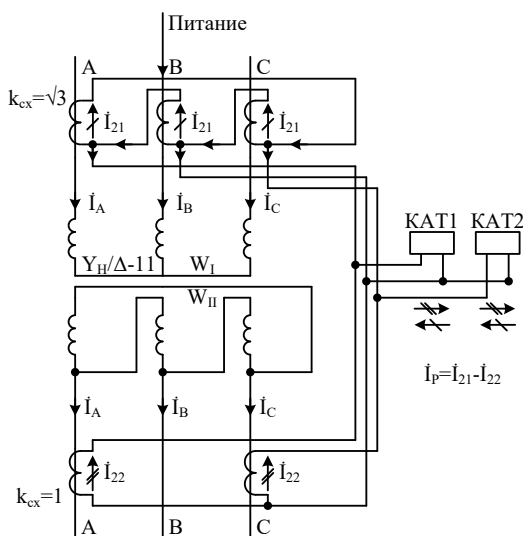


Рис. 1.6.2. Измерительная часть дифференциальной защиты
KA1, KA2 – реле типа РНТ-565 или ДЗТ-11, или РСТ – 15

5.3. Пояснить действие ДЗ при КЗ в точке К (точка короткого замыкания К задается преподавателем).

Контрольные вопросы

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

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
 2. Исходные данные.
 3. Измерительная схема ДЗ двухобмоточного силового трансформатора.
 4. Расчет ДЗ двухобмоточного силового трансформатора. согласно своего варианта.
 5. Описание действия каждой из защит в заданной точке КЗ.
- Ответы на контрольные вопросы.

Практическое занятие № 7

Тема: Изучение оборудования энергодиспетчерского пункта

Цель работы: Основной задачей данной работы является практическое изучение оборудования энергодиспетчерского пункта и установление порядка формирования команд телеуправления, а также изучение работы в режиме приема информации.

Оборудование и приборы:

- Рабочая станция энергодиспетчера (персональный компьютер с программой для работы энергодиспетчера)
- Сигнальные мониторы (щитовые)
- Компьютерная программа для моделирования приема информации от контролируемых пунктов.

Краткие теоретические сведения

Сегодня в системах электроснабжения применяются телемеханические системы различных поколений.

Старые телемеханические системы основаны на жесткой логике, реализованной в схемах, что ограничивает их возможности по передаче данных. Они созданы на базе электронной и микроэлектронной элементной базы и имеют ограниченные объемы передаваемой информации. В таких системах для передачи команд управления используется пульт, который взаимодействует с полукomплектом телеуправления (стойкой диспетчерского пункта) и частотным передатчиком.

Современные телемеханические системы основываются на микропроцессорных устройствах, где алгоритмы работы реализованы программным путем. В таких случаях на энергодиспетчерском пункте устанавливается несколько персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть.

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

При помощи управляющего компьютера энергодиспетчер выполняет оперативные переключения. Щитовые компьютеры регулируют работу мониторов, на которых в режиме реального времени отображается состояние управляемых объектов на подстанциях, таких как разъединители, выключатели и устройства автоблокировки. Архивный компьютер хранит полную информацию по телеуправлению, телесигнали-

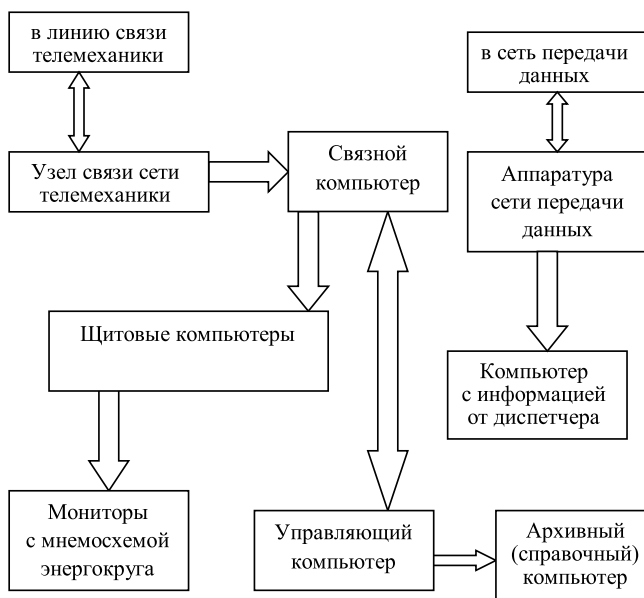


Рисунок 1.6.1. Структурная схема энергодиспетчерского пункта

зации, а также необходимые данные для телеизмерений и диагностики. На управляющем компьютере может быть установлено программное обеспечение автоматизированного рабочего места энергодиспетчера, которое позволяет в автоматизированном режиме составлять приказы, заявки и распоряжения.

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	Соединительные кабели

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.

Практическое занятие № 8

Тема: Аппаратура телемеханики и телеуправления

Цель работы: на практике изучить компоненты оборудования контролируемого пункта и определить процесс получения и обработки информации о состоянии объектов телесигнализации в исследуемой системе телемеханики.

Оборудование и приборы:

1. Стойка телемеханики контролируемого пункта;
2. Операторская станция (промышленный компьютер);
3. Стенд для проверки функционирования стойки телемеханики;
4. Руководство по эксплуатации рассматриваемой стойки телемеханики.

Порядок выполнения работы

1. Ответить на вопросы преподавателя, касающиеся различных аспектов оборудования контролируемого пункта, таких как его назначение, функции, принципы работы, типы используемых датчиков и устройств, а также их взаимодействие с другими компонентами системы телемеханики.
2. В соответствии с указаниями преподавателя, выбрать и установить соответствие между подключаемыми объектами телесигнализации, клеммниками на стойке и модулями первичной обработки сигналов. Полученные результаты следует внести в таблицу 1.8.1

Таблица 1.8.1 – Данные объектов телесигнализации

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

1. Зарисовать структурную схему стойки контролируемого пункта с указанием всех модулей, которые работают в режиме приема телесигнализации.
2. Определить назначение модулей стойки, их роль в функционировании системы.
3. Посчитать количество объектов телесигнализации, указав их в отчете.
4. Составить алгоритм работы элементов стойки при опросе заданных объектов телесигнализации с использованием руководства по эксплуатации шкафа телемеханики.

5. Определить, в каких случаях возникают сигналы о неисправностях в системе.

Нарисовать или выписать изменения графических обозначений и надписей на экране компьютера при изменении состояния объектов ТС, а также при срабатывании аварийной и предупредительной сигнализации.

6. Проверить работоспособность стойки телемеханики. Подать питание на стойку и использовать светодиодную индикацию для проверки. Затем, под контролем преподавателя, включить управляющий компьютер, запустить программу с функцией телесигнализации и по заданию преподавателя изменить состояние объектов. Следить за изменениями индикаторов на испытательном стенде и на модулях первичной обработки сигналов, а также за изменением состояния на экране компьютера. В отчете зафиксировать результаты наблюдений.

Контрольные вопросы.

1. Что влияет на количество объектов телесигнализации на контролируемом пункте? Возможно ли изменять количество объектов в изучаемой системе?

2. Когда происходит сохранение информации о состоянии объектов телесигнализации?

3. Как организована гальваническая развязка при передаче сигналов ТС между оперативными цепями и цепями стойки телемеханики?

4. Какой элемент стойки определяет номер опрашиваемого объекта телесигнализации в данный момент времени?

Содержание отчета

Цель работы.

1. Структурная схема стойки контролируемого пункта – детализированное изображение, демонстрирующее ключевые компоненты системы телесигнализации, их взаимодействие и роль в общей структуре телемеханики.

2. Заполненная таблица 1.8.1.

3. Техническая характеристика стойки контролируемого пункта в части объектов телесигнализации.

4. Алгоритм работы элементов стойки при опросе объектов телесигнализации.

5. Вывод об особенностях работы оборудования контролируемого пункта в режиме телесигнализации.

Практическое занятие № 9

Тема: Оборудование контрольного пункта

Цель работы: изучить практически структуру и ключевые элементы шкафа контролируемого пункта, а также определение порядка его взаимодействия 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 устанавливаются специальные стойки или шкафы, выполняющие функции приема сигналов телеуправления (стойки ТУ КП) и передачи сигналов телесигнализации (стойки ТС КП). В современных микропроцессорных системах обычно используется одна стойка, которая может одновременно функционировать в режимах телеуправления и телесигнализации, а также собирать телеизмерительные и диагностические данные для передачи их на энергодиспетчерский пункт посредством различных коммуникационных линий.

Стойки и шкафы контролируемых пунктов бывают различных модификаций. Обычно они включают в себя микропроцессорный контроллер (один или несколько), блок питания, узел связи (модем), устройства для декодирования управляющих сигналов и первичного преобразования дискретных сигналов (телесигнализация), клеммы подключений для линий телеуправления и телесигнализации, а также адаптеры для интеграции устройств телеизмерения. Для передачи команд используются специальные компактные промежуточные реле, размещенные в модуле стойки контролируемого пункта. Количество объектов для телеуправления и телеконтроля может варьироваться в зависимости от типа контролируемого пункта. В случае, если на контролируемом пункте предусмотрено постоянное дежурство, дополнительно устанавливается промышленный компьютер для удаленного управления объектами, а организация хранения и предоставления информации в этом компьютере аналогична оборудованию диспетчерского пункта.

Порядок выполнения работы

1. Определить назначение оборудования контролируемого пункта, данные занести в таблицу 1.9.1.

Таблица 1.9.1 – Состав оборудования контролируемого пункта

Наименование оборудования	Назначение	Технические данные	Присоединенная аппаратура	Вид соединительных кабелей

2. Сделать зарисовку структурной схемы шкафа контролируемого пункта. Определить назначение отдельных модулей шкафа и записать их в отчет.

3. Определить и зафиксировать в отчете количество объектов телеуправления и телесигнализации.

4. Составить алгоритмы работы элементов шкафа при приеме команды телеуправления и сборе данных телесигнализации, используя руководство по эксплуатации шкафа телемеханики. Установить, в каких ситуациях выполнение команды может быть заблокировано.

5. Подключить питание к стойке телемеханики. Убедиться в успешном запуске с помощью светодиодной индикации.

5.1. Под руководством преподавателя включить управляющий компьютер и запустить программу с функцией телеуправления. Наблюдать за состоянием световых индикаторов на испытательном стенде стойки и записать результаты наблюдения в отчет.

5.2. Под контролем преподавателя выполнить ручное переключение объектов телемеханики. Следить за состоянием световых индикаторов телесигнализации на испытательном стенде стойки и записать результаты наблюдения в отчет.

Контрольные вопросы.

1. Какие модули стойки контролируемого пункта влияют на скорость выполнения команды и объем передаваемой информации?

2. Какие компоненты входят в состав аппаратуры шкафа телемеханики?

3. При каких обстоятельствах выполнение команды телеуправления может быть заблокировано?

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Структурная схема шкафа контролируемого пункта.

3. Заполненная таблица 1.9.1.
4. Технические характеристики шкафа контролируемого пункта.
5. Алгоритм работы элементов стойки при получении команды телеуправления и сборе данных телесигнализации.
6. Заключение об особенностях работы оборудования контролируемого пункта.

Практическое занятие № 10

Тема: 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, технические характеристики аппаратуры телемеханики – шкафов системы АСТМУ КП

Порядок выполнения работы

1. Используя однолинейную схему подстанции, определить количество объектов телеуправления.

2. Составить таблицу с указанием телеизмерительной информации и телесигнализации по выбранным объектам.

Таблица 1.10.1 – Телеизмерительная информация и объекты ТС, ТУ

Распред . устройство	Объект теле- управления	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 1.10.2.

Таблица 1.10..2 Общее количество объектов телемеханики

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

4. Определить требуемое количество модулей мультиплексоров телеуправления и телесигнализации и выбрать требуемую стойку телемеханики

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Тип заданной подстанции, перечень распределительных устройств, количество фидеров каждого вторичного РУ.
3. Заполненная таблица 1.10.1.
4. Структурная схема сбора и передачи информации.
5. Заполненная таблица 1.10.2.
6. Вывод с указанием требуемого количества мультиплексоров и выбранной стойки телемеханики.

Практическое занятие № 11

Тема: Управление подстанцией с рабочего места энергодиспетчера в режимах телеуправления и телесигнализации

Цель работы: получить практические знания о конструкции шкафа управления подстанцией и установить порядок приема и выполнения команд телеуправления и телесигнализации.

Оборудование и приборы:

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

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со структурной схемой оборудования энергодиспетчерского пункта и сделать зарисовку для отчета.

2. Определить назначение модулей шкафа управления подстанцией и внести данные в таблицу 1.11.1.

Таблица 1.11.1 Модули шкафа управления подстанцией

Наименование оборудования	Назначение	Присоединенная аппаратура

3. Сделать зарисовку структурной схемы шкафа управления подстанцией. Определить и записать в отчет количество объектов телеуправления и телесигнализации.

4. На основе руководства по эксплуатации шкафа управления подстанцией и инструкции для энергодиспетчера разработать алгоритм работы элементов шкафа при получении команды телеуправления для указанного преподавателем объекта. Определить ситуацию, при которой выполнение команды будет заблокировано. Зафиксировать в отчете изменения графических символов и надписей на экране компьютера при успешном выполнении команды, а также в случаях ее блокировки или не срабатывания.

5. Ознакомиться со структурой и формой представления архива компьютера (при наличии соответствующей программы) и сформулировать сообщения, которые должны отображаться в архиве при выполнении операций из пункта 5.

6. Подключить питание к ячейкам распределительных устройств и к шкафу управления подстанцией. Наблюдать за состоянием сигналов на экране монитора шкафа. Записать результаты наблюдений в отчет.

Контрольные вопросы.

1. Какие компоненты шкафа управления подстанцией влияют на скорость выполнения команды и объём передаваемой информации?
2. Какие компоненты входят в состав аппаратуры шкафа управления подстанцией?
3. В каких случаях выполнение команды телеуправления может быть заблокировано?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема пунктов энергодиспетчерского управления.
3. Структурная схема шкафа управления подстанцией.
4. Заполненная таблица 1.11.1.
5. Алгоритм работы элементов шкафа при передаче команды телеуправления и сформулированные сообщения для архива.
6. Выводы о особенностях работы оборудования шкафа управления подстанцией в режиме телеуправления.

ЛИТЕРАТУРА

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.

Учебное издание

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ
ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ И АВТОМАТИКЕ

Методические указания

Составители:

**Дьяченко Людмила Николаевна
Лукашевич Елена Борисовна
Баранова Светлана Константиновна
Костантиновская Алла Владимировна**

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка *А.Н. Федоренко*

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.02.

Подписано в печать ..25. Формат 60 × 90/16.

Усл. печ. л. 3,8. Электронное издание. Заказ № .

Подготовлено в Изд-ве Приднестр. ун-та. 3300, г. Тирасполь, ул. Мира, 18.

Опубликовано на образовательном портале moodle.spsu.ru