МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Стахановский инженерно-педагогический институт менеджмента
Кафедра электромеханики и транспортных систем

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

по дисциплине

«ОСНОВЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ»

для студентов направления подготовки

44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

Луганск 2021

УДК 621.316.9

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом
ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ»
(протокол № от . .2021 г.)

Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине **«Основы релейной защиты и автоматики»** для студентов направления подготовки **44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям).** / Сост.:
В.Н. Западенец. – **Стаханов**: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2021. – 92 с.

Методические указания содержат требования к объему и структуре курсового проекта по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение. Электроснабжение. В них приведены пояснения по выполнению расчетов разделов курсового проекта, примеры выполнения расчетов, примеры схем релейной защиты и параметры оборудования, участвующего в проектировании. Методические указания предназначены для студентов инженерно-педагогических направлений образовательных организаций профессионального высшего образования.

Составитель: асс. Западенец В.Н.

Ответственный за выпуск: доц. Петров А.Г.

Рецензент: доц. Кухарев А.Л.

© Западенец В.Н., 2021
© ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ»,2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА 5
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ 6
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА «АНАЛИЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ» 8
3.1 Анализ схемы электроснабжения 8
3.2. Выбор трансформаторов тока (ТТ) 10
3.3. Выбор трансформаторов напряжения (ТН) 18
3.4. Номинальные данные ТТ и ТН 19
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА «РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ» 21
4.1. Расчёт токов короткого замыкания в максимальном режиме 22
5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА «ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТОКАМ КЗ» 32
5.1. Проверка выключателей 32
5.2. Проверка трансформаторов тока 35
5.3. Выбор и проверка предохранителей 37
6. ВЫБОР И ПРОВЕРКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ РУ 6 (10) кВ 38
6.1. Защита электродвигателей 38
6.2. Защита трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций 41
6.3. Защита секции распределительного устройства 42
7.1. Защита конденсаторной установок 46
7.2. Защита отходящего присоединения ГПП к РУ 6 (10) кВ 47
7.3. Защита секции ГПП 49
7.4. Защита ввода ГПП 51
7.5. Определение выдержки времени защит 52
8. ЗАЩИТА ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГПП 54
8.1. Дифференциальная токовая защита 54
8.2. Максимальная токовая защита с пуском от реле минимального напряжения 59
8.3. Защита от перегрузки 60
9. ЗАЩИТА НА СТОРОНЕ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ТОКА 61
9.1 Защита на стороне низкого напряжения 61
9.2 Система оперативного тока 62
10. СИСТЕМНАЯ АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА 62
ВЫВОДЫ 64
11. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА 64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 67
Приложения 68

ВВЕДЕНИЕ

Для автоматического отключения поврежденных элементов системы электроснабжения и сигнализации о нарушении нормальных режимов работы предназначенная релейная защита. Релейная защита осуществляет беспрерывный контроль за режимом работы всех элементов энергосистемы.

Релейная защита элементов распределительных сетей должна отвечать требованиям: быстродействия, селективности, надежности и чувствительности.

Быстродействие релейной защиты должно обеспечивать наименьшее возможное время отключения коротких замыканий. Быстрое отключение короткого замыкания (КЗ) не только ограничивает область и степень повреждения элемента, который защищается, но и обеспечивает сохранение бесперебойной работы невредимой части энергосистемы. Быстрое отключение КЗ повышает достоверность успешных действий устройств автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического включения резервного питания (АВР).

Селективным (избирательным) действием защиты называется такое действие, при котором автоматически отключается только поврежденный элемент электроустановки (трансформатор, линия, электродвигатель и т.п.).

Требования селективности и быстродействия могут удовлетворять при использовании защит, которые владеют абсолютной селективностью, например, дифференциальные защиты трансформаторов, линий и других элементов энергосистемы. По принципу действия они не срабатывают при КЗ на сопредельных элементах и потому выполняются с мгновенным действием на отключение поврежденного элемента. Но такие защиты не могут использоваться как резервные на сопредельных элементах, для этих целей применяются защиты, которые владеют относительной селективностью (максимальные токи, дистанционные), которые должны выполняться с выдержками времени.

Надежность функционирования релейной защиты предполагает надежное срабатывание устройства при появлении условий на срабатывание и надежное несрабатывание устройства при их отсутствии.

Чувствительностью релейной защиты называют ее способность реагировать на все виды повреждений и аварийных режимов, которые могут возникать в пределах основной защищаемой зоны и зоны резервирования. Оценка чувствительности основных типов релейных защит проводится с помощью коэффициентов чувствительности, значение которых для разных типов защиты и реле указываются в «Правилах устройства электроустановок» [1]. Определение коэффициентов чувствительности проводится при наиболее неблагоприятных видах повреждений, но для реально возможного режима работы электрической системы. Все короткие замыкания при этом рассматриваются как металлические, то есть не учитываются возможные переходные сопротивления в месте КЗ и в частности, сопротивление электрической дуги.

Данные методические указания рассматривают вопрос проектирования релейной защиты системы электроснабжения, могут использоваться для электрических сетей напряжением 35-220 кВ и призваны помочь студентам в

выполнении курсового проекта по дисциплине «Основы релейной зашиты и автоматики».

1. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект включает в себя расчетно-пояснительную записку и чертеж, выполненный на листе формата А1 (594х841мм).

Пояснительная записка должна в логической последовательности освещать вопросы: анализа схемы электроснабжения, выбора основного оборудования; расчетов токов короткого замыкания; проверки оборудования по токам короткого замыкания; выбора и проверки релейной защиты распределительного устройства 6 (10) кВ (РУ - 6 (10) кВ); выбора и проверки релейной защиты главной понижающей подстанции (ГПП) ; защиты понижающих трансформаторов ГПП ; защиты на стороне низкого напряжения и выбора системы оперативного тока; системной автоматики и телемеханики; содержать схемы, рисунки и таблицы, поясняющие текст и которые не должны повторять графическую часть. Текст пояснительной записки должен обязательно содержать ссылки на использованную литературу, формулы и справочный материал.

Примерная рубрикация подразделов курсового проекта:

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.

1. АНАЛИЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ.

1.1. Анализ схемы электроснабжения.

1.2. Выбор трансформаторов тока (ТТ).

1.3. Выбор трансформаторов напряжения (ТН).

1.4. Номинальные данные ТТ и ТН.

2. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

2.1. Расчет токов короткого замыкания в максимальном режиме.

2.2. Расчет токов короткого замыкания в минимальном режиме.

3. ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТОКАМ КЗ.

3.1. Проверка выключателей.

3.2. Проверка трансформаторов тока.

3.3. Выбор и проверка предохранителей.

4. ВЫБОР И ПРОВЕРКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ РУ 6 (10) кВ .

4.1. Защита электродвигателей.

4.2. Защита цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП).

4.3. Защита секции шин распределительного устройства (РУ - 6 (10) кВ).

4.4. Защита ввода РУ - 6 (10) кВ) .

5. ВЫБОР И ПРОВЕРКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ГЛАВНОЙ ПОНИЖАЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ (ГПП).

5.1. Защита конденсаторной установки.

5.2. Защита отходящего присоединения ГПП к РУ - 6 (10) кВ.

5.3. Защита секции шин ГПП.

5.4. Защита ввода ГПП.

6. ЗАЩИТА ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГПП.

6.1. Дифференциальная токовая защита.

6.2. Максимальная токовая защита с пуском по напряжению.

6.3. Защита от перегрузки.

7. ЗАЩИТА НА СТОРОНЕ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ТОКА.

7.1. Защита на стороне низкого напряжения.

7.2. Система оперативного тока.

8. АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.

ВЫВОДЫ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

Приложения.

В графической части курсового проекта должны быть изображены: однолинейная схема системы электроснабжения, карта уставок и схемы релейная защита оборудования, указанного в задании к курсовому проекту.

В качестве специальной части к курсовому проекту преподавателем в задании на курсовой проект предлагается одна из следующих тем: релейная защита трансформаторов главной трансформаторной подстанции, релейная защита конденсаторной установки; релейная защита высоковольтного двигателя, релейная защита трансформатора цеховой трансформаторной подстанции. Эти темы рассматриваются в графической части курсового проекта и должны содержать: цепи управления и защит 220 В, токовые цепи, цепи напряжения и цепи предупредительной сигнализации. Примеры схем, выносимых в графическую часть представлены в приложения 1-5.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Схема системы электроснабжения, для которой выполняется расчет релейной защиты, с указанием на ней исходных данных приведена на рис. 1. (типы и номинальные параметры оборудования не указаны).

В качестве исходных данных к курсовому проекту в Задании предлагаются следующие параметры схемы системы электроснабжения и оборудования:

- длина питающей линии $L_{ВЛ}$, км,
- марка провода питающей линии;
- мощность КЗ в максимальном режиме $S_{КЗ\,max}$, МВА;
- мощность КЗ в минимальном режиме $S_{КЗ\,min}$, МВА;
- тип электродвигателя;
- мощность электродвигателя $P_{эл.дв.}$, кВт;
- количество электродвигателей n;
- длина кабельной линии от секции ГПП до РУ - 6 (10) кВ $L_{кл1}$, м
- длина кабельной линии от РУ 6 (10) кВ до электродвигателя $L_{кл2}$, м;
- тип трансформатора цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП);
- мощность трансформатора цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП)

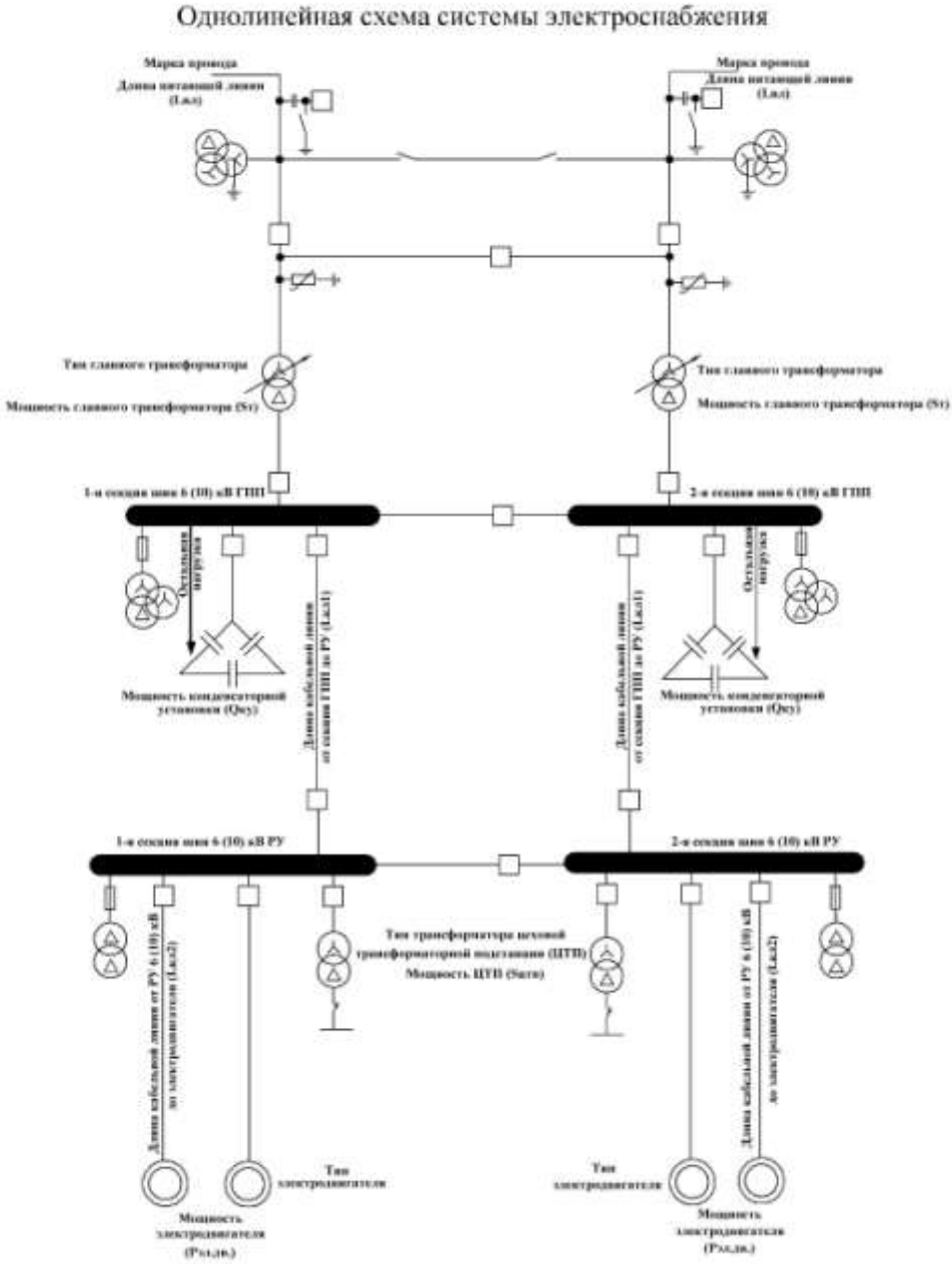


Рис. 1 Схема системы электроснабжения с указанием исходных данных

- мощность трансформатора цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП) $S_{ЦТП}$, кВА;

- тип главного трансформатора;

- мощность главного трансформатора $S_{ТР}$, кВА;

- длина кабеля от секции ГПП до распределительного устройства (РУ - 6 (10) кВ) $L_{кл1}$, м;

- мощность конденсаторной установки $Q_{КУ}$, кВАр.

Схема системы электроснабжения, для которой выполняется расчет релейной защиты, с указанием на ней исходных данных приведена на рис. 1. (типы и номинальные параметры оборудования не указаны).

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА «АНАЛИЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ»

3.1 Анализ схемы электроснабжения

Однолинейная схема системы электроснабжения, для которой выполняется проектирование релейной защиты, выполненная по схеме мостик с указанием основного оборудования на начальном этапе проектирования представлена на рис. 2.

В данном подразделе выполняется анализ системы электроснабжения, которая в курсовом проекте содержит главную понижающую подстанцию 110/6кВ (ГПП), получающую питание по ВЛ 110 кВ.

ГПП выполнена по схеме мостик с перемычкой на стороне ВН и секционными выключателями на сторонах ВН и НН.

На подстанции установлены два силовых трансформатора, тип и мощность которых представляются в исходных данных. Первичное напряжение главного трансформатора 110 кВ (может быть 35-220 кВ), вторичное напряжение 6 (10) кВ. Распределительное устройство 6 кВ подстанции содержит 2 секции.

Целесообразно принимать на высокой стороне ГПП элегазовые выключатели, на низкой – вакуумные выключатели.

Для компенсации реактивной мощности на системе шин ГПП установлены две конденсаторные установки по одной на каждую секцию, которые включены через выключатели и трансформаторы тока (ТТ) и два трансформатора напряжения (ТН) по одному на каждую секцию. От шин ГПП запитано РУ - 6 (10) кВ, его подключение выполняется кабельной линией, длина которой указана в задании на курсовой проект, а марку и сечение кабеля необходимо принять в соответствии с [1, табл. 1.3.18, 1.3.19] по рассчитываемой далее нагрузке.

От распределительного устройства (РУ) запитаны четыре электродвигателя, (тип и мощность которых, а также протяженность кабельных линий, которыми они подключены, указаны в задании на курсовой проект) и другие токоприемники. Тип и сечение кабелей для данной кабельной линии также необходимо принять в соответствии с [1, табл. 1.3.18, 1.3.19] по проектируемой нагрузке. Также к системе шин РУ - 6 (10) кВ подключены трансформаторы цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП), мощность которых дана в задании на курсовой проект.

В РУ - 6 (10) кВ подключены шесть однофазных трансформаторов напряжения по три на каждую секцию (3хНОМ 6).

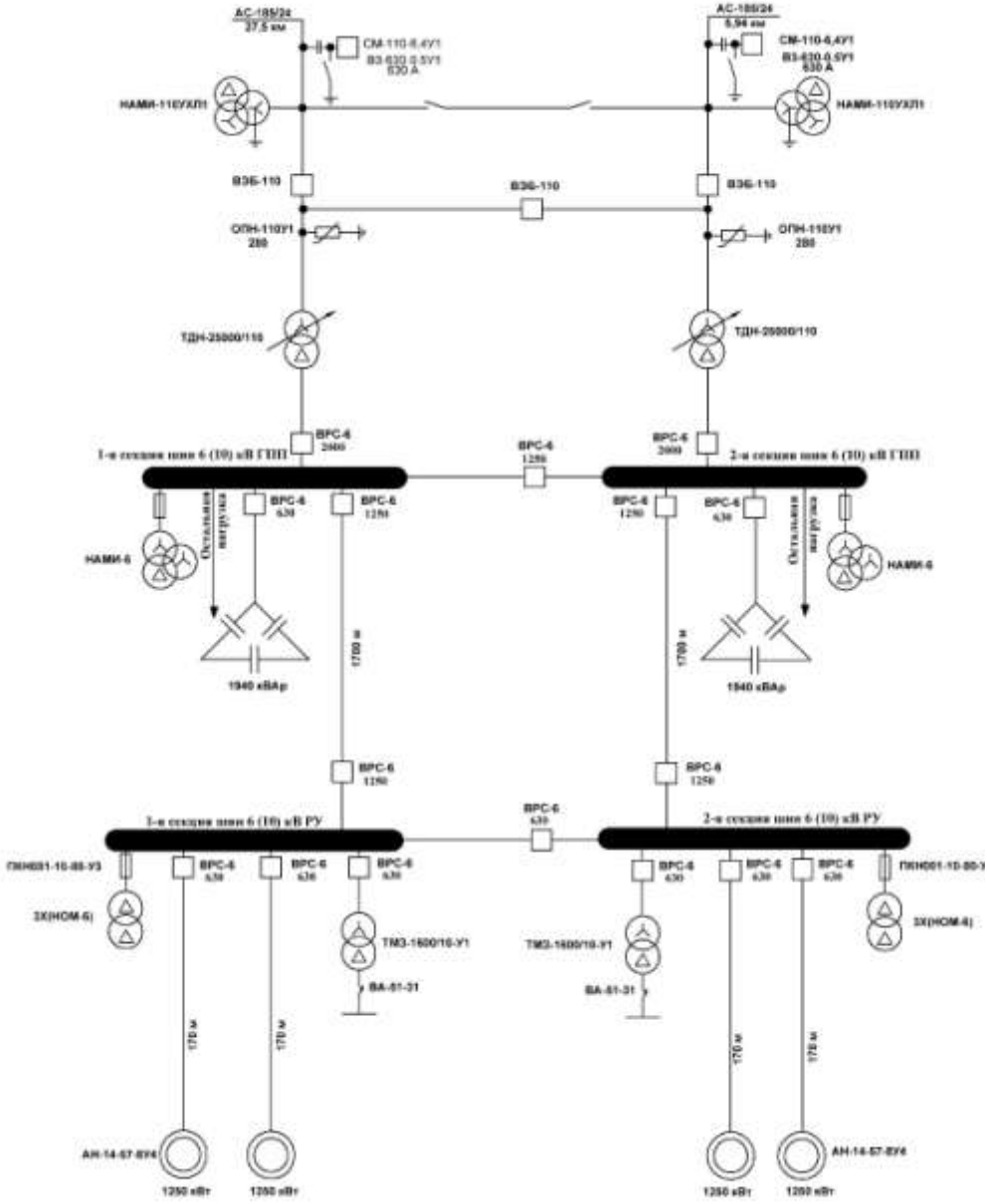


Рис. 2 Схема системы электроснабжения для проведения анализа

3.2. Выбор трансформаторов тока (ТТ)

Для выбора трансформаторов токов необходимо рассчитать токи, протекающие в линиях, в которые включены первичные обмотки трансформаторов тока. Схема, поясняющая расчет токов приведена на рис. 3.

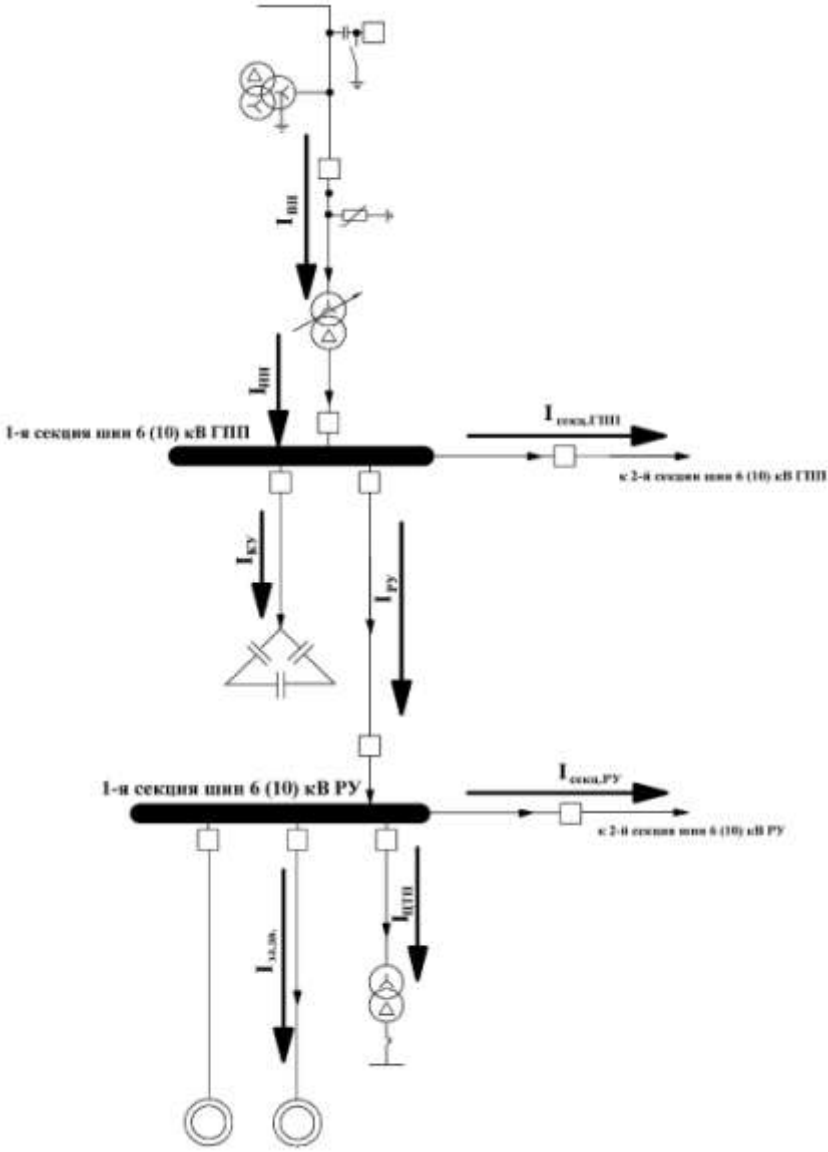


Рис. 3 Схема, поясняющая расчет токов для выбора трансформаторов тока

На рис.3 для упрощения приведено оборудование только для одной секции шин ГПП и распределительного устройства, так как для схемы «мостик», рассматриваемой в данном курсовом проекте при нормальном режиме работы ГПП является режим с отключенными секционными выключателями на стороне высокого напряжения (ВН) и низкого напряжения (НН). То есть оборудование и расчеты для второй системы шин ГПП и РУ - 6 (10) кВ полностью аналогичны.

Ток конденсаторной установки рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{КУ}} = \frac{Q_{\text{КУ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (3.1)$$

где $Q_{\text{КУ}}$ – мощность конденсаторной установки, кВАр (исходные данные);
$U_{НН}$ – напряжение низкой стороны ГПП (6 (10) кВ).

Ток распределительного устройства (РУ) рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{РУ}} = \frac{S_{\text{РУ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (3.2)$$

где $S_{РУ}$-мощность оборудования, подключенного к РУ, кВт.

Мощность оборудования, подключенного к РУ, можно приближенно рассчитать по формуле:

$$S_{\text{РУ}}^{max} = \left(\frac{4 \cdot P_{\text{эл.дв.}}}{cos\,\varphi \cdot n} + 2 \cdot S_{\text{ЦТП}}\right) \cdot \kappa_з, \quad (3.3)$$

где $P_{\text{эл.дв.}}$ – мощность электродвигателя, кВт (исходные данные);
$S_{\text{ЦТП}}$ - мощность трансформатора цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП), кВА (исходные данные);
$I_{\text{эл.дв.}}$ – номинальный ток электродвигателя, А [2, табл. 6.1],
$\kappa_з$– коэффициент загрузки, принимается равным 0,7 [4].

Ток трансформатора цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП), рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{ЦТП}} = \frac{S_{\text{ЦТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (3.4)$$

Ток высокого напряжения рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (3.5)$$

где S_{TP} – мощность главного трансформатора, кВА (исходные данные),
U_{BH} – напряжение высокой стороны ГПП, для данного курсового проекта 110 (220) кВ.

Ток низкого напряжения рассчитывается по формуле:

$$I_{HH} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}, \tag{3.6}$$

где U_{HH} – напряжение низкой стороны, для данного курсового проекта 6 (10) кВ.

Рабочий ток секции ГПП рассчитывается по формуле:

$$I_{секц.ГПП} = \frac{I_{HH}}{2}. \tag{3.7}$$

Рабочий ток секции распределительного устройства рассчитывается по формуле:

$$I_{секц.РУ} = \frac{I_{РУ}}{2}. \tag{3.8}$$

По рассчитанным токам производится предварительный выбор трансформаторов тока

Предварительный выбор трансформаторов тока производится согласно условию:

$$I_{ном.1ТТ} \geq I_{расч.}, \tag{3.9}$$

где $I_{ном.1ТТ}$ – номинальный первичный ток трансформатора тока [3, табл. 5.9];
$I_{расч.}$ – расчетный ток (ток конденсаторной установки, ток распределительного устройства, ток электродвигателя, ток трансформатора цеховой трансформаторной подстанции, ток высокого напряжения, ток низкого напряжения, рабочий ток секции ГПП, рабочий ток секции РУ - 6 (10) кВ).

То есть предварительно выбирается трансформатор тока с ближайшим большим номинальным первичным током по отношению к расчетному току защищаемого оборудования или линии. Следует помнить, что необходимо выбирать трансформаторы тока, для которых в справочной литературе нормированы ток электродинамической стойкости и допустимый ток термической стойкости, так как эти величины будут участвовать в проверке оборудования по электродинамической и термической стойкости.

Для защиты по высокой стороне ГПП (в курсовом проекте 110 (220) кВ) следует выбирать трансформаторы тока для наружной установки на номинальное напряжение 110 (220) кВ. Они принимаются по току высокого напряжения $I_{BH,}$ их расположение на однолинейной схеме электроснабжения представлено на рис. 4.

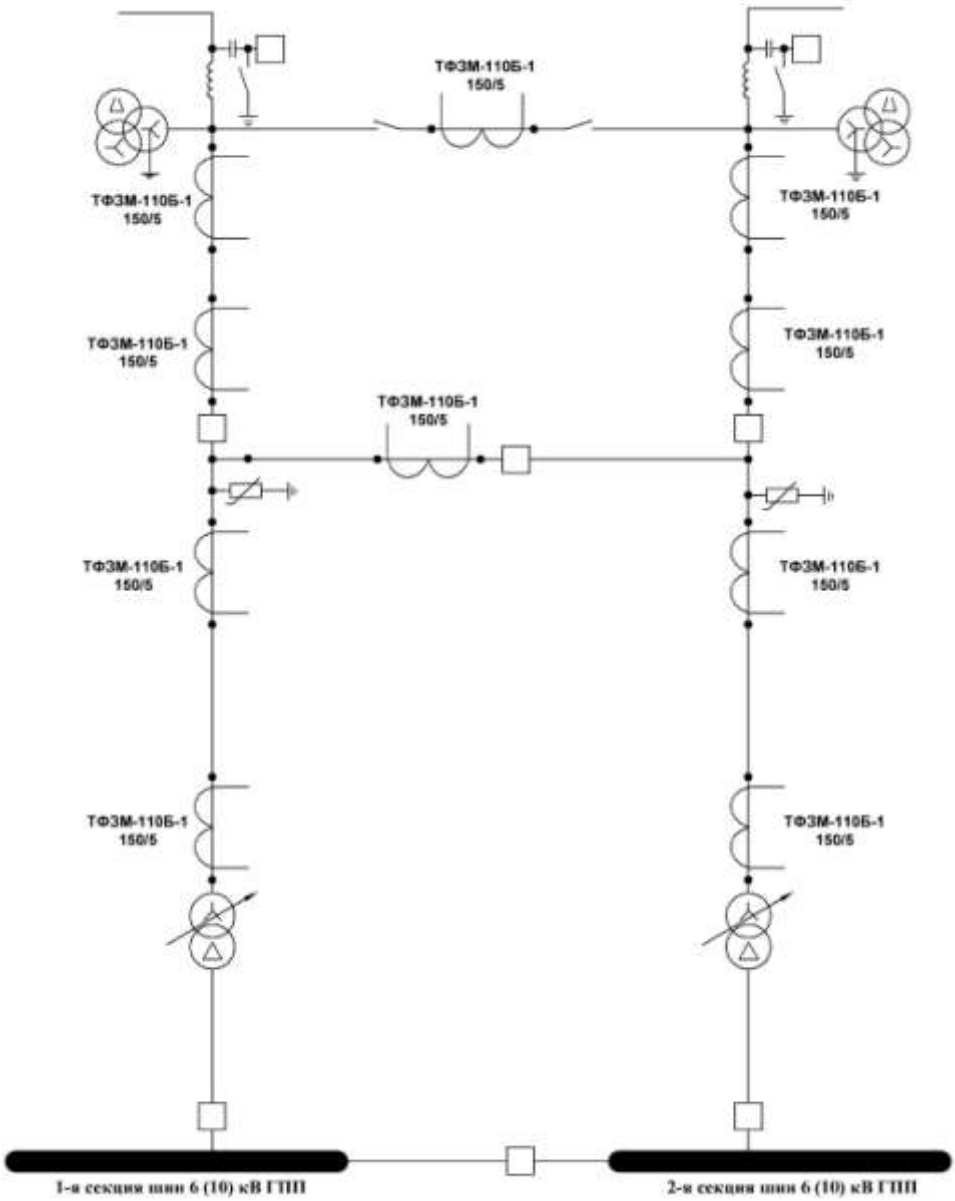


Рис. 4 Схема, поясняющая установку трансформаторов тока по стороне 110 (220)кВ

На рис. 4 видны места установки трансформаторов ТФЗМ-110Б-1 с номинальным первичным током 150А, принятым по условию (3.9), в котором $I_{расч.}$ определен по (3.5).

Для проектирования систем релейной защиты применяются типовые схемы, количество ТТ, в которых в случае применения двухобмоточных ТТ может быть два и более для подключения необходимого количества защит.

Для защиты по низкой стороне (в курсовом проекте 6 (10) кВ) следует выбирать трансформаторы тока для внутренней установки на номинальное напряжение 6 кВ либо 10 кВ (так как данное оборудование относится к одному классу напряжения). Трансформаторы тока принимаются по токам, рассчитанным по формулам (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.6, 3.7, 3.8). Их расположение с указанием мест установки и токов, по которым выполнен выбор, представлены на однолинейной схеме электроснабжения, рис. 5.

Далее необходимо произвести проверку вторичной нагрузки трансформаторов тока для принятого класса по условию:

$$z_2 \leq z_{2\ ном}, \tag{3.10}$$

где z_2 – полное вторичное сопротивление трансформатора тока, Ом;
$z_{2ном}$ – номинальное полное сопротивление нагрузки трансформатора тока для принятого класса трансформатора тока, Ом.

Так как индуктивное сопротивление вторичных токовых цепей мало, тогда:

$$z_2 = r_2. \tag{3.11}$$

где r_2 – активное сопротивление приборов, подключенных к вторичной цепи трансформатора тока, Ом.

Параметры приборов, подключаемых к вторичной цепи трансформатора тока, принимаются из [3, табл.6.26] и сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Параметры приборов, подключенных ко вторичным обмоткам трансформатора тока

Название прибора	Класс прибора	Мощность прибора, Вт	Кол-во обмоток	Фаза А	Фаза Б	Фаза С
Измерительные обмотки ТТ						
Амперметр						
Счётчик						
Ваттметр						
Всего						
Обмотки ТТ для подключения реле						
3 Реле РТ-40						
Всего						

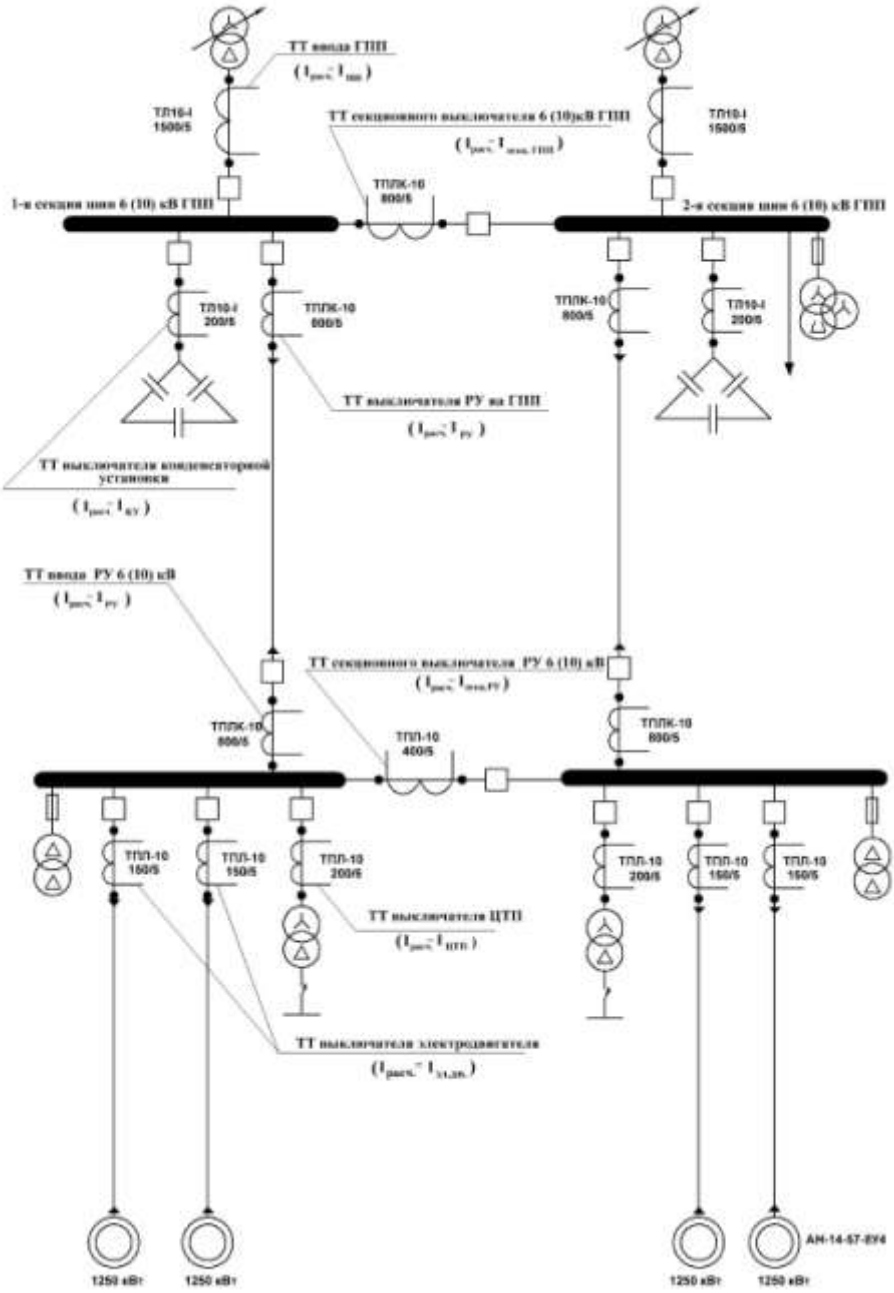


Рис. 5 Схема, поясняющая установку трансформаторов тока по стороне 6 кВ

Для трансформатора тока, установленного на вводе РУ - 6 (10) кВ, необходимо выполнить проверочный расчет.

Вторичное сопротивление складывается из сопротивления приборов, проводников и переходного сопротивления контактов и определяется по формуле:

$$r_2 = r_{\text{приб.}} + r_{пр.} + r_к, \tag{3.12}$$

где $r_{\text{приб.}}$ – сопротивление приборов, Ом;

$r_{пр.}$ – сопротивление проводников, которыми подключены приборы, Ом;

$r_к$ – переходное сопротивление контактов, Ом.

Сопротивление приборов определяем по формуле:

$$r_{\text{приб.}} = \frac{S_{\text{приб.}}}{I^2_{\text{приб.}}}, \tag{3.13}$$

где $S_{\text{приб.}}$– мощность приборов, включенных во вторичную цепь проверяемого трансформатора тока [3, табл.6.26], Вт;

$I_{\text{приб.}}$– номинальный ток приборов, включенных во вторичную цепь проверяемого трансформатора тока [3, табл.6.26], А.

Мощность приборов, включенных в измерительную обмотку ТТ:

$$S_{\text{приб.}} = S_{\text{амп.}} + S_{\text{счет.}} + S_{\text{ватт.}} \tag{3.14}$$

где $S_{\text{амп.}}$ – мощность амперметра, Вт;

$S_{\text{счет.}}$ – мощность счетчика, Вт;

$S_{\text{ватт.}}$ – мощность ваттметра, Вт.

Мощность приборов, включенных в обмотку ТТ для подключения реле:

$$S_{\text{приб.}} = S_{\text{реле}}. \tag{3.15}$$

где $S_{\text{реле}}$ - мощность реле, Вт.

Сопротивление контактов принимается 0,1 Ом. Сопротивление проводников зависит от марки кабеля, его длинны и сечения. Чтобы трансформатор тока работал в принятом классе, необходимо выдержать условие:

$$r_{\text{приб.}} + r_{\text{пр.}} + r_{\text{к.}} \leq Z_{2\text{ ном.}}. \tag{3.16}$$

Отсюда:

$$r_{\text{пр.}} = z_{2\text{ном.}} - r_{\text{приб.}} - r_{\text{к.}}. \tag{3.17}$$

Для подключения ко вторичным обмоткам ТТ могут применяться контрольные кабели как с алюминиевыми, так и с медными жилами сечением 2,5 - 4 мм^2.

Тогда фактическое сопротивление проводников:

$$r_{\text{пр.}} = \frac{l_{\text{р}}}{\gamma \cdot S}, \text{Ом.} \qquad (3.18)$$

где $l_{\text{р}}$ – расчётная длинная проводников, м (в курсовом проекте принимается 15-20 м из опыта эксплуатации);

γ – удельная проводимость, м/Ом·мм^2 (для меди $\gamma = 53$, для алюминия $\gamma = 32$);

S – сечение жилы контрольного кабеля, мм^2.

После проверки расчета (3.10) и соблюдения условия (3.16) выбранные трансформаторы тока сводятся в таблицу 3.2 (для трансформаторов, установленных на присоединениях ГПП) и таблицу 3.3 (для трансформаторов, установленных на присоединениях РУ - 6 (10) кВ).

Таблица 3.2 - Условия выбора трансформаторов тока присоединений ГПП

Тип ТТ								
Место установки	Ввод ГПП		Выключатель КУ		Выключатель РУ на ГПП		Секция 6(10) кВ ГПП	
Параметры	Расчетные	Каталожные	Расчётные	Каталожные	Расчетные	Каталожные	Расчетные	Каталожные
$U_{\text{н.уст.}} \leq U_{\text{ном.}}$								
$I_{\text{р.}max.} \leq I_{1\text{ н.}}$								
$z_2 \leq z_{2\text{ ном.}}$								

Где $t_{откл.}$ – время отключения, в курсовом проекте принимаем = 0,2с.

Таблица 3.3 - Условия выбора трансформаторов тока присоединений РУ - 6 (10) кВ.

Тип ТТ								
Место установки	Выключатель электродвигателя		Выключатель ЦТП		Ввод РУ 6 (10) кВ		Секция 6 (10) кВ РУ	
Параметры	Расчётные	Каталожные	Расчётные	Каталожные	Расчетные	Каталожные	Расчётные	Каталожные
$U_{\text{н.уст.}} \leq U_{\text{ном.}}$								
$I_{\text{р}} \leq I_{1\text{ н.}}$								
$z_2 \leq z_{2\text{ ном}}$.								

3.3. Выбор трансформаторов напряжения (ТН)

Предварительный выбор трансформаторов напряжения выполняется по номинальному напряжению первичной обмотки (в курсовом проекте 6 (10) кВ) и номинальной мощности для соответственного класса точности [3, табл.5.13].

Предварительно принятые трансформаторы напряжения должны удовлетворять условию:

$$S_{2расч.} \leq S_{2\ ном.}, \tag{3.19}$$

где $S_{2\text{расч.}}$ – мощность приборов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора напряжения, В·А [3, табл.6.26];

$S_{2\ ном.}$ – номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора напряжения, В·А [3, табл.5.13.].

Параметры, приборов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора напряжения, заносятся в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Параметры приборов, подключенных ко вторичным обмоткам трансформатора напряжения

Название прибора	Класс прибора	Мощность прибора, ВА	Кол-во обмоток	Фаза А	Фаза Б	Фаза С
Измерительные обмотки ТН						
Вольтметр						
Счётчик						
Ваттметр						
Всего						

Обмотки ТН для подключения реле						
Реле напряжения РН						
Всего						

После проверки условия (3.16) принятые трансформатора напряжения заносятся в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Условия выбора трансформаторов напряжения

Тип трансформатора напряжения		
Параметры	Расчётные	Каталожные
$U \leq U_{ном.}$, кВ		
$S_{2расч.} \leq S_{2\ ном.}$, В·А		

3.4. Номинальные данные ТТ и ТН

Все принятые трансформаторы тока заносятся в таблицу 3.6, в которую вносят номинальные параметры оборудования.

Таблица 3.6 – Номинальные данные принятых ТТ

Место установки	Тип	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки
				Первичный	Вторичный		
Ввод ГПП							
Секция 6 (10) кВ ГПП							
Выключатель КУ							
Выключатель РУ 6 (10) кВ ГПП							
Выключатель электродвигателя.							
Выключатель ЦТП							

Ввод РУ 6 (10) кВ							
Секция РУ 6 (10) кВ							
Выключатель на стороне ВН							

Продолжение таблицы 3.6

Место установки	Тип	Номинальная нагрузка, Ом, в классе точности		Электродинамическая стойкость	Термическая стойкость
		0,5	10Р	Ток электродинамической стойкости, кА	Допустимый ток, кА/допустимое время, с
Ввод ГПП					
Секция ГПП					
Выключатель КУ					
Выключатель РУ 6 (10) кВ ГПП					
Выключатель электродвигателя.					
Выключатель ЦТП					
Ввод РУ 6 (10) кВ					
Секция РУ 6 (10) кВ					
Выключатель на стороне ВН					

Номинальные данные трансформаторов напряжения заносятся в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Номинальные данные принятых ТН

Тип	Класс напряжения, кВ	Номинальное напряжение обмоток, В			Номинальная мощность ВА, в классе точности	Предельная мощность, ВА	Схема соединения
		Первичной	Основной вторичной	Дополнительной вторичной	0,5		

Пример выполнения расчетов для выбора трансформаторов тока и напряжения приведен в приложении 6.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА «РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ»

Электрические машины и аппараты, воздушные и кабельные линии электропередачи и другие элементы энергосистемы при протекании электрического тока нагреваются и находятся под влиянием высокого напряжения. Под влиянием температуры изоляция электрооборудования стареет, при этом снижается ее электрическая прочность, которая может привести к коротким замыканиям в электрической системе.

Наиболее опасными и частыми видами повреждений являются короткие замыкания между фазами электроустановок и короткие замыкания фазы на землю. Имеют место случаи повреждения, которые одновременно сопровождаются КЗ и обрывом фаз. В силовых трансформаторах вместе с межфазными КЗ и замыканиями на землю могут иметь место замыкания между витками одной фазы обмотки трансформатора.

Вследствие возникновения КЗ возбуждается нормальная работа системы электроснабжения с возможным выходом генераторов из синхронизма и нарушением нормальной работы потребителей. Опасность для элементов сети представляет динамическое и термохимическое действие токов КЗ как непосредственно в месте повреждения, так и при протекании по невредимому оборудованию. Для уменьшения размеров повреждений и предотвращения развития аварий от токов к. з. необходимо быстро отключить поврежденный участок.

При расчете токов короткого замыкания следует учитывать максимальный и минимальный режимы работы энергосистемы, ввиду того что они сильно влияют на величину токов КЗ.

Поэтому правильно выбранный режим является важным элементом в выборе расчетных условий (выбор и проверка силового электрооборудования, проверка

чувствительности защит, расчет защит, согласование по чувствительности токовых защит и т.д.).

Выделяют два базовых режима - максимальный и минимальный. Максимальный режим предполагает включение всех генерирующих источников и элементов сети и ПС, в том числе заземление нейтралей АТ и Т. Схема сети такова, что при КЗ по рассматриваемому элементу (выключатель РЗ) проходит максимальный ток КЗ. С учетом последнего решается вопрос о полном или частичном включении параллельно коммутируемых элементов сети (линий, трансформаторов, автотрансформаторов), замкнутом или разомкнутом состоянии других кольцевых связей.

Максимальный режим используется при выборе и проверке первичной аппаратуры РУ, выборе уставок мгновенных токовых отсечек, оценке погрешности трансформаторов тока.

Минимальный режим предполагает отключенной максимально возможную часть источников питания, трансформаторов, автотрансформаторов, линий, а схема соединений элементов сети принимается такой, при которой по рассматриваемому элементу проходит минимальный ток КЗ. Режим используется для проверки чувствительности РЗ, согласования характеристик РЗ разных элементов сети.

Расчет токов КЗ в системе электроснабжения выполняется с целью проверки электрооборудования, а также воздушных и кабельных линий на устойчивость к токам КЗ, а также проверки выбора уставок релейной защиты на надежность срабатывания.

Для расчета токов короткого замыкания составляется схема замещения, представленная на рис.6. На схеме замещения все элементы представляются своими сопротивлениями, указываются источники питания и расчетные точки КЗ. В курсовом проекте схема замещения выносится в приложения, в данных методических указаниях пример схемы замещения представлен в приложении 7.

На рис.6 отмечены расчетные точки, также показаны базисные токи ($I_{б1}$, $I_{б2}$, $I_{б3}$), участвующие в дальнейших расчетах.

4.1. Расчёт токов короткого замыкания в максимальном режиме.

В практике расчетов токов КЗ в электроустановках выше 1000 В обычно расчет выполняется в системе относительных величин. Чтобы вести расчетов относительных единицах, необходимо все сопротивления расчетной схемы выразить в относительных единицах. С этой целью выбираются базисные величины, для ВН 110 кВ и НН 6 кВ они составляют:

$S_б$=1000 МВА; $U_{б1} = 115$ кВ; $U_{б2} = 6{,}3$ кВ; $U_{б3} = 0{,}4$ кВ.

Тогда базисные токи рассчитываются следующим образом:

$$I_{б1}=\frac{S_б}{\sqrt{3}\cdot U_{б1}}, \text{ кА}, \tag{4.1}$$

$$I_{б2}=\frac{S_б}{\sqrt{3}\cdot U_{б2}}, \text{ кА}, \tag{4.2}$$

$$I_{бз}=\frac{S_б}{\sqrt{3}\cdot U_{бз}}, \text{кА}. \quad (4.3)$$

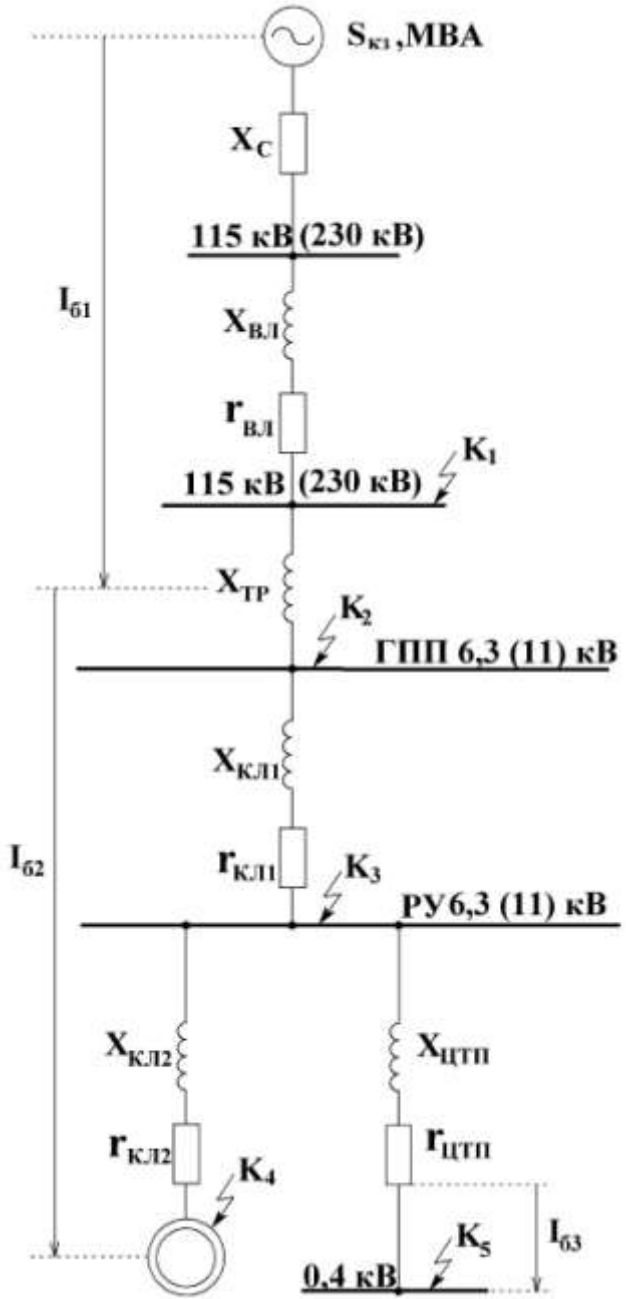


Рис. 6 Схема замещения системы электроснабжения

Определяются сопротивления элементов схемы замещения.
Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{S_б}{S_{кз}^{(3)}}. \quad (4.4)$$

Индуктивное сопротивление главного трансформатора:

$$x_{тр.} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{н.\,тр.}}, \quad (4.5)$$

где $U_{кз}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, % [3, табл. 3.6.];
$S_б$ – базисная мощность , МВА;
$S_{н.\,тр.}$ – номинальная мощность главного трансформатора, МВА (исходные данные к курсовому проекту).

Для трансформаторов мощностью 1000 кВА и более активное сопротивление $r_{тр1} \approx 0$, то есть в расчетах принимается во внимание только индуктивное сопротивление трансформатора.

Индуктивное сопротивление трансформатора ЦТП:

$$x_{\text{ЦТП}} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{н.\,тр.}}, \quad (4.6)$$

где $U_{кз}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, % [2, табл. 4.2.];

Активное сопротивление трансформатора ЦТП:

$$r_{\text{ЦТП}} = \frac{P_{кз}}{S_{н.\,ЦТП}}, \text{Ом}, \quad (4.7)$$

где $P_{кз}$ – потери короткого замыкания трансформатора, кВт [2, табл. 4.2.];
$S_{н.\,ЦТП}$ – номинальная мощность трансформатора цеховой трансформаторной подстанции, кВА (исходные данные к курсовому проекту).

Для определения сопротивления кабельных и воздушных линий необходимо знать их параметры: длины и сечения линий. Так для воздушной линии в исходных данных к курсовому проекту указаны марка и длина провода воздушной линии, а для кабельных линий указана лишь их длина, сечение же будет определяться токами,

проходящими в этих кабельных линиях. На рис.7 представлена схема, поясняющая расчет сопротивлений кабельных линий.

Для кабельной линии 1(КЛ1), проходящей от секции шин ГПП до секции шин распределительного устройства сечение ($S_{кл1}$) будет определяться током $I_{РУ}$ (3.2), при этом должно выполняться условие:

$$I_{ном.КЛ1} \geq I_{РУ}. \quad (4.8)$$

Таким образом, следует принять ближайшее большее сечение кабеля [1 табл. 1.3.18]. Для устройства кабельной линии следует принимать кабель с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке. Кабельная линия КЛ1 может прокладываться по территории подстанции как по поверхности (в кабельных лотках), так и в земле. Так для кабельной линии должны быть указаны сечение и способ прокладки. В случае отсутствия стандартного сечения токопроводящей жилы кабеля для расчетного тока РУ 6 (10) кВ принимают несколько кабелей, проложенных параллельно.

Для кабельной линии 2 (КЛ2), проходящей от секции шин распределительного устройства до высоковольтного электродвигателя, сечение ($S_{кл2}$) будет определяться током $I_{эл.дв.}$ [2, табл. 6.1], при этом должно выполняться условие:

$$I_{ном.КЛ2} \geq I_{эл.дв.} \quad (4.9)$$

Таким образом, следует принять ближайшее большее сечение кабеля [1 табл. 1.3.18]. Для устройства кабельной линии следует принимать кабель с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке. Кабельная линия КЛ2 должна прокладываться по территории РУ 6 (10) кВ в земле.

Активное сопротивление кабельной линии (КЛ 1) от секции шин ГПП 6 (10) кВ до секции шин РУ 6 (10) кВ:

$$r_{кл1} = \frac{L_{кл1}}{\gamma \cdot S_{кл1}} \cdot \frac{S_б}{{U_{б2}}^2} \cdot \frac{1}{n}, \quad (4.10)$$

где γ = 32 м/Ом · мм^2 – удельная проводимость для алюминия;

$S_{кл1}$ – сечение токопроводящей жилы кабеля, мм^2;

$L_{кл1}$ – длина кабельной линии №1, м (исходные данные к курсовому проекту);

n – количество кабелей в кабельной линии 1.

Индуктивное сопротивление кабельной линии (КЛ 1) от секции шин ГПП 6 (10) кВ до секции шин РУ 6 (10) кВ:

$$x_{кл1} = x_0 \cdot L_{кл1} \cdot \frac{S_б}{U_{б2}{}^2} \cdot \frac{1}{n}, \quad (4.11)$$

где x_0 = 0,08 Ом/км – индуктивное сопротивление 1 км кабеля 6 кВ;
$L_{кл1}$ – длина кабельной линии от ГПП 6 (10) кВ до системы шин РУ 6 (10) кВ, км.

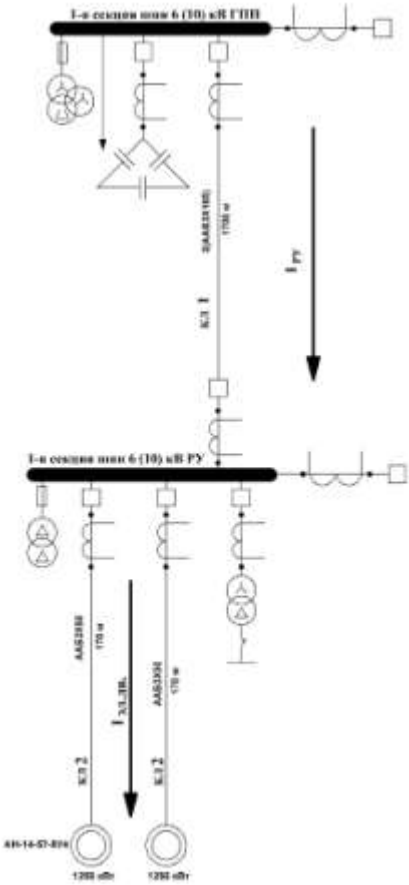


Рис. 7 Схема, поясняющая расчет кабельных линий

Аналогично рассчитываются активное и индуктивное сопротивления кабельной линии (КЛ 2) от секции шин 6 кВ распределительного устройства до высоковольтного электродвигателя:

$$r_{кл2} = \frac{L_{кл2}}{\gamma \cdot S_{кл2}} \cdot \frac{S_б}{U_{б2}{}^2}. \quad (4.12)$$

$$x_{кл2} = x_0 \cdot L_{кл2} \cdot \frac{S_б}{{U_{б2}}^2}. \quad (4.13)$$

Активное сопротивление ВЛ – 110 (220) кВ:

$$r_{вл} = \frac{L_{вл}}{\gamma \cdot S_{вл}} \cdot \frac{S_б}{{U_{б1}}^2}, \quad (4.14)$$

где γ = 32 м/Ом $\cdot$ мм^2 – удельная проводимость для алюминия;
$S_{вл}$ – сечение провода ВЛ, мм^2 (исходные данные к курсовому проекту);
$L_{вл}$ – длина воздушной линии, м (исходные данные к курсовому проекту).

Индуктивное сопротивление ВЛ – 110 кВ:

$$x_{вл} = x_0 \cdot L_{вл} \cdot \frac{S_б}{{U_{б1}}^2}, \quad (4.15)$$

где x_0 = 0,04 Ом/км – индуктивное сопротивление 1 км ВЛ 110 кВ;
$L_{вл}$ – длина воздушной линии, км (исходные данные к курсовому проекту).

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К1:

$$x_{к1} = x_с + x_{вл} \quad (4.16)$$

Результирующее активное сопротивление в точке К1:

$$r_{к1} = r_{вл} \quad (4.17)$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К2:

$$x_{к2} = x_{к1} + x_{тр} \quad (4.18)$$

Результирующее активное сопротивление в точке К2:

$$r_{к2} = r_{к1} \quad (4.19)$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К3:

$$x_{к3} = x_{к2} + x_{кл1} \quad (4.20)$$

Результирующее активное сопротивление в точке К3:

$$r_{к3} = r_{к2} + r_{кл1} \quad (4.21)$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К4:

$$x_{к4} = x_{к3} + x_{кл2} \quad (4.22)$$

Результирующее активное сопротивление в точке К4:

$$r_{к4} = r_{к3} + r_{кл2} \quad (4.23)$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К5:

$$x_{к5} = x_{к3} + x_{тсн} \quad (4.24)$$

Результирующее активное сопротивление в точке К5:

$$r_{к5} = r_{к3} + r_{тсн} \quad (4.25)$$

Полное сопротивление в точке К1:

$$z_{к1} = \sqrt{r_{к1}^2 + x_{к1}^2}. \quad (4.26)$$

Для точек 2-5 расчет выполняется аналогично.
Ток трёхфазного КЗ в точке К1:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{I_{б1}}{Z_{к1}}, \text{кА}. \quad (4.27)$$

Для точек 2-5 расчёт выполняется аналогично, и результаты сводятся в таблицу 4.1.

Двухфазный ток КЗ в точке К1:

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к1}^{(3)}, \text{кА}. \quad (4.28)$$

Для остальных точек расчёт выполняется аналогично, и результаты сводятся в таблицу 2.1.

Ударный ток в точке К1 определяется следующим образом:

$$i_{уд1} = к_у \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)}, \text{кА}. \quad (4.29)$$

где $к_у$= 1,8 – ударный коэффициент [4].

Для точек 2-5 расчёт выполняется аналогично, и результаты сводятся в таблицу 4.1.

При определении тока КЗ на шинах РУ в величине ударного тока учитываем влияние асинхронных электродвигателей.

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ от асинхронных электродвигателей:

$$I''_{ад} = \frac{E''_{ад} \cdot I_{н\sum ад}}{x''_{ад}}, кА. \quad (4.30)$$

где E''= 0,9 – сверхпереходная ЭДС асинхронного электродвигателя [4];
$x''_{ад}$ – сверхпереходное сопротивление асинхронного электродвигателя:

$$x''_{ад} = \frac{1}{К_{п.эл.дв.}}, \quad (4.31)$$

где $К_{п.эл.дв.}$ – кратность пускового тока электродвигателя [2, табл.6.1];
$I_{н\sum ад}$ – суммарный номинальный ток асинхронных электродвигателей.

$$I_{н\sum ад} = \frac{n \cdot P_{эл.дв.н.}}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi_н \cdot n_н}, \quad (4.32)$$

где n = 2 – число электродвигателей, участвующих в подпитке точки КЗ (подключенных к секции шин РУ 6 (10) кВ;
$P_{эл.дв.н.}$ – номинальная мощность электродвигателя, тыс. кВт (исходные данные к курсовому проекту);
$U_н$ = 6 кВ – номинальное напряжение электродвигателя;
$\cos\varphi_н$ – номинальный коэффициент мощности электродвигателя [2 , табл. 6.1];
$n_н$ – номинальный КПД электродвигателя, % [2, табл. 6.1].

Ударный ток в точке 3:

$$i_{удз} = \sqrt{2} \cdot (к_у \cdot I^{(3)}_{кз} + \cdot к_{у.ад} \cdot I''_{ад}), кА, \quad (4.33)$$

где $к_у$ = 1.8 – ударный коэффициент для системы;
$к_{у.ад}$ = 1,49 – ударный коэффициент для асинхронных электродвигателей [4].

Для точки 4 расчёт выполняется аналогично, и результаты сводятся в таблицу 4.1.

4.2. Расчёт токов короткого замыкания в минимальном режиме

Мощность КЗ в минимальном режиме:

$$S^{(3)}_{к1min} = 0{,}85 \cdot S^{(3)}_{к1max}, \text{МВА}. \quad (4.34)$$

Индуктивное сопротивление сети в минимальном режиме:

$$x_{с\,min} = \frac{S_б}{S^{(3)}_{кзmin}}. \quad (4.35)$$

Индуктивные сопротивления в расчетных точках в минимальном режиме определяются следующим образом:

$$x_{к1\,min} = x_{с\,min} + x_{вл} \quad (4.36)$$

$$x_{к2min} = x_{к1min} + x_{тр1} \quad (4.37)$$

$$x_{к3min} = x_{к2min} + x_{кл1} \quad (4.38)$$

$$x_{к4min} = x_{к3min} + x_{кл2} \quad (4.39)$$

$$x_{к5min} = x_{к3min} + x_{тсн} \quad (4.40)$$

Полное сопротивление в минимальном режиме в точке К1:

$$z_{к1min} = \sqrt{r^2_{к1} + x^2_{к1min}} \quad (4.41)$$

Для точек 2-5 расчет выполняется аналогично.

Ток трёхфазного КЗ минимального режима в точке К1:

$$I^{(3)}_{к1min} = \frac{I_{б1}}{z_{к1min}} \quad (4.42)$$

Двухфазный ток КЗ минимального режима в точке К1 находится следующим образом:

$$I^{(2)}_{к1min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)}_{к1min}, \text{кА}. \quad (4.43)$$

Для остальных точек расчёт выполняется аналогично, и результаты сводятся в таблицу 4.1.

Следует обратить внимание на то, что в расчете тока трехфазного КЗ в минимальном режиме в точках 2-5 $I^{(3)}_{кпmin}$ (где n = 2,3,4,5) в точках К2,3 и 4 в расчете участвует $I_{б2}$, а в точке К5 участвует ток $I_{б3}$ (смотрите рис.6).

Таблица 4.1 - Токи короткого замыкания

Точка КЗ	Токи КЗ, кА				
	$I^{(3)}_{кз}$	$I^{(2)}_{кз}$	$I^{(3)}_{min\ кз}$	$I^{(2)}_{min\ кз}$	$i_{уд}$
К1					
К2					
К3					
К4					
К5					

Пример выполнения расчетов токов короткого замыкания приведен в приложении 8.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА «ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ ПО ТОКАМ КЗ»

5.1. Проверка выключателей

Высоковольтные выключатели выбирают по номинальному току и напряжению, конструктивному исполнению, месту установки и проверяют по току на электродинамическую и термическую устойчивость при расчитанных токах трехфазного короткого замыкания .

Для установки на стороне ВН (110 (220) кВ) в курсовом проекте принимаются элегазовые выключатели , каталожные данные которых принимаются из [3. табл. 5.2.]. При этом должно соблюдаться условие:

$$I_{ном.ВВ} \geq I_{расч.ВВ.}, \qquad (5.1)$$

где $I_{ном.ВВ}$ – номинальные (каталожные) данные высоковольтного выключателя (номинальный ток, номинальный ток отключения, номинальный наибольший ток включения), кА;

$I_{расч.ВВ}$ – расчетные данные высоковольтного выключателя, кА.

Проверка элегазового выключателя сводится в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Проверка выключателя на высокой стороне (110 (220) кВ)

Присоединение: Сторона 110 (220) кВ.	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ

$I_{сети}$, А (ток $I_{ВН}$, (3,5))	$I_н$, А (номинальный ток вылючателя)
$I_{кз1}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К1- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{откл}$, кА (номинальный ток отключения выключателя)
$i_{ук1}$, кА (смотрите табл.4.1)	$i_{max\,в}$, кА (номинальный наибольший ток включения выключателя)
$B_{к\,расч} = I_{кз1}^{(3)2} t_{откл}$, $кА^2 \cdot с$ (Время отключения $t_{откл}$ принимается равным 0,2с.)	$B_к = I_т^2 t_т$, $кА^2 \cdot с$ (произведение тока термической стойкости на допустимое время его действия)

Для установки на стороне 6 (10) кВ в курсовом проекте принимаются вакуумные выключатели , каталожные данные которых принимаются из приложения 9. При этом должно соблюдаться условие (5.1).

Проверка вакумных выключателей сводится в таблицу 5.1.

Следует обратить внимание на то, что токи трехфазного короткого замыкания и ударные токи, участвующие в проверке различны для разных выключателей, они указаны на схеме замещения (рис. 6).

Таблица 5.2 - Проверка выключателей на стороне 6 (10) кВ

Присоединение: Ввод ГПП	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А (ток $I_{НН}$, (3.6))	$I_н$, А (номинальный ток вылючателя)
$I_{кз2}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К2- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл4.1)	$I_{откл}$, кА (номинальный ток отключения выключателя)
$i_{ук2}$, кА (смотрите табл.4.1)	$i_{max\,в}$, кА (наибольший пик тока включения)
$B_{к\,расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, $кА^2 \cdot с$ (Время отключения $t_{откл}$ принимается равным 0,2с.)	$B_к = I_т^2 t_т$, $кА^2 \cdot с$ (произведение сренеквадратчного значения тока на время его протекания (тока термической стойкости для промежутка времени 3с))
Присоединение: Секция ГПП	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А (ток $I_{секц.ГПП}$, (3.7))	($I_н$, А

$I_{кз2}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К2- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{откл}$, кА
$i_{ук2}$, кА	$i_{max\,в}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_т$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: КУ	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А (ток $I_{КУ}$ (3.1))	$I_н$, А
$I_{кз2}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К2- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{откл}$, кА
$i_{ук2}$, кА	$i_{max\,в}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_т$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: РУ 6 (10) кВ ГПП	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А (ток $I_{ру}$(3.2))	$I_н$, А
$I_{кз2}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К2- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{откл}$, кА
$i_{ук2}$, кА	$i_{max\,в}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_т$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: Ввод РУ 6 (10) кВ	
Данные выключателя ВРС (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А (ток $I_{ру}$(3.2))	$I_н$, А
$I_{кз3}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К3- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{откл}$, кА
$i_{ук3}$, кА	$i_{max\,в}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз3}^{(3)2} t_{откл}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_т$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: Секция РУ 6 (10) кВ	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А (ток $I_{секц.РУ}$ (3.8))	$I_н$, А

$I_{кз3}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К3- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{откл}$, кА
$i_{ук3}$, кА	$i_{max\,в}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз3}^{(3)2} t_{откл}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_T$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: Электродвигатели	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, (ток $I_{дв}$ [2, табл. 6.1])	$I_н$, А
$I_{кз4}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К4- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{отк}$, кА
$i_{ук4}$, кА	$i_{max\,в}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз4}^{(3)2} t_{откл}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_T$, кА^{2}с
Присоединение: ЦТП	
Данные выключателя (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А (ток $I_{ЦТП}$ (3.4))	$I_н$, А
$I_{кз5}^{(3)}$, кА (в расчете участвует ток трехфазного КЗ в точке К5- смотрите рис.6, величину тока смотрите в табл.4.1)	$I_{откл}$, кА
$i_{ук5}$, кА	$i_{max\,в}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз5}^{(3)2} t_{откл}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_T$, кА$^2 \cdot$ с

5.2. Проверка трансформаторов тока

Проверяем трансформаторы тока и результаты сводим в таблицы 5.3 и 5.4.

Таблица 5.3 - Проверка трансформаторов тока на стороне 110 (220) кВ

Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А	$I_н$, А
$I_{кз1}^{(3)}$, кА	$I_т$, кА
$i_{уд\,к1}$, кА	$I_{дин}$, кА
$B_{к\,расч} = I_{кз1}^{(3)2} t_{доп}$, кА$^2 \cdot$ с	$B_к = I_т^2 t_T$, кА$^2 \cdot$ с

Таблица 5.4 - Проверка трансформаторов тока на стороне 6 (10) кВ

Присоединение: Ввод ГПП	
Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А	$I_н$, А
$I_{кз2}^{(3)}$, кА	$I_т$, кА
$i_{уд\ к2}$, кА	$I_{дин}$, кА
$B_{к\ расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, $кА^2 \cdot с$	$B_к = I_т^2 t_т$, $кА^2 \cdot с$
Присоединение: Секция ГПП	
Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А	$I_н$, А
$I_{кз2}^{(3)}$, кА	$I_т$, кА
$i_{уд\ к2}$, кА	$I_{дин}$, кА
$B_{к\ расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, $кА^2 \cdot с$	$B_к = I_т^2 t_т$, $кА^2 \cdot с$
Присоединение: КУ	
Данные трансформатора тока	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А	$I_н$, А
$I_{кз2}^{(3)}$, кА	$I_т$, кА
$i_{уд\ к2}$, кА	$I_{дин}$, кА
$B_{к\ расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, $кА^2 \cdot с$	$B_к = I_т^2 t_т$, $кА^2 \cdot с$
Присоединение: РУ 6 (10) кВ ГПП	
Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А	$I_н$, А
$I_{кз2}^{(3)}$, кА	$I_т$, кА
$i_{уд\ к2}$, кА	$I_{дин}$, кА
$B_{к\ расч} = I_{кз2}^{(3)2} t_{откл}$, $кА^2 \cdot с$	$B_к = I_т^2 t_т$, $кА^2 \cdot с$
Место установки: Ввод РУ 6 (10) кВ	
Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_н$, кВ
$I_{сети}$, А	$I_н$, А
$I_{кз3}^{(3)}$, кА	$I_т$, кА

$i_{\text{уд к3}}$, кА	$I_{\text{дин}}$, кА
$\text{B}_{\text{к расч}} = I_{\text{кз3}}^{(3)2} t_{\text{откл}}$, кА$^2 \cdot$ с	$\text{B}_{\text{к}} = I_{\text{т}}^2 t_T$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: Секция РУ 6 (10) кВ	
Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$\text{U}_{\text{н}}$, кВ	$\text{U}_{\text{н}}$, кВ
$\text{I}_{\text{сети}}$, А	$\text{I}_{\text{н}}$, А
$I_{\text{кз3}}^{(3)}$, кА	$I_{\text{т}}$, кА
$i_{\text{уд к3}}$, кА	$I_{\text{дин}}$, кА
$\text{B}_{\text{к расч}} = I_{\text{кз3}}^{(3)2} t_{\text{откл}}$, кА$^2 \cdot$ с	$\text{B}_{\text{к}} = I_{\text{т}}^2 t_T$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: Электродвигатели	
Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$\text{U}_{\text{н}}$, кВ	$\text{U}_{\text{н}}$, кВ
$\text{I}_{\text{сети}}$, А	$\text{I}_{\text{н}}$, А
$I_{\text{кз4}}^{(3)}$, кА	$I_{\text{т}}$, кА
$i_{\text{уд к4}}$, кА	$I_{\text{дин}}$, кА
$\text{B}_{\text{к расч}} = I_{\text{кз4}}^{(3)2} t_{\text{откл}}$, кА$^2 \cdot$ с	$\text{B}_{\text{к}} = I_{\text{т}}^2 t_T$, кА$^2 \cdot$ с
Присоединение: ЦТП	
Данные трансформатора тока (указывается тип)	
Расчётные	Каталожные
$\text{U}_{\text{н}}$, кВ	$\text{U}_{\text{н}}$, кВ
$\text{I}_{\text{сети}}$, А	$\text{I}_{\text{н}}$, А
$I_{\text{кз5}}^{(3)}$, кА	$I_{\text{т}}$, кА
$i_{\text{уд к5}}$, кА	$I_{\text{дин}}$, кА
$\text{B}_{\text{к расч}} = I_{\text{кз5}}^{(3)2} t_{\text{откл}}$, кА$^2 \cdot$ с	$\text{B}_{\text{к}} = I_{\text{т}}^2 t_T$, кА$^2 \cdot$ с

5.3. Выбор и проверка предохранителей

Для защиты ТН от КЗ в схеме электроснабжения устанавливаются предохранители типа ПКН (предохранитель кварцевый для трансформаторов напряжения). Выбор предохранителей выполняется по [3, табл. 5.4].

Условие выбора предохранителя:

$$I_{ном.пр.} \approx 2 \cdot I_{\text{ТН}} , \qquad (5.2)$$

где $I_{ном.пр.}$ – номинальный ток предохранителя, А [3, табл. 5.4];

$I_{\text{ТН}}$ – ток, потребляемый трансформатором напряжения, он определяется по формуле:

$$I_{\text{ТН}} = \frac{S_{\text{ТН}}}{U_{\text{НН}}} \cdot \sqrt{3}, \qquad (3.2)$$

где $S_{\text{ТН}}$ – номинальная мощность обмоток трансформатра напряжения, ВА [2, табл. 5.34];
$U_{\text{НН}}$ – напряжение низкой стороны, В (для курсового проекта 6000 (10000)).

Номинальные (каталожные) данные выбранного предохранителя и расчетные данные предохранителя сводятся в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Проверка предохранителя ПКН

Место установки: ТН	
Данные предохранителя ПКН (указывается цифровое обозначение)	
Расчётные	Каталожные
$U_н$, кВ	$U_{ном.}$, кВ
$I_{ТН} = (S_{тн}/U_н)\cdot\sqrt{3}$, А	$I_{пр.}$, А
$I_{кз}^{(3)}$, кА	$I_{дин}$, кА
	$I_{ном.пр.} \approx 2 \cdot I_{\text{ТН}}$, А

6. ВЫБОР И ПРОВЕРКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ РУ 6 (10) кВ

6.1. Защита электродвигателей

Для электродвигателей напряжением выше 1кВ (6 кВ в курсовом проекте) согласно ПУЭ [1, глава 3.2] устанавливают релейную защиту от следующих видов повреждений: многофазных замыканий в обмотке статора и на ее выводах , замыканий на землю в обмотке статора, токов перегрузки, снижения напряжения, а также замыкания между витками одной фазы обмотки статора.

Расчет токовой отсечки (ТО).

Для защиты от многофазных КЗ в обмотках статора двигателей мощностью до 5000 кВт используют токовую отсечку без выдержки времени [8, §15.3]. Коэффициент чувствительности защит высоковольтного электродвигателя должен быть не менее 2, то есть $К_ч \geq 2{,}0$ [7, §10-2].

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{сз эл.дв.}} = к_{\text{отс}} \cdot I_{\text{п эл.дв.}}\text{, А}, \qquad (6.1)$$

где $к_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,8 для реле РТ-40 и 2,0 для реле РТ-80 [7, §10-2];
$I_{\text{п эл.дв.}}$ – пусковой ток электродвигателя.

$$I_{\text{п.эл.дв.}} = к_{\text{п}} \cdot I_{\text{эл.дв}}\text{, А}, \qquad (6.2)$$

$к_п$ – коэффициент пускового тока электродвигателя, отн. ед. [2, табл. 6.1].

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного в (6.1) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле (6.3) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.эл.дв.} \cdot к_{сх}}{к_Т}, А, \quad (6.3)$$

где $к_Т$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного до высоковольтного двигателя;

$к_{сх}$ – коэффициент схемы, в курсовом проекте применяем схему неполной звезды, для которой в реле тока проходят вторичные токи измерительных трансформаторов, соответственно коэффициент схемы принимается равным 1 [7, §2-9].

Коэффициент чувствительности:

$$К_ч = \frac{I^{(2)}_{minкз4}}{I_{с.з.эл.дв.}}. \quad (6.4)$$

В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле.

Расчёт максимальной токовой защиты.

Для защиты от замыканий и затянувшегося пуска двигателя применяют максимальную токовую защиту. Защита выполняется с выдержкой времени 1,5-2с [8, §15.3].

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = \frac{к_н \cdot к_{сзп}}{к_в} \cdot I_р, \quad (6.5)$$

где $к_н$– коэффициент надёжности, принимается равным $1{,}2 \div 1{,}3$ [8, §15.3];

$к_{сзп} = 1{,}5 \div 6{,}0$ – коэффициент самозапуска [7], в курсовом проекте принимается равным по величине $к_п$;

$к_в$ - коэффициент возврата, для реле косвенного действия принимается равным $0{,}8 \div 0{,}85$ (0,85 для реле типа РТ-40 и $0{,}8 \div 0{,}85$ для реле типа РТ-80) [7, §2-5, §2-11];

$I_р$ – рабочий ток двигателя, А.

$$I_р = \frac{Р_н}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot cos\,\varphi_н \cdot \eta_н}, \quad (6.6)$$

где $U_н$ = 6 кВ – номинальное напряжение;

$P_н$, $cos\,\varphi_н$, $\eta_н$ – номинальные параметры двигателя [2, табл. 6.1], кВт, отн. ед., % соответственно.

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.1) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.3) получился целым числом.

Рассчитывается ток срабатывания реле (6.3) для МТЗ.

Рассчитывается коэффициент чувствительности (6.4). В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле. Во избежание однотипных расчётов все расчёты МТЗ выполняются аналогично и вносятся в таблицу 6.1.

Расчет защиты от перегрузки.

Защиту от токов перегрузки выполняют как однофазную или двухфазную максимальную токовую защиту. Эту защиту на двигателях с особо тяжелыми условиями пуска и самозапуска. Время срабатывания защиты принимается до 20 с [8, §15.3].

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = к_{отс} \cdot к_{сх} \cdot \frac{I_н}{К_в}, А. \quad (6.7)$$

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.7) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.3) получился целым числом.

Рассчитывается ток срабатывания реле (6.3) для защиты от перегрузки.

Рассчитывается коэффициент чувствительности (6.4). В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5 [7, §2-10], то есть $К_ч \geq 1{,}5$.

Время срабатывания для защиты от перегруза двигателя принимается 10-15 секунд [8, разд.15.3].

Защита минимального напряжения.

Для обеспечения самозапуска электродвигателей РУ 6 кВ при срабатывании АВР и включении секционного выключателя для защиты минимального напряжения рекомендуются следующие уставки срабатывания:

Напряжение срабатывания защиты в соответствии с [8, табл.15.3]:

$$U_{с.з.} = (0{,}6 \div 0{,}7) \cdot U_н, В; \quad (6.8)$$

Напряжение срабатывания реле:

$$U_{с.р.} = \frac{U_н}{к_{тн}}, В, \quad (6.9)$$

где $к_{тн}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;

Время срабатывания защиты принимается $t_{сз}$ =0,5÷1,5 с [8, §15.3].

6.2. Защита трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Для трансформаторов ЦТП выполняется расчет токовой отсечки, максимальной токовой защиты и защиты от перегруза.

Расчет токовой отсечки (ТО).

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.ЦТП}} = К_{\text{отс}} \cdot I^{(3)}_{min\ к5ВН}\ \text{, А,} \tag{6.10}$$

где $к_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2÷1,3 [7, §2-6];

$I^{(3)}_{min\ к5ВН}$– ток КЗ на шинах 0,4 кВ, приведенный к высокому напряжению, А.

$$I^{(3)}_{min\ к5ВН} = I^{(3)}_{min\ к5} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}}, \tag{6.11}$$

где $U_{НН} = 0{,}4$ кВ – вторичное напряжение ЦТП;

$U_{ВН} = 6$ кВ – первичное напряжение ЦТП.

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.10) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.12) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.ЦТП}} \cdot к_{сх}}{к_{Т}}\ \text{, А} \tag{6.12}$$

где $к_Т$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного до трансформатора ЦТП.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5 [7, §9-3], то есть $К_ч \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$К_ч = \frac{I^{(2)}_{minк5}}{I_{\text{с.з.ЦТП}}} \tag{6.13}$$

Для остальных защит ЦТП расчет и величина коэффициента чувствительности аналогичны.

Расчёт максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{\text{к}_\text{н} \cdot \text{к}_\text{сзп}}{\text{к}_\text{в}} \cdot I_{\text{ЦТП}} \quad (6.14)$$

где $\text{к}_\text{н}$ = коэффициент надежности, принимается 1,15 ÷ 1,25 [8, §15.2].

$\text{к}_\text{сзп}$ – коэффициент, учитывающий токи самозапуска электродвигателей, принимается 2 [8, табл.15.1];

$\text{к}_\text{в} = 0{,}8 \div 0{,}9$ – коэффициент возврата, для реле типа РТ $\text{к}_\text{в} = 0{,}85$ [8, табл.15.1].

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.14) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.12) получился целым числом. Время срабатывания принимается 0,5 секунды [8, §15.2].

Рассчитывается ток срабатывания реле для максимальной токовой защиты по формуле (6.12).

Рассчитывается коэффициент чувствительности (6.13). В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле.

Защита от перегрузки.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{\text{к}_\text{н}}{\text{к}_\text{в}} \cdot I_{\text{ЦТП}}, \text{А}, \quad (6.15)$$

где $\text{к}_\text{н}$ – коэффициент надежности, принимается 1,15 ÷ 1,25 [8, §15.2].

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.15) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.12) получился целым числом.

Рассчитывается ток срабатывания реле для защиты от перегрузки по формуле (6.12).

Рассчитывается коэффициент чувствительности по формуле (6.13). В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле.

6.3. Защита секции распределительного устройства

Токовая отсечка секции РУ рассчитывается по наиболее мощному потребителю, подключенному к секции шин распределительного устройства. Так в данном курсовом проекте это либо трансформатор ЦТП либо электродвигатель (зависит от исходных данных к курсовому проекту).

Для секции РУ 6 (10) кВ ТО принимаем на 20% больше чем на трансформаторе (либо на электродвигателе, в зависимости от мощности).

Расчет токовой отсечки (ТО).

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.секц.РУ}} = 1{,}2 \cdot I_{\text{с.з.ЦТП}}\text{, А,} \quad (6.16)$$

где $I_{\text{с.з.ЦТП}}$ – ток срабатывания защиты трансформатора цеховой трансформаторной подстанции, А (6.10), а при условии, что мощность высоковольтного электродвигателя будет больше мощности ЦТП, – в расчете будет использоваться ток электродвигателя.

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.16) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.17) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.секц.РУ}} \cdot \text{к}_{\text{сх}}}{\text{к}_{\text{Т}}}\text{, А,} \quad (6.17)$$

где $\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на секции РУ.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности для всех защит секции РУ 6 (10) кВ должен быть не менее 1,5, [7, §2-10], то есть $\text{К}_{\text{ч}} \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$\text{К}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\text{кз}}}{I_{\text{с.з.РУ}}} \quad (6.18)$$

Расчёт максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{\text{к}_{\text{н}}}{\text{к}_{\text{в}}} \cdot I_{\text{секц.РУ}} \quad (6.19)$$

где $\text{к}_{\text{н}} = 1{,}1 \div 1{,}2$ – коэффициент надёжности [8, табл.15-4];

$I_{секц.РУ}$ – ток секции РУ.

Ток секции распределительного устройства:

$$I_{секц\ РУ} = I_{\text{п.эл.дв.}} + I_{РУ}/2, \quad (6.20)$$

где $I_{\text{п.эл.дв.}}$ – пусковой ток электродвигателя, А (6.2);

$I_{РУ}$ – ток распределительного устройства, А (3.2).

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.20) до ближайшей большей

величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.21) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.РУ}} \cdot \text{к}_{\text{сх}}}{\text{к}_{\text{Т}}}, \text{А}. \quad (6.21)$$

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле.

Коэффициент чувствительности:

$$\text{К}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\text{кз3}}}{I_{\text{с.з.РУ}}} \quad (6.22)$$

6.4. Защита ввода распределительного устройства

Для ввода распределительного устройства 6 кВ токовая отсечка принимается на 20% больше, чем на секции распределительного устройства.

Расчет токовой отсечки (ТО).

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.вв РУ}} = 1{,}2 \cdot I_{\text{с.з.РУ}}, \text{А}. \quad (6.23)$$

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.23) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.24) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.вв РУ}} \cdot \text{К}_{\text{сх}}}{\text{К}_{\text{Т}}}, \text{А}. \quad (6.24)$$

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5 для всех защит ввода распределительного устройства, то есть $\text{К}_{\text{ч}} \geq 1{,}5$ [7, §9-3].

Коэффициент чувствительности:

$$\text{К}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\text{кз}}}{I_{\text{сз}}}. \quad (6.25)$$

Расчёт максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания МТЗ ввода распределительного устройства принимается на 20% больше принятой уставки максимальной токовой защиты секции распределительного устройства.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} = 1{,}2 \cdot I_{\text{уст.с.з.РУ}}, \text{А}. \quad (6.26)$$

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (6.26) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитываемый по формуле (6.27) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot \text{к}_{\text{сх}}}{\text{к}_{\text{Т}}}. \quad (6.27)$$

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле.

Коэффициент чувствительности:

$$\text{К}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\text{кз3}}}{I_{\text{с.з.}}}. \quad (6.28)$$

Данные всех расчетов сводятся в карту уставок (табл.6.1), которая выносится в графическую часть. Пример заполненной карты уставок приведен в приложении 10.

Таблица 6.1 – Карта уставок

Наименование присоединения	Вид защиты	Iсз, А	Iср, А	$К_Т$	Uсз, кВ	Uср, В	Время срабаты-вания
Силовой трансформатор	МТЗ с пуском по напряжению						
	Перегрузка						
	ДТЗ						
Ввод ГПП	ТО						
	МТЗ						
Секция ГПП	ТО						
	МТЗ						
	АВР						
Отходящее присоединение	ТО						
	МТЗ						

от ГПП к РУ							
Конденсаторная установка	МТЗ						
	Перегрузка						
Ввод РУ	ТО						
	МТЗ						
Секция РУ	ТО						
	МТЗ						
	АВР						
Трансформатор ЦТП	ТО						
	МТЗ						
	Перегрузка						
Электро-двигатель	ТО						
	МТЗ						
	Перегрузка						
	Защита минималь-ного напряжения						

7. ВЫБОР И ПРОВЕРКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ГЛАВНОЙ ПОНИЖАЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ

7.1. Защита конденсаторной установки

Для защиты конденсаторных установок на напряжение выше 1 кВ от многофазных КЗ предусматривают максимальную токовую защиту мгновенного действия в двухфазном одно- или двухрелейном исполнении [8, §15.5].

Расчёт максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.КУ}} = \text{к}_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{КУ}}\text{, А,} \tag{7.1}$$

где $\text{к}_{\text{отс.}}$– коэффициент отстройки для конденсаторной установки, принимается равным 1,8 ÷ 2,2 [7, §11-3];

$I_{\text{КУ}}$ – ток конденсаторной установки, А (3.1).

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.1) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (7.2) получился целым числом.

Время срабатывания принимается 1,0 секунда [8, §15.4].

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.КУ}} \cdot \text{к}_{\text{сх.}}}{\text{к}_{\text{Т}}}\text{, А,} \tag{7.2}$$

где $к_Т$ – коэффициент трансформации ТТ конденсаторной батареи;
$к_{сх.}$ – коэффициент схемы, принимается равным 1,0 для двухрелейной схемы $\sqrt{3}$ для однорелейной схемы [7, §2-9].

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5, то есть $К_ч \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$К_ч = \frac{I^{(2)}_{minк2}}{I_{с.з.}}. \quad (7.3)$$

Защита от перегрузки.

Ток срабатывания защиты [8, §15-5]:

$$I_{с.з.} = 1{,}3 \cdot I_{КУ}, А. \quad (7.4)$$

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.4) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (7.5) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.КУ} \cdot к_{сх}}{к_Т}, А. \quad (7.5)$$

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки срабатывания реле

Коэффициент чувствительности:

$$К_ч = \frac{I^{(2)}_{minк2}}{I_{с.з.}}. \quad (7.6)$$

7.2. Защита отходящего присоединения ГПП к РУ 6 (10) кВ

Токовая отсечка используется в качестве так называемой логической защиты шин. Для селективности работы этой защиты токовый выход защиты от ГПП к РУ 6 (10) кВ должен поступать на логический вход защиты ввода.

Тогда при наличии тока КЗ на любой линии, отходящей от РУ 6 (10) кВ, на вход отсечки, установленной на вводе, поступает блокирующий сигнал. Если нет ни одного блокирующего сигнала, значит КЗ на секции и отсечка работает, отключая ввод.

Для обеспечения селективности в режиме, когда секция питается от другого ввода через секционный выключатель, защита секционного выключателя должна блокировать отсечки вводов [5].

Расчет токовой отсечки (ТО).

Токовая отсечка принимается на 20% больше чем на вводе РУ 6 (10) кВ.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.о.п.РУ}} = 1{,}2 \cdot I_{\text{с.з.вв.}}, \text{А}. \quad (7.7)$$

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.7) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (7.8) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot \text{к}_{\text{сх.}}}{\text{к}_{\text{Т}}}, \text{А}, \quad (7.8)$$

где $\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ на ГПП.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5, то есть $\text{К}_{\text{ч}} \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$\text{к}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\ \text{к2}}}{I_{\text{с.з.}}}. \quad (7.9)$$

Расчёт максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} = 1{,}2 \cdot I_{\text{с.з.вв.}}, \text{А}. \quad (7.10)$$

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.10) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (7.11) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot \text{к}_{\text{сх.}}}{\text{к}_{\text{Т}}}, \text{А}. \quad (7.11)$$

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5[7, §2-10], то есть $\text{К}_{\text{ч}} \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$\text{К}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\ \text{кз3}}}{I_{\text{с.з.}}}. \quad (7.12)$$

7.3. Защита секции ГПП

Расчет токовой отсечки (ТО).

Токовая отсечка принимается на 20% больше, чем на отходящем присоединении ГПП к РУ 6 (10) кВ.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.секц.ГПП}} = \text{К}_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{с.з. о.п.}}, \text{А}. \quad (7.13)$$

где $\text{к}_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2÷1,3 [7, §2-6];

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.13) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (7.14) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot \text{к}_{\text{сх.}}}{\text{к}_{\text{Т}}}, \text{А}, \quad (7.14)$$

где $\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ секции ГПП.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5[7, §2-10], то есть $\text{К}_{\text{ч}} \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$\text{к}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\ \text{к2}}}{I_{\text{с.з.}}}. \quad (7.15)$$

Расчёт максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{\text{к}_\text{н}}{\text{к}_\text{в}} \cdot I_{\text{секц.ГПП}\ max}, \text{А} \tag{7.16}$$

где $\text{к}_\text{н}$ – коэффициент надёжности, принимается 1,1 - 1,2 [8, табл. 15.4.];

$\text{к}_\text{в}$= 0,8 ÷ 0,9 – коэффициент возврата [7, §2.11];

$I_{\text{секц.ГПП}\ max}$ – максимальный рабочий ток секции ГПП, А.

Выполняется расчёт максимального рабочего тока секции ГПП, включающего в себя сумму пускового тока электродвигателя и тока остальной нагрузки ГПП:

$$I_{\text{секц.ГПП}\ max} = I_{\text{п.эл.дв.}} + I_{\text{ост.}}, \text{А}, \tag{7.17}$$

где $I_{\text{п.эл.дв.}}$ – пусковой ток электродвигателя, А (6.2);

$I_{\text{ост}}$ – ток остальной нагрузки ГПП, А:

$$I_{\text{ост.}} = \frac{S_{\text{ост.}}}{U_{\text{ном.}} \cdot \sqrt{3}}, \text{А}, \tag{7.18}$$

где $S_{\text{ост}}$. – мощность остальных токоприемников, ВА;

$U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение остальных токоприемников, 6 кВ.

Мощность остальных токоприемников:

$$\begin{gathered} S_{\text{ост.}} = 0{,}7 \cdot S_{\text{ном.тр.}} - 2S_{\text{эл.дв.}} - S_{\text{цтп}} = \\ = 0{,}7 \cdot S_{\text{ном.тр.}} - 2 \cdot \frac{P_{\text{эл.дв. ном.}}}{cos\ \varphi_{\text{ном.}} \cdot \eta_{\text{ном.}}} - S_{\text{цтп}}, \text{кВА}, \end{gathered} \tag{7.19}$$

где $S_{\text{ном.тр.}}$ – мощность главного трансформатора, кВА (исходные данные);

$\text{Р}_{\text{эл.дв.ном.}}, cos\ \varphi_{\text{ном.}}, \eta_{\text{ном.}}$ – номинальные параметры электродвигателя [2, табл. 6.1], кВт, отн. ед., % соответственно;

$S_{\text{цтп}}$ – мощность трансформатора цеховой трансформаторной подстанции, кВА (исходные данные).

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.16) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (7.19) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot \text{к}_{\text{сх}}}{\text{к}_{\text{Т}}}, \text{А}, \quad (7.20)$$

где $\text{к}_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы, принимается равным 1,0 [7, §2 – 9];
$\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на секции ГПП.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки срабатывания реле. . Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5[7, §2-10], то есть $\text{К}_{\text{ч}} \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$\text{к}_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}_{min\ \text{кз2}}}{I_{\text{с.з.}}}. \quad (7.21)$$

7.4. Защита ввода ГПП

Расчет токовой отсечки (ТО).

Токовая отсечка принимается на 20% больше, чем на секции ГПП.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{с.з.вв.ГПП}} = \text{к}_{\text{отс}} \cdot I_{\text{с.з. секц.}}, \text{А}, \quad (7.22)$$

где $\text{к}_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2-1,3 [7, §2-6];

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.21) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле. Рассчитанный по формуле (7.22) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot \text{к}_{\text{сх}}}{\text{к}_{\text{Т}}}, \text{А}, \quad (7.23)$$

где $\text{к}_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы, принимается равным 1,0 [7, §2 – 9];
$\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на вводе системы шин ГПП.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5[7, §2-10], то есть $\text{К}_{\text{ч}} \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$к_ч = \frac{I^{(2)}_{minк2}}{I_{с.з.}}. \quad (7.24)$$

Расчёт максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = \frac{к_н}{к_в} \cdot I_{НН}, \quad (7.25)$$

где $к_н$ – коэффициент надёжности, принимается 1,1 - 1,2 [8, табл. 15.4.];
$к_в = 0,8 \div 0,9$ – коэффициент возврата [7, §2.11];

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (7.24) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (7.26) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot к_{сх.}}{к_Т}, А. \quad (7.26)$$

где $к_{сх.} -$ коэффициент схемы, принимается равным $1,0$ $[7, §2 - 9]$;
$к_Т$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на вводе системы шин ГПП.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5[7, §2-10], то есть $К_ч \geq 1,5$.

Коэффициент чувствительности:

$$К_ч = \frac{I^{(2)}_{minкз2}}{I_{с.з.}}. \quad (7.27)$$

Данные всех расчетов сводятся в карту уставок (табл.6.1), которая выносится в графическую часть.

7.5. Определение выдержки времени защит

Селективность защит обеспечивается соответствующим выбором тока и времени срабатывания. Защита наиболее удаленной от источника питания линии имеет наименьший ток срабатывания и наименьшую выдержку времени. Защита

каждой последующей линии имеет выдержку времени, большую выдержки времени предыдущей защиты.

Схема, поясняющая расположение основных защит, рассматриваемых в курсовом проекте, и ступеней селективности защит приведена на рис.8.

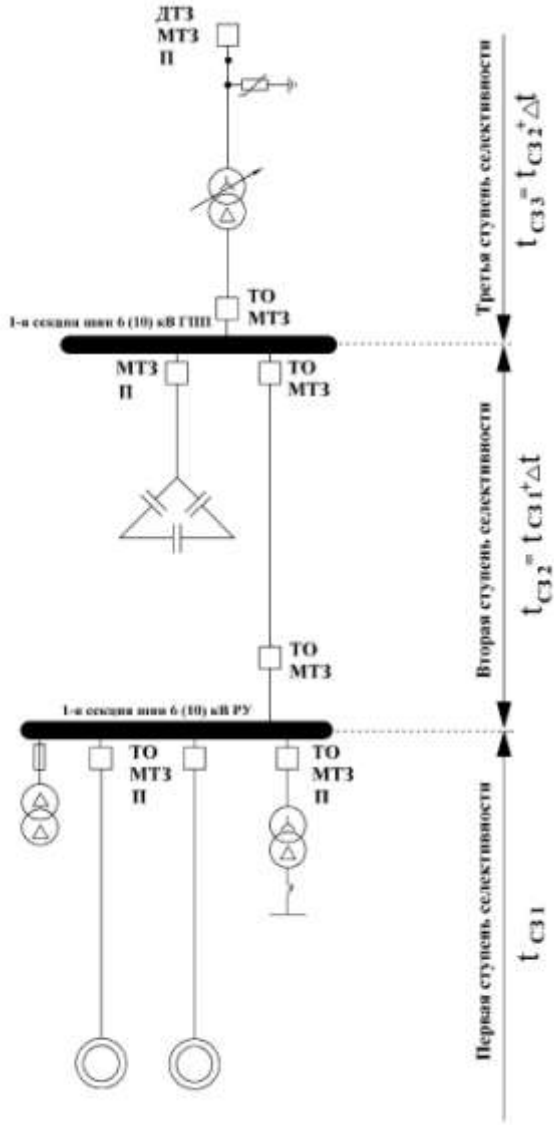


Рис. 8 Определение выдержки времени защит

На схеме использованы следующие условные обозначения: П – защита от перегрузки; МТЗ – максимальная токовая защита; ТО – токовая отсечка.

Время срабатывания (выдержка времени) защиты i – линии в общем случае выбирается на ступень селективности Δt большим наибольшей выдержки времени $t_{с.з.(i-1)max}$ предыдущих защит:

$$t_{с.з.i} = t_{с.з.(i-1)max} + \Delta t\ . \qquad (7{,}28)$$

В зависимости от используемых аппаратов (выключателей и реле) Δt может иметь различные значения. При использовании вторичных реле косвенного действия Δt не превышает 0,2-0,6 с. Ступень селективности чаще всего принимается равной 0,5 с [7, §2-5].

8. ЗАЩИТА ПОНИЖАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГПП

8.1. Дифференциальная токовая защита

Для защиты от повреждений на выводах трансформатора, а также от внутренних повреждений должна быть предусмотрена продольная дифференциальная токовая защита без выдержки времени.

Дифференциальной называется защита, сравнивающая для определения места повреждения двух или несколько токов, или только их фазы.

Дифференциальная защита должна действовать на отключение всех выключателей трансформатора [6].

В данных методических указаниях для главного трансформатора рассмотрен расчет дифференциальной защиты в качестве основной, выполненной на реле серии РНТ-560. По усмотрению руководителя проекта в задании к курсовому проекту может быть предложено рассмотреть дифференциальную защиту трансформатора ГПП, выполненную на реле ДЗТ-11.

Расчет проводится по методике расчета двухобмоточного трансформатора [6].

Для начала рассчитываются токи на высокой и низкой сторонах защищаемого трансформатора, соответствующие его номинальной мощности. В нашем курсовом проекте они рассчитаны в формулах 3.5 и 3.6.: $I_{ВН}$, А; $I_{НН}$, А.

Принимается схема соединения обмоток трансформатора тока на высокой – звезда , а низкой стороне – треугольник .

Принимаются к расчету коэффициенты трансформации трансформаторов тока, установленных на стороне 110 (220) кВ (перед главным трансформатором) и на стороне 6 (10) кВ (после главного трансформатора).

Рассчитываются вторичные токи в плечах защиты, соответствующие номинальной мощности защищаемого трансформатора.

Для высокого напряжения номинальный вторичный ток определяется по формуле:

$$I_{\text{ном.в.ВН}} = \frac{I_{\text{ВН}} \cdot \text{к}_{\text{сх.}}}{\text{к}_{\text{Т}}} \quad (8.1)$$

где $I_{\text{ВН}}$ – ток высокого напряжения, А (3.5);
где $\text{к}_{\text{сх.}}$ – коэффициент схемы, принимается $\sqrt{3}$ для стороны 110 (220) кВ [6];
$\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на стороне 110 (220) кВ главного трансформатора.

Для низкого напряжения номинальный вторичный ток определяется по формуле:

$$I_{\text{ном.в.НН}} = \frac{I_{\text{НН}} \cdot \text{к}_{\text{сх.}}}{\text{к}_{\text{Т}}} \quad (8.2)$$

где $I_{\text{НН}}$ – ток низкого напряжения, А (3.6);
где $\text{к}_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы, принимается 1,0 для стороны 6 (10) кВ [6, табл.2.1];
$\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на стороне 6 (10) кВ главного трансформатора.

Определяется максимальный первичный ток, проходящий через защищаемый трансформатор при КЗ между тремя фазами на шинах 6 кВ (в точке К2). Он определяется по формуле:

$$I_{\text{к}\,max} = I_{\text{п.0}} \cdot \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}}, \quad (8.3)$$

где $I_{\text{п.0}}$ – периодическая составляющая тока в начальный момент времени, А;
$U_{\text{НН}}$ – напряжение низкой стороны главного трансформатора, в данном курсовом проекте 6(10) кВ;
$U_{\text{ВН}}$ – напряжение высокой стороны главного трансформатора, в данном курсовом проекте 110 (220) кВ;

Периодическая составляющая тока в начальный момент времени:

$$I_{п.0} = \frac{E_{э.б.}}{x_{К2}} \cdot I_{б.2}, \text{А}, \quad (8.4)$$

где $E_{э.б.}$ – принимается 1,1[6, табл.2.1];
$\text{х}_{\text{К2}}$ – результирующее индуктивное сопротивление в точке К_2, Ом (4.18);
$I_{б.2}$ – базисный ток для напряжения 6 (10) кВ (4.2)

Определяется первичный расчетный ток небаланса $I_{нб.расч}$ без учета составляющей $I'''_{\text{нб.расч.}}$ при рассматриваемом внешнем КЗ:

$$I_{\text{нб.расч.}} = \left(\text{к}_{\text{пер.}} \cdot \text{к}_{\text{одн.}} \cdot \delta + \Delta U_{\text{рег.}}\right) \cdot I_{\text{к}\,max}, \quad (8.5)$$

где $к_{пер.}$ – коэффициент, учитывающий переходной режим, принимается 1,0 [6];
$к_{одн.}$ – коэффициент однотипности, принимается 1,0 [6];
δ – относительная погрешность трансформаторов тока, равна 0,1[6];
$\Delta U_{рег.}$– относительное максимальное отклонение напряжения силового трансформатора от номинального при установке РПН в одно из крайних положений, принимается 0,1[6].

Определяется предварительно первичный ток срабатывания защиты по условию отстройки от максимального тока небаланса без учета составляющей $I'''_{нб.расч}$:

$$I_{с.з.} \geq 1{,}3 \cdot I_{нб.расч.}, \text{А}. \tag{8.6}$$

Определяется предварительно первичный ток срабатывания защиты по условию отстройки от броска намагничивающего тока без учета составляющей $I'''_{нб.расч}$:

$$I_{с.з.} \geq 1{,}3 \cdot I_{ВН}\ , \text{А}. \tag{8.7}$$

Дифференциальная защита будет отстраиваться от большего значения из двух вариантов, рассчитанных в (8.6) и (8.7), то есть принимается ток срабатывания защиты $I_{с.з.}$, А.

Расчетным по чувствительности является КЗ между двумя фазами на стороне 6 (10) кВ в точке К2 в минимальном режиме работы питающей системы и при максимальном сопротивлении защищаемого трансформатора [6]:

$$I^{(2)}_{к\,max} = 0{,}85 \cdot I_{к\,max}, \text{А}, \tag{8.8}$$

где $I_{к\,max}$ – максимальный первичный ток, проходящий через защищаемый трансформатор при КЗ между тремя фазами на шинах 6 (10) кВ (в точке К2), А (8.3).

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятая уставка срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5, то есть $К_ч \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$к_ч = \frac{I^{(2)}_{к\,max}}{I_{с.з.}}. \tag{8.9}$$

Данные расчетов сводятся в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 - Параметры ДТЗ трансформаторов на высокой и низкой стороне

Наименование величины	Числовое значение для стороны	
	110 (220) кВ	6 (10) кВ
Первичный ток на сторонах защищаемого трансформатора, соответствующий его номинальной мощности, $I_{ном.}$, А		
Схема соединения трансформаторов тока		
Коэффициент трансформации трансформаторов тока, $к_Т$		
Вторичный ток в плечах защиты, соответствующий номинальной мощности защищаемого трансформатора, $I_{ном.в}$, А		

Продолжается расчет ДТЗ.

Определяется ток срабатывания реле на основной стороне:

$$I_{с.р.осн.} = \frac{I_{с.з.} \cdot к_{сх.}}{к_{Т\ 110}}, А, \quad (8.10)$$

где $к_{сх}$ – коэффициент схемы, принимается равным $\sqrt{3}$;

$к_{Т\ 110}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока на стороне 110 (220) кВ.

Определяется число витков обмотки насыщающего трансформатора тока (НТТ) реле, соответствующее току срабатывания защиты $I_{с.з.}$ для основной стороны. Расчет производится по формуле:

$$\omega_{осн.расч.} = \frac{F_{с.р.}}{I_{с.р.\ осн.}}. \quad (8.11)$$

где $F_{с.р.}$ – магнитодвижущая сила (МДС) срабатывания реле, принимается 100 А [6].

Принимается ближайшее меньшее по отношению к полученному целое число витков. $\omega_{осн.}$.

Определяется число витков обмоток НТТ реле для других (неосновных) сторон защищаемого трансформатора:

$$\omega_{неосн.расч.} = \omega_{осн.расч.} \cdot \frac{I_{ном.в\ ВН}}{I_{ном.в\ НН}}. \quad (8.12)$$

где $I_{ном.в\ ВН}$, $I_{ном.в\ НН}$ – номинальные вторичные токи для высокой и низкой сторон соответственно, А (8.1, 8.2).

Принимается ближайшее меньшее целое число витков по отношению к полученному значению, $\omega_{неосн.}$.

Определяется составляющая первичного тока небаланса, обусловленная округлением расчетного числа витков неосновной стороны для расчетного случая повреждения:

$$I'''_{\text{нб.расч.}} = \left|\frac{\omega_{\text{неосн.расч.}} - \omega_{\text{неосн.}}}{\omega_{\text{неосн.}}}\right| \cdot I_{\text{к}\,max}\text{, А.} \quad (8.13)$$

Определяется расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I'''_{\text{нбрасч}}$:

$$I_{\text{нб.р.}} = I_{\text{нб.расч.}} + I'''_{\text{нб.расч.}}\text{, А.} \quad (8.14)$$

Определяется ток срабатывания защиты на основной стороне:

$$I_{\text{сз.осн.}} = \frac{F_{\text{с.р.}}}{\omega_{\text{осн.}}} \cdot \frac{\text{к}_{\text{Т 110}}}{\sqrt{3}}\text{, А.} \quad (8.15)$$

Определяется коэффициент отстройки:

$$\text{к}_{\text{отс.}} = \frac{I_{\text{с.з.осн.}}}{I_{\text{нб.р.}}}. \quad (8.16)$$

Если $\text{к}_{\text{отс.}} < 1{,}3$, следует принять новое число витков, ближайшее меньшее по отношению к принимавшемуся ранее и переделать расчеты по формулам 8.12-8.16.

Результаты вносятся в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 - Параметры ДТЗ

Наименование величины	Числовое значение
Ток срабатывания реле на основной стороне $I_{\text{с.р.осн.}}$, А	
Число витков обмотки НТТ реле для основной стороны: Предварительно принятое $\omega_{осн.}$	
Число витков обмотки НТТ реле для неосновной стороны: Расчетное $\omega_{\text{неосн.расч.}}$ Предварительно принятое$\omega_{\text{неосн.}}$	
Составляющая первичного тока небаланса, обусловленная округлением расчетного числа витков неосновной стороны для расчетного случая повреждения,$I'''_{\text{нб.расч.}}$, А	
Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I'''_{\text{нб.расч.}}$,$I_{\text{нб.р.}}$, А	
Ток срабатывания защиты на основной стороне, $I_{\text{с.з.осн.}}$, А	
Коэффициент отстройки защиты (окончательное	

значение), $к_{отс.}$	
Окончательное принятое число витков обмотки НТТ для установки на: основной стороне $\omega_{осн.}$ неосновной стороне $\omega_{неосн.}$	

Рассчитывается коэффициент чувствительности. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5, то есть $К_ч \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$К_ч = \frac{I^{(2)}_{min\ кз2}}{I_{с.з.}}. \quad (8.16)$$

где $I^{(2)}_{min\ кз2}$ – минимальный первичный ток, проходящий через защищаемый трансформатор при КЗ между тремя фазами на шинах 6 (10) кВ (в точке К2).

8.2. Максимальная токовая защита с пуском от реле минимального напряжения

Расчеты выполняются аналогично расчетам в разделе 6.2.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = \frac{к_н \cdot к_{сзп.}}{к_в} \cdot I_{раб.}, \quad (8.17)$$

где $к_н$ – коэффициент надёжности, принимается 1,1÷1,2 [8, табл.15.1];

$к_{сзп}$ – коэффициент, учитывающий токи самозапуска электродвигателей, принимается 1,5 [8, табл.15.1];

$к_в$ – коэффициент возврата, принимается 0,8÷0,9 [8, табл.15.1];

$I_{раб.}$ – рабочий ток трансформатора.

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (8.17) до ближайшей большей величины таким образом, чтобы ток срабатывания реле, рассчитанный по формуле (8.18) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot к_{сх.}}{к_Т}, А, \quad (8.18)$$

где $к_{сх}$ – коэффициент схемы, принимается в соответствии с [7, §2-9];

$к_Т$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на стороне 110 (220) кВ.

Рассчитывается коэффициент чувствительности. В расчете коэффициента чувствительности должен использоваться именно принятый ток уставки

срабатывания реле. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5, то есть $К_ч \geq 1{,}5$.

Коэффициент чувствительности:

$$К_ч = \frac{I^{(2)}_{min\ кз1}}{I_{с.з.}}. \quad (8.19)$$

где $I^{(2)}_{minкз1}$ – минимальный ток двухфазного короткого замыкания в точке К1 (табл.4.1).

Первичное напряжение срабатывания защиты определяется по формуле:

$$U_{с.з.} = \frac{U_{min}}{к_{отс.} \cdot к_в}, \quad (8.20)$$

где $к_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2÷1,3 [7, §2-6];
$к_в$ – коэффициент возврата, принимается 0,8÷0,9 [8, табл.15.1]
U_{min} – междуфазное напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска после отключения внешнего КЗ, кВ, оно определяется по выражению:

$$U_{min} = 0{,}9 \cdot U_{ном.}, \quad (8.21)$$

где $U_{ном.}$ – номинальное напряжение стороны ВН главного трансформатора, в данном курсовом проекте 110 (220) кВ.

Принимается напряжение уставки срабатывания:

$$U_{уст.} \leq U_{с.з.}. \quad (8.22)$$

То есть для выбора напряжения уставки принимается ближайшее меньшее целое значение напряжения, кВ.

8.3. Защита от перегрузки

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = \frac{к_н}{к_в} \cdot I_{раб.}, А, \quad (8.23)$$

где $к_н$ – коэффициент надёжности, принимается 1,05 [8, табл.15.1];
$к_в$ – коэффициент возврата, принимается 0,8÷0,9 [8, табл.15.1];

Принимается ток уставки срабатывания реле, А. Ток уставки принимается путем увеличения числа, полученного по формуле (8.23) до ближайшей большей

величины таким образом, чтобы ток срабатывания, рассчитанный по формуле (8.24) получился целым числом.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot \text{к}_{\text{сх.}}}{\text{к}_{\text{Т}}}\text{, А,} \qquad (8.24)$$

где $\text{к}_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации ТТ, установленного на стороне 110 (220) кВ.

Данные всех расчетов сводятся в карту уставок (табл.6.1), которая выносится в графическую часть.

9. ЗАЩИТА НА СТОРОНЕ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

9.1 Защита на стороне низкого напряжения

Защита на стороне низкого напряжения (380 В) обеспечивается релейной защитой:

- максимальной токовой защитой с временем срабатывания большим, чем время срабатывания автоматического выключателя;
- защитой от перегрузки, выполняемой на стороне 6 (10) кВ.

Так для подачи напряжения и защиты от токов короткого замыкания и токов перегрузки потребителей со стороны 380 В необходимо принять автоматический выключатель. Потребители 0,4 кВ в данном курсовом проекте подключены к трансформатору Цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП).

Соответственно, условие выбора автоматического выключателя следующее:

$$I_{\text{ном.АВ 0,4}} \geq I_{\text{ном.ЦТП}}, \qquad (9.1)$$

где $I_{\text{ном.ЦТП}}$ − номинальный ток трансформатора собственных нужд, А (3.4).

То есть принимается автоматический выключатель с номинальным током, ближайшим большим к номинальному току трансформатора ЦТП.

Следует принимать автоматические выключатели типа ВА-51-35 (номинальные параметры данного типа выключателей приведены в приложении 11).

В принятых автоматических выключателях необходимо настроить защиту от токов короткого замыкания (электромагнитный расцепитель) и от токов перегрузки (тепловой расцепитель).

Расчётная уставка теплового расцепителя определяется из условия:

$$I_{\text{у.т.р.}} \geq (1{,}1 - 1{,}2) \cdot I_{\text{ном.АВ 0,4}}\,. \qquad (9.2)$$

То есть из приложения 11 необходимо принять ближайшую большую уставку теплового расцепителя.

В качестве оперативного тока для питания релейной защиты рекомендуется принять постоянный ток, который будет выпрямляться из сети низкого напряжения.

Для защиты цепей релейной защиты и автоматики необходимо применять предохранители с плавкими вставками.

9.2 Система оперативного тока

Для ГПП рекомендуется принимать систему постоянного оперативного тока со стационарными аккумуляторными батареями, которые питают цепи устройств релейной защиты, цепи управления коммутационными аппаратами, автоматики, сигнализации. В аварийном режиме аккумуляторные батареи обеспечивают действие релейной защиты и автоматики, а также возможность включения и отключения выключателей [11, §10.8].

Для РУ 6(10) кВ также рекомендуется принимать систему постоянного оперативного тока. В качестве источника постоянного тока целесообразно использовать шкафы оперативного тока (ШОТ). Так в пояснительной записке следует описать: тип применяемых ШОТ, их отличительные особенности, а также принципиальную схему ШОТ (ее необходимо разместить в приложении к пояснительной записке).В данных методических указаниях пример принципиальной схемы ШОТ приведен в приложении 12.

10. СИСТЕМНАЯ АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА

В качестве автоматики рекомендуется применять автоматическое включение резервного питания (АВР) на РУ 6 (10) кВ и на ГПП, автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей (КБ) на конденсаторной установке (КУ) и автоматическое регулирование коэффициента трансформации на понижающем трансформаторе.

Автоматическое включение резервного питания (АВР).

В данном разделе курсового проекта следует отразить: назначение АВР, его общее устройство; описать АВР, применяемое для РУ 6 (10) кВ и для ГПП.

Выполняется расчет для АВР.

Напряжение пуска (срабатывания) АВР для РУ 6 (10) кВ:

$$U_{\text{пуск.АВР РУ}} = 0{,}3 \cdot U_{\text{ном.}}\,, \tag{10.1}$$

где $U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение РУ, В.

Напряжение пуска (срабатывания) АВР для ГПП:

$$U_{\text{пуск.АВР ГПП}} = 0{,}7 \cdot U_{\text{ном.}}\,. \tag{10.2}$$

Напряжение контроля АВР на резервном вводе:

$$\mathrm{U}_{\text{контр.АВР}} = 0{,}8 \cdot \mathrm{U}_{\text{ном}} \tag{10.3}$$

Напряжение срабатывания реле напряжения АВР:

$$U_{\text{ср.РН}} = \frac{U_{\text{пуск.АВР}}}{\text{К}_{\text{ТН}}}, \quad (10.4)$$

где $K_{\text{ТН}}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

В соответствии с (10.4) выполняется расчет напряжения срабатывания реле напряжения для РУ и для ГПП.

Выдержка времени для АВР принимается с таким условием, что она должна быть больше на ступень селективности, чем защищаемый участок. В данном случае это секция РУ 6 (10) кВ и секция ГПП.

Выдержка времени АВР:

$$t = t_{\text{с.з.}} + \Delta t\,, \quad (10.5)$$

где . $t_{\text{с.з.}}$ – максимальная выдержка времени защит на отходящих присоединениях, сек (для секции РУ принимается 0,5 сек; для секции ГПП принимается 1,0 сек);
$\Delta t = 0{,}5$ – ступень селективности, сек (принимется 0,5 сек).

В соответствии с (10.5) выполняется расчет выдержки времени АВР для секции РУ 6 (10) кВ и для секции ГПП.

Данные всех расчетов сводятся в карту уставок (табл.6.1), которая выносится в графическую часть.

Автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей (КБ) на конденсаторной установке (КУ).

В данном разделе курсового проекта следует отразить: назначение автоматического регулирования мощности КБ на КУ, его общее устройство; описать работу многоступенчатого регулирования мощности КУ, как средства регулирования напряжения.

Автоматическое регулирование коэффициента трансформации на понижающем трансформаторе.

В данном разделе курсового проекта следует отразить: назначение регулирования напряжения у потребителей путем изменения коэффициента трансформации ($\text{к}_{\text{т}}$) понижающих трансформаторов; описать работу устройства РПН и регулятора АРКТ.

Телемеханика.

В данном разделе курсового проекта следует отразить: назначение телемеханики; общую классификацию систем телемеханики; общие вопросы передачи сигналов при помощи системы телесигнализации на диспетчерский пункт; вопросы применения систем телеизмерения и телеуправления.

ВЫВОДЫ

В данном разделе курсового проекта необходимо кратко описать: выполненные расчеты; перечислить оборудование, выбранное на основании расчетов (высоковольтные выключатели, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения) для сторон ВН (110 (220) кВ) и НН 6 (10)кВ для различных участков схемы; оборудование, служащее основной нагрузкой (высоковольтные электродвигатели и трансформаторы ЦТП); вопросы защиты на стороне 0,4 кВ, релейной защиты распределительного устройства и главных трансформаторов; примененные устройства автоматики и телемеханики; схемы, выполненные в графической части. Параметры оборудования, принятого для схем релейной защиты (реле, измерительные приборы, кнопки и т.п.), сводятся в таблицу, которая выносится в приложения к пояснительной записке в виде спецификации. Образец выполнения спецификации представлен в приложении 13 к данным методическим указаниям.

11. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

После проверки руководителем курсового проекта правильности расчетов и проектных решений, студент должен защитить комиссии выполненный курсовой проект. Для подготовки к защите ниже представлены вопросы.

Вопросы для защиты курсового проекта:

1. Состав суммарного сопротивления цепи расчета токов короткого замыкания в сети напряжением ниже 1000 В.

2. Почему для защиты от коротких замыканий кабельных линий сети напряжением 6—10 КВ практически, как правило, применяются только токовые отсечки и максимальные токовые защиты?

3. для чего в практике эксплуатации электроустановок используются таблицы уставок и параметров срабатывания защит и автоматики? Для чего эти же таблицы приводятся в пояснительной записке курсового проекта?

4. До каких значений токов проведены линии, отображающие защитные характеристики на карте селективности?

5. Каково возможное решение задачи о защите от перегрузки асинхронного электродвигателя напряжением ниже 1000 В, если невозможно обеспечить эффективность такой защиты с помощью расцепителей автоматических выключателей, тепловых реле, взаимодействующих с магнитными пускателями(контакторами)` или с помощью предохранителей7

6. Какой может быть простейшая схема цепей дополнительной защиты от перегрузки асинхронного трехфазного электродвигателя напряжением ниже 1000 В

7. Как можно попытаться ориентировочно измерить емкость электродвигателя, если нет возможности подсчитать ее теоретически?

8. Какими элементами обеспечиваются и каким образом при наладке схемы осуществляется соблюдение расчетных параметров работы АПВ, АВР проекта (уставок и т.п. параметров).

9. Какие управляющие действия являются в проекте результатом срабатывания защиты от асинхронного режима в/в синхронного электродвигателя?

10. Какими органами регулировки выставляются уставки расцепителей автоматических выключателей проекта?

11. Если у расцепителей автоматического выключателя есть I, II, III ступени защит и часть из них не используется, то что необходимо сделать с неиспользуемыми ступенями защит выключателей проекта?

12. Для чего используются магнитные пускатели присоединения (линии) низковольтного электродвигателя?

13. На каких присоединениях и для чего проведена проверка $I_{сз}$ токовых отсечек без выдержки времени на совместимость с наличием в/в синхронных электродвигателей в эл. сети? какие изменения после этой проверки должны быть сделаны в настройке защит, в применении дополнительных средств автоматики, в применении видов защит?

14. Из каких соображений выбраны уставки времени третьей ступени защиты у полупроводниковых расцепителей автоматических выключателей? Как влияет на защитную характеристику таких выключателей значение уставки времени третьей ступени защиты?

15. Где в электроустановке располагаются элементы устройства минимальной защиты напряжения, а где — элементы схем управления выключателями присоединений, подключенных к минимальной защите напряжения? Как практически конструктивно сопрягаются между собой указанные защиты и схемы управления?

16. За счет чего применение минимальной защиты напряжения позволяет облегчить самозапуск электродвигателей ответственных агрегатов после кратковременного перерыва питания?

17. Из каких соображений определяется время срабатывания (время уставки) ступеней минимальной защиты напряжения?

18. Принимался ли при расчетах МТЗ в проекте коэффициент возврата измерительных органов равным 1? Если принимался, то по каким причинам?

19. Допустимо пи пересечение защитных характеристик в/в плавкого предохранителя и расцепителя вводного автоматического выключателя на трансформаторной подстанции?

18. Допустимо ли пересечение защитных характеристик токовых защит всех присоединений распределительного устройства? Можно ли здесь дать однозначный ответ? Почему?

19. Каким образом должна обеспечиваться селективность токовых защит всех присоединений распределительного устройства? Как должны располагаться на карте селективности времятоковые характеристики относительно друг друга? Пояснить на примере своего проекта.

20. Нужно ли учитывать при расчете уставок времени минимальной защиты напряжения время срабатывания устройств автоматического восстановления электропитания?

21. Какими справочными материалами обеспечен в проекте выбор стандартных значений коэффициентов трансформации трансформаторов тока?

22. Почему, как правило, высоковольтные выключатели вводов распредпунктов (РП—6-10 кВ) не управляются простыми токовыми защитами?

23. Как работает защита от перегрузки трансформаторов подстанций с низшим напряжением менее 1000 В в проекте? Из каких соображений выбраны ее уставки по току и времени?

24. Зачем в цепи защиты от перегрузки включаются реле времени, рассчитанные на длительное прохождение тока в их обмотках?

25. Виды и назначение всех расцепителей, которые могут быть установлены на примененные в проекте автоматические выключатели?

26. Каковы проектные решения (с учетом требований и рекомендаций ПУЭ) по газовой защите трансформаторов проекта и ее электрическим цепям?

27. Сколько всего вторичных цепей связывает устройство минимальной защиты напряжения со схемами управления выключателями присоединений в электроустановке проекта, имеющей такое устройство защиты и каково назначение этих целей?

28. В чем состоит суть применения минимальной защиты напряжения в проекте?

29. Какие присоединения электроустановок проекта управляются минимальной защитой напряжения, и с какой целью введено это управление?

30. Какие токовые отсечки проверены и какие должны были быть проверены по влиянию на режимы устойчивой работы в/в электродвигателей?

31. Какое воздействие на управляемый объект производит примененная в проекте защита от синхронного режима в/в синхронного электродвигателя, как это проектное решение согласуется с требованиями ПУЭ?

32. По каким справочным материалам выбирались коэффициенты трансформации примененных в проекте трансформаторов тока?

33. Какова чувствительность максимальных токовых защит в проекте?

34. Нужно ли проверять на эффективность защиту в/в электродвигателей от перегрузки, выполненную тепловым реле?

35. Почему к минимальной защите напряжения обычно не подключаются схемы управления отходящих линий к недвигательной нагрузке?

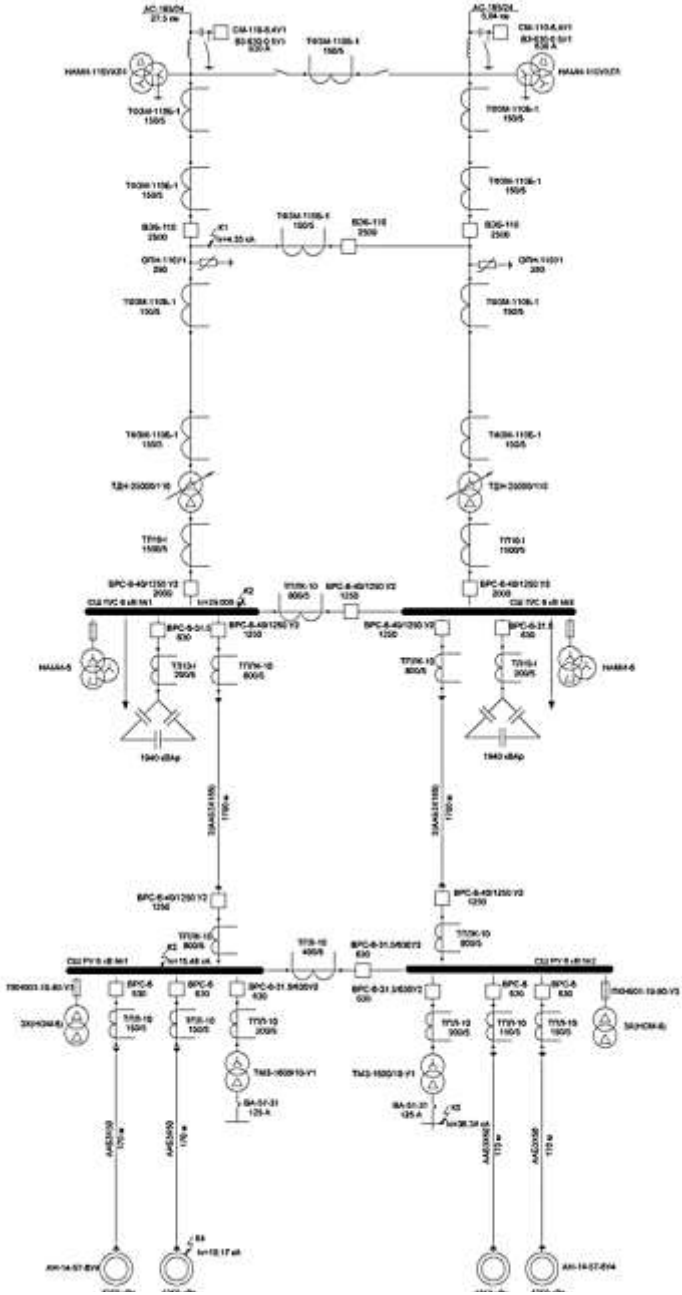
36. Как «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» трактуют понятие «Вторичные цепи электропередачи»?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок. /2-е изд., прераб. и доп. – Харьков: Изд-во «Форт», 2009.
2. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. / Под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова – Москва: Энергоатомиздат, 1989.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб.пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / Б.Н.Неклепаев, И.П. Крючков – Москва: Энергоатомиздат, 1989.
4. Справочник по электроустановкам угольных предприятий. Электроустановки уголных шахт: Справочник/В.Ф. Антонов, Ш.Ш. Ахмедов, С.А. Волотковский и др.; под общей редакцией В.В. Дегтярева, В.И. Серова, Г.Ю. Цепелинского-Москва:Недра, 1988.
5. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Проектирование и расчет. / А.С. Овчаренко, М.Л. Рабинович, В.И. Мозырский, Д.И. Розинский. – Киев: Техніка, 1985.
6. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ: Расчеты – Москва: Энергоатомиздат, 1985.
7. Кривенков В.В., Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. / В.В. Кривенков, В.Н. Новелла – Москва: Энергоиздат, 1981.
8. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию В 2 т. Т. 1. Электроснабжение / Под общ.ред. А.А. Федорова. – Москв: Энергомиздат, 1986.
9. Дымков А.М., Кибель В.М, Тишенин Ю.В. Трансформаторы напряжения. 2-е изд., перераб. и доп. / А.М. Дымков, В.М. Кибель, Ю.В. Тишенин – Москва: Энергия, 1975.
10. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин – Москва: Энергоатомиздат, 1987.
11. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Учебник для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Б.Н. Неклепаев. – Москва: Энергоиатомиздат, 1986.
12. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию В 2 т. Т. 1. Электроснабжение / Под общ.ред. А.А. Федорова. – Москв: Энергомиздат, 1986.

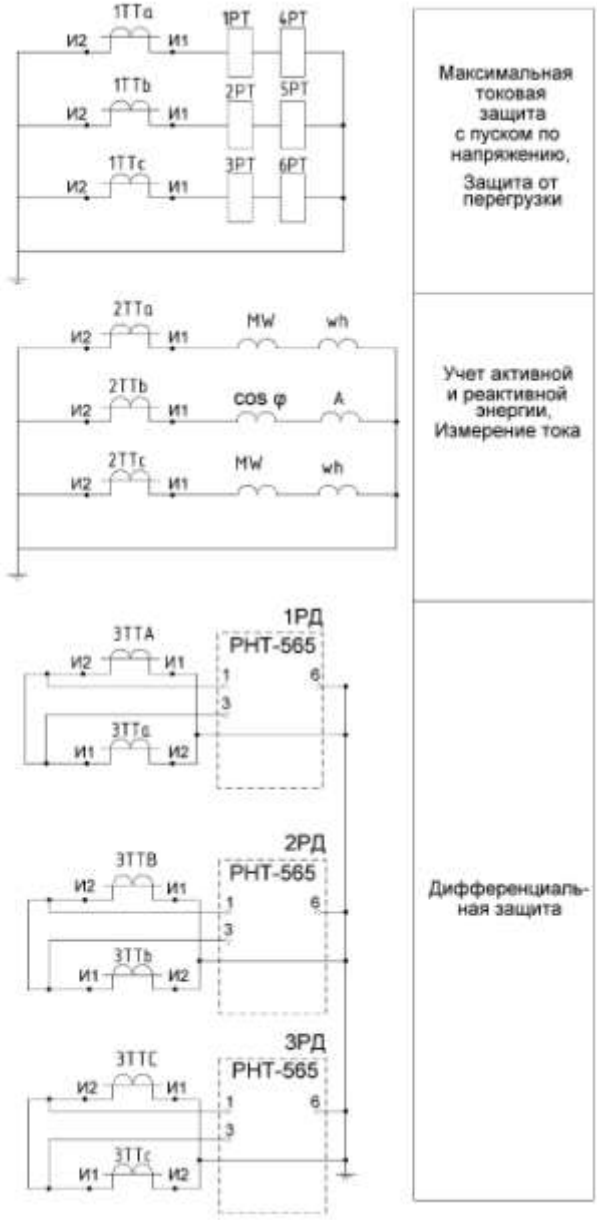
Приложение 1

Пример однолинейной схемы электроснабжения



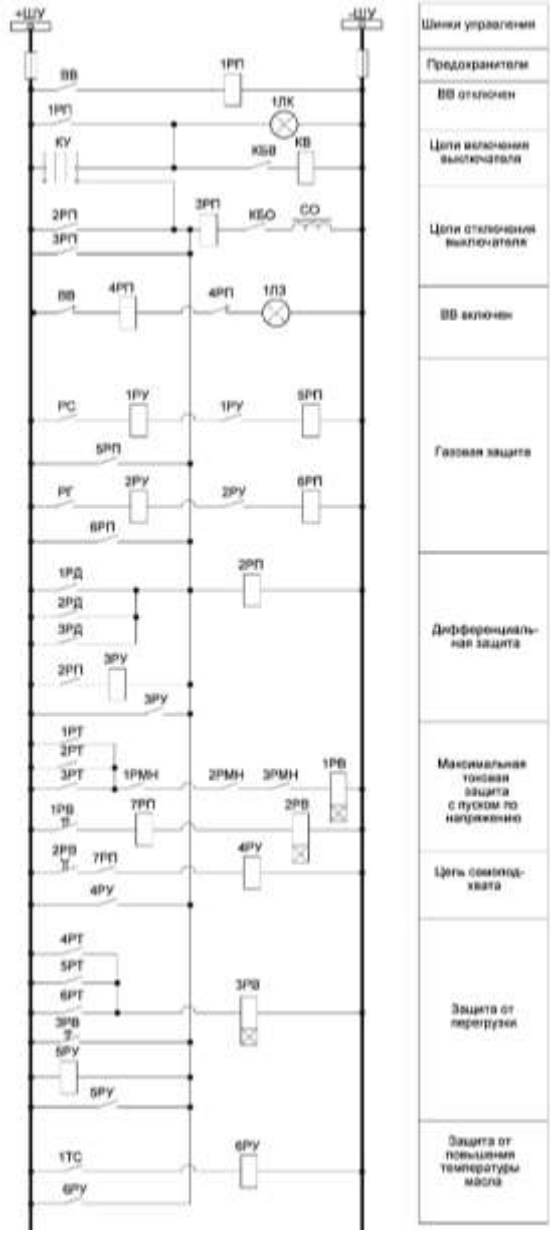
Приложение 2

Пример схемы токовых цепей релейной защиты главного трансформатора



Приложение 3

Пример схемы цепей управления и защит 220 В релейной защиты главного трансформатора

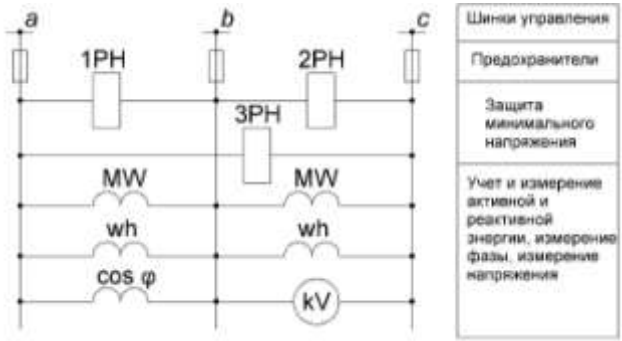


Приложение 4

Пример схемы цепей предупредительной сигнализации 220 В релейной защиты главного трансформатора

Приложение 5

Пример схемы цепей напряжения релейной защиты главного трансформатора



Приложение 6

Пример выполнения расчетов для выбора трансформаторов тока и напряжения.

Исходные данные для расчета:

Система электроснабжения содержит понижающую подстанцию 110/6кВ, получающую питание по ВЛ 110 кВ длинной 27,5 км проводом АС-185/24.

ГПП выполнена по схеме мостик с перемычкой на стороне ВН и секционными выключателями на сторонах ВН и НН.

На подстанции установлены два силовых трансформатора ТДН-25000/110 с вторичным напряжением 6кВ. РУ 6 кВ подстанции содержит 2 секции. На высокой стороне установлены элегазовые выключатели ВЭБ-110, на низкой – вакуумные выключатели ВРС-6-40/2000 Т3.

На ГПП установлены две конденсаторные установки по одной на каждую секцию, которые включены через выключатели и трансформаторы тока (ТТ) и два трансформатора напряжения по одному на каждую секцию. От шин ГПП запитано распределительное устройство (РУ) 6кВ двумя кабельными линиями по две каждую секцию длиной 1700 м, марка кабеля ААБ 3х185 (для условий прокладки кабеля в земле).

От распределительного устройства запитаны четыре двигателя АН-2-16-57-8У4 по два на каждую секцию мощностью 1250 кВт по КЛ длинной 170 м кабелем ААБ 3х50 (для условий прокладки кабеля в земле) и два трансформатора цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП) ТМЗ-1600/6 по одному на каждую секцию. Электродвигатели включены через выключатели ВРС-6-31,5/630 У2. Также в РУ подключены шесть однофазных трансформаторов напряжения по три на каждую секцию.

Выполнение расчета:

1.1. Выбор трансформаторов тока

Рассчитаем токи конденсаторных установок (КУ), РУ, электродвигателей, ЦТП, токи высокой и низкой стороны. Они находятся по формулам:

$$I_{КУ} = \frac{Q_{КУ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{1940}{\sqrt{3} \cdot 6} = 186{,}6 \text{ А}, \quad (1.1)$$

где $Q_{КУ} = 1940$ кВАр - мощность конденсаторной установки;
$U_{НН} = 6$ кВ – напряжение низкой стороны.

$$I_{РУ} = \frac{S_{РУ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}} = \frac{6515}{\sqrt{3} \cdot 6} = 626{,}9 \text{ А}, \quad (1.2)$$

где $S_{РУ} = (\frac{4 \cdot P_{эл.дв.}}{\cos\varphi \cdot n} + 2 \cdot S_{ЦТП}) \cdot к_з = (\frac{4 \cdot 1250}{0{,}86 \cdot 0{,}952} + 2 \cdot 1600) \cdot 0{,}7 = 6515$ кВт,

где $P_{эл.дв.} = 1250$ кВт – мощность двигателя;
$S_{ЦТП} = 1600$ кВА – мощность ЦТП;
$I_{эл.дв.} = 147$ А – ток электродвигателя.

$$I_{\text{ЦТП}} = \frac{S_{\text{ЦТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6} = 153{,}96 \text{ А}, \quad (1.3)$$

$$I_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 131{,}22 \text{ А}. \quad (1.4)$$

где $S_{\text{тр}}$ = 25000 кВА – мощность трансформатора ТДН-25000/110;
$U_{\text{ВН}}$ = 110кВ – напряжение высокой стороны.

$$I_{\text{НН}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot 2} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 2} = 1203 \text{ А}. \quad (1.5)$$

Рабочий ток секции ГПП и секции РУ:

$$I_{\text{секц.ГПП}} = \frac{I_{\text{НН}}}{2} = \frac{1203}{2} = 601{,}5 \text{ А}, \quad (1.6)$$

$$I_{\text{секц.РУ}} = \frac{I_{\text{РУ}}}{2} = \frac{626{,}9}{2} = 313{,}45 \text{ А}. \quad (1.7)$$

Для присоединений конденсаторных установок, электродвигателей, ЦТП и секции РУ выбираем ТТ типа ТПЛ-10 на номинальные первичные токи 200, 150, 200 и 400 А соответственно. Для ввода подстанции выбираем ТТ типа ТЛ10-I на номинальный первичный ток 1500 А. На секциях подстанции, РУ установлены ТТ ТПЛК-10 на номинальные первичные токи 800 А.

Произведём проверку вторичной нагрузки трансформаторов тока для принятого класса по условию [1]:

$$z_2 \leq z_{2\,\text{ном}},$$

где z_2 – вторичное сопротивление трансформатора тока;
$z_{2\text{ном}}$ – номинальная нагрузка трансформатора тока для принятого класса трансформатора тока.

Так как индуктивное сопротивление токовых цепей приборов мало тогда:

$$z_2 = r_2.$$

Параметры внесём в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Параметры приборов трансформатора тока

Название прибора	Класс прибора	Мощность прибора, Вт	Кол-во обмоток	Фаза А	Фаза Б	Фаза С
Измерительные обмотки ТТ						
Амперметр	1,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5
Счётчик	1,5	7,5	3	2,5	2,5	2,5
Ваттметр		0,5		0,5	0,5	0,5
Всего				3,5	3,5	3,5
Обмотки ТН для подключения реле						
3 Реле РТ-40		3·0,2		3·0,2	3·0,2	3·0,2
Всего	-	-	-	0,6	0,6	0,6

Произведем расчет для ТПШЛ-10.

Вторичное сопротивление складывается из сопротивления приборов, проводников и переходного сопротивления контактов и определяется по формуле:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{К.}} \tag{1.8}$$

Сопротивление приборов определяем по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{\text{приб}}^2}, \tag{1.9}$$

где $S_{\text{приб}} = S_{\text{амп}} + S_{\text{счет}} + S_{\text{реле}} + S_{\text{ватт}}$ – мощность всех приборов;
$I_{\text{приб}}$– вторичный номинальный ток прибора.

$$r_{\text{приб}} = \frac{4{,}1}{5^2} = 0{,}16 \text{ Ом}.$$

Сопротивлении контактов принимаем 0,1 Ом, сопротивление проводников зависит от их длинны и сечения. Чтобы трансформатор тока работал в принятом классе, необходимо выдержать условия:

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{К}} \leq Z_{2\,\text{ном}},$$

Отсюда:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\,\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{К}}.$$

Для токовых цепей принимаем контрольный кабель типа АКРВГ сечением 4 мм^2.

Тогда фактическое сопротивление проводников:

$$r_{\text{пр}} = \frac{l_{\text{р}} \cdot \rho}{S} = \frac{12 \cdot 0{,}0283}{4} = 0{,}08 \text{ Ом},$$

где $l_{\text{р}}$ – расчётная длинная проводников;
ρ- требуемое сопротивление материала проводника.

Вторичное сопротивление трансформатора тока:

$$r_{2н} = 0{,}16 + 0{,}08 + 0{,}1 = 0{,}34 \text{ Ом},$$
$$z_2 = 0{,}34 < z_{2\,ном} = 0{,}8 \text{ Ом}.$$

Таким образом, условия проверки трансформатора тока выполняются (таблицы 1.2 и 1.3).

Таблица 1.2 - Условия выбора трансформаторов тока присоединений ГПП

Тип ТТ	ТЛ10-I		ТПЛ-10		ТПЛК-10		ТПЛ-10	
Место установки	Ввод		Выключатель КУ		Выключатель РУ на ГПП		Секция ГПП	
Параметры	Расчётные	Каталожные	Расчётные	Каталожные	Расчетные	Каталожные	Расчетные	Каталожные
$U_{н.уст} \leq U_{ном}$	6	10	6	10	6	10	6	10
$I_{р.max} \leq I_{1\,н}$	1203	1500	128,9	200	626,9	800	601,5	800
$z_2 \leq z_{2\,ном}$	0,34	0,8	0,34	0,6	0,34	0,4	0,34	0,4

где $t_{откл}$– время отключения, принимаем = 0,2с.

Таблица 1.3 - Условия выбора трансформаторов тока присоединений РУ

Тип ТТ	ТПЛ-10		ТПЛ-10		ТПЛК-10		ТПЛ-10	
Место установки	Выключатель электродвигателя		Выключатель ЦТП		Ввод		Секция РУ	
Параметры	Расчётные	Каталожные	Расчётные	Каталожные	Расчетные	Каталожные	Расчётные	Каталожные
$U_{н.уст} \leq U_{ном}$	6	6	6	6	6	6	6	6
$I_р \leq I_{1\,н}$	147	150	153,9	200	626,9	800	313,45	400
$z_2 \leq z_{2\,ном}$	0,34	0,4	0,34	0,6	0,34	0,4	0,34	0,4

1.2. Выбор трансформаторов напряжения

Теперь выбираем трансформатор напряжения. Принимаем НОМ-6-77. Проверка выполняется по условию [2]:

$$S_{2\text{расч}} \leq S_{2\text{ ном}},$$

где – $S_{2\text{расч}}$ – мощность всех приборов.

Параметры внесём в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 - Параметры приборов трансформатора напряжения

Название прибора	Класс прибора	Мощность прибора, ВА	Кол-во обмоток	Фаза А	Фаза Б	Фаза С
Вольтметр		-		-	-	-
Счётчик		24	3	8	8	8
Реле напряжения РН		5		5	5	5
Ваттметр		-		-	-	-
Всего	-	-	-	13	13	13

Проверим условие выбора трансформатора напряжения:

$$S_{2\text{расч}} = 13 \text{ ВА} < S_{2\text{ ном}} = 50 \text{ ВА}.$$

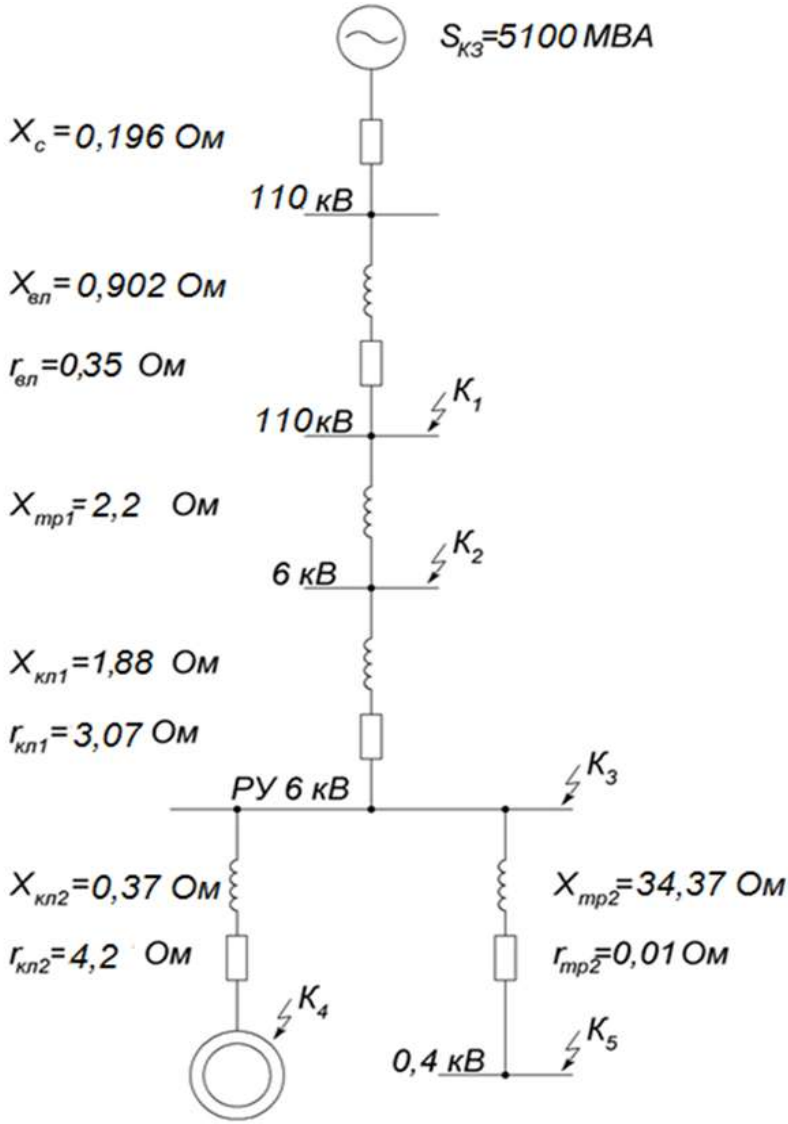
Таким образом, условия проверки трансформатора напряжения выполняются (таблица 1.5).

Таблица 1.5 - Условия выбора трансформаторов напряжения

Тип трансформатора напряжения	НОМ-6-77	
Параметры	Расчётные	Каталожные
$U \leq U_{\text{ном}}$, кВ	6	6
$S_{2\text{расч}} \leq S_{2\text{ ном}}$, ВА	13	50

Приложение 7

Пример схемы замещения системы электроснабжения



Приложение 8

Пример выполнения расчетов токов короткого замыкания

2.1. Расчёт токов короткого замыкания в максимальном режиме

Расчёт выполняем в системе относительных величин. Выбираем базисные величины:

$S_б$=1000 МВА; $U_{б1} = 110$ кВ; $U_{б2} = 6$ кВ; $U_{б3} = 0{,}4$ кВ,

Тогда:

$$I_{б1} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 5{,}02 \text{ кА}, \quad (2.1)$$

$$I_{б2} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96{,}22 \text{ кА},$$

$$I_{б3} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б3}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 1443{,}37 \text{ кА}.$$

Составляется схема замещения. Определяются сопротивления её элементов.

Сопротивление системы:

$$x_с = \frac{S_б}{S_{кз}^{(3)}} = \frac{1000}{5100} = 0{,}196. \quad (2.2)$$

Сопротивления трансформаторов ТДН-25000/110 и ТМЗ-1600/6:

$$x_{тр1} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{н.тр.}} = \frac{10{,}5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 2{,}2, \quad (2.3)$$

$$x_{тр2} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{н.тр.}} = \frac{5{,}5}{100} \cdot \frac{1000}{1{,}6} = 34{,}37,$$

$$r_{тр2} = \frac{P_{кз}}{S_{н.тр.}} = \frac{0{,}0165}{1{,}6} = 0{,}01. \quad (2.4)$$

Сопротивления кабельных и воздушной линий:

$$r_{кл1} = \frac{L_{кл1}}{\gamma \cdot S_{кл1}} \cdot \frac{S_б}{{U_б}^2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1700}{32 \cdot 185} \cdot \frac{1000}{6^2} \cdot \frac{1}{2} = 3{,}98, \quad (2.5)$$

$$x_{кл1} = x_0 \cdot L_{кл1} \cdot \frac{S_б}{{U_б}^2} \cdot \frac{1}{2} = 0{,}08 \cdot 1700 \cdot \frac{1000}{6^2} \cdot \frac{1}{2} = 1{,}88, \quad (2.6)$$

$$r_{кл2} = \frac{L_{кл2}}{\gamma \cdot S_{кл2}} \cdot \frac{S_б}{{U_б}^2} = \frac{170}{32 \cdot 50} \cdot \frac{1000}{6^2} = 2{,}95,$$

$$x_{кл2} = x_0 \cdot L_{кл2} \cdot \frac{S_б}{{U_б}^2} = 0{,}08 \cdot 170 \cdot \frac{1000}{6^2} = 0{,}37,$$

$$r_{вл} = \frac{L_{вл}}{\gamma \cdot S_{вл}} \cdot \frac{S_б}{{U_б}^2} = \frac{27500}{32 \cdot 185} \cdot \frac{1000}{115^2} = 0{,}35,$$

$$x_{вл} = x_0 \cdot L_{вл} \cdot \frac{S_б}{{U_б}^2} = 0{,}43 \cdot 27{,}5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0{,}902.$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К1:

$$x_{к1} = x_с + x_{вл} = 0{,}196 + 0{,}902 = 1{,}09.$$

Результирующее активное сопротивление в точке К1:

$$r_{к1} = r_{вл} = 0{,}35.$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К2:

$$x_{к2} = x_{к1} + x_{тр1} = 1{,}09 + 2{,}2 = 3{,}29.$$

Результирующее активное сопротивление в точке К2:

$$r_{к2} = r_{к1} = 0{,}35.$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К3:

$$x_{к3} = x_{к2} + x_{кл1} = 3{,}29 + 1{,}88 = 5{,}18.$$

Результирующее активное сопротивление в точке К3:

$$r_{к3} = r_{к2} + r_{кл1} = 0{,}35 + 3{,}98 = 4{,}34.$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К4:

$$x_{к4} = x_{к3} + x_{кл2} = 5{,}18 + 0{,}37 = 5{,}57.$$

Результирующее активное сопротивление в точке К4:

$$r_{к4} = r_{к3} + r_{кл2} = 4{,}34 + 2{,}95 = 7{,}29.$$

Результирующее индуктивное сопротивление в точке К5:

$$x_{к5} = x_{к3} + x_{тр2} = 5{,}18 + 34{,}37 = 39{,}57.$$

Результирующее активное сопротивление в точке К5:

$$r_{к5} = r_{к3} + r_{тр2} = 4{,}34 + 0{,}01 = 4{,}35.$$

Результирующее сопротивление в точке К1:

$$z_{к1} = \sqrt{r_{к1}^2 + x_{к1}^2} = \sqrt{0{,}35^2 + 1{,}09^2} = 1{,}15. \quad (2.7)$$

Для точек 2-5 расчет выполняем аналогично.
Ток трёхфазного КЗ в точке К1:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{I_{б1}}{Z_{к1}} = \frac{5{,}02}{1{,}15} = 4{,}35\text{кА}. \quad (2.8)$$

Для точек 2-5 расчёт выполняем аналогично, и результаты сводим в таблицу 2.1.

Находим двухфазный ток КЗ в точке К1:

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4{,}35 = 3{,}77 \text{ кА}. \quad (2.9)$$

Для остальных точек расчёт выполняем аналогично, и результаты сводим в таблицу 2.1.

Находим ударный ток в точке К1:

$$i_{уд1} = к_у \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4{,}35 = 11{,}08 \text{ кА}. \quad (2.10)$$

где $к_у$ – ударный коэффициент; $к_у$ =1,8.

Для точек 2-5 расчёт выполняем аналогично, и результаты сводим в таблицу 2.1.

При определении тока КЗ на шинах РУ в величине ударного тока учитываем влияние асинхронных электродвигателей:

$$I''_{ад} = \frac{E''_{ад} \cdot I_{н\sum ад}}{x''_{ад}} = \frac{0{,}9 \cdot 0{,}294}{0{,}19} = 1{,}38 \text{ кА}. \quad (2.11)$$

где E"=0,9 – сверхпереходная ЭДС асинхронного электродвигателя;
$x''_{ад}$ – сверхпереходное сопротивление асинхронного электродвигателя;

$$x''_{\text{ад}} = \frac{1}{\text{К}_{\text{п.дв.}}} = \frac{1}{5{,}2} = 0{,}19,$$

$\text{К}_{\text{п.дв.}}$ – кратность пускового тока электродвигателя; $\text{К}_{\text{п.дв.}} = 5{,}2$.
$\text{I}_{\text{н}\sum\text{ад}}$ – суммарный номинальный ток асинхронных электродвигателей:

$$I_{\text{н}\sum\text{ад}} = n \cdot I_{\text{ад}} = 2 \cdot 147 \cdot 0{,}001 = 0{,}294 \text{ кА}, \quad (2.12)$$

где n=2 – число двигателей.

Ударный ток в точке 3:

$$i_{\text{уд3}} = \sqrt{2} \cdot (\text{к}_{\text{у}} \cdot I^{(3)}_{\text{к3}} + \cdot \text{к}_{\text{у.ад}} \cdot I''_{\text{ад}}) = \sqrt{2} \cdot (1{,}8 \cdot 11{,}08 + 1{,}49 \cdot 1{,}38) = 39{,}117 \text{ кА}. \quad (2.13)$$

Для точки 4 расчёт выполняем аналогично, и результаты сводим в таблицу 2.1.

2.2. Расчёт токов короткого замыкания в минимальном режиме

Минимальный режим сети отличается от максимального меньшей мощностью источников энергии:

$$S^{(3)}_{\text{к1}min} = 0{,}85 \cdot S^{(3)}_{\text{к1}max} = 0{,}85 \cdot 5100 = 4335 \text{ МВА}. \quad (2.14)$$

Индуктивное сопротивление сети в минимальном режиме:

$$x_{\text{с}\,min} = \frac{S_{\text{б}}}{S^{(3)}_{\text{кз}min}} = \frac{1000}{4335} = 0{,}231, \quad (2.15)$$

$$x_{\text{к1}\,min} = x_{\text{с}\,min} + x_{\text{вл}} = 0{,}231 + 0{,}902 = 1{,}13,$$

$$x_{\text{к2}min} = x_{\text{к1}min} + x_{\text{тр1}} = 1{,}13 + 2{,}2 = 3{,}33,$$

$$x_{\text{к3}min} = x_{\text{к2}min} + x_{\text{кл1}} = 3{,}33 + 1{,}89 = 5{,}22,$$

$$x_{\text{к4}min} = x_{\text{к3}min} + x_{\text{кл2}} = 5{,}22 + 0{,}38 = 5{,}6,$$

$$x_{\text{к5}min} = x_{\text{к3}min} + x_{\text{тр2}} = 5{,}22 + 34{,}37 = 39{,}59.$$

Результирующее сопротивление в минимальном режиме в точке К1:

$$z_{\text{к1}min} = \sqrt{r^2_{\text{к1}} + x^2_{\text{к1}min}} = \sqrt{0{,}35^2 + 1{,}13^2} = 1{,}18. \quad (2.16)$$

Для точек 2-5 расчет выполняем аналогично.

Ток трёхфазного КЗ минимального режима в точке К1:

$$I_{к1min}^{(3)} = \frac{I_{б1}}{z_{к1min}} = \frac{5{,}02}{1{,}18} = 4{,}23 \text{ кА}. \quad (2.17)$$

Находим двухфазный ток КЗ минимального режима в точке К1:

$$I_{к1min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к1min}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4{,}23 = 3{,}67 \text{ кА}. \quad (2.18)$$

Для остальных точек расчёт выполняем аналогично, и результаты сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Токи короткого замыкания

Точка/ток КЗ	$I_{кз}^{(3)}$, кА	$I_{кз}^{(2)}$, кА	$I_{min\,кз}^{(3)}$, кА	$I_{min\,кз}^{(2)}$, кА	$i_{уд}$, кА
К1	4,35	3,77	4,23	3,66	11,08
К2	29,008	25,12	28,71	24,86	73,84
К3	14,22	12,32	14,17	12,27	39,11
К4	10,49	9,08	10,46	9,06	29,6
К5	36,26	31,4	36,23	31,37	92,31

Приложение 9

Параметры вакуумных выключателей.

Тип выключателя	$U_{ном}$, кВ	$I_{ном}$, А	$I_{откл.ном}$, кА	$\beta_{н}$, %	$i_{дин}$, кА	$I_{дин}$, кА	$i_{вкл.ном}$, кА	$I_{вкл.ном}$, кА	$I_{тер}$, кА	$t_{тер}$, с	$t_{с.в}$, с	$t_{п.в}$, с	Тип привода	$I_{пр.ив}$, А
ВВТЭ-10-10/630У2	10	630	10	60	25	10	25	10	10	3	0,03	0,05	ЭМ	
ВВТП-10-10/630У2	10	630	10	60	25	10	25	10	10	3	0,03	0,05	ЭМ	
VD4 12.06.16	10	630	16		40		17,4		16					
ВВТЭ-10-20/630УХЛ2	10	630	20	50	52	20	52	20	20	3	0,03	0,05	ЭМ	
ВВТП-10-20/630УХЛ2	10	630	20	50	52	20	52	20	20	3	0,03	0,05	ЭМ	
ВВЭ-10-20/630У3	10	630	20	40	52	20	52	20	20	3	0,055	0,05	ЭМ	
VD4 12.06.20	10	630	20		50		21,8		20					
ВВ-10-20 630 У3	10	630	20				52		20					
ВВ-10-20/630 Т3	10	630	20				52		20					
ВВ-М-10-20/630 У3	10	630	20				52		20					
ВВ-М-10-20/630 Т3	10	630	20				52		20					
ВВЕ –10-20/630 У3	10	630	20		52	20	30	154						
ВВ 10У-20/630 Т3	10	630	20				52		20					
ВВ-10У-31 5/630 Т3	10	630	20				80		20					
ВВЕ –10-20/630 У3	10	630	20	52	25	50								
VD4 12.06.25	10	630	25		63		27,03		25					
ВВЭ-10-31,5/630У3	10	630	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
VD4 12.06.31	10	630	31,5		80		34,3		31,5					
ВВ-10У-31 5/630 У3	10	630	31,5				52		20					
ВВ-М-10-31 5/630 Т3	10	630	31,5				80		315					
ВВ-10У-20/1000 У3	10	1000	20				52		20					

Тип выключателя	$U_{ном}$, кВ	$I_{ном}$, А	$I_{откл.ном}$, кА	$\beta_{н}$, %	$i_{дин}$, кА	$I_{дин}$, кА	$i_{вкл.ном}$, кА	$I_{вкл.ном}$, кА	$I_{тер}$, кА	$t_{тер}$, с	$t_{с.в}$, с	$t_{п.в}$, с	Тип привода	$I_{пр.ив}$, А
ВВТЭ-10-20/1000УХЛ2	10	1000	20	50	52	20	52	20	20	3	0,03	0,05	ЭМ	
ВВТП-10-20/1000УХЛ2	10	1000	20	50	52	20	52	20	20	3	0,03	0,05	ЭМ	
ВВЭ-10-20/1000У3	10	1000	20	40	52	20	52	20	20	3	0,055	0,05	ЭМ	
ВВЭ-10-31,5/1000У3	10	1000	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
ВВ-М-10-31 5/1000 У3	10	1000	31,5				80		315					
ВВЕ –10-20/1000 У3	10	1000	31,5	315	80	25	50	149						
ВВ-10-31 5/1000 У3	10	1000	31,5				80		315					
VD4 12.12.16	10	1250	16		40		17,4		16					
VD4 12.12.20	10	1250	20		50		21,8		20					
ВВ-10-20/1250 ТЗ	10	1250	20				52		20					
ВВ-М-10-20/1250 ТЗ	10	1250	20				52		20					
ВВЕ –10-20/1000 У3	10	1250	20	40										
ВВ-10У-20/1250 ТЗ	10	1250	20				52		20					
VD4 12.12.25	10	1250	25		63		27,3		25					
ВВ-10У-31 5/1250 ТЗ	10	1250	31,5				80		20					
VD4 12.12.31	10	1250	31,5		80		34.3		31,5					
ВВ-10-31 5/2000 У3	10	1250	31,5				80		315					
ВВ-М-10-31 5/1250 ТЗ	10	1250	31,5				80		315					
VD4 12.12.40	10	1250	40		100		43,6		40					
ВВ 10У-40/1250 ЗД ТЗ	10	1250	40				80		20					

Тип выключателя	$U_{ном}$, кВ	$I_{ном}$, А	$I_{откл.ном}$, кА	$\beta_{н}$, %	$i_{дин}$, кА	$I_{дин}$, кА	$i_{вкл.ном}$, кА	$I_{вкл.ном}$, кА	$I_{тер}$, кА	$t_{тер}$, с	$t_{с.в}$, с	$t_{п.в}$, с	Тип привода	$I_{прив}$, А
VD4 12.12.50	10	1250	50		128		54,4		50					
ВВ-10У-20/1600 У3	10	1600	20				52		20					
ВВЭ-10-20/1600У3	10	1600	20	40	52	20	52	20	20	3	0,055	0,05	ЭМ	
ВВ-10-20/1600 У3	10	1600	20				52		20					
ВВ-М-10-20/1600 У3	10	1600	20				52		20					
VD4 12.16.25	10	1600	25		63		27,3		25					
ВЗ-10У-315/1600 У3	10	1600	31,5				80		20					
ВВЭ-10-31,5/1600У3	10	1600	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
VD4 12.16.31	10	1600	31,5		85		34,5		31,5					
ВБЭ-110-20…31,5/1600У3	10	1600	31,5	20							0,025	0,07		
ВВ 10У-40/1600 У3	10	1600	40				80		20					
VD4 12.16.40	10	1600	40		100		43,6		40					
ВВЕ –10-20/1000 У3	10	1600	40	40	102	50								
VD4 12.16.50	10	1600	50		128		54,4		50					
ВВ-10-315/1600 У3	10	1600	31 5				80		315					
VD4 12.20.25	10	2000	25		63		27,3		25					
ВВЭ-10-31,5/2000У3	10	2000	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
VD4 12.20.31	10	2000	31,5		85		34,3		31,5					
VD4 12.20.40	10	2000	40		100		43,6		40					
VD4 12.20.50	10	2000	50		128		54,4		50					
VD4 12.25.25	10	2500	25		63		27,3		25					
VD4 12.25.31	10	2500	31,5		85		34,3		31,5					
VD4 12.25.40	10	2500	40		100		43,6		40					

Тип выключателя	$U_{ном}$, кВ	$I_{ном}$, А	$I_{откл.ном}$, кА	$\beta_{ном}$, %	$i_{дин}$, кА	$I_{дин}$, кА	$i_{вкл.ном}$, кА	$I_{вкл.ном}$, кА	$I_{тер}$, кА	$t_{тер}$, с	$t_{с.в}$, с	$t_{п.в}$, с	Тип привода	$I_{прив}$, А
ВВ-10-40/2500 ТЗ	10	2500	40				102		40					
VD4 12.25.50	10	2500	50		128		54,4		50					
VD4 12.31.25	10	3150	25		63		27,3		25					
ВВЭ-10-31,5/3150У3	10	3150	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
VD4 12.31.31	10	3150	31,5		85		34,3		31,5					
ВВ-10-40/3150 УЗ	10	3150	40				80		315					
VD4 12.31.40	10	3150	40		100		43,6		40					
VD4 12.31.50	10	3150	50		128		54,4		50					
ВВ-10-315/3150 УЗ	10	3150	31 5				80		315					
VD4 12.40.25	10	4000	25		63		27,3		25					
VD4 12.40.31	10	4000	31,5		85		34,3		31,5					
VD4 12.40.40	10	4000	40		100		34,6		40					
VD4 12.40.50	10	4000	50		128		55,8		50					
3150УЗ	10	1600…3150	40											
ВВЭ-М-10-40	10	2000; 2500; 3150	40								0,05	0,1		
Э-М	10	30…1600	20								0,04	0,1		
ВБСИ10-10/630	10	400…630	10								0,04	0,1		
ВБЧС-Э(П)	10	630; 1000; 1600	20											
ВБЛ-10	10	630; 1000; 1600	20	30			52	20			0,03		ЭМ	
ВВЭ-10-20/630Т3	11	630	20		52	20	52	20	20	3	0,055	0,075		
ВВЭ-10-31,5/630Т3	11	630	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
ВВЭ-10-20/1250Т3	11	1250	20		52	20	52	20	20	3	0,055	0,075		

Тип выключателя	$U_{ном}$, **кВ**	$I_{ном}$, **А**	$I_{откл.ном}$, **кА**	$\beta_{н}$, **%**	$i_{дин}$, **кА**	$I_{дин}$, **кА**	$i_{вкл.ном}$, **кА**	$I_{вкл.ном}$, **кА**	$I_{тер}$, **кА**	$t_{тер}$, **с**	$t_{с.в}$, **с**	$t_{п.в}$, **с**	**Тип привода**	$I_{пр.в}$, **А**
ВВЭ-10-31,5/1250Т3	11	1250	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
ВВЭ-10-31,5/1600Т3	11	1600	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
ВВЭ-10-31,5/2500Т3	11	2500	31,5		80	31,5	80	31,5	31,5	3	0,055	0,075		
ВВО-27,5В-20/1000У1	27,5	1000	20	40					20	3	0,04	0,06		

Приложение 10

Пример заполненной карты уставок

Карта уставок

Наименование присоеденений	Вид защиты	Iсз, А	Iср, А	Кт	Uсз, кВ	Uср, В	Время срабатывания
Электродвигатель	ТО	1380	46	30			
	МТЗ	1080	36				5
	Перегруз	330	11				15
	Защита минимального напряжения				4,2	70	1,5
Трансформатор цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП)	ТО	3160	79	40			
	МТЗ	440	11				0,5
	Перегруз	200	5				15
Секция РУ 6 кВ	ТО	3840	48	80			
	МТЗ	1600	20				0,4
	АВР				1,8	30	1
Ввод РУ 6 кВ	ТО	4640	29	160			
	МТЗ	1920	12				0,2
Конденсаторная установка	МТЗ	400	10	40			1
	Перегруз	280	7				9
Отходящее присоединение ГПП к РУ 6 кВ	ТО	5600	35	160			
	МТЗ	2400	15				0,7
Секция ГПП	ТО	6720	42	160			
	МТЗ	2720	17				0,5
	АВР				4,2	70	1,5
Ввод ГПП	ТО	8100	27	300			
	МТЗ	4500	15				0,3
Силовой трансформатор	МТЗ с пуском по напряжению	295	17	ВН-30	66		0,1
	Перегруз	200	11,54				15
	ДТЗ	577,3	20,21				

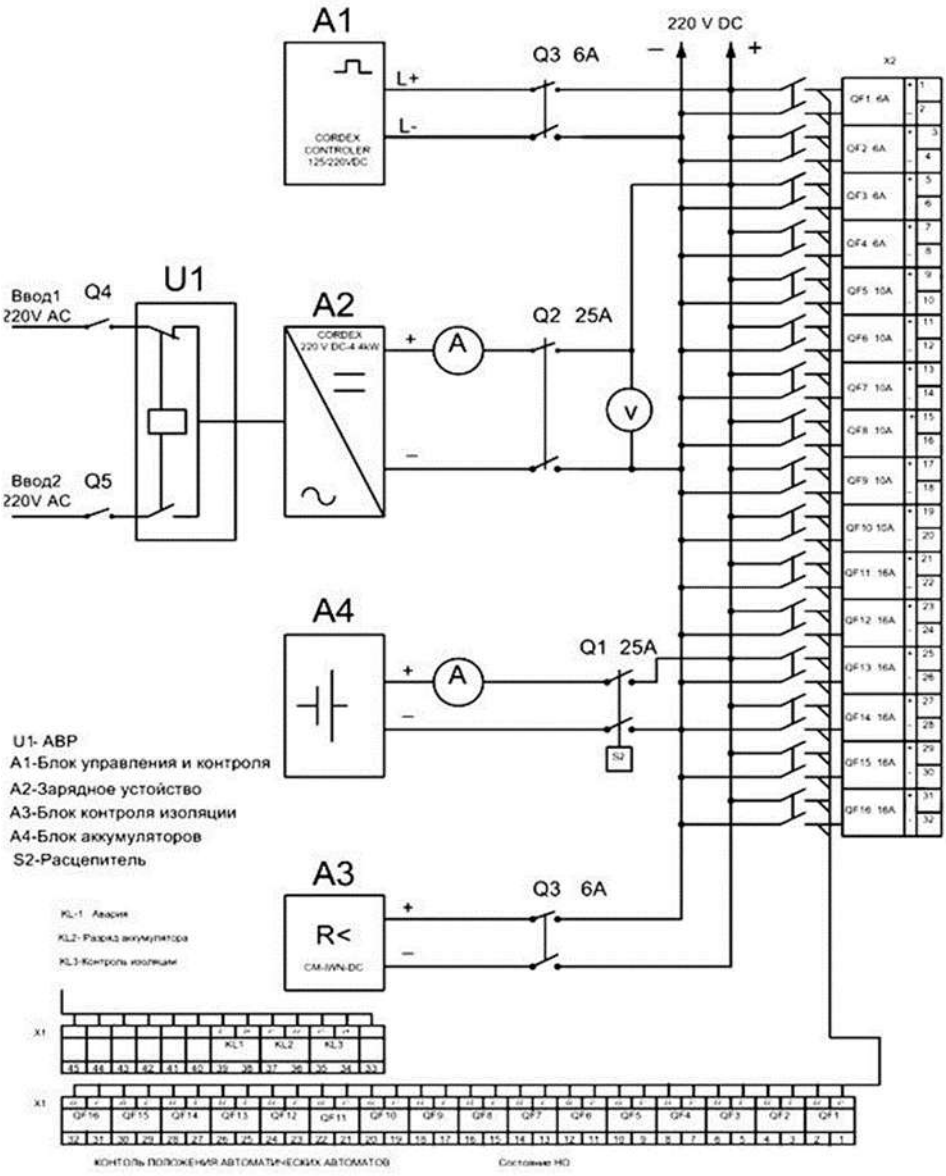
Приложение 11

Параметры выключателей автоматических типа ВА 51-35

Тип выключателя	Номинальные токи (I_n), А	Уставки электромагнитных расцепителей (I>), А		Вид максимального расцепителя токов
		Переменного тока	Постоянного тока	
ВА51-35М1-34 ХХ ХХ	16, 20	125, 250	160, 320	Расцепитель токов короткого замыкания и токов перегрузки
	25	150, 300, 400	200, 360	
	31,5	200, 400, 500	250, 500	
	40	250, 400, 500	300, 500	
	50	250, 500, 600	300, 600	
	63	500, 750	800	
	80	630, 1000	800	
	100	750, 1250	800	
ВА51-35М2-34 ХХ ХХ	125	1000, 1500	1000	
	160	1000, 2000	1000	
	200	1250, 2500	1200	
	250	1500, 3000	1500	
ВА51-35М3-34 ХХ ХХ	320	2000, 3200	2000	
	400	2500, 4000	2500	
ВА51-35М1-33 ХХ ХХ	100	500, 630, 1000	800, 1200	Расцепитель токов короткого замыкания
ВА51-35М2-33 ХХ ХХ	250	750, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000	800, 1000, 1200, 1500	
ВА51-35М3-33 ХХ ХХ	400	2500, 3200, 4000	2000, 2500	

Приложение 12

Пример принципиальной схемы ШОТ 10-220-20-50-1-16



Приложение 13

Пример оформления спецификации

№	Обозначение на схеме	Наименование, тип реле	Техническая характеристика
1.	1РТ-3РТ	Реле тока РТ-40/20	5,0… 25
2.	4РТ-6РТ	Реле тока РТ-40/10	2,5…10
3.	MW	Ваттметр Д365	
4.	wh	Счетчик ЦЭ6812	
5.	cos	Фазометр Д362	
6.	1А	Амперметр Э351	
7.	1РД-3РД	Реле дифференциальное РНТ-565	
8.	КУ	Ключ управления УП 5314	
9.	1РН-3РН	Реле минимального напряжения РН-54/160	~ 100 В, $U_{ср}$ = 40-80 В
10.	1РП-7РП	Реле промежуточное постоянного тока РП-21	= 220 В
11.	РС	Реле струйное URF-35	
12.	РГ	Реле газовое BF-80	
13.	1РУ-4РУ	Реле указательное РУ-21/1	1 А, 0,25 Вт
14.	5РУ-6РУ	Реле указательное РУ-21/0,5	0,5 А, 0,25 Вт
15.	1РВ-3РВ	Реле времени ЭВ-133	= 220 В
16.	1ТС	Термосигнализатор ТС-100	
17.	ЗВ	Звонок СС-1	~ 220 В
18.	1R, 2R	Резистор ПЭВ-50	1000 Ом, 50 Вт
19.	8РП	Реле промежуточное переменного тока РП-21	~ 220 В
20.	1КУ	Кнопка срабатывания сигнала ПКУ1	
21.	2КУ	Кнопка снятия сигнала ПКЕ222-2	

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА
по дисциплине
«ОСНОВЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ»
для студентов направления подготовки
44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

С о с т а в и т е л ь:
Виталий Николаевич Западенец

Печатается в авторской редакции.
Компьютерная верстка и оригинал-макет автора.

Подписано в печать _____
Формат 60x84$^{1}/_{16}$. Бумага типограф. Гарнитура Times
Печать офсетная. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____
Тираж 100 экз. Изд. №_____. Заказ №_____. Цена договорная.

Издательство Луганского государственного
университета имени Владимира Даля

Свидетельство о государственной регистрации издательства
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015г.

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а
Телефон: 8 (0642) 41-34-12, **факс:** 8 (0642) 41-31-60
E-mail: uni@snu.edu.ua **http**: www.snu.edu.ua