

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

Л. И. Евминов, В. В. Курганов

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
к курсовой работе по одноименному курсу
для студентов специальности 1-43 01 02
«Электроэнергетические системы и сети»**

Гомель 2009

УДК 621.316.925(075.8)
ББК 31.27-05я73
Е18

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 2 от 22.12.2008 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук *А. Н. Бохан*

Евминов, Л. И.

Е18 Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : метод. указания и задания к курсовой работе по одноим. курсу для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / Л. И. Евминов, В. В. Курганов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 38 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Приведены варианты заданий для выполнения курсовой работы и основные положения по расчету токов короткого замыкания и выбору параметров срабатывания релейной защиты основных элементов энергетической системы, распределительной сети и электрооборудования напряжением свыше 1 кВ.

Для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети».

**УДК 621.316.925(075.8)
ББК 31.27-05я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Релейная защита и автоматика», изучаемый студентами высших учебных заведений электроэнергетических специальностей, предусматривает выполнение курсовой работы с целью углубленной проработке вопросов выбора аппаратуры и расчета параметров срабатывания (уставок) устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) элементов электроэнергетической системы и электрооборудования напряжением выше 1 кВ. При успешном выполнении курсовой работы полученные практические навыки студенты применяют при решении задач по РЗА на экзаменах и в дипломном проекте, где в обязательном порядке должен присутствовать раздел по расчету релейной защиты проектируемого участка энергосистемы или распределительной сети.

Курсовая работа выполняется во втором семестре (из двух семестров, отводимых на изучения данной дисциплины) после ознакомления с теоретическими основами РЗА по рекомендуемой учебной литературе [2, 3, 4] и Правилами устройств электроустановок [1]. Полезно также использовать специальные пособия [5, 6]. В первом из них приводятся примеры с подробными решениями задач по РЗА на базе электромеханических реле, во втором – на цифровых (микропроцессорных) реле. Последние как наиболее совершенные устройства рекомендуется применять в курсовой работе и дипломном проекте.

В общих методических указаниях по выбору релейной защиты элементов электрической сети приводятся ссылки на конкретный источник, где наиболее информативно отражен тот или иной вопрос.

Выбор вариантов задания на курсовую работу

Данные методические указания содержат 10 расчетных схем участков электрической сети, районных подстанций или собственных нужд ТЭЦ и 10 таблиц с вариантами исходных параметров элементов для каждой схемы .

Задание на курсовую работу (если преподаватель не назначил студенту индивидуально) выбирается по двум последним цифрам шрифта (номера зачетной книжки) следующим образом. По последней цифре шрифта выбирается номер расчетной схемы (рис. 1 – 10), а по предпоследней цифре – вариант исходных параметров элементов сети данной схемы (табл. 1 – 10). Например, для шифра 57 выбирается расчетная схема на рис. 7, а по табл. 7 – параметры варианта № 5. Аналогично для шифра 00 – рис. 10 и вариант № 10 (табл. 10).

Общие указания по принятым условным обозначениям параметров элементов расчетной схемы

В таблицах 1–10 и на всех расчетных схемах рис. 1–10 приняты следующие обозначения:

X_c – сопротивление питающей энергосистемы в максимальном режиме (сопротивление минимального режима принять $X_{c.min} = (1,5 \div 1,7) \cdot X_{c.max}$), Ом;

U_{HH} – номинальное напряжение трансформатора на стороне шин низкого напряжения, кВ;

S_T – номинальная мощность трансформатора: для главных трансформаторов S_{T1} и S_{T2} в МВ·А, для остальных в кВ·А;

W – параметры кабельной линии (на схеме изображены с кабельными воронками) или воздушной линии электропередачи: в числителе указано сечение жилы кабеля или провода воздушной линии в мм², в знаменателе – длина линии в км. Кабели рекомендуется применять с алюминиевыми жилами, а провода линии – марки А или АС;

$P_{эд}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт; при расчете номинального тока двигателя можно в среднем принять: $\cos \varphi = 0,87$, $\eta = 95\%$, кратность пускового тока $K_{п} = 6,5$ или воспользоваться паспортными данными, приведенными для синхронных двигателей в приложении (табл. П9);

$Q_{БСК}$ – мощность батареи статических конденсаторов, кВ·Ар;

S_H – максимальная мощность нагрузки, кВ·А;

$\sum I_c$ – суммарный емкостной ток замыкания на землю в сети 6(10)кВ, А.

t_i – заданная выдержка времени срабатывания защиты (МТЗ) на данном выключателе, с. (указана на некоторых схемах).

На тех выключателях, на которых в расчетной схеме не указаны позиционные обозначения Q_i релейная защита не устанавливается.

Секционные выключатели (на схемах обозначены зачерненными прямоугольниками) нормально находятся в отключенном положении и включаются они от автоматики АВР при аварийном или ремонтном режиме подстанции (распределительного устройства). На этих выключателях предусматривается максимальная токовая защита. Исключение составляет выключатель Q_{17} в схеме рис. 10. На нем установлено АВР одностороннего действия и защита не предусмотрена.

Объем и содержание курсовой работы

Курсовая работа должна состоять из пояснительной записки объемом 25-30 страниц и одного чертежа форматом А3 типовой электрической принципиальной схемы устройства релейной защиты и автоматики заданного элемента сети (по указанию преподавателя).

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы.

1. Исходную электрическую схему и ее схему замещения с таблицей заданных параметров.

2. Расчеты токов коротких замыканий (КЗ) в объеме, достаточном для выбора уставок и проверки чувствительности РЗА. Методические указания по расчету токов КЗ приведены ниже.

3. Для всех элементов заданной схемы электроснабжения, т.е. линий, трансформаторов, электродвигателей, батареи статических конденсаторов, требуется выбрать необходимые виды релейной защиты согласно требованиям Правил [1]. При этом указать какую элементную базу студент применяет: электромеханическую (на базе реле РТ-40, РТ-80), микроэлектронную (реле РСТ-11, РСТ-13) или микропроцессорную на цифровых реле (Micom, REF, Seram, БМРЗ и др.).

4. Для каждого вида защит, например, максимальной токовой (МТЗ) или токовой отсечки (ТО) и т.д. пояснить по каким условиям выбираются их уставки (параметры срабатывания), а также как выполняется селективность и проверяется чувствительность защиты при КЗ в основной и резервной зонах. Привести необходимые формулы расчета.

5. Произвести численный расчет уставок защит с ссылкой на расчетные формулы и с подробным пояснением принятых коэффициентов, токов нагрузки, токов КЗ, токов согласования защит, время срабатывания и т. д. Для однотипных защит элементов схемы (линия, двигатель, трансформатор) делается подробный расчет защит одного элемента, для остальных таких же элементов числовые значения и результаты расчета сводятся в таблицу. Уставки защит рассчитываются в первичных токах срабатывания. Для силового трансформатора и одной из линий (по усмотрению студента) необходимо выбрать трансформаторы тока (ТТ) и для этих элементов рассчитать токи срабатывания реле (вторичные уставки защит), непосредственно выставляемые на реле см. прилож. (табл. П10). При этом следует отметить, что на некоторых цифровых реле, например Seram 2000, уставки на реле выставляются в первичных токах срабатывания, а их пересчет на вторичную сторону ТТ производится автоматически программным путем.

Расчет уставок защит следует начинать с самого удаленного от источника питания элемента сети.

6. С целью согласования селективности защит, имеющих зависимость от тока выдержки времени, необходимо построить карту селективности [6, с. 21]. Для защит с независимыми характеристиками срабатывания составляется карта уставок, представляющая собой таблицу, в которой указываются наименование защищаемого элемента, тип реле, номинальный ток ТТ (для некоторых присоединений), наименование защиты, первичный и вторичный токи срабатывания (уставки по току), выдержка времени срабатывания (уставка по времени) и действие защиты: на отключение защищаемого элемента или на сигнал.

Краткие указания по расчету токов короткого замыкания

В курсовой работе необходимо определить токи короткого замыкания (КЗ) в расчетных точках заданной электрической сети, т. е. на шинах низкого и среднего напряжения трансформатора, а также в начале и в конце линии каждого присоединения. От полученных значений токов КЗ зависит корректность выбора уставок защит и оценка их чувствительности. Ошибка, допущенная при расчете токов КЗ, приводит к пересмотру уставок всех последующих защит элементов сети.

Расчет токов КЗ выполняется в соответствии с общими методами, изложенными в курсе «Электромагнитные переходные процессы» и в [5, 6], с учетом следующих положений.

1. Все расчеты допустимо производить для начального момента времени без учета сопротивлений нагрузки и сопротивления дуги в месте КЗ. Пренебрегают также активными составляющими сопротивлений трансформаторов и линий электропередач напряжением 110 кВ, кроме кабельных и воздушных линий меньшего напряжения, для которых в задании указаны сечения жил кабеля или марка провода, а в приложении (табл. П6 и П7) приведены удельные их активные и реактивные сопротивления.

2. Расчет рекомендуется выполнять в именованных единицах. При этом достаточно определить в расчетной точке установившееся значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ. Ударный ток и тепловой импульс определять не требуется.

3. Для каждой расчетной точки необходимо определить максимальный и минимальный токи трехфазного КЗ, поскольку по значе-

нию первого из них выбираются уставки быстродействующих ступенной защиты, а по значению второго – оценивается чувствительность всех защит.

На величину тока КЗ в расчетной точке влияют следующие факторы:

3.1. Режим работы питающей энергосистемы максимальный или минимальный. Сопротивление системы максимального режима меньше сопротивления минимального режима. В проекте можно принять $X_{c.min} = (1,5 \div 1,7) \cdot X_{c.max}$, где $X_{c.max}$ – заданное сопротивление системы (X_c).

3.2. Изменение реактивного сопротивления силового трансформатора при крайних положениях переключателя РПН (регулировка напряжения под нагрузкой). При этом изменяется не только значение напряжения короткого замыкания u_k трансформатора, но и его коэффициент трансформации, что также влияет на величину тока КЗ на шинах низкого напряжения. Методика расчета сопротивлений трансформатора с большим диапазоном регулирования напряжения приведена в [5, с. 143 и 6, с. 56], а значения u_k – в прилож. (табл. П2, П3).

3.3. Различные номинальные мощности или различное число обмоток трансформаторов на 2-х трансформаторной подстанции. Расчетная точка КЗ в этом случае может питаться либо от одного, либо другого трансформатора через включенный секционный выключатель (аварийный или ремонтный режим подстанции) и токи КЗ в этих случаях будут разными.

Учитывая все приведенные факторы, значение максимального тока КЗ определяется при максимальном режиме системы, при минимальном коэффициенте трансформации трансформатора ($u_{k.min}$) и при питании расчетной точки КЗ от трансформатора с большей номинальной мощностью или с меньшим числом обмоток. Значение минимального тока КЗ – наоборот.

Если в схеме заданы параллельные линии (задания № 9, 7, 10) или имеется обходная цепь питания (задание № 10 – линия W5), то минимальный ток КЗ определяется при отключенной одной из параллельных линий или при питании нагрузки по обходной цепи.

В задании № 9 максимальный ток КЗ определяется при параллельной работе мини-ТЭЦ и энергосистемы, а минимальный – при питании только от мини-ТЭЦ (на трансформаторе предусмотрена делительная защита, которая отключает параллельную связь при КЗ или качаниях в энергосистеме).

4. Для трансформаторов напряжением 6(10)/0,4 кВ, имеющих заземленную нейтраль на стороне 0,4кВ, необходимо определить ток трех-

фазного КЗ и ток однофазного КЗ за трансформатором. Значение тока однофазного КЗ зависит от схемы соединения его обмоток (сопротивления нулевой последовательности трансформатора со схемой соединения обмоток $Y/Y-0$ приведены в прилож. табл. ПЗ). Ток трехфазного КЗ за трансформатором мощностью более 630 кВ·А рассчитывают с учетом сопротивления питающей сети. По значению тока трехфазного КЗ выбирается уставка токовой отсечки трансформатора, а по току однофазного КЗ проверяется чувствительность максимальной токовой защиты.

5. В линиях напряжением 110 кВ, питающих трансформаторы с заземленными нейтральями (задания № 1 и 10), необходимо определить токи при однофазном КЗ. По величине этих токов выбираются уставки защиты нулевой последовательности линий в сетях 110 кВ. При этом рекомендуется принять значение сопротивления нулевой последовательности, равное примерно утроенному значению сопротивления прямой последовательности (X_1), которое для линий в сетях 110 кВ равно 0,4 Ом/км: $X_0 = 3 \cdot X_1$.

В заключении результаты расчета токов КЗ сводятся в таблицу, в которой указывается номер расчетной точки КЗ, обозначенной на схеме и значения максимального и минимального токов трехфазного КЗ. Ток двухфазного КЗ приводить необязательно, так как его значение меньше трехфазного тока КЗ на величину коэффициента, равного $\sqrt{3}/2 = 0,866$.

Общие методические указания по выбору устройств РЗА

В соответствии с Правилами [1] на элементах заданных расчетных электрических схем должны быть предусмотрены следующие виды релейной защиты.

1. Защита линий электропередачи [2, 3]

1.1. Радиальные линии напряжением 6, 10, 35кВ с односторонним питанием (для всех заданий без исключения)

Трехступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ. Первые две ступени токовых отсечек без выдержки и с небольшой выдержкой времени, предназначенных для ускорения отключения близких КЗ, могут быть не использованы, если их чувствительность недостаточная (коэффициент чувствительности меньше 1,2). Третья ступень максимальная токовая защита (МТЗ) с выдержкой времени на линиях должна быть установлена обязательно, поскольку она защищает от КЗ не только свою линию целиком, но и резервирует защиту и выключатель смежной (предыдущей) линии. Ток срабатывания МТЗ (уставка по первичному

току) выбирается по трем условиям [6]: отстройка от тока самозапуска нагрузки; согласования с уставкой МТЗ предыдущей линии; проверка чувствительности защиты в основной и в резервной зонах. При расчете тока срабатывания МТЗ по первому условию коэффициент самозапуска нагрузки студенты принимают произвольно в диапазоне значений от 1,8 до 2,3. Исключение составляют линии, питающие электродвигатели выше 1 кВ. В этом случае МТЗ должна быть отстроена от пускового тока двигателя, который для мощных двигателей определяется с учетом сопротивления питающей сети и сверхпереходного сопротивления заторможенного двигателя (табл. П8). Выдержка времени срабатывания МТЗ (уставка по времени) принимается на ступень селективности Δt большей, чем выдержка времени МТЗ предыдущей линии.

Защита от замыкания на землю. Защита действует на сигнал, поскольку сети 6, 10, 35кВ работают с изолированной нейтралью и при этом виде повреждения короткого замыкания не возникает. Защита реагирует на емкостной ток замыкания на землю. По величине или по направлению протекания емкостного тока по всем линиях данной сети защита селективно определяет поврежденную линию. Условия выбора уставок защиты от замыкания на землю приведены в [6, с. 47], а значения удельных емкостных токов воздушных и кабельных линий – в прилож. (табл. П7, П8).

1.2. Секционированные линии районных сетей с нагрузками на отпайках (задание № 3)

На всех секционирующих выключателях устанавливаются направленные МТЗ с двумя группами уставок, которые автоматически переключаются в зависимости от направления протекания токов КЗ от подстанции St1 или St2. Рассматриваются два режима питания, когда разделительный выключатель Q7 включен по автоматики АВР и все линии питаются с начала от одной подстанции, затем от другой. В обоих режимах для каждой линии рассчитать уставки защит (МТЗ) с соблюдением их селективности, применив цифровые реле с зависимыми от тока характеристиками срабатывания по типу «нормально-инверсные». Построить карту селективности для одного режима питания [7, с. 17].

1.3. Параллельные или кольцевые линии с односторонним питанием (задания № 2, 7, 10)

В начале и в конце каждой параллельной линии установлены выключатели со своими защитами. На параллельных линиях 35 кВ (задание № 10) рекомендуется применить поперечную дифференциальную защиту, а на параллельных линиях 6(10) кВ – направленную МТЗ.

Во всех случаях с целью проверки чувствительности при каскадном действии защит для этих линий требуется рассчитать минимальный ток подпитки короткого замыкания, протекающий по обеим линиям при отключении головного выключателя на одной из них [2, 4].

1.4. Линии 110 кВ с двухсторонним питанием (задания № 1, 9)

Направленные трехступенчатые дистанционные защиты от междуфазных КЗ. Требуется выбрать уставки на реле сопротивления двух дистанционных органов и одну уставку на пусковом органе трехступенчатой дистанционной защиты каждой линии. При двухстороннем питании уставки защит выбираются по встречно – ступенчатому принципу [2,4].

Направленная защита нулевой последовательности от однофазных КЗ. При выборе защиты и расчете уставок обратить внимание, что трансформатор 110 кВ, имеющий заземленную нейтраль, является источником токов нулевой последовательности в режиме однофазного КЗ [2, 4].

2. Защита трансформаторов [5, 6]

2.1. Трансформаторы мощностью более 4000 кВ·А напряжением 110 и 35 кВ:

- дифференциальная и газовая защиты от внутренних повреждений;
- максимальная токовая защита от сверхтоков при внешних КЗ;
- защита от перегрузки.

Дифференциальную защиту рекомендуется рассчитать в двух вариантах: на электромеханическом реле ДЗТ-11 и цифровом реле REF 542 или Seram 2000 и сравнить их чувствительности [5, с. 197; 6, с. 33].

При выборе максимальных токовых защит ввода НН и трансформатора на стороне ВН необходимо согласовать их уставки с учетом изменения коэффициента трансформации трансформатора при крайних положениях переключателя РПН [6, с. 38]. На 2-х трансформаторных подстанциях выбор уставок МТЗ ввода и трансформатора производят после расчета уставки МТЗ секционного выключателя. При недостаточной чувствительности простой МТЗ применяют МТЗ с пуском по минимальному напряжению.

2.2. Трансформаторы напряжением 6(10)/0,4кВ или блоки «линия – трансформатор»:

- токовая отсечка;
- максимальная токовая защита;
- защита от перегрузки.

Для защиты трансформатора малой мощности до 630 кВ·А необходимо выбрать номинальный ток плавкой вставки высоковольтного предохранителя типа ПКТ-6 или ПКТ-10 (см. прилож. табл. П5). При этом ток срабатывания МТЗ линии, питающей эти трансформаторы должен быть согласован с током перегорания предохранителя в начале его время-токовой характеристики [5, с. 50; 6, с. 24].

3. Защита электродвигателей напряжением выше 1кВ [6, с.41]:

– дифференциальная защита или токовая отсечка в зависимости от мощности двигателя; если токовая отсечка при $P_{эд} < 5000$ кВт не удовлетворяет требованию чувствительности то пусковой ток двигателя должен быть скорректирован с учетом сопротивления питающей сети [6, с. 41];

– защита от замыкания на землю при суммарном емкостном токе в сети более 5 А;

– защита от перегрузки;

– защита минимального напряжения.

Для синхронных электродвигателей, кроме перечисленных, еще и защита от асинхронного хода.

Если для защиты электродвигателей применяются цифровые реле, то дополнительно рекомендуется использовать следующие виды защит, не предусмотренные Правилами [1]:

– защита от перегрузки на основе тепловой модели [6, с. 44];

– функция автоматического удвоения уставки токовой отсечки при недостаточной чувствительности последней;

– защита от затяжного пуска и заклинивания ротора.

4. Защита батареи статических конденсаторов [2, с. 468]:

– токовая отсечка, отстроенная от бросков зарядного тока при включении БСК;

– максимальная токовая защита от перегрузки высшими гармониками в питающей сети;

– защита от замыкания на землю;

– защита от повышения напряжения.

Таблица 1

Параметры элементов расчетной схемы рис. 1

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	X_{c1}, Ом	6,5	8,4	7,3	5,8	6,3	8,4	7,5	5,7	9,2	10,4
	X_{c2}, Ом	8,3	5,5	9,6	7,3	10,3	10,2	6,5	9,3	7,2	8,4
	U_{HH1}, кВ	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10
	U_{HH2}, кВ	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6
	S_{T1}, МВА	10	16	25	10	16	25	10	16	25	10
	S_{T2}, МВА	25	10	10	25	16	10	25	10	10	25
	S_{T3}, кВА	630	1600	1000	1600	2500	1600	1000	2500	1000	1000
	$Q_{БСК}$, кВАр	2700	3150	3150	1800	1350	2700	900	1350	3150	900
	$P_{ЭДЛ}$, кВт	5000	6300	8000	5000	4000	5000	3150	4000	6300	3150
	S_{H1}, кВА	4500	3200	2500	5600	4300	3100	6300	2000	1600	7200
	$W1$, км	52	46	38	56	35	62	37	60	43	33
	$W2$, км	43	32	47	38	44	41	55	34	52	45
	$W3$, км	36	57	61	42	53	37	41	55	37	59
	$W4$, мм²/км	2(240)/2	3(240)/1	3(240)/2	240/1,2	240/1,1	2(185)/1	185/0,8	240/1,2	3(240)/2	185/0,7
$W5$, мм²/км	70/1,6	120/1,7	95/1,3	185/2,9	240/1,5	240/1,3	150/1,2	240/1,1	120/1,8	70/1,3	

Таблица 2

Параметры элементов расчетной схемы рис. 2

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	$X_{c1}, \text{ Ом}$	12	11	9	13	15	16	14	8	10	17
	$U_{\text{НН}}, \text{ кВ}$	10	6	10	10	6	6	10	6	10	6
	$S_{T1}, \text{ МВА}$	32	40	63	32	25	32	25	63	40	25
	$S_{T2}, \text{ кВА}$	2500	6300	1000	1600	6300	1600	4000	2500	1600	4000
	$S_{T3}, \text{ кВА}$	6300	4000	6300	4000	2500	4000	2500	6300	4000	2500
	$S_{T4}, \text{ кВА}$	630	400	250	630	400	250	160	630	400	250
	$S_{T5}, \text{ кВА}$	250	630	400	400	160	630	250	400	250	630
	$P_{\text{ЭДЛ}}, \text{ кВт}$	5000	6300	8000	5000	4000	5000	3150	8000	6300	3150
	$Q_{\text{БСК}}, \text{ кВАр}$	1350	2700	3150	2250	1350	2250	900	3150	1800	900
	$S_{\text{Н1}}, \text{ кВА}$	2500	2800	2000	1800	1600	2700	1400	2900	2600	1200
	$S_{\text{Н2}}, \text{ кВА}$	300	200	400	280	320	250	630	180	720	420
	$S_{\text{Н3}}, \text{ кВА}$	100	63	160	100	180	200	100	250	63	160
	$W1, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/3,0	95/7,0	70/5,0	50/7,0	50/6,0	70/10	50/4,0	95/3,0	70/11	50/7,0
	$W2, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/6,0	95/3,0	70/3,0	50/2,0	50/2,0	70/4,0	50/5,0	95/4,0	70/3,0	50/2,0
	$W3, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/1,9	50/2,3	70/1,8	35/1,2	35/2,9	50/2,5	35/2,7	70/1,7	50/3,1	35/3,0
	$W4, \text{ мм}^2/\text{км}$	2(240)/2	3(240)/1	3(240)/2	240/1,2	240/1,1	2(185)/1	185/0,8	4(240)/1	3(240)/2	185/0,6
	$W5, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/4,5	95/3,9	120/5,2	70/4,8	95/3,5	95/2,9	70/5,3	70/3,9	70/3,1	95/3,6
	$W6, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/3,6	95/2,7	120/3,5	70/2,7	95/2,9	95/2,5	70/3,1	70/2,8	70/2,5	95/2,3
	$W7, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/2,8	95/1,9	120/2,4	70/3,0	95/1,8	95/2,0	70/2,5	70/1,9	70/1,7	95/1,5
$\sum I_c, \text{ А}$	10	20	12	13	19	18	15	17	14	15	

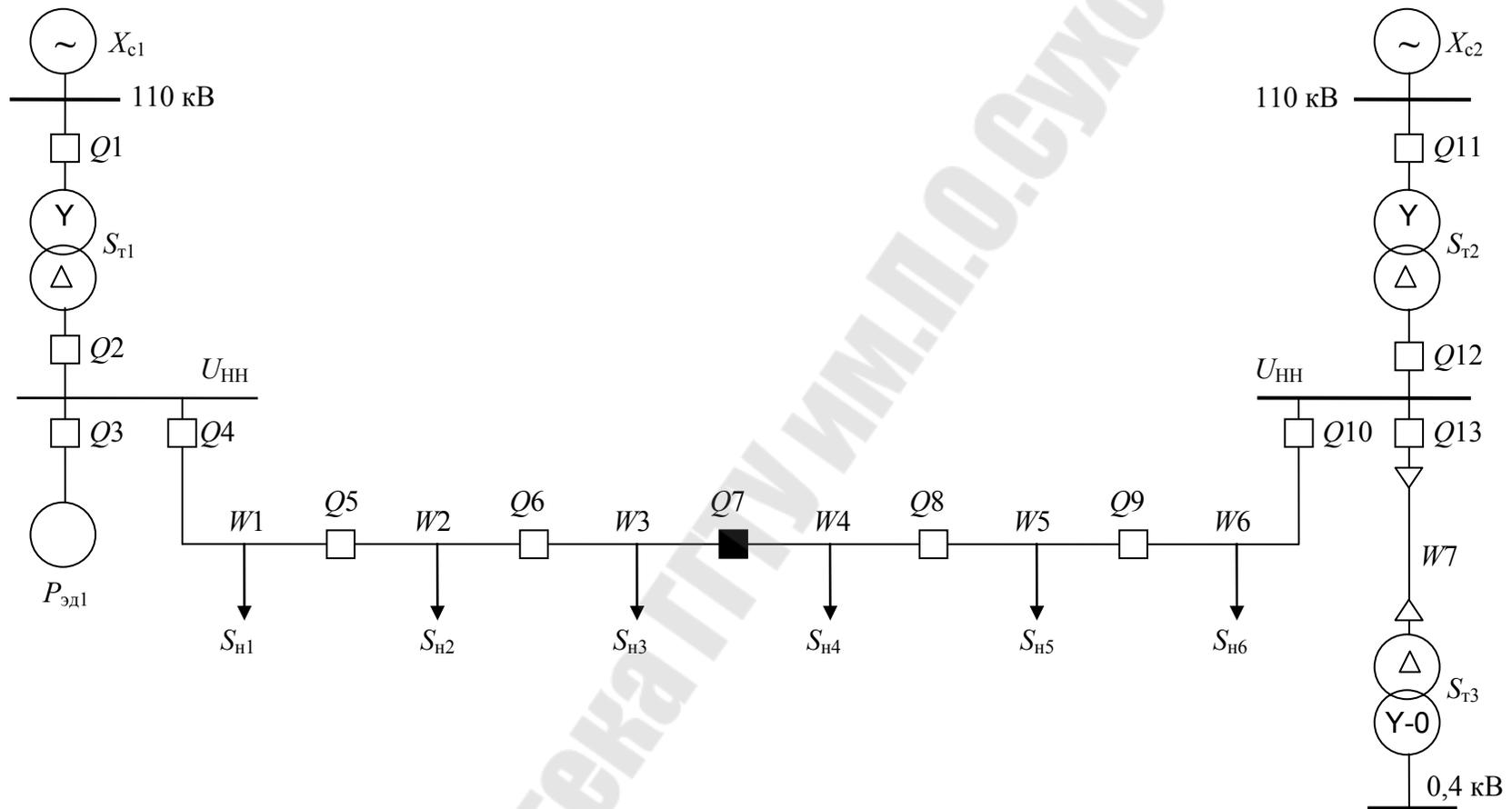


Рис. 3. Расчетная схема секционированных линий районных электрических сетей

Таблица 3

Параметры элементов расчетной схемы рис. 3

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	$X_{c1}, \text{ Ом}$	30	15	21	27	17	13	32	25	16	19
	$X_{c2}, \text{ Ом}$	26	24	17	16	35	26	18	32	28	24
	$U_{\text{нн}}, \text{ кВ}$	6	10	6	10	6	10	6	6	10	10
	$S_{T1}, \text{ МВА}$	10	16	10	16	16	25	10	16	25	25
	$S_{T2}, \text{ МВА}$	10	10	16	25	10	16	25	10	10	16
	$S_{T3}, \text{ кВА}$	1000	2500	400	1600	630	1000	1600	2500	1000	400
	$P_{\text{ЭДЛ}}, \text{ кВт}$	1600	4000	1250	250	3150	8000	800	2000	6300	5000
	$S_{\text{н1}}, \text{ кВА}$	250	250	100	160	160	250	180	160	180	250
	$S_{\text{н2}}, \text{ кВА}$	100	100	180	100	250	160	250	400	250	180
	$S_{\text{н3}}, \text{ кВА}$	160	400	250	630	180	630	320	100	100	630
	$S_{\text{н4}}, \text{ кВА}$	180	250	400	400	100	400	250	180	160	400
	$S_{\text{н5}}, \text{ кВА}$	250	180	100	180	160	180	160	250	180	250
	$S_{\text{н6}}, \text{ кВА}$	160	160	160	160	250	560	180	180	250	160
	$W1, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/2,1	70/3,6	50/1,9	70/2,8	50/1,1	95/4,0	70/2,0	95/3,9	70/2,3	95/4,1
	$W2, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,2	70/0,8	50/1,3	70/1,2	50/2,1	95/4,1	70/1,7	70/1,5	70/1,9	95/2,0
	$W3, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,7	70/2,3	50/0,9	70/1,5	50/1,3	95/3,5	50/1,2	70/2,0	50/1,5	95/3,2
	$W4, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/0,9	70/1,1	50/1,6	70/2,0	50/0,9	95/2,9	50/0,9	70/1,3	50/0,9	70/1,7
	$W5, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,4	70/2,0	50/1,2	70/1,6	50/1,6	95/1,8	70/1,8	70/1,6	50/1,3	70/2,9
$W6, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,8	70/2,1	50/2,2	70/0,9	50/2,3	95/4,3	70/2,2	95/3,1	70/2,1	95/3,8	
$W7, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/2,2	240/1,5	50/3,5	185/2,1	70/2,5	120/1,6	185/1,3	240/1,1	70/1,8	50/4,0	
$\sum I_c, \text{ А}$	4,8	9,5	7,8	18,2	24,5	13,2	16,4	10,7	8,3	12,8	

Таблица 4

Параметры элементов расчетной схемы рис. 4

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	$X_{Г1}, \text{ Ом}$	0,8	0,6	0,4	0,7	0,5	0,4	0,7	0,9	0,3	1,0
	$X_{Г2}, \text{ Ом}$	0,7	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,8	0,7	0,4	0,9
	$U_{НН}, \text{ кВ}$	6	10	6	10	6	10	6	6	10	10
	$S_{Г1}, \text{ МВА}$	25	32	40	25	32	40	32	25	40	25
	$S_{Г2}, \text{ МВА}$	25	32	40	25	32	40	32	25	40	25
	$S_{Г3}, \text{ кВА}$	400	1600	630	1600	1000	2500	1000	630	1600	1000
	$S_{Г4}, \text{ кВА}$	400	1000	400	1000	630	1600	630	400	1000	1000
	$S_{Г5}, \text{ кВА}$	400	630	1000	630	1600	2500	1000	400	2500	1600
	$P_{ЭД1}, \text{ кВт}$	400	5000	630	800	400	5000	800	400	6300	800
	$P_{ЭД2}, \text{ кВт}$	630	800	400	5000	1000	630	630	800	1000	630
	$Q_{БСК}, \text{ кВАр}$	900	1350	450	3150	2700	3150	2250	3150	900	1350
	$S_{Н1}, \text{ кВА}$	630	800	1000	1200	1600	1000	1600	1300	800	1000
	$W1, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/2,0	240/1,5	70/1,9	240/1,4	185/1,0	240/0,8	185/1,1	50/2,1	240/1,6	185/1,8
	$W2, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,8	240/1,3	70/2,0	240/1,3	185/0,9	240/0,8	185/1,0	50/1,9	240/1,4	185/1,6
	$W3, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/2,1	185/1,5	50/1,8	185/1,4	70/2,2	185/1,4	50/1,3	70/2,1	240/0,9	70/2,3
	$W4, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,8	185/1,3	50/2,0	185/1,2	70/2,1	185/1,2	50/1,8	70/1,9	240/1,0	70/2,1
$W5, \text{ мм}^2/\text{км}$	35/1,3	50/1,8	95/1,4	70/2,4	185/1,2	240/0,9	95/1,7	95/3,0	240/1,5	185/1,1	
$\sum I_c, \text{ А}$	19,3	11,3	13,2	10,5	18,4	9,6	15,3	17,6	8,9	7,5	

Таблица 5

Параметры элементов расчетной схемы рис. 5

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Параметры	$X_{c1}, \text{ Ом}$	13	30	22	11	17	25	8	9	25	27	
	$X_{c2}, \text{ Ом}$	20	16	10	15	23	18	15	17	41	32	
	$U_{\text{HH}}, \text{ кВ}$	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	
	$S_{T1}, \text{ МВА}$	25	16	10	32	25	16	16	16	32	25	10
	$S_{T2}, \text{ МВА}$	16	16	10	25	16	10	16	16	16	25	10
	$S_{T3}, \text{ кВА}$	1000	2500	1000	2500	1600	630	1600	1000	2500	630	
	$P_{\text{ЭД1}}, \text{ кВт}$	6300	5000	1600	8000	5000	3150	4000	6300	3150	800	
	$P_{\text{ЭД2}}, \text{ кВт}$	3150	2500	1250	4000	2500	2000	3150	4000	5000	1000	
	$Q_{\text{БСК}}, \text{ кВАр}$	1800	1350	90	3150	900	1350	1800	2700	3150	450	
	$S_{\text{H1}}, \text{ кВА}$	6000	4000	3000	7000	5000	4000	5000	8000	6000	2000	
	$S_{\text{H2}}, \text{ кВА}$	420	760	210	230	350	630	160	320	570	750	
	$S_{\text{H3}}, \text{ кВА}$	340	520	180	380	600	430	320	460	190	330	
	$S_{\text{H4}}, \text{ кВА}$	560	400	430	520	390	350	330	670	450	830	
	$W1, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,7	95/3,2	35/1,1	50/1,8	50/1,5	70/2,1	35/0,9	50/1,6	70/1,0	95/2,7	
	$W2, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,5	95/1,8	35/0,9	50/0,9	50/1,1	70/1,8	35/0,7	50/1,2	70/1,2	95/3,1	
$W3, \text{ мм}^2/\text{км}$	35/0,8	70/1,2	35/0,7	35/0,6	50/0,9	35/0,6	35/0,5	50/0,9	50/1,0	70/1,2		
$\sum I_c, \text{ А}$	9,3	15,2	6,9	12,5	8,3	5,8	14,7	18,5	7,8	19,2		

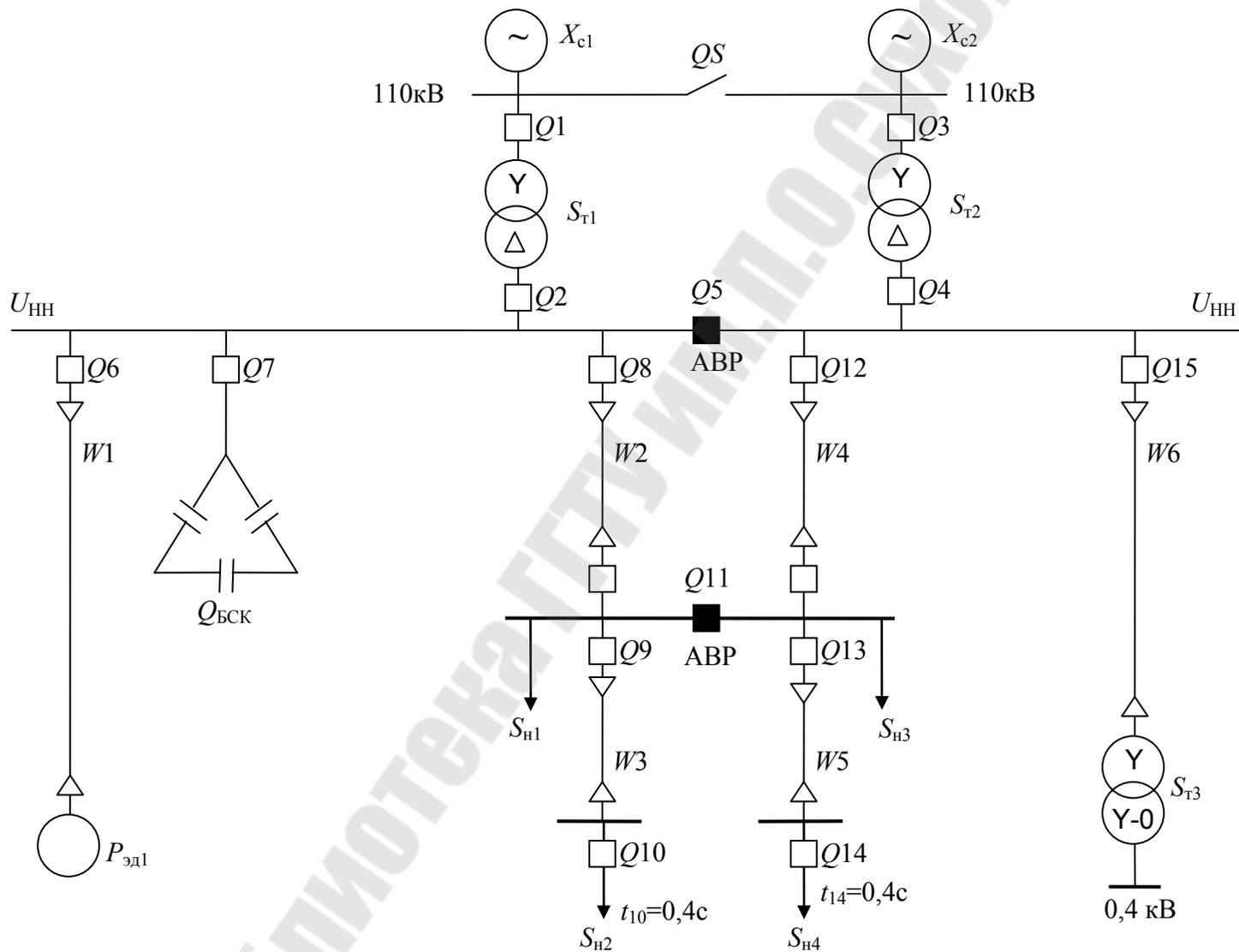


Рис. 6. Расчетная схема подстанции и распределительного пункта

Таблица 6

Параметры элементов расчетной схемы рис. 6

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	$X_{c1}, \text{ Ом}$	17	8	12	11	16	10	22	14	17	18
	$X_{c2}, \text{ Ом}$	24	17	18	16	23	25	15	19	21	9
	$U_{\text{НН}}, \text{ кВ}$	6	10	6	6	10	10	6	10	10	6
	$S_{T1}, \text{ МВА}$	10	16	25	16	10	32	10	25	16	25
	$S_{T2}, \text{ МВА}$	16	16	16	25	10	32	16	16	10	32
	$S_{T3}, \text{ кВА}$	1000	1600	2500	1000	1600	2500	630	1600	1000	2500
	$P_{\text{ЭДЛ}}, \text{ кВт}$	1250	4000	5000	3150	800	6300	1000	5000	1600	6300
	$Q_{\text{БСК}}, \text{ кВАр}$	1350	2700	3150	2250	450	3150	900	2700	900	3150
	$S_{\text{Н1}}, \text{ кВА}$	630	1600	1000	630	400	1000	630	630	1000	400
	$S_{\text{Н2}}, \text{ кВА}$	400	320	400	250	180	400	250	1000	400	1000
	$S_{\text{Н3}}, \text{ кВА}$	630	630	630	400	250	630	400	400	630	630
	$S_{\text{Н4}}, \text{ кВА}$	250	180	250	180	160	1000	180	560	250	560
	$W1, \text{ мм}^2/\text{км}$	150/1,3	240/1,2	2(240)/1	185/1,2	50/0,8	2(240)/1	70/1,2	2(185)/1	150/1,7	2(240)/1
	$W2, \text{ мм}^2/\text{км}$	185/1,8	240/2,5	240/3,1	185/1,7	120/1,2	150/1,2	185/1,9	150/1,3	185/2,1	240/3,2
	$W3, \text{ мм}^2/\text{км}$	70/1,5	50/1,6	70/1,8	35/1,1	35/0,9	70/1,9	35/0,7	150/2,3	50/1,4	120/2,1
	$W4, \text{ мм}^2/\text{км}$	185/1,8	240/2,5	240/3,1	185/1,7	120/1,2	150/1,2	185/1,9	150/1,3	185/2,1	240/3,2
	$W5, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,1	35/0,8	50/1,5	35/0,7	35/0,6	95/2,1	35/1,0	70/1,7	50/1,4	70/1,8
	$W6, \text{ мм}^2/\text{км}$	95/1,3	185/2,1	185/1,1	120/1,8	120/1,7	185/1,3	120/1,6	150/1,9	70/1,2	240/1,1
$\sum I_c, \text{ А}$	8,3	6,5	16,2	9,4	7,3	11,6	9,5	13,1	15,6	18,2	

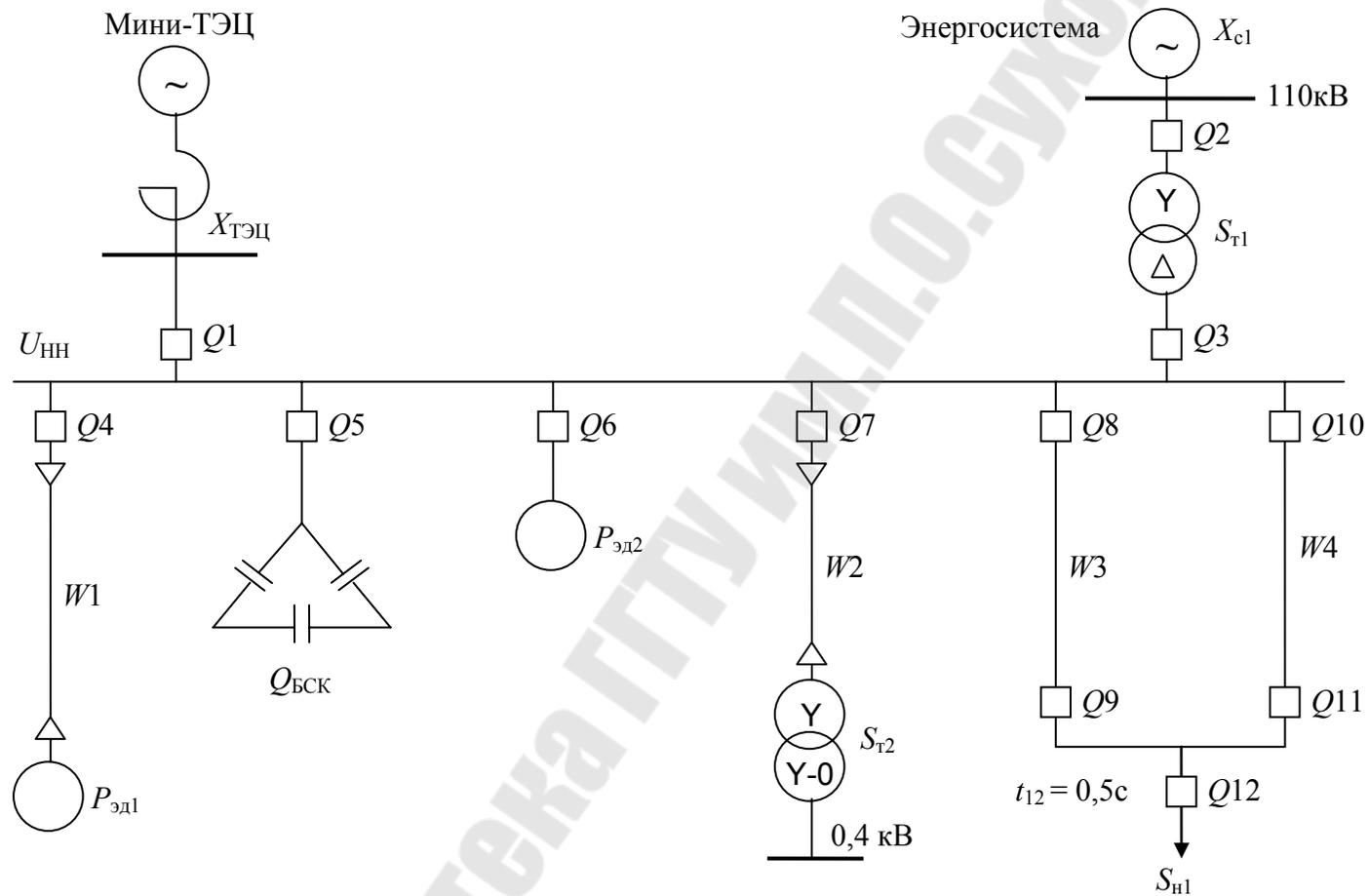


Рис. 7. Расчетная схема подстанции с комбинированным питанием от энергосистемы и мини-ТЭЦ

Таблица 7

Параметры элементов расчетной схемы рис. 7

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	X_{c1}, Ом	13	9,4	20	24	11	15	18	17	19	16
	$X_{TЭЦ}$, Ом	1,1	0,65	1,2	0,8	1,0	0,75	1,1	0,7	0,95	0,76
	$U_{нн}$, кВ	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6
	S_{T1}, МВА	25	32	16	10	32	25	16	25	16	25
	S_{T2}, кВА	2500	1600	630	1000	2500	1000	1600	1000	1600	630
	$P_{ЭД1}$, кВт	1000	1000	630	400	1250	630	400	800	400	630
	$P_{ЭД2}$, кВт	4000	5000	2500	2000	6300	5000	3150	5000	2500	4000
	$Q_{БСК}$, кВАр	1350	3150	2250	900	3150	2700	2250	3150	900	2700
	$S_{н1}$, кВА	900	800	1600	1800	1100	1200	720	900	2000	1300
	$W1$, мм²/км	120/0,7	150/0,5	95/0,6	95/0,8	240/0,3	120/1,1	70/0,7	95/0,6	95/1,2	70/0,8
	$W2$, мм²/км	240/0,4	185/0,6	95/0,9	120/1,0	240/0,5	120/0,7	185/0,6	185/0,5	240/0,5	95/1,3
	$W3$, мм²/км	35/1,5	50/2,0	70/2,5	95/3,5	50/1,8	70/2,2	35/1,4	50/2,2	95/3,3	70/2,1
	$W4$, мм²/км	35/1,5	50/2,0	70/2,5	95/3,5	50/1,8	70/2,2	35/1,4	50/2,2	95/3,3	70/2,1
$\sum I_c$, А	6,4	13	8,3	15	9,2	18	10	20	11	17	

Таблица 8

Параметры элементов расчетной схемы рис. 8

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	$X_{c1}, \text{ Ом}$	17	8	13	18	17	16	15	22	19	21
	$X_{c2}, \text{ Ом}$	20	12	14	30	11	13	32	18	10	15
	$U_{\text{нн}}, \text{ кВ}$	10	6	6	10	6	6	10	6	10	10
	$S_{T1}, \text{ МВА}$	10	10	25	16	10	32	16	16	25	32
	$S_{T2}, \text{ МВА}$	16	10	16	10	10	25	16	10	10	25
	$S_{T3}, \text{ кВА}$	100	160	180	250	400	630	180	250	400	630
	$S_{T4}, \text{ кВА}$	400	1000	1600	1000	630	2500	630	1000	1600	2500
	$P_{\text{эд1}}, \text{ кВт}$	1250	630	1600	1250	800	1600	1250	800	1600	2500
	$P_{\text{эд2}}, \text{ кВт}$	800	1000	800	1600	630	1000	1000	1000	1600	1250
	$Q_{\text{бск}}, \text{ кВАр}$	900	2250	1350	900	450	2700	900	1800	2250	3150
	$S_{\text{н1}}, \text{ кВА}$	2000	1300	3500	1700	1200	6000	1800	2000	3000	4600
	$W1, \text{ мм}^2/\text{км}$	120/1,5	150/2,0	240/1,2	185/1,7	120/1,3	240/0,9	150/0,9	185/1,1	185/1,6	240/1,8
	$W2, \text{ мм}^2/\text{км}$	120/1,5	150/2,0	240/1,2	185/1,7	120/1,3	240/0,9	150/0,9	185/1,1	185/1,6	240/1,8
	$W3, \text{ мм}^2/\text{км}$	35/2,2	70/1,8	185/1,3	50/0,9	50/1,6	240/1,1	50/1,8	95/1,3	185/1,4	240/1,5
	$W4, \text{ мм}^2/\text{км}$	35/0,9	120/1,5	120/0,6	95/0,9	70/0,6	240/0,4	95/0,8	50/0,4	185/0,8	240/0,6
	$W5, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/0,7	50/0,4	95/1,5	120/0,3	50/0,4	95/1,1	70/0,7	70/1,0	185/0,6	50/0,9
$\sum I_c, \text{ А}$	7,0	8,5	14,0	7,8	5,6	9,5	8,7	14,5	16,3	13,7	

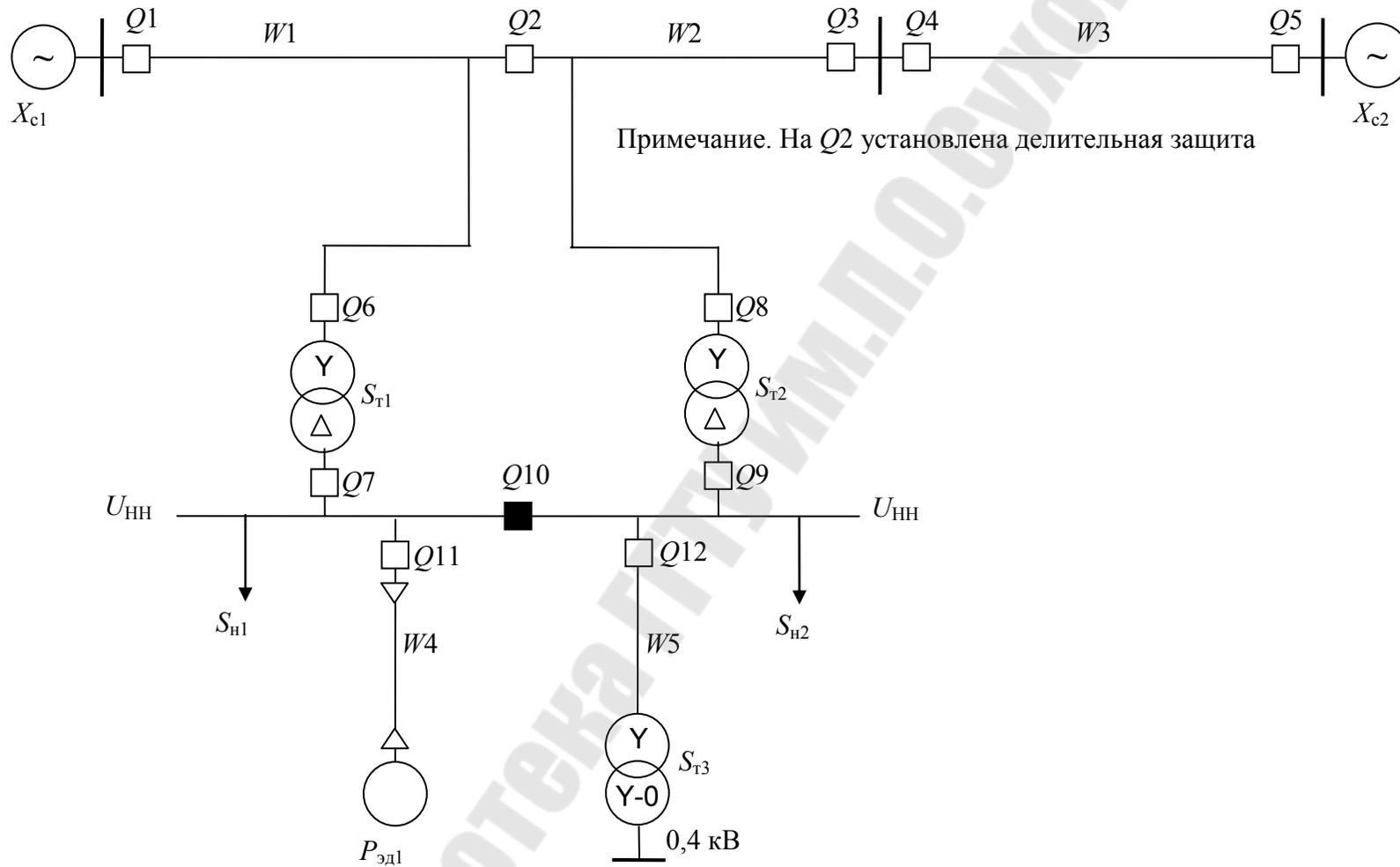


Рис. 9. Расчетная схема подключения подстанции к линии 110 кВ с помощью отпаяк нулевой длины

Таблица 9

Параметры элементов расчетной схемы рис. 9

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	$X_{c1}, \text{ Ом}$	22	16	17	12	10	8	14	18	25	17
	$X_{c2}, \text{ Ом}$	15	23	24	18	22	27	19	9	16	21
	$U_{HH}, \text{ кВ}$	6	10	6	6	10	10	10	6	6	10
	$S_{T1}, \text{ МВА}$	16	10	16	16	25	16	16	31	25	10
	$S_{T2}, \text{ МВА}$	16	10	16	16	25	16	16	31	25	10
	$S_{T3}, \text{ кВА}$	400	1000	1600	1000	630	2500	630	1000	1600	2500
	$P_{ЭДЛ}, \text{ кВт}$	630	800	2500	5000	6300	4000	5000	6300	3150	1600
	$S_{H1}, \text{ кВА}$	160	250	630	400	630	400	630	250	160	160
	$S_{H2}, \text{ кВА}$	630	400	160	250	160	160	250	400	250	400
	$W1, \text{ км}$	22	26	28	36	25	29	17	30	23	27
	$W2, \text{ км}$	43	32	47	38	44	41	55	34	52	45
	$W3, \text{ км}$	36	57	61	42	53	37	41	55	37	59
	$W4, \text{ мм}^2/\text{км}$	95/0,9	120/1,2	240/1,5	2(240)/1	2(240)/1	2(240)/1	2(240)/1	2(240)/1	240/1,3	240/1,2
	$W5, \text{ мм}^2/\text{км}$	50/1,6	95/1,7	120/1,3	95/2,9	70/1,5	240/1,4	50/0,8	120/1,0	185/1,8	240/1,3
$\sum I_c, \text{ А}$	9,2	7,4	8,6	16,7	11,4	6,8	13,3	18,2	9,6	15,7	

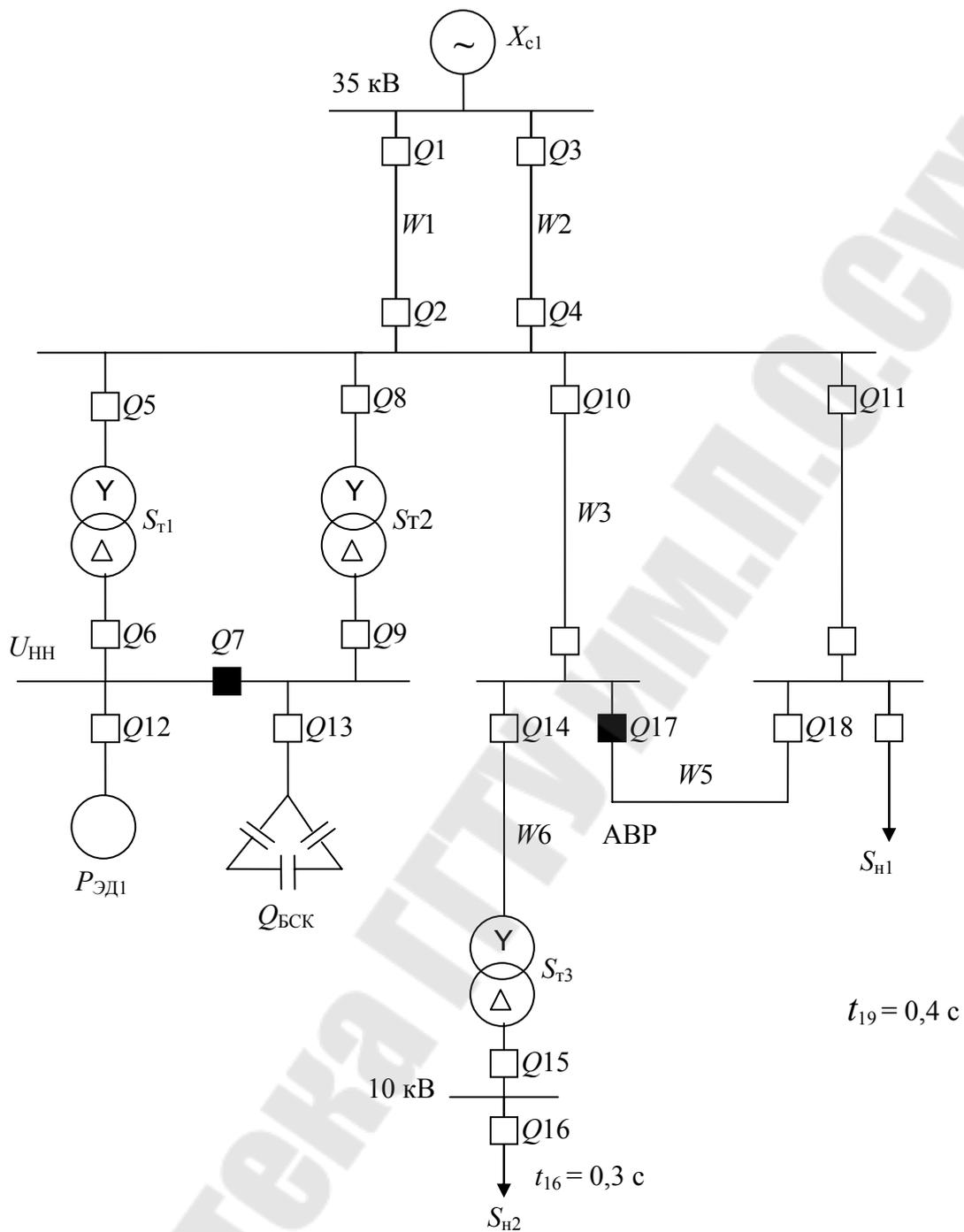


Рис. 10. Расчетная схема распределительной сети 35 кВ

Параметры элементов расчетной схемы рис. 10

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры	X_{c1} , Ом	1,8	2,0	3,3	2,4	2,7	3,1	2,9	3,2	2,2	2,8
	U_{HH} , кВ	6	10	6	6	10	6	10	6	10	10
	S_{T1} , кВА	4000	6300	2500	1600	6300	2500	4000	1600	6300	4000
	S_{T2} , кВА	4000	4000	1600	2500	4000	1600	6300	2500	4000	6300
	S_{T3} , кВА	630	2500	1000	2500	2500	1000	2500	2500	630	4000
	$P_{ЭД}$, кВт	1000	1600	630	800	1600	630	1000	800	1250	1000
	$Q_{БСК}$, кВАр	1350	2250	450	900	1350	450	900	450	1350	900
	S_{H1} , кВА	4000	1000	2500	1000	1600	630	4000	1000	1600	630
	S_{H2} , кВА	280	1200	400	1100	1300	400	800	1000	240	1600
	$W1$, мм ² /км	150/6,0	120/4,3	95/2,9	95/3,0	120/4,2	95/3,5	120/4,0	120/4,5	150/6,5	150/5,0
	$W2$, мм ² /км	150/6,0	120/4,3	95/2,9	95/3,0	120/4,2	95/3,5	120/4,0	120/4,5	150/6,5	150/5,0
	$W3$, мм ² /км	120/13	95/10	70/6,5	70/7,0	95/9,0	70/7,5	95/9,6	95/8,5	120/12	120/8,0
	$W4$, мм ² /км	120/14	95/11	70/8,0	70/8,5	95/10	70/8,0	95/10	95/9,5	120/13	120/9,0
	$W5$ мм ² /км	95/2,1	70/1,6	50/1,0	50/1,2	70/1,7	50/1,4	70/1,9	70/1,8	95/2,2	95/1,5
$W6$ мм ² /км	25/0,6	25/0,7	25/0,5	25/0,7	25/0,6	25/0,8	25/0,9	25/0,6	25/0,4	35/0,9	

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок -6-е изд. –М.: Энергоатомиздат, 1999.
2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 1991.
3. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
4. Евминов Л.И. Курганов В.В. Релейная защита и автоматика: Учебное пособие для студентов специальности «Электроэнергетика» высших учебных заведений. – Гомель: УО «ГГТУ имени П.О.Сухого», 2009.
5. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Л: Энергоатомиздат, 1985.
6. М/ук. № 3022. Курганов В.В. Выбор защитных характеристик и расчет уставок цифровых реле: Пособие для курсового и дипломного проектирования. – Гомель: УО «ГГТУ имени П.О.Сухого», 2005.
7. Курганов, В. В. Релейная защита и автоматика : метод. указания к контрол. работам / В. В. Курганов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Величины линейных напряжений, применяемых в ЭЭС

Номинальное напряжение сети, кВ	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение сети, кВ	Среднее напряжение, кВ
6,0	7,2	6,9	6,3
10,0	12	11,5	10,5
35,0	40,5	40,5	37,0
110,0	126,0	126,0	115,0
220,0	252,0	252,0	230,0
330,0	363,0	363,0	340,0
750,0	787,0	787,0	770,0

Таблица П2

Расчетные значения напряжения короткого замыкания (u_k , %) на крайних ответвлениях регулируемой обмотки 110 кВ, отнесенные к номинальной мощности трансформатора и напряжениям соответствующих крайних ответвлений, при $\Delta U_{РПН} = \pm 16\%$

Тип трансформатора	Значение u_k , % между обмотками						
	ВН-НН			СН-НН	ВН-СН		
	min	ср	max	ср	min	ср	max
Двухобмоточные трансформаторы, в том числе с расщепленными обмотками							
ТДН-10000/115/6,6	8,70	10,5	12,36	—	—	—	—
ТДН-16000/115/6,6	9,80	10,5	11,71	—	—	—	—
ТРДН-25000/115/6,3–6,3	9,84	10,5	11,72	—	—	—	—
ТРДН-32000/115/6,3–6,3	9,77	10,5	11,58	—	—	—	—
ТРДН-40000/115/6,3–6,3	9,59	10,5	11,46	—	—	—	—
ТРДЦН-63000/115/6,3-10,5	10,84	10,5	11,90				
Трехобмоточные трансформаторы							
ТДТН-10000/115/38,5/6,6	16,66	17,0	19,50	6,0	9,99	10,5	12,69
ТДТН-16000/115/38,5/6,6	16,40	17,0	18,50	6,0	9,50	10,5	11,69
ТДТН-25000/115/11/6,6	17,47	17,5	19,50	6,5	9,99	10,5	11,86
ТДТН-25000/115/38,5/6,6	17,47	17,5	19,50	6,5	9,99	10,5	11,86
ТДТН-40000/115/38,5/6,6	17,04	17,5	19,29	6,5	9,52	10,5	11,56
ТДТН-63000/115/38,5/6,6	17,14	17,5	19,20	7,0	10,1	10,5	10,90

Примечание: для всех указанных трансформаторов $U_{ном.ср} = 115$ кВ, $U_{ном.min} = 96,6$ кВ (при $\Delta U_{РПН} = -16\%$); $U_{ном.max} = 133,4$ кВ (при $\Delta U_{РПН} = +16\%$).

Таблица ПЗ

Сопrotивление $z_{\text{тр}}^{(1)}/3$ трансформаторов напряжением 6(10)/0,4 кВ со схемой соединения обмоток Y/Y-0 для определения токов однофазного КЗ

Мощность трансформатора, кВА	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
$\frac{1}{3}z_{\text{тр}}^{(1)}$, Ом	0,65	0,41	0,26	0,16	0,1	0,065	0,042	0,027	0,018

Таблица П4

Расчетные значения u_k , % на крайних ответвлениях регулируемой обмотки 35 кВ трансформатора при $\Delta U_{\text{РПН}} = \pm 9\%$

$S_{\text{ном}}$, кВА	Ответвление	$U_{\text{ном}}$, кВ	u_k , %
1 – 2,5	Крайнее –	31,85	6,85
	Среднее	35,00	6,50
	Крайнее +	38,15	6,00
4 и 6,3	Крайнее –	31,85	7,00
	Среднее	35,00	7,50
	Крайнее +	38,15	8,60

Таблица П5

Номинальные токи плавких вставок предохранителей типа ПКТ для защиты трансформаторов 6/0,4 и 10/0,4 кВ

Мощность трансформатора, кВА	Номинальный ток, А			
	трансформатора на стороне		предохранителя на стороне	
	6кВ	10кВ	6кВ	10кВ
25	2,40	1,44	8	5
40	3,83	2,30	10	8
63	6,05	3,64	16	10
100	9,60	5,80	20	16
160	15,40	9,25	31,5	20
250	24,00	14,40	50	40 (31,5)
400	38,30	23,10	80	50
630	60,50	36,40	160	80

Таблица П6

Удельные активные и индуктивные сопротивления силовых кабелей с поясной изоляцией

Номинальное сечение жил, мм ²	Активное сопротивление, Ом/км		Индуктивное сопротивление, Ом/км при номинальном напряжении, кВ, равном		
	алюминия	меди	6	10	35
25	1,24	0,74	0,091	0,099	–
35	0,89	0,52	0,087	0,095	–
50	0,62	0,37	0,083	0,09	–
70	0,443	0,26	0,08	0,086	0,137
95	0,326	0,194	0,078	0,083	0,126
120	0,258	0,153	0,076	0,081	0,120
150	0,206	0,122	0,074	0,079	0,116
185	0,167	0,099	0,073	0,077	0,113
240	0,129	0,077	0,071	0,075	–

Таблица П7

Справочные данные проводов воздушных линий 6 -10 кВ

Марка	R, Ом/км	X, Ом/км	I _{доп.} , А	I _{с.} , А/км
A-35 (AC-35)	0.850 (0,790)	0.366	175	0.025
A-50 (AC-50)	0.588 (0,603)	0.355	210	0.025
A-70 (AC-70)	0.420 (0,429)	0.345	265	0.025
A-95 (AC-95)	0.315 (0,306)	0.334	330	0.025
A-120 (AC-120)	0.251 (0,249)	0.327	380	0.025
A-150 (AC-150)	0.198 (0,199)	0.319	445	0.025
A-185 (AC-185)	0.161 (0,157)	0.311	510	0.025
A-240 (AC-240)	0,123 (0.124)	0.369	610	0.025

Таблица П8

Удельные значения емкостных токов в кабельных линиях

Сечение жил кабеля, мм ²	Удельное значение емкостного тока, А/км при напряжении сети	
	6кВ	10кВ
16	0,40	0,55
25	0,50	0,65
35	0,58	0,72
50	0,68	0,80
70	0,80	0,92
95	0,90	1,04
120	1,00	1,16
150	1,18	1,30
185	1,25	1,47
240	1,45	1,70

Таблица П9

**Параметры синхронных двигателей серии СТД напряжением
6 и 10кВ**

$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$U_{\text{НОМ}} = 6,3$ кВ		$U_{\text{НОМ}} = 10,5$ кВ	
	$I_{\text{НОМ}}$, А	X_d'' , Ом	$I_{\text{НОМ}}$, А	X_d'' , Ом
630	67,3	9,52	40,4	26,5
800	85,7	7,6	51,4	21,1
1000	106	5,1	63,8	14/4
1250	133	4,23	79,7	11,7
1600	170	3,16	102	8,78
2000	211	2,5	126,5	6,94
2500	263	2,25	157,8	6,24
3150	336	1,63	202	4,52
4000	416	1,3	250	3,63
5000	525	0,89	315	2,49
6300	660	0,88	396	2,44
8000	833	0,63	500	1,75
10000	1045	0,43	627	1,2
12000	1300	0,32	781	0,88

Примечание. X_d'' – сверхпереходное сопротивление электродвигателя.

Таблица П10

Типы и пределы токов срабатывания (уставок) токовых реле

Тип реле тока	Пределы уставок реле при соединении катушек, А	
	последовательное	параллельное
РТ 40/0,2	0,05 – 1	0,1 – 0,2
РТ 40/0,6	0,15 – 0,3	0,3 – 0,6
РТ 40/2	0,5 – 1	1 – 2
РТ 40/6	1,5 – 3	3 – 6
РТ 40/10	2,5 – 5	5 – 10
РТ 40/20	5 – 10	10 – 20
РТ 40/50	12,5 – 25	25 – 50
РТ 40/100	25 – 50	50 – 100
РТ 40/200	50 – 100	100 – 200
РСТ 11(13) – 04	0,05 – 0,2 (шаг дискретизации 0,005 А)	
РСТ 11(13) – 09	0,15 – 0,6 (шаг дискретизации 0,015 А)	
РСТ 11(13) – 14	0,5 – 2 (шаг дискретизации 0,05 А)	
РСТ 11(13) – 19	1,5 – 6 (шаг дискретизации 0,15 А)	
РСТ 11(13) – 24	5 – 20 (шаг дискретизации 0,5 А)	
РСТ 11(13) – 29	15 – 60 (шаг дискретизации 1,5 А)	
РСТ 11(13) – 32	30 – 120 (шаг дискретизации 3 А)	

**Международные коды ANSI для обозначения защитных функций
цифровые реле**

Коды ANSI	Наименование защиты (защитной функции)
50/51	Токовая отсечка и МТЗ от междуфазных КЗ (4 ступени)
50N/51N	ТО и МТЗ от замыкания на землю (нулевой последовательности)
67	Направленная МТЗ
67N	Направленная защита от замыкания на землю
51V	МТЗ с пуском по минимальному напряжению
27	Минимального напряжения
59	Максимального напряжения
59N	Максимального напряжения нулевой последовательности $3U$
81H (81L)	Максимальной (минимальной) частоты
46	По току обратной последовательности
47	По напряжению обратной последовательности
21P	Дистанционная линии
78	Блокировка при качаниях
87T (87F)	Дифференциальная трансформатора (линии)
63	Газовая
49	От перегрузки
48/51	От затяжного пуска и заклинивания ротора
66	Ограничения числа пусков
50/27	Ускорение защиты при включении
79	АПВ
50BF	УРОВ
68	Логическая селективность
86	Защелкивание выходных реле

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Выбор вариантов задания на курсовую работу	3
Общие указания по принятым условным обозначениям параметров элементов расчетной схемы	4
Объем и содержание курсовой работы	5
Краткие указания по расчету токов короткого замыкания ...	6
1. Защита линий электропередачи	8
2. Защита трансформаторов	10
3. Защита электродвигателей напряжением выше 1кВ	11
4. Защита батареи статических конденсаторов	11
Литература	32
Приложение	33

Евминов Леонид Иванович
Курганов Владимир Васильевич

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
к курсовой работе по одноименному курсу
для студентов специальности 1-43 01 02
«Электроэнергетические системы и сети»**

Подписано в печать 24.03.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,76.

Изд. № 179.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждения образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.