

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



СВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

*О.Г. Локтионова*

2017 г.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ**

Методические указания по выполнению курсового проекта для  
студентов направления подготовки 13.03.02

Курск 2017

УДК 621.311

М 54

Составитель А.Н. Горлов, О.М. Ларин, И.В. Ворначева, А.О. Танцюра

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электроснабжение» *В.И. Бирюлин*

**Электрические станции и подстанции:** методические указания по выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 13.03.02/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Н. Горлов, О.М. Ларин, И.В. Ворначева, А.О. Танцюра. Курск, 2017. 46 с.: ил. 6, табл. 7, прилож. 5. Библиогр.: с. 46.

Содержат сведения о методике выбора силовых трансформаторов, электрических аппаратов, кабелей и о разработке конструкции подстанций. Указывается порядок выполнения курсового проекта, подходы к решению различных задач и правила оформления курсового проекта.

Предназначены для направления подготовки 13.03.02 всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *28 03 17*. Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. 2,8. Уч.-изд.л. 2,5 Тираж 100 экз. Заказ *36* Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

Перечень принятых сокращений .....	5
Введение.....	6
1. Цели, задачи и состав курсового проектирования .....	7
2. Организация курсового проектирования .....	8
3. Методические указания по выполнению этапов проектирования .....	9
3.1. Выбор количества, типа и мощности силовых трансформаторов .....	9
3.2. Расчет токов короткого замыкания и их ограничение...	9
3.2.1. Расчет токов короткого замыкания .....	9
3.2.2. Определение необходимости ограничения токов короткого замыкания .....	11
3.2.3. Ограничение токов короткого замыкания .....	12
3.3. Разработка схем подстанции .....	12
3.3.1. Определение структурной схемы и основных характеристик подстанции .....	12
3.3.2. Разработка главной схемы подстанции .....	13
3.3.2.1. Разработка схемы высшего напряжения .....	13
3.3.2.2. Разработка схемы низшего напряжения .....	16
3.3.3. Выбор вида оперативного тока .....	18
3.3.4. Выбор трансформаторов собственных нужд .....	18
3.3.5. Выбор схемы питания трансформаторов собственных нужд .....	19
3.4. Выбор электрических аппаратов, кабелей и электроизмерительных приборов .....	20
3.4.1. Общие сведения .....	20
3.4.2. Объем работы по выбору электрических аппаратов, кабелей и электроизмерительных приборов .....	21
3.4.3. Выбор по номинальному напряжению и категории изоляции .....	22
3.4.4. Выбор кабелей по нормированной экономической плотности тока .....	23
3.4.5. Выбор по длительному току .....	23
3.4.6. Проверка электродинамической стойкости и включающей способности .....	24

3.4.7. Проверка термической стойкости .....	24
3.4.8. Проверка отключающей способности .....	24
3.4.9. Проверка на потерю напряжения .....	24
3.4.10. Выбор электроизмерительных приборов и измерительных трансформаторов .....	25
3.4.11. Расчет кабелей, соединяющих измерительные трансформаторы с электроизмерительными приборами .....	25
3.4.12. Выбор приводов коммутационных аппаратов .....	26
3.4.13. Выбор нелинейного ограничителя перенапряжений..	27
3.5. Разработка конструкции подстанции .....	28
3.6. Выполнение графической части .....	29
4. Оформление курсового проекта.....	32
Приложения .....	33
Библиографический список .....	45

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ВЛ – воздушная линия электропередачи,  
ВН – высшее напряжение,  
ГН – график нагрузки,  
ЗН – заземляющий нож,  
ЗРУ – закрытое распределительное устройство,  
КЗ – короткое замыкание,  
КЛ – кабельная линия,  
КРУ – комплектное распределительное устройство для внутренней установки,  
КРУН – комплектное распределительное устройство для наружной установки,  
КТП – комплектная трансформаторная подстанция,  
МУ – методические указания,  
НН – низшее напряжение,  
ОПН – ограничитель перенапряжений нелинейный,  
ОПУ – опорный пункт управления,  
ОРУ – открытое распределительное устройство,  
ОТ – оперативный ток,  
ПАВ – послеаварийный режим,  
ПС – понижающая трансформаторная подстанция,  
РПЗ – расчетно-пояснительная записка,  
РПН – устройство регулирования напряжения под нагрузкой,  
РУ – распределительное устройство,  
СЗА – степень загрязнения атмосферы,  
ТН – трансформатор напряжения,  
ТСН – трансформатор собственных нужд,  
ТТ – трансформатор тока.

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях необходимости обеспечения роста объемов производств как в промышленных, так и сельскохозяйственных сферах экономики страны, а также бурного развития электроники и новейших технологий неизбежен рост потребления электроэнергии не только имеющимися в настоящее время крупными промышленными центрами и предприятиями практически любых отраслей, но прогнозируемыми и организуемыми мелкими фирмами, организациями, а также бытовыми потребителями. Возникает ряд задач, непосредственно связанных с энергоснабжением потребителей. Одной из таких задач является качественное и бесперебойное снабжение электроэнергией. Ее решением может послужить проектирование новых ПС у потребителей.

На ПС всех напряжений, как правило, применяется не более двух трансформаторов по соображениям технической и экономической целесообразности. В большинстве случаев это обеспечивает надежное питание потребителей и в то же время дает возможность применять простейшие блочные схемы подстанций без сборных шин на ВН, что упрощает их конструктивные решения и уменьшает стоимость.

Курсовое проектирование считается первым шагом самостоятельной работы студента по своей специальности, который знакомится с основными приемами и методами проектирования элементов электрической части подстанции, приучается к обобщению теоретических сведений, полученных при изучении специальных курсов, к использованию нормативной документации, ГОСТов, справочной литературы, результатов практики, учебной и периодической литературы для решения отдельных задач и выполнения проекта в целом.

В связи с этим в МУ приводится материал, позволяющий проектанту достаточно обоснованно разработать проект, соответствующий реальным условиям.

Настоящие методические указания посвящены проектированию ПС и могут быть использованы студентами направления подготовки Электроэнергетика и электротехника

## 1. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Целью выполнения курсового проекта является углубление и закрепление студентом теоретических знаний путем применения их к комплексному решению поставленной задачи по изучаемой дисциплине, а также оценка компетентности обучающегося по данной дисциплине.

Курсовое проектирование направлено на закрепление знаний по курсам «Производство электроэнергии» и «Электрические станции и подстанции», приобретение навыков самостоятельных технических решений, практических навыков инженерного проектирования электроустановок, подготовку к курсовому, дипломному проектированию, а также к практической деятельности по избранной специальности.

При проектировании подстанций стараются использовать типовые решения, схемы и элементы. Это приводит к унификации оборудования и, как следствие, к удешевлению обслуживания и проектировочной стоимости, в результате чего главной задачей при проектировании является выбор такого оборудования, которое будет не только обеспечивать качественное и бесперебойное электроснабжение, но в тоже время требовать минимальное обслуживание и быть дешевле своих аналогов.

В курсовом проекте необходимо разработать электрическую часть двухтрансформаторной ПС.

Основными этапами курсового проектирования являются:

1. выбор силовых трансформаторов,
2. расчет токов короткого замыкания и их ограничение,
3. разработка главной схемы ПС,
4. выбор электрических аппаратов и кабелей,
5. разработка конструкции ПС,
6. графическая часть.

## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Выполнять проект рекомендуется в порядке расположения разделов настоящих методических указаний в сроки, определенные графиком курсового проектирования.

Исходные данные для курсового проектирования приведены в приложениях А–В к настоящим методическим указаниям.

Номер варианта задания, процент резерва и состав курсового проекта для студентов дневной и заочной форм обучения определяется преподавателем при выдаче задания, которое может быть изменено преподавателем с целью наибольшего приближения проекта к реальному.

Преподаватель является одновременно руководителем проекта и консультантом. Студент как автор проекта полностью отвечает за принятые в проекте решения, правильность выполнения расчетов и практической части.

Выполненный студентом КП в виде РПЗ и графической части предоставляются для проверки преподавателю в сроки, указанные в графике курсового проектирования.

Студенты дневной формы обучения на индивидуальных консультациях должны предоставлять преподавателю для проверки результаты выполнения ими отдельных этапов проектирования.

Окончательно оформленный проект, содержащий РПЗ и графическую часть, должен быть представлен руководителю проекта. Все замечания по проекту приводятся в письменном виде руководителем проекта в РПЗ и на чертежах.

Проверенные проекты, не имеющие принципиальных ошибок, допускаются руководителем проекта к защите.

Защита проекта происходит открыто перед комиссией, назначенной заведующим кафедрой электроснабжения. На защите автор проекта делает краткое сообщение по основным разделам проекта, отвечает на вопросы членов комиссии.

По результатам сообщения студента, ответов на поставленные вопросы, просмотра РПЗ и графической части, замечаний и мнения руководителя проекта комиссия определяет оценку курсового проекта.



## 9

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 3.1. Выбор количества, типа и мощности силовых трансформаторов

При проектировании ПС выбор мощности силовых трансформаторов выполняют на основании расчета систематических нагрузок и аварийных перегрузок по ГОСТ 14209–97. В курсовом проекте выбрать мощность силовых трансформаторов достаточно исходя из расчета аварийных перегрузок, тем самым будет обеспечено наилучшее использование мощности силовых трансформаторов, уменьшен расход электроэнергии [21].

Наиболее часто проектируются двухтрансформаторные ПС, другое количество силовых трансформаторов применяется редко и должно быть экономически обосновано.

Силовые трансформаторы выбираются однотипными и располагаются обычно на открытой части ПС. Согласно [1] при расширении, реконструкции и техническом перевооружении подстанций 35–220 кВ рекомендуется применять силовые трансформаторы единичной мощностью не выше 10 МВА на подстанциях 35 кВ и не выше 63 МВА – на подстанциях 110 кВ.

#### 3.2. Расчет токов короткого замыкания и их ограничение

##### 3.2.1. Расчет токов короткого замыкания

С целью выбора и проверки электрических аппаратов и кабелей производится расчет токов КЗ в относительных единицах для симметричного трехфазного КЗ.

Для этого следует произвольно задаться величиной базисной мощности  $S_b$ , удобной для расчетов, например, 1000 МВА.

Вычислить приведенные значения сопротивлений для всех элементов расчетной схемы по формулам, приведенным в таблице 1 [2, 3, 9].

Расчетная схема должна быть составлена для удаленного КЗ при включенных всех основных элементах схемы: силовых трансформаторах, ВЛ, секционных выключателях и др.

Таблица 1. Формулы приведенных сопротивлений в относительных

единицах

Элемент схемы	Формула
Электрическая система С1, С2	$X_C = \frac{S_{\delta}}{S_K},$
Воздушная линия электропередачи	$X_{Л} = X_0 l \frac{S_{\delta}}{U_{ВН}^2},$
Трансформатор двухобмоточный с нерасщепленной обмоткой НН	$X_T = \frac{u_{K\%} \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{ном}},$
То же, но с расщепленной обмоткой НН	$X_{T ВН} = 0,125 \frac{u_{K\%} \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{ном}},$
	$X_{T НН} = 1,75 \frac{u_{K\%} \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{ном}},$

где  $S_K$  – мощность КЗ системы С1, С2, МВА;

$X_0$  – индуктивное сопротивление 1 км длины ВЛ, Ом/км;

$l$  – длина ВЛ, км;

$U_{ВН}$  – высшее напряжение, кВ;

$U_{НН}$  – низшее напряжение, кВ;

$u_{K\%}$  – напряжение КЗ трансформатора, % [4, 5, 10, 12];

$S_{ном}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА [4, 5, 10, 12].

Базисный ток на шинах НН и ВН:

$$I_{\delta НН} = S_{\delta} / (\sqrt{3} \cdot U_{\delta НН}), \text{кА}, \quad I_{\delta ВН} = S_{\delta} / (\sqrt{3} \cdot U_{\delta ВН}), \text{кА}. \quad (3.1)$$

Должны быть составлены и рассчитаны не менее трех вариантов схем электроснабжения (например, ремонтная перемычка ВН и секционный выключатель НН включены, потом отключены и другие варианты). После преобразования расчетной схемы определить результирующие сопротивления  $X_{\Sigma НН}$  и  $X_{\Sigma ВН}$  цепей до точек КЗ соответственно на шинах НН и ВН.

В курсовом проекте при расчете токов КЗ необходимо определить следующие величины:

а) начальные действующие значения периодической составляющей на шинах НН и ВН

$$I_{no НН} = I_{\delta НН} / X_{\Sigma НН}, \text{кА}, \quad I_{no ВН} = I_{\delta ВН} / X_{\Sigma ВН}, \text{кА}, \quad (3.2)$$

б) полное время отключения цепи при КЗ

$$t_{om} = t_3 + t_o, \text{ с}, \quad (3.3)$$

где  $t_3$  – время действия релейной защиты, с;  
 $t_o$  – время отключения выключателя, с [4, 14].

Принять в курсовом проекте время действия основной релейной защиты  $t_3 = 0,1 \text{ с}$  [2, 6];

в) время отключения тока КЗ

$$\tau = t_3 + t_{co}, \text{ с}, \quad (3.4)$$

где  $t_{co}$  – собственное время отключения выключателя, с [4, 14];

г) постоянную времени затухания апериодической составляющей  $T_a$ , с (можно выбрать по таблицам [2, 3, 9]);

д) значение апериодической составляющей в момент времени  $\tau - i_{a\tau}$ , кА, [2, 3, 9];

е) ударный ток  $i_y$ , кА;

ж) импульс квадратичного тока КЗ

$$B_k = I_{no}^2(t_{om} + T_a) \cdot 10^6, \text{ А}^2 \cdot \text{с}, \quad (3.5)$$

з) действующее значение периодической составляющей к моменту расхождения контактов выключателя  $\tau$  считать равным  $I_{no}$ , т.е. ток КЗ считать удаленным от генераторов.

3.2.2. Определение необходимости ограничения токов короткого замыкания

Необходимость ограничения тока КЗ на шинах НН должна быть определена на основании проверки двух условий:

1) возможностью отключения токов КЗ вакуумными выключателями типов ВВЭ-М-10, ВБЭТ-10, ВВ/ТЕЛ-10 и др., выпускаемыми в настоящее время взамен маломасляным в комплектных ячейках РУ НН, т.е. необходимо чтобы

$$I_{noНН} \leq I_{отк}, \quad (3.6)$$

где  $I_{отк}$  – номинальный ток отключения выключателя НН [14], кА;

2) термической стойкостью головных участков кабельной сети, т.е. кабелей, отходящих от РУ НН.

Минимальную площадь сечения кабеля (кроме СПЭ-кабелей), отвечающую требованию его термической стойкости при КЗ, можно приближенно определить по формуле

$$q_{\min} = \frac{I_{\text{ноНН}} \sqrt{t_{\text{от}} + T_a} \cdot 1000}{C}, \text{ мм}^2, \quad (3.7)$$

где  $C$  – функция, зависящая от вида кабеля,  $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ .

В курсовом проекте выбрать сечение кабеля НН с алюминиевыми жилами –  $C = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$  [2].

Условие термической стойкости головных участков кабельной сети НН выглядит так

$$q_{\min} \leq q_{\text{ст}}, \quad (3.8)$$

где  $q_{\text{ст}}$  – стандартное сечение кабеля,  $\text{мм}^2$ ,  $q_{\text{ст}} \leq 240 \text{ мм}^2$ .

$$\text{Для СПЭ-кабелей: } - B_{\text{к расчНН}} \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}},$$

где  $I_{\text{тер}}$  – ток термической стойкости по каталогу в кА,

$t_{\text{тер}}$  – время термической стойкости, принять 1 с.

Если хотя бы одно из двух вышеперечисленных условий не выполняется, ограничивают токи КЗ.

### 3.2.3. Ограничение токов короткого замыкания

Самым эффективным, наиболее распространенным и рекомендуемым способом ограничения токов КЗ является раздельная работа трансформаторов, что и рекомендуется применить в данном КП для его упрощения и показать на однолинейной электрической схеме ПС.

## 3.3. Разработка схем подстанции

### 3.3.1. Определение структурной схемы и основных характеристик подстанции

Исходя из заданной схемы присоединений (приложение В, рис. В.1), необходимо определить структурную схему, тип ПС с учетом категории надежности электропотребителей [2, 3, 5, 16, 19].

### 3.3.2. Разработка главной схемы подстанции

Выбранный вариант структурной схемы ПС должен быть подробно разработан для обоих напряжений (ВН и НН). Подробная разработка приводит к составлению принципиальной электрической схемы главных цепей подстанции, называемой в дальнейшем «главной схемой».

Разработка главной схемы предполагает выбор ее вида, определения количества систем шин и секций РУ, расстановку электрических аппаратов в зависимости от структурной схемы, номинального напряжения, режимов работы оборудования и нейтрали, требований надежности и других условий [17–19].

### 3.3.2.1. Разработка схемы высшего напряжения

Блочные схемы применяются на стороне ВН тупиковых, в основном потребительских ПС или ответвительных ПС до 500 кВ включительно. Это упрощенные, экономичные схемы ПС, территориально недалеко расположенные от питающих ПС или проходящих ВЛ [2, 15, 17–19].

Сейчас существует тенденция к применению комплектных трансформаторных подстанций блочных (КТПБ) наружной установки с высшим напряжением 35–220 кВ, изготавливаемых на заводах и крупноблочными узлами доставляемых на место монтажа [2, 13, 17–19].

При наличии одной ВЛ, связывающей ПС с системой, надо применять схемы укрупненного блока (линия + два трансформатора) (рис. 3.1 а–г). При одной линии и двух трансформаторах разъединители в «перемычки» допускается не устанавливать [17–19].

Если ПС ответвительная или тупиковая и подключена к двум ВЛ, надо использовать сдвоенные блоки с перемычкой (рис. 3.1 ж, з) при напряжении 35–220 кВ, если окружающая среда не имеет СЗА или последние невелики (I–II степени), и нет ограничения на площадь, выделенную под проектируемую открытую ПС [17–19].

При ограничении на площадь, выделенную под проектируемую ПС, и (или) при наличии сильной СЗА (III, IV степени) выбирается сдвоенный блок без перемычки (рис. 3.1 д, е). При IV СЗА применяются также глухие вводы или присоединение трансформаторов к ВЛ через разъединители, которые должны быть вынесены за пределы зоны сильных СЗА.

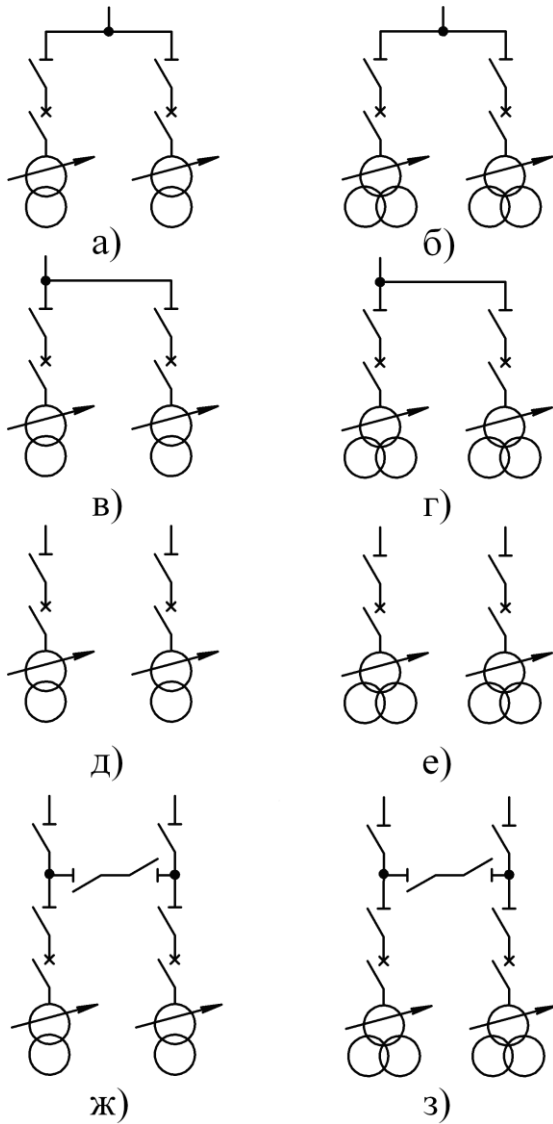


Рис. 3.1. Рекомендуемые схемы тупиковых и ответвительных подстанций

Мостиковые схемы применяются на стороне ВН ПС 35-220 кВ при 4-х присоединениях (2ВЛ+2Т) и необходимости осуществления секционирования сети [17–19].

На напряжении 110-220 кВ мостиковые схемы применяются как с ремонтной перемычкой, так и при соответствующем обосновании без ремонтной перемычки [17–19].

При необходимости секционирования сети на ПС в режиме ремонта выключателя предпочтительнее применять схему «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов» (рис. 3.2 а, б).

Данная схема применяется при необходимости частого отключения трансформаторов (неравномерный график нагрузок), а

также для сохранения транзита при КЗ (повреждении) в трансформаторе.

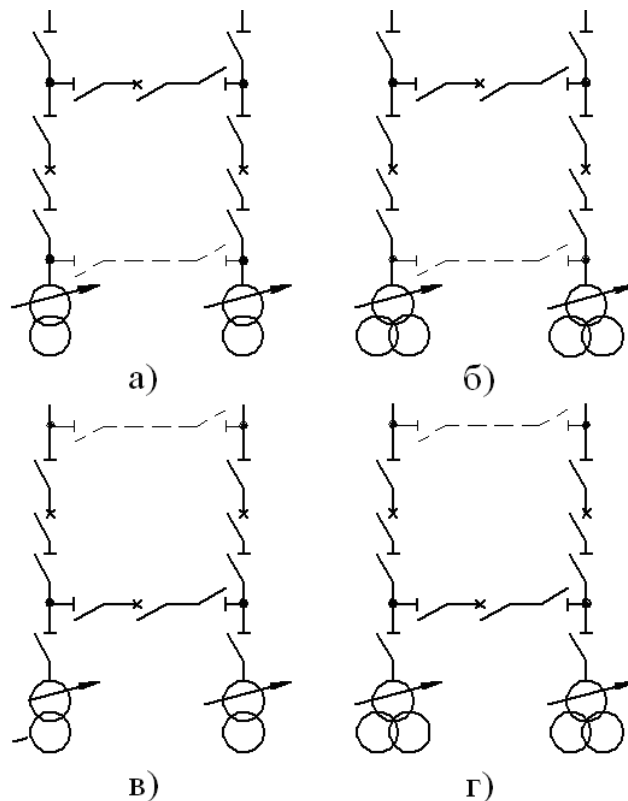


Рис. 3.2. Рекомендуемые схемы проходных подстанций

При равномерном графике нагрузок применяется схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий», что позволяет сохранить в работе два трансформатора при КЗ на ВЛ в нормальном режиме работы ПС (рис. 3.2 в, г).

Необходимость установки ремонтной перемычки в мостиковых схемах определяется возможностью отключения одной из ВЛ в схеме рисунка 3.2 в, г (одного из трансформаторов в схеме рис. 3.2 а, б) на время ремонта выключателя: если такое отключение ВЛ по условиям электроснабжения потребителя возможно – перемычка не устанавливается.

При СЗА более IV, как правило, следует предусматривать сооружение ЗРУ. В этом случае выбор схемы ВН должен быть проведен для обычных условий, т.е. при малой степени СЗА и отсутствии ограничений на площадь [11].

### 3.3.2.2. Разработка схемы низшего напряжения

РУ НН состоит из двух секций соответственно количеству трансформаторов с нерасщепленными обмотками (рис. 3.3 а). Если трансформаторы имеют расщепленные обмотки НН, то РУ НН содержит четыре секции соответственно общему количеству обмоток НН (рис. 3.3 б).

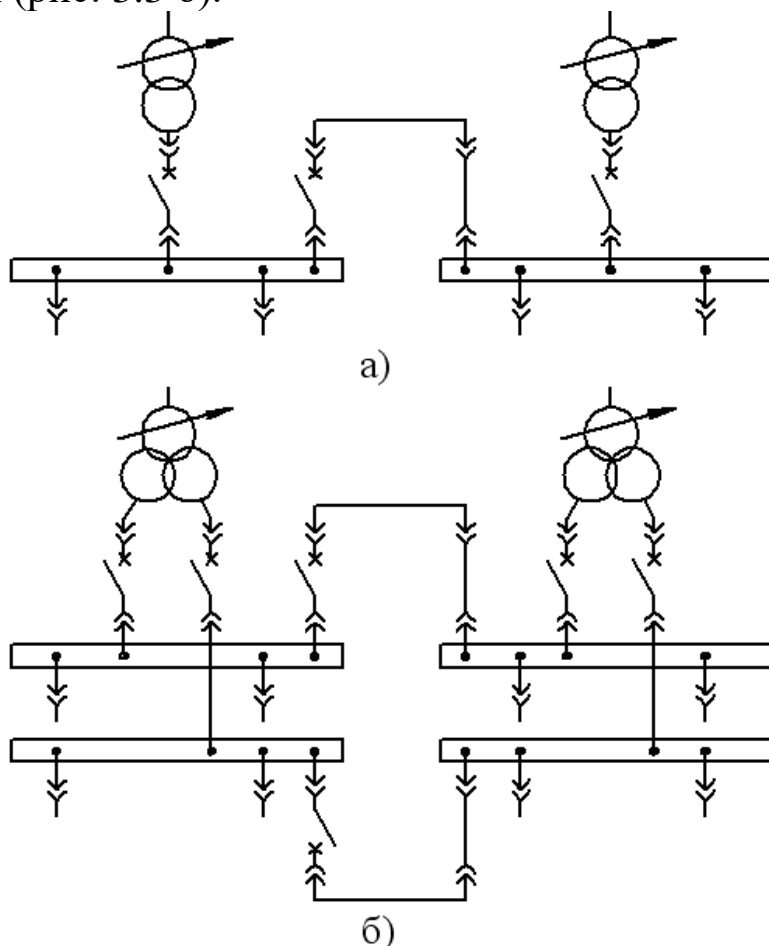


Рис. 3.3. Типовые схемы РУ НН

Количество секций РУ НН зависит также от количества кабельных линий (КЛ) НН, от характера нагрузки. В отдельных случаях ПС могут иметь иное количество секций РУ НН, не кратное двум. Разработка схемы РУ НН должна быть проведена на основании сетки основных схем (рис. 3.4), компоновок шкафов КРУ выбранных типов с указанием номеров шкафов согласно использованным схемам [7, 8, 15].

Заданное количество КЛ НН следует равномерно распределить по секциям РУ НН с учетом резерва и возможности подключения в шкафах К-59 нескольких кабелей параллельно (до 4-х) [15].



Схемы электрических соединений главных цепей					
	номер схемы	01	03	08	13
	номинальный ток ячейки, А	630, 1000, 1600			
	назначение	ввод, линия		конденсаторов	
исполнение	У1, Х/Л1		У1, Х/Л1		
Схемы электрических соединений главных цепей					
	номер схемы	14	15	17	18
	номинальный ток ячейки, А			630, 1000, 1600	630
	назначение	ТСН не более 250 кВА		секционирование	ТСН свыше 250 кВА
исполнение	УХ/Л1		У1, Х/Л1	У1, Х/Л1	
Схемы электрических соединений главных цепей					
	номер схемы	20	22	40	41
	номинальный ток ячейки, А				
	назначение	ТН		ПКТ101-6(10) ПКТ102-6	ПКТ101-6(10) ПКТ102-6
исполнение	У1, УХ/Л1		У1, Х/Л1	Х/Л1	
Схемы электрических соединений главных цепей					
	номер схемы	28	31	39	95
	номинальный ток ячейки, А	630, 1000, 1600		630, 1000, 1600	630, 1000, 1600
	назначение	секционирование			ввод с отпайкой на ТСН
исполнение	У1, Х/Л1		У1, Х/Л1	У1, Х/Л1	

Рис. 3.4. Сетка основных схем КРУ (КРУН) НН

### 3.3.3. Выбор вида оперативного тока

На ПС напряжением 35 кВ (кроме ответвительных и тупиковых) и выше должна применяться система оперативного постоянного тока (система ОПТ, СОПТОТ) напряжением 220 В [17, 19].

На ПС с высшим напряжением 35–110 кВ применяется одна аккумуляторная батарея, 220 кВ – две.

Для организации выпрямленного ОТ должны быть использованы стабилизированные блоки напряжения, которые должны быть подключены к трансформаторам напряжения на стороне ВН подстанции, и токовые блоки питания, подключаемые ко вторичным цепям отдельностоящих трансформаторов тока на стороне ВН ПС. При необходимости предусматривается установка дополнительного блока стабилизированного напряжения, подключенного к трансформатору собственных нужд, который принимает на себя часть нагрузки оперативных цепей в нормальном режиме работы. Для питания цепей сигнализации могут применяться нестабилизированные блоки напряжения, которые должны быть подключены к секциям щита собственных нужд [17, 19].

Также согласно [17, 19] возможно применение переменного ОТ.

В курсовом проектировании рекомендуется применение оперативного постоянного или выпрямленного тока.

### 3.3.4. Выбор трансформаторов собственных нужд

Расчет нагрузки собственных нужд двухтрансформаторной ПС проделать с использованием [3], учесть, что ПС без дежурного персонала, результаты расчета поместить в таблицу 2, типы ТСН выбрать по [5, 15]. На всех двухтрансформаторных ПС 35–750 кВ должны быть установлены два ТСН со скрытым резервом.

Таблица 2. Расчетные нагрузки собственных нужд подстанции

Электроприемник	Установленная мощность	Кэф. мощн. $\cos\varphi$	Количество	Кэф. спроса	Расчетная мощность	
					кВт	кВ·А
-	кВт	-	шт	-	6	7
1	2	3	4	5	6	7
Электродвигатели обдува трансформатора	см. таблицу 3	0,85		0,85		

19  
Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Устройство подогрева выключателя ВГТ-110 (220)	1,65(3·1,65)*	1		1,0		
То же ВБЗП(Е)-35	2,4*	1		1,0		
То же шкафа КРУ	1*	1		1,0		
То же шкафа релейной аппаратуры	0,5*	1		1,0		
Отопление, освещение и вентиляция помещения для персонала	5,5	1		0,6–1,0		
Отопление общеподстанционного пункта управления	ОПУ-7 – 6 ОПУ-8 – 12	1		1,0		
Наружное освещение	5	1		0,5		
Оперативные цепи	1,8	1		1,0		
ИТОГО:						

Примечание: \*установленная мощность устройств подогрева зависит от типа и вида электрооборудования.

Таблица 3. Установленная мощность устройств охлаждения трансформаторов

Тип трансформатора	Установленная мощность, кВт
ТДН-10000/35	1,5
ТДН-10000/110	1
ТДН-16000/110	1,5
ТРДН-25000/110	2,5
ТРДН-40000/110	3
ТРДН-63000/110	4

### 3.3.5. Выбор схемы питания трансформаторов собственных нужд

Схема питания ТСН зависит от вида оперативного тока. На ПС с постоянным оперативным током ТСН присоединяются через предохранители или выключатели к шинам РУ 6–35 кВ. На ПС с переменным или выпрямленным током ТСН присоединяются через предохранители к вводам НН трансформаторов до их выключателей (рис. 3.5).

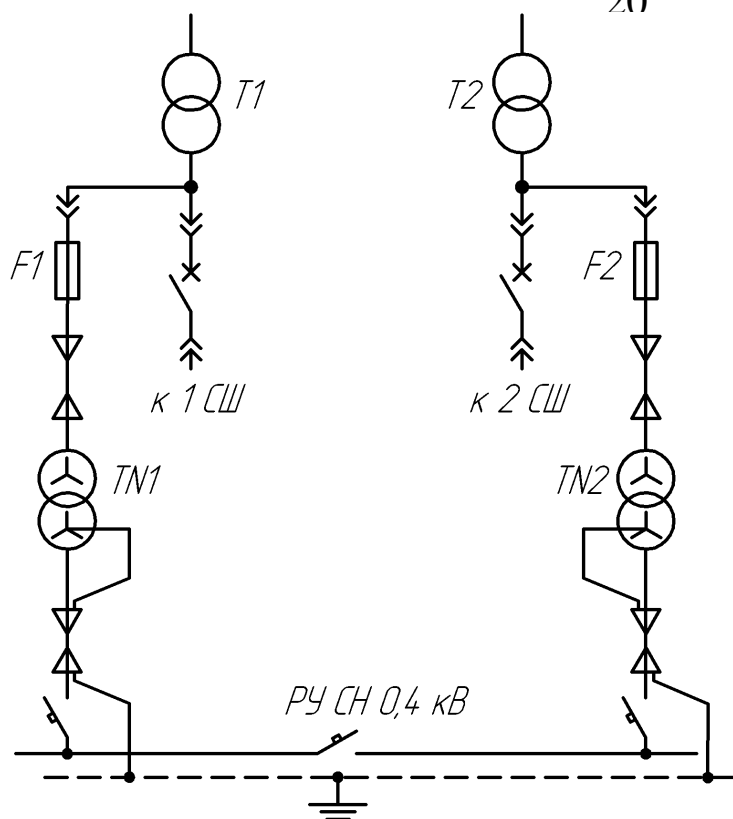


Рис. 3.5. Схема подключения ТСН

Сухие ТСН обычно применяются в шкафах КРУ, масляные ТСН – в шкафах КРУН. ТСН мощностью более 63 кВ·А размещают вне КРУ, а их коммутационные аппараты устанавливают в КРУ [15, 17].

Соединение таких ТСН с коммутационными аппаратами выполняются кабелями.

### 3.4. Выбор электрических аппаратов, кабелей и электроизмерительных приборов

#### 3.4.1. Общие сведения

Выбор электрических аппаратов и кабелей заключается в определении их типа, сопоставлении расчетных параметров с номинальными или допустимыми, приведенными в справочной литературе [2, 3, 9, 16].

Выбор вида, типа аппарата, марки кабеля производится в зависимости от его назначения, места в электрической схеме, характеристик окружающей среды, условий надежности. Если выбраны типы КТП, КРУ, то тем самым определены типы электрических аппаратов, а их проверка будет заключаться в сопоставлении их

технических данных с расчетными параметрами. Параметры выбора и проверки аппаратов и кабелей приведены в таблице 4.

Таблица 4. Выбор аппаратов и кабелей

Вид Параметры выбора и проверки	Выключатель	Предохранитель	Разъединитель	ТТ	ТН	Кабель	Ограничитель перенапряжений
Напряжение электроустановки, класс изоляции	X	X	X	X	X	X	X
Длительный ток	X	X	X	X		X	
Электродинамическая стойкость	X		X	X			
Термическая стойкость	X		X	X		X	
Отключающая способность	X	X					
Включающая способность	X						
Нагрузка вторичных цепей				X	X		
Нормированная экономическая плотность тока						X	
Параметры восстанавливающегося напряжения	X						
Потеря напряжения						X	
Вид защищаемого оборудования							X

### 3.4.2. Объем работы по выбору электрических аппаратов, кабелей и электроизмерительных приборов

В курсовом проекте следует выбрать электрические аппараты, которые должны быть установлены на проектируемой ПС: выключатели, предохранители, разъединители, их приводы, ограничители перенапряжений нелинейные, ТТ, ТН, ТСН, электроизмерительные

приборы и счетчики в цепях силовых трансформаторов и самого мощного потребителя НН.

Кабель с алюминиевыми многопроволочными жилами и бумажной изоляцией следует выбрать и проверить в цепи самого мощного потребителя НН.

Расчет кабелей, соединяющих ТТ, ТН с электроизмерительными приборами, выполнить для одного ТТ, установленного в цепи самого мощного потребителя НН, и для одного ТН НН.

### 3.4.3. Выбор по номинальному напряжению и категории изоляции

Номинальное напряжение аппарата не должно быть меньше номинального напряжения электроустановки или сети, в которой он будет установлен, а категория его внешней изоляции должна соответствовать степени ЗА согласно таблице 5 [11].

Таблица 5. Удельная эффективная длина пути утечки поддерживающих гирлянд изоляторов и штыревых изоляторов ВЛ на металлических и железобетонных опорах, внешней изоляции электрооборудования и изоляторов ОРУ

Степень загрязнения	$\lambda_э$ , см/кВ (не менее), при номинальном напряжении, кВ	
	До 35 кВ	110–750 кВ
1 (легкая)	1,9	1,6
2 (средняя)	2,35	2
3 (сильная)	3	2,5
4 (очень сильная)	3,5	3,1

Примечания: удельная длина пути утечки является отношением длины пути утечки внешней изоляции к наибольшему рабочему напряжению сети.

При отсутствии электрооборудования, удовлетворяющего требованиям таблицы 5 для районов с 3–4-й СЗА, необходимо применять оборудование, изоляторы и вводы на более высокие номинальные напряжения с изоляцией, удовлетворяющей таблице 5.

В районах с условиями загрязнения, превышающими 4-ю СЗ, как правило, следует предусматривать сооружение ЗРУ.

Удельная эффективная длина пути утечки внешней изоляции электрооборудования и изоляторов в ЗРУ напряжением 110 кВ и выше должна быть не менее 1,2 см/кВ в районах с 1-й СЗ и не менее 1,5 см/кВ в районах с 2–4-й СЗ.

В районах с 1-3-й СЗ должны применяться КРУН с изоляцией по таблице 5. В районах с 4-й СЗ допускается применение КРУН с изоляторами специального исполнения.

#### 3.4.4. Выбор кабелей по нормированной экономической плотности тока

Расчетной величиной при выборе является длительный ток нормального режима максимальных нагрузок (без перегрузок)  $I_{норм}$ .

В курсовом проекте допускается производить выбор сечения кабелей по нормированной экономической плотности тока по формуле:

$$q_{ЭК} = I_{норм} / j_{ЭК}, \text{ мм}^2, \quad (3.9)$$

$$I_{норм} = \frac{P_m \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{НН}}, \text{ А}, \quad (3.10)$$

где  $P_m$  – нагрузка самого мощного потребителя, МВт.

Экономическую плотность тока  $j_{ЭК}$  выбрать по таблицам [2,11] в зависимости от продолжительности использования максимума нагрузки. Полученное в результате расчета  $q_{ЭК}$  округляется до ближайшего стандартного сечения.

#### 3.4.5. Выбор по длительному току

В качестве расчетного принимается наибольший из токов следующих режимов:

а) ток нормального режима, определяемый максимальной нагрузкой,  $I_{норм}$ ;

б) ток послеаварийного или ремонтного режима,  $I_{max}$ , определяемый при отключении одного трансформатора или ВЛ и исключении нагрузки группы малоответственных потребителей III категории.

Допустимые длительные номинальные токи аппаратов и кабелей указаны в справочниках для стандартных номинальных условий.

### 3.4.6. Проверка электродинамической стойкости и включающей способности

Расчетное значение ударного тока не должно превышать амплитудных значений тока электродинамической стойкости и тока включения (для выключателя), имеющих в справочниках.

### 3.4.7. Проверка термической стойкости

Расчетный импульс квадратичного тока КЗ не должен быть больше импульса квадратичного тока КЗ, вычисленного по предельному току термической стойкости и времени протекания этого тока, имеющих в справочниках.

Методика проверки термической стойкости кабеля изложена в п. 3.2.2 настоящих методических указаний.

### 3.4.8. Проверка отключающей способности

Методика проверки отключающей способности выключателей по действующему значению периодической составляющей приведена в п. 3.2.2 настоящих методических указаний.

Проверку по апериодической составляющей рекомендуется провести только для выключателей ВН [2, 3, 6, 16].

### 3.4.9. Проверка на потерю напряжения

Потеря напряжения на кабеле

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{норм}} \cdot l(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \cdot 100 / U_{\text{ном}}, \% \quad (3.11)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$l$  – длина КЛ, км;

$I_{\text{норм}}$  – расчетный ток кабеля, соответствующий максимальной нагрузке в нормальном режиме, А;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное значение НН, кВ.

Предельные значения потерь напряжения не должны превышать 5% для кабеля НН [6, 10, 12].



### 3.4.10. Выбор электроизмерительных приборов и измерительных трансформаторов

Виды, типы, комплектность, условные обозначения и технические характеристики приборов следует взять из справочников [4,12,15]. Они используются при проверках измерительных трансформаторов по нагрузке вторичных цепей, при расчете кабелей, соединяющих приборы с измерительными трансформаторами.

Типы измерительных трансформаторов определены конструкциями КРУН или КРУ, типами выбранных силовых трансформаторов, в которых установлены встроенные ТТ, выключателей ВН [4, 7, 8, 15].

### 3.4.11. Расчет кабелей, соединяющих измерительные трансформаторы с электроизмерительными приборами

Расчет кабелей, соединяющих ТТ с приборами, рекомендуется выполнить в следующем порядке:

1. Определить тип ТТ, исходя из выбранного типа комплектных ячеек (шкафов) КРУ [7, 15].
2. Определить класс точности обмотки ТТ, исходя из назначения.
3. Определить допустимую нагрузку в зависимости от класса точности и типа ТТ [4, 12, 15].
4. Выбрать схему присоединения приборов к ТТ [2].
5. Выбрать типы приборов и мощности их токовых катушек [4,15].
6. Просуммировать мощности приборов по фазам.
7. Вычислить общее сопротивление приборов по методике, приведенной в [2].
8. Вычислить расчетное сопротивление кабелей [2, 3].
9. Выбрать материал жилы кабеля и его минимальное сечение [2, 3, 17, 19].
10. Вычислить расчетную длину кабеля по расчетному и удельному сопротивлению и минимальному сечению [2, 3].
11. Вычислить предельную длину трассы, исходя из схемы присоединений приборов к ТТ.

Расчет допустимой нагрузки на ТН проделать в следующем порядке:

1. Определить тип ТН, исходя из выбранного типа ячеек (шкафов) КРУ [7, 15].
2. Определить требуемый класс точности ТН .
3. Определить номинальную мощность ТН  $S_{ТН}$  в зависимости от его класса точности [4, 12, 15].
4. Уточнить количество катушек напряжения приборов, подключенных к различным фазам ТН.
5. Выбрать типы приборов, мощности их катушек напряжения и коэффициенты мощности [4, 15] с учетом типов приборов, уже выбранных по условиям подключения к ТТ (счетчики электроэнергии, ваттметры и др.).
6. Просуммировать активные и реактивные мощности катушек напряжения приборов.
7. Определить полную расчетную мощность приборов

$$S_P = \sqrt{(\sum P_{приб})^2 + (\sum Q_{приб})^2}, \quad (3.12)$$

$$\sum P_{приб} = \sum (S_{приб} \cdot \cos \varphi_{приб}), \quad (3.13)$$

$$\sum Q_{приб} = \sum (S_{приб} \cdot \sin \varphi_{приб}). \quad (3.14)$$

8. Сопоставить расчетную мощность приборов с номинальной мощностью ТН. Должно соблюдаться неравенство

$$S_P \leq S_{ТН}. \quad (3.15)$$

9. Определить материал жил кабеля и его минимальное сечение [2, 3, 17, 19].
10. Проверить соединительные кабели на потерю напряжения [2].

#### 3.4.12. Выбор приводов коммутационных аппаратов

Вид и тип привода выключателя зависит от вида оперативного тока.

Рекомендуется в КП применять выключатели с пружинным приводом на ВН и выключатели с электромагнитными приводами на НН.

При выборе приводов можно использовать таблицу 6, оборудование дано в качестве примера.

Таблица 6. Применение приводов высоковольтных аппаратов

Аппарат		Привод
Наименование	Тип	Наименование
Выключатель вакуумный	ВБЭК–10 ВВТЭ–М–10 ВВ/те1–10	Электромагнитный
То же	ВБНТ–35	Пружинный
То же	ВБЗП(Е) –35	Пружинный (Электромагнитный)
Выключатель элегазовый	ВГП-110	Пружинный Пружинно-гидравлический
То же	ВГТ-110	Пружинный
Разъединитель трехполюсный наружной установки 35 кВ, 110 кВ с заземляющими ножами	РДЗ	Двигательный
Разъединитель горизонтально – поворотного типа с заземляющими ножами	РПГ (РПГН) 35 и 110 кВ	Двигательный
Разъединитель трехполюсный наружной установки	РНД 35 и 110 кВ	Ручной рычажный
То же, но с заземляющими ножами	РНДЗ	Ручной рычажный
Разъединитель однополюсный	ЗОН–110У ЗОН–110М	Ручной рычажный
Комплект трехполюсных заземляющих ножей		Ручной рычажный

### 3.4.13. Выбор ограничителей перенапряжений нелинейных

Для защиты изоляции трансформаторов и электрооборудования РУ ПС установить ограничители перенапряжений нелинейные.

При выборе их типов можно использовать таблицу 7 настоящих методических указаний.

Таблица 7. Применение ограничителей перенапряжений нелинейных

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Назначение
-----	----------------------------	------------

ОПН– КР/TEL	6–10	Для защиты изоляции вращающихся машин и трансформаторов от атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПН– РТ/TEL	3–10	Для защиты изоляции трансформаторов электродуговых печей, изоляции кабельных сетей, электрических генераторов, двигателей и т.п. от атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПН/TEL	6–10	Для защиты изоляции электрооборудования распределительных устройств и аппаратов от атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПН/TEL	35–220	Для защиты изоляции электрооборудования подстанций и воздушных линий от атмосферных и коммутационных перенапряжений (может быть использован, где ранее предусматривалось применение вентильных разрядников РВО)
ОПН или ОПНп	6–35	Для защиты изоляции электрооборудования сетей постоянного и переменного тока с частотой 50 Гц, с изолированной или компенсированной нейтралью от атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПН или ОПНп	0,38 и 110–750	Для защиты изоляции электрооборудования сетей постоянного и переменного тока с частотой 50 Гц, с заземленной нейтралью от атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПНн	110/56	Для защиты изоляции разземленных нейтралей трансформаторов класса напряжением 110 кВ

### 3.5 Разработка конструкции подстанции

Согласно разработанной главной схеме следует подобрать номер схемы, исполнение и тип ПС. Предпочтительным является применение типовых и комплектных ПС заводского изготовления [5, 7, 13, 15, 18, 19].

Выбор вида, типа ПС, а также РУ ВН и НН зависит от климатических условий, степени ЗА, количества присоединяемых КЛ

НН, наличия ограничения на площадь, выделенную под проектируемую ПС и других условий [2, 15, 17, 19].

В обычных условиях стараются применять ОРУ ВН. При ограничениях на площадь (возможно применение КРУЭ), повышенных ЗА (более IV степени), тяжелых климатических условиях, например, в районах Крайнего Севера приходится применять ЗРУ ВН.

В комплектных открытых ПС в настоящее время в качестве РУ НН применяют шкафы КРУН серии К-59, К-63 и другие. Они могут быть установлены в модульном здании, которое представляет собой комплекс, состоящий из транспортабельных модулей размером 6750×2250×3300 мм со смонтированными в пределах модуля ячейками, межшкафными связями, сборными шинами, шинными мостами, шинными вводами и кабельными лотками для вспомогательных цепей [7, 15].

В зависимости от номинального напряжения и тока, типов применяемых выключателей, трансформаторов тока и напряжения, размещения их в шкафу в электроустановках применяются различные типы КРУ или КРУН, выбор производится по каталогам.

Рекомендуется применить в КП общеподстанционный пункт управления серии ОПУ-7, состоящий из одного блока размером 9100×3300×4700 мм, имеющий лестничную площадку.

### 3.6. Выполнение графической части

Графическая часть курсового проекта содержит:

- а) принципиальную однолинейную электрическую схему главных цепей подстанций;
- б) разрез и план подстанции.

Принципиальная однолинейная электрическая схема главных цепей, а также разрез и план подстанции должны отвечать требованиям действующих стандартов и могут выполняться неавтоматизированным методом – черным карандашом, пастой, чернилами или тушью, либо автоматизированным методом – с применением графических и печатающих устройств вывода ЭВМ на белой плотной чертежной бумаге формата А1.

Оборудование, аппараты и приборы следует показать на схемах согласно действующим ГОСТам условными обозначениями элементов схем, представленными в [2–6, 12, 15], и дополнить их буквенно-цифровыми обозначениями, отражающими вид элемента

схемы, его порядковый номер и тип. Буквенно-цифровые обозначения целесообразно изобразить в непосредственной близости от условного обозначения аппарата, а типы и основные характеристики оборудования и аппаратов поместить в рамки и расположить в левой части чертежа напротив соответствующих условных обозначений элементов схемы, как показано на рисунке 3.6.

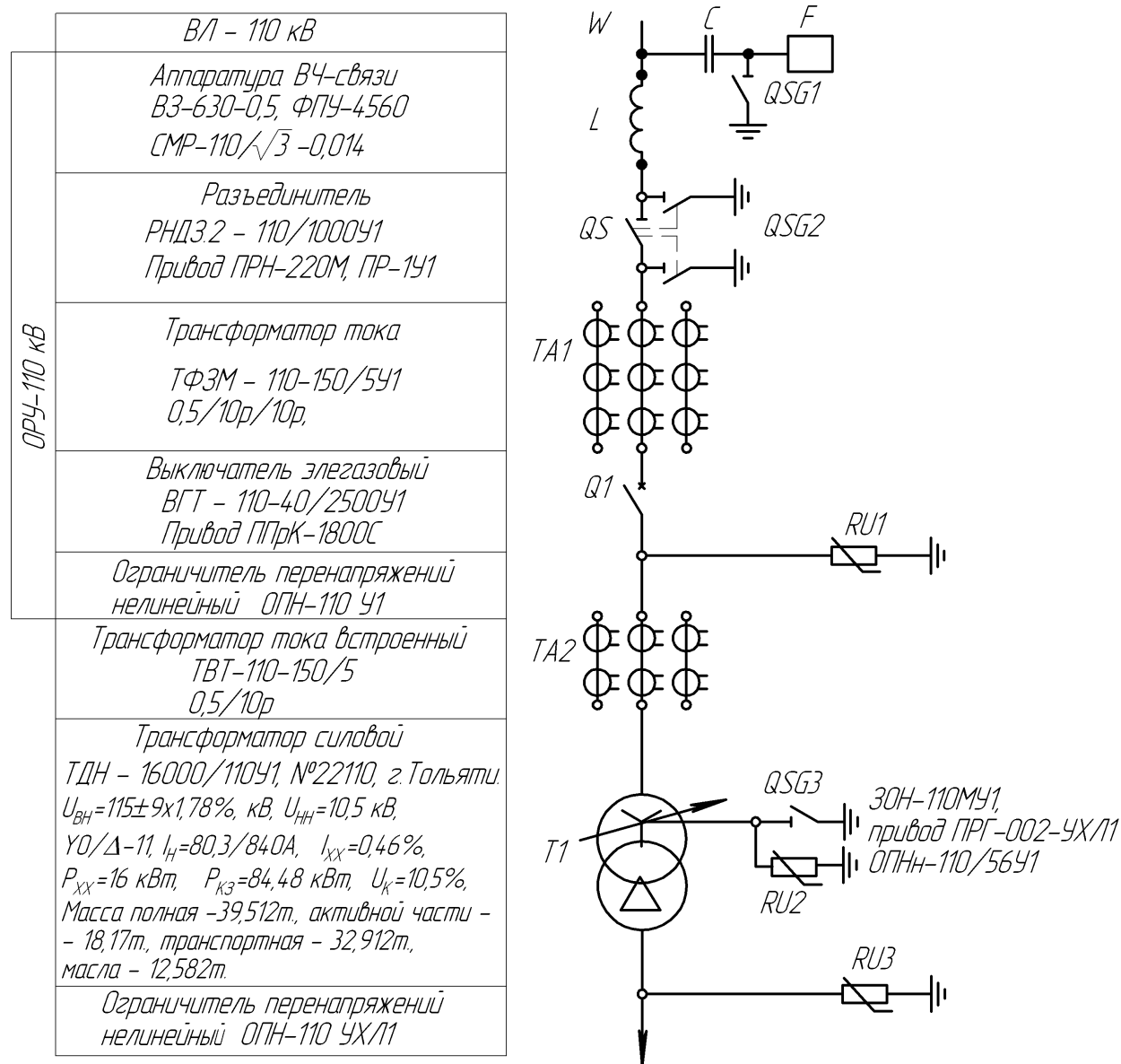


Рис. 3.6. Однолинейная схема подключения основных аппаратов

Однотипные аппараты и оборудование рекомендуется изображать по схеме в одном ряду соответственно их действительному расположению на ПС, главная схема должна отражать схему заполнения РУ, быть совмещенной со схемой присоединения ПС к сети и содержать ТСН.

При выполнении главной схемы ПС надо стремиться к наименьшему количеству изломов и пересечений линий. Компонировка всех элементов главной схемы, соединений, надписей должна быть выбрана такой, чтобы получился, возможно, более наглядный и выразительный чертеж.

Общий вид ПС должен быть представлен на чертеже планом и разрезом. На плане показываются трансформаторы, разъединители и другое оборудование и аппараты. Разрез ПС показывается по вводу НН с изображением подъездных и внутриплощадочных дорог и других сооружений [5]. Железнодорожные пути выполняются только на ПС 110 кВ и выше при наличии близко расположенных внутризаводских железнодорожных путей [17, 19].

При разработке общего вида ПС нужно использовать габаритные размеры трансформаторов [4], коммутационных аппаратов [14], зданий, конструкций, ОРУ, ЗРУ, КРУН [7, 12, 15], а также наименьшие расстояния от токоведущих частей до различных элементов РУ [11].

Планы и разрезы некоторых ПС представлены в [2,3,7,13,15] и в типовых проектах.

Оформление курсового проекта (КП) выполняется в строгом соответствии с СТУ 04.02.030-2015.



Приложение А

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДСТАЦИИ

Таблица А.1

№ варианта	№ ГН для студентов		Эквивалентная зимняя температура	Номинальное напряжение	Номер схемы присоединения подстанции к сети	Линия ВЛ		Мощность КЗ.	
	Дневной формы	Заочной формы				От си-стеми С1 до под-	От си-стеми С2 до под-	Системы С1	Системы С2
1	2	3	°C	кВ	6	7	8	9	10
1	1	2	-6	220	1	15	—	1500	—
2	2	3	-19	35	5	20	10	1800	1900
3	3	4	-4	220	3	10	15	1900	—
4	4	5	-8	35	4	12	11	2000	1400
5	5	6	-8	110	2	8	15	1750	1900
6	6	1	-19	110	1	12	—	1600	—
7	1	2	+1	220	2	5	7	1700	2200
8	2	1	-6	110	5	4	6	1800	1400
9	3	2	-13	110	4	4,5	5	1900	1500
10	4	3	-5	220	3	7	—	1000	—
11	5	4	+5	110	5	4	9	1100	1300
12	6	5	-11	35	1	15	—	2000	—
13	1	6	-5	110	2	5	—	1800	1500
14	2	1	-11	35	3	5	10	1200	—
15	3	2	-6	220	4	12	8	1250	1800
16	4	3	-8	35	3	15	—	1900	—
17	1	4	-4	35	1	4	—	1000	—

Продолжение табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	2	5	-12	35	5	25	15	1200	2200
19	3	6	+2	110	3	20	-	1300	-
20	4	1	-2	110	4	4,5	6	1400	1800
21	5	2	+5	220	5	15	4	1450	1200
22	6	3	-9	110	4	4	3	1500	1100
23	1	4	-8	35	1	10	-	1900	-
24	2	5	-16	110	2	15	7	1950	1000
25	3	6	-11	35	5	18	2,4	2000	1900
26	4	1	-2	110	4	10	4	1800	1200
27	5	4	-9	35	3	6	2,5	1850	1700
28	6	5	-2	110	2	8	10	2000	1750
29	1	6	-2	35	5	15	11	2500	1500
30	2	5	-8	110	3	4	-	2700	-
31	3	1	-5	110	4	3	7	2500	1100
32	4	2	-2	220	1	5,3	-	2000	-
33	1	3	-11	110	4	3,6	2,8	2850	1300
34	2	4	-10	35	1	10	-	2100	-
35	3	5	-20	35	2	8	5	2200	1100
36	4	6	-2	220	3	22	2,5	1900	-
37	5	1	-3	35	4	17	6	2500	1850
38	6	2	-12	35	5	5	3,5	2400	1770
39	1	3	-12	220	1	5	-	2900	-
40	2	1	-15	110	3	15	-	2950	-
41	3	2	-6	110	2	4,5	5,5	1000	1140
42	4	3	-6	35	4	6	3	1050	1200
43	5	4	-9	110	5	4,0	3,5	1100	1300
44	6	5	-8	110	4	4	2,7	1150	2820
45	4	6	-7	35	1	4	-	1760	-

Продолжение табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46	3	1	-6	35	3	2,5	—	2110	—
47	5	2	-5	220	2	20	2	1100	2350
48	2	3	-4	35	4	3	15	1400	2050
49	1	4	-4	110	5	10	2,5	1900	1800
50	2	5	-4	110	1	7	—	1200	—
51	3	6	-4	220	3	3,5	—	1250	—
52	4	1	-19	110	2	6	5	2300	1000
53	5	2	-6	110	4	4,8	33	1350	2780
54	6	3	0	220	5	15	7	1400	2000
55	5	4	-14	35	4	5,4	3	1450	1600
56	6	1	-4	35	1	11	—	1500	—
57	1	2	-17	35	3	2	—	1550	—
58	2	2	-11	110	2	2,5	15	1600	2000
59	3	4	-18	35	4	3	30	2100	2000
60	4	5	-15	35	5	1,8	17	1720	2150
61	5	6	-1	110	1	3	—	1500	—
62	6	1	-20	220	3	3,5	—	1440	—
63	1	2	-13	110	2	6	10	1390	1000
64	2	3	-17	110	5	19	2,1	1340	1085
65	1	4	+7	220	4	17	2,3	1280	2500
66	2	5	-7	110	5	29	4,2	1210	1930
67	3	6	-20	35	1	8	—	2080	—
68	4	1	-20	35	3	10	—	2190	—
69	5	2	-4	110	2	14	2,8	2050	1980
70	6	3	-12	35	4	11	2,7	1810	2140
71	3	5	-2	110	5	15	3,0	2000	2100
72	4	1	-9	110	1	4	—	1200	—

Продолжение табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
73	5	2	-9	220	3	3,8	—	1170	—
74	6	3	-14	110	2	30	4	1120	1400
75	1	4	-18	110	5	15	6	1075	1420
76	2	5	0	220	1	9	—	2500	—
77	3	6	+3	110	3	5,5	—	2600	—
78	4	1	-3	110	2	20	5	2500	1000
79	5	2	-4	220	4	40	5,5	1500	2800
80	6	3	-16	110	4	7,5	2,5	1050	1100
81	1	4	-11	110	5	4,5	8	1150	1300
82	2	5	-15	35	1	8	—	1200	—
83	3	6	0	35	1	2	—	1700	—
84	4	1	-8	110	3	1,5	—	2500	—
85	5	2	-11	35	2	12	1,5	1500	2000
86	6	3	-15	220	4	10	10	2000	2200
87	1	4	-6	110	5	12	2,5	2500	1800
88	2	1	+6	110	1	15	—	2100	—
89	3	2	-7	35	3	3	—	2100	—
90	4	3	-7	220	2	25	9	1300	1400
91	5	4	-10	110	4	15	6,5	1400	1300
92	6	5	+6	35	5	20	4,5	1500	1200
93	2	6	-4	110	4	4,5	35	1600	1500
94	3	1	-20	35	1	3,5	—	2000	—
95	4	2	-20	35	3	2	—	2500	—
96	5	3	-11	35	2	20	2,5	2200	2500
97	1	4	-5	110	4	15	4,5	1900	2800
98	2	5	-6	35	5	10	3	1050	1400
99	3	6	-4	110	1	5	—	1100	—
100	4	3	-11	110	3	14	—	1300	—
101	5	4	0	35	2	20	5	1600	-
102	6	5	4	110	1	16	4	1800	-
103	1	6	5	35	3	7	-	2200	-
104	3	1	3	220	4	10	5	1250	2100
105	5	3	2	110	5	6	7	2350	1100
106	4	5	5	35	2	20	10	1000	2050

Таблица А.2

№ варианта	Сеть НН (кабельная)									
	Номинальное напряжение	Количество КЛ	Длина КЛ	Максимальная нагрузка (зимняя)		Коэффициент участия в максимальной нагрузке потребителей				
				Общая	Одного самого мощного потребителя	I категория	II категория	III категория		
	кВ	шт.	км	МВт	МВт					
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	10	22	1,2	48	1,5	—	0,35	0,65		
2	10	16	3	15	1,2	0,12	0,28	0,6		
3	10	18	2	56	2,5	0,2	0,4	0,4		
4	10	16	1,8	10	2,8	0,15	0,4	0,45		
5	10	20	2	18	1,8	—	0,3	0,7		
6	10	14	2,5	11	1,3	0,2	0,3	0,5		
7	10	30	2,3	61	4,7	0,15	0,4	0,45		
8	10	16	1,9	26	3	0,1	0,2	0,7		
9	10	12	1,2	35	3,5	0,2	0,2	0,6		
10	10	28	2,8	58	2,5	—	0,15	0,85		
11	10	42	0,9	38	4	0,15	0,2	0,65		
12	10	10	3	13	4	0,15	0,65	0,2		
13	10	16	1,1	12	1,6	0,25	0,25	0,5		
14	10	20	1,9	15	1,5	0,02	0,45	0,35		
15	10	48	1,4	48	1,8	0,15	0,3	0,55		
16	10	14	2,4	16	2	0,1	0,15	0,75		
17	10	20	1,2	38	4	0,15	0,2	0,65		

Продолжение табл. А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	10	26	1,4	30	3,6	0,1	0,15	0,75
19	10	24	3	45	2,3	0,15	0,25	0,6
20	10	38	1,1	35	4,1	0,25	0,1	0,65
21	10	30	1,6	55	4,5	0,1	0,2	0,7
22	10	44	0,9	33	10	0,2	0,2	0,6
23	6	12	3	12	2	–	0,4	0,6
24	6	10	1,6	7,5	1,8	0,12	0,28	0,6
25	6	26	3	11	1,6	0,14	0,16	0,7
26	10	30	3,5	15	1,0	0,16	0,19	0,65
27	10	32	1,9	16	2	0,18	0,27	0,55
28	6	14	1,2	12	2,3	0,22	0,12	0,56
29	6	18	0,9	28	4	–	0,5	0,5
30	6	20	1,1	32	3,6	0,15	0,3	0,55
31	10	18	1	45	3,1	0,2	0,25	0,55
32	10	42	0,9	63	3,5	0,17	0,23	0,6
33	10	48	1,1	31	12	0,19	0,31	0,5
34	6	14	3	9	2	0,23	0,27	0,5
35	6	10	1,6	13	1,9	0,05	0,15	0,8
36	10	20	2	67	5,5	0,14	0,16	0,7
37	10	26	3	11	1,2	0,21	0,24	0,55
38	10	22	2,5	17	2,1	0,2	0,3	0,5
39	6	24	2,2	66	4,2	0,1	0,15	0,75
40	6	12	2,8	17	1,8	0,12	0,18	0,7
41	10	16	1,4	31	4	0,17	0,12	0,71
42	10	20	1,2	39	2,5	0,16	0,19	0,65
43	10	40	1,4	27	2,1	–	0,2	0,8
44	10	48	0,8	29	2,5	0,05	0,15	0,8
45	10	16	2,1	16	1,4	0,2	0,25	0,55

Продолжение табл. А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6	16	1,6	19	1,3	0,15	0,2	0,65
47	6	28	2,7	72	6,5	0,25	0,3	0,45
48	10	14	1	22	2,5	0,04	0,16	0,8
49	10	20	0,6	18	1,4	–	0,25	0,75
50	6	10	1,2	17	1,4	0,18	0,17	0,65
51	10	32	1,1	55	2	0,2	0,25	0,55
52	10	18	2	24	2,1	0,15	0,2	0,65
53	10	30	1,4	45	3,6	0,22	0,28	0,5
54	10	48	2,2	32	7,5	0,17	0,13	0,7
55	10	20	1,8	26	3,2	0,16	0,24	0,6
56	6	12	3	17	1,8	0,1	0,1	0,8
57	6	10	1,4	13	2,1	0,11	0,19	0,7
58	6	20	1,6	9	1,5	0,13	0,17	0,7
59	10	14	1,3	12	1,4	0,15	0,15	0,7
60	10	16	1,2	14	1,3	0,17	0,13	0,7
61	10	10	1,8	16	1,9	0,1	0,25	0,65
62	6	22	2,2	58	4,3	–	0,4	0,6
63	6	10	0,9	15	2	0,15	0,25	0,6
64	10	10	1,1	28	2,2	0,25	0,3	0,45
65	10	38	1,5	56	4,5	0,2	0,2	0,6
66	10	42	1,7	34	6,1	0,3	0,3	0,4
67	6	14	2,2	14	1,4	0,14	0,16	0,7
68	10	12	1,6	10	1,7	0,1	0,2	0,7
69	6	24	1,8	15	1,2	0,6	0,1	0,3
70	10	18	2,3	14	1,5	–	0,3	0,7
71	10	20	2,5	16	1,3	0,14	0,26	0,6
72	6	20	2,5	19	2	0,03	0,07	0,9

Продолжение табл. А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
73	10	24	2,2	61	4,1	0,1	0,2	0,7
74	10	16	1,4	30	3,5	0,05	0,15	0,8
75	10	22	3	27	3,8	0,15	0,15	0,7
76	10	34	2,6	57	4,1	0,2	0,3	0,5
77	10	30	2,4	40	4,7	0,15	0,3	0,45
78	10	15	2	26	3	0,1	0,2	0,7
79	10	44	1,3	85	5,8	0,2	0,2	0,6
80	10	12	2,9	18	2,5	0,05	0,1	0,85
81	10	42	0,9	45	6	0,15	0,2	0,65
82	10	14	1,2	12	2,3	0,22	0,12	0,56
83	10	10	3	15	4	0,1	0,3	0,6
84	10	16	1,1	16	3,6	0,15	0,2	0,65
85	10	20	1,9	9	1,5	0,05	0,1	0,85
86	10	42	1,4	78	2,5	0,15	0,2	0,65
87	10	14	2,4	7	1,0	0,15	0,65	0,2
88	10	18	1,2	30	4	0,25	0,25	0,5
89	10	22	1,4	37	3,6	0,2	0,45	0,35
90	10	36	3	59	2,3	0,15	0,3	0,55
91	10	38	1	25	4,1	0,1	0,15	0,75
92	10	30	1,6	32	7,5	0,15	0,2	0,65
93	10	44	0,9	38	6,1	0,1	0,15	0,75
94	6	12	3	10	1,5	0,15	0,25	0,6
95	6	10	1,6	15	2,0	0,25	0,1	0,65
96	6	26	3	13	1,0	0,1	0,2	0,7
97	10	30	3,5	14	1,3	0,2	0,2	0,6
98	10	32	1,9	15	1,4	0,1	0,3	0,6
99	6	14	1,2	19	2,3	0,12	0,28	0,6
100	6	18	0,9	20	4	0,14	0,16	0,7
101	10	20	1,1	18	1,1	-	0,2	0,8
102	10	22	1	12	1,2	-	0,3	0,7
103	10	15	3,2	14	1,9	-	0,4	0,6
104	10	30	2	66	4	-	0,5	0,5
105	10	12	0,8	10	5	-	0,45	0,55
106	10	14	2	8	3	-	0,35	0,65



Таблица А.3

Номер графика нагрузки	Продолжительность использования максимальной нагрузки, ч	Степень загрязнения атмосферы		Ограничения на площадку, выделенную под проектируемую подстанцию			Коэффициент мощности	
		Дневная форма обучения	Заочная форма обучения	Дневная форма обучения	Заочная форма обучения	Дневная форма обучения	Заочная форма обучения	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	4800	Ш	I	нет	есть	0,85	0,85	
2	3900	II	II	нет	нет	0,88	0,88	
3	2800	I	III	есть	нет	0,87	0,94	
4	5000	IV	>IV	нет	есть	0,8	0,9	
5	4500	>IV	IV	нет	нет	0,82	0,93	
6	6100	III	II	есть	нет	0,91	0,82	

## Приложение Б

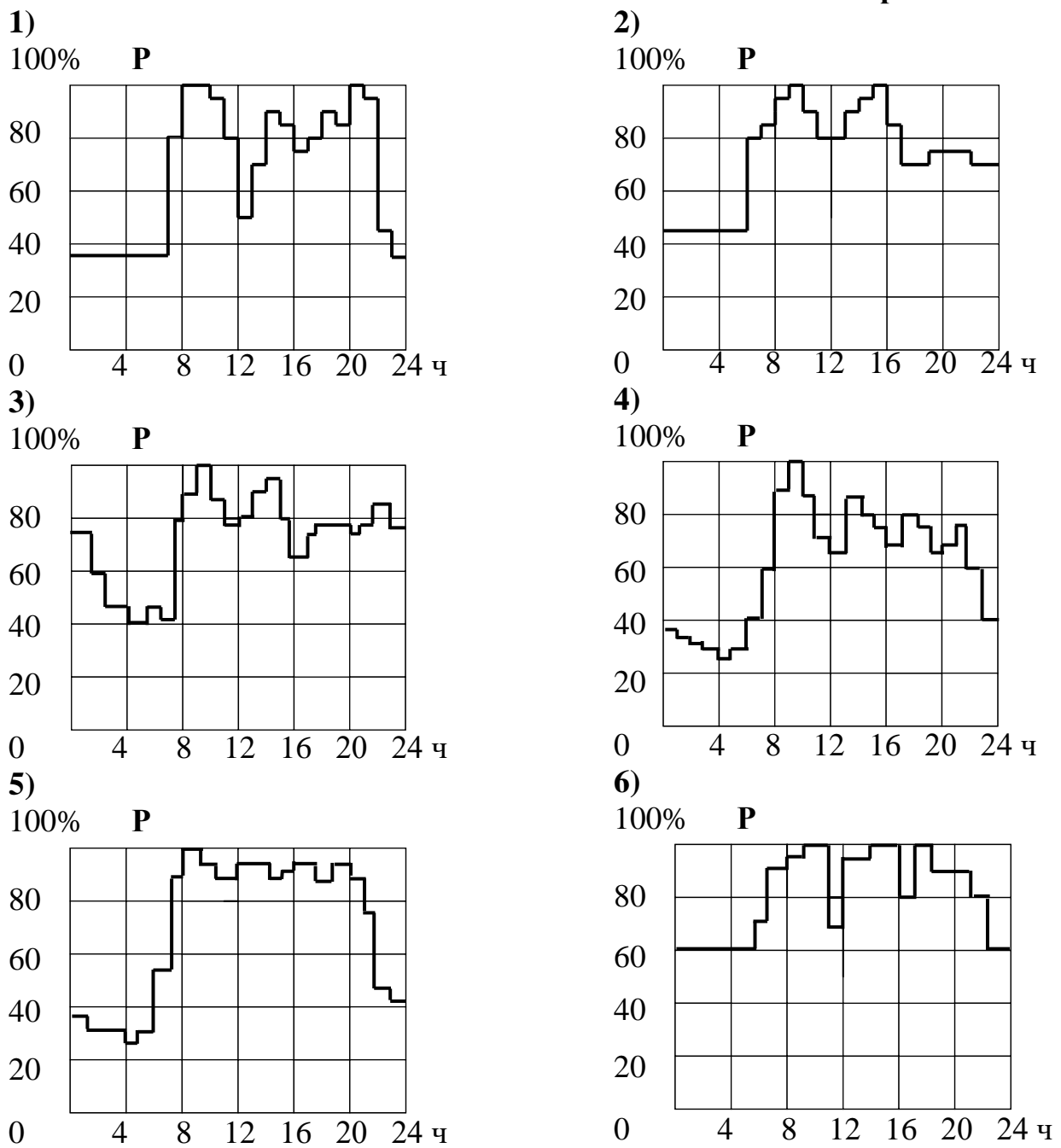


Рис. Б.1 Суточные графики зимних электрических нагрузок

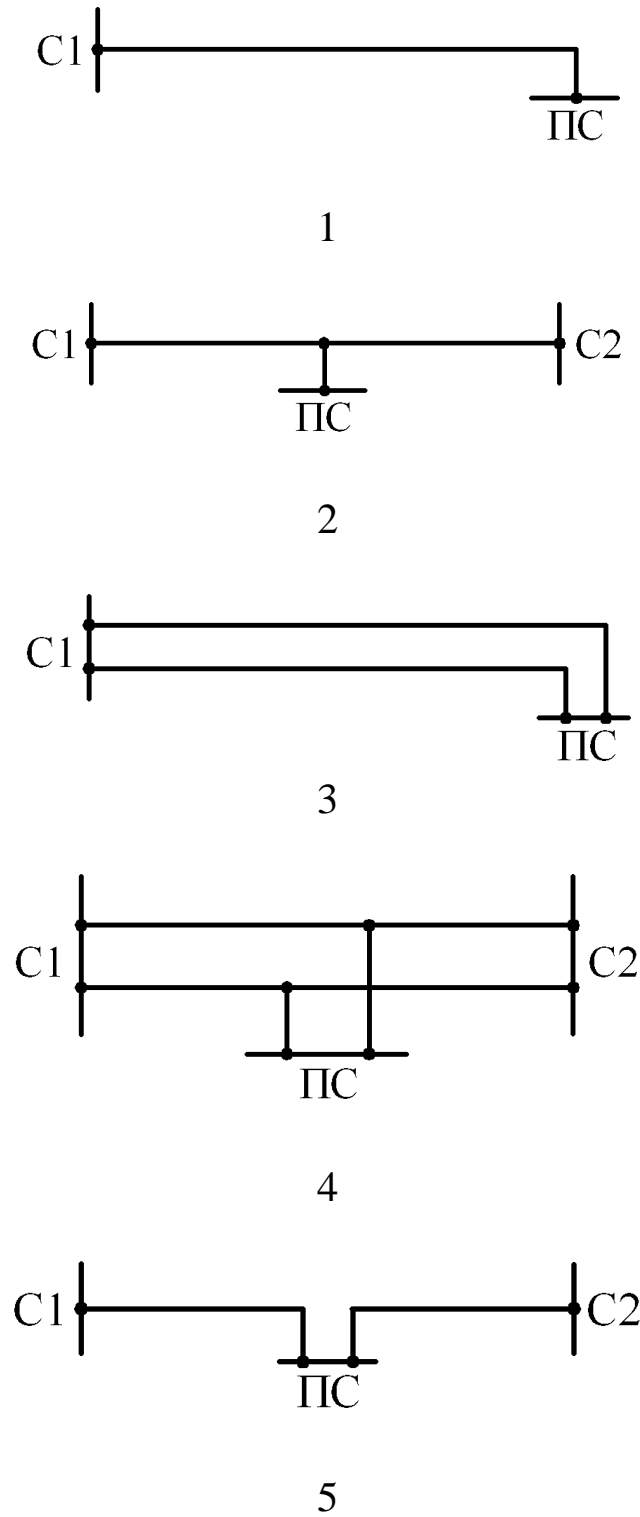


Рис. В.1 Схемы присоединения подстанций к сети

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе, утвержденное Советом директоров ОАО «Россети» и ОАО «ФСК ЕЭС»: (протокол от 23.10.2013 № 138 и протокол от 27.12.2013 № 208). М.: ЦУМРСК ОАО «ФСК ЕЭС», 2013.
2. Электрооборудование электрических станций и подстанций [Текст]: учебник / Л.Д. Рожкова и [др.]; М.: Издательский центр «Академия», 2008. 448с.
3. Электрическая часть станций и подстанций [Текст]: учебник / А.А. Васильев; М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
4. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст]: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков; 4-ое изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 608с.
5. Справочник по проектированию подстанций 35–500 кВ [Текст]: справочник / под ред. С.С. Рокотяна и Я.С. Самойлова. М.: Энергоатомиздат, 1982. 352 с.
6. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей [Текст]: учебное пособие для студентов вузов / В.М. Блок и др.; под ред. В.М. Блок; М.: Высшая школа, 1981. 304 с.
7. Комплектные электротехнические устройства [Текст]: справочник Т.1–3 / М.: Институт промышленного развития «Информэлектро», 1999. 168 с., 167 с., 104 с.
8. Электрические аппараты высокого напряжения. Выключатели [Текст]: справочник / А.А. Чунихин; Т1–3: Информэлектро, 1996, 1997. 122с., 211., 140 с.
9. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст]: учебник / Б.Н. Неклепаев; М.: Энергоатомиздат, 1986. 640 с.
10. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст]: справочник / под ред. А.А.Федорова; Т.1. электроснабжение; М.: Энергоатомиздат, 1986. 568 с.
11. Правила устройства электроустановок [Текст]: 7-е изд. СПб.: Изд-во ДНАН, 2003.

12. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст]: справочник / под редакцией Д.Л. Файбисовича; М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. 320 с. ил.

13. Комплектные трансформаторные блочные модернизированные подстанции 35, 110, 220 кВ [Текст]: Самарский завод «Электрощит», 2014.

14. Высоковольтные выключатели [Текст]: учебное пособие / Н.В. Хорошилов, О. М. Ларин, О.М. Рыбалкин; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2006. 140 с., ил. 62, табл. 3, прилож. 1. Библиогр.: с. 137–139.

15. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст]: справочник: учеб. пособие / Г.Н. Ополева; М.: Форум: ИНФРА-М, 2008. 480 с.

16. Электрические станции и подстанции [Текст]: учебное пособие / А.И. Руцкий; Минск, «Вышэйш. школа», 1974.

17. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ [Текст]: № 187, 136 / М.: ОАО «Институт «Энергосетьпроект», 2006, 2009.

18. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ [Текст]: типовые решения / М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2009.

19. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ [Текст]: рекомендации / М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2004.

20. Курсовые работы (проекты). Выпускные квалификационные работы. Общие требования к структуре и оформлению/ СТУ 04.02.030-2015; ЮЗГУ, Курск, 2015.

21. Электрические станции и подстанции: методические указания к практическим занятиям/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Н.В. Хорошилов Курск, 2014. 62 с.: ил. 12, табл. 12. Библиогр.: с. 62.