

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	9
1. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ (СТРУКТУРНЫЕ) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИЙ.....	11
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ.....	19
2.1. Разновидности схем электрических соединений РУ.....	19
2.2. Требования, предъявляемые к схемам РУ.....	20
2.3. Электрооборудование распределительных устройств.....	23
2.4. Основные правила выполнения оперативных переключений	25
3. БЛОЧНЫЕ СХЕМЫ РУ	27
3.1. Схема РУ «Блок линия — трансформатор с разъединителем».....	30
3.2. Блочные схемы РУ с короткозамыкателями»	31
3.3. Схема РУ «Блок линия - трансформатор с отделителем»	33
3.4. Схема РУ «Два блока линия — трансформатор с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»	36
3.5. Схема РУ «Два блока с отделителями (выключателями нагрузки) и автоматической перемычкой со стороны трансформаторов»	40
3.6. Схема РУ «Блок линия — трансформатор с выключателем».....	41
3.7. Схема РУ «Укрупненный блок линия — два трансформатора с выключателями (отделителями, выключателями нагрузки) в цепях трансформаторов (линий)»	42
3.8. Схема РУ «Два блока линия — трансформатор с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»	44
3.9. Схемы РУ «Два блока линия — трансформатор с выключателями и автоматической (неавтоматической) перемычкой со стороны трансформаторов»	45
3.10. Схема РУ «Блок линия — трансформатор с отделителем (выключателем нагрузки, предохранителем) в его цепи и выключателем в цепи, отходящей линии»	47
4. МОСТИКОВЫЕ СХЕМЫ РУ	49
4.1. Схема РУ «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»	51
4.2. Схема РУ «Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов»	53
4.3. Схема РУ «Мостик с выключателем в перемычке и отделителями в цепях трансформаторов»	56
4.4. Схема РУ «Двойной мостик с отделителями (выключателями нагрузки, разъединителями с моторными приводами) в цепях трансформаторов и дополнительной линией, подключенной через два выключателя»	58

4.5. Мостики с выключателями в цепях линий и шунтирующими их разъединителями	60
4.6. Схема РУ «Мостик с выключателем в перемычке и предохранителями в цепях трансформаторов»	61
4.7. Схема РУ «Мостик с выключателями в цепях линий и трансформаторов»	61
4.8. Схема РУ «Заход — выход»	63
5. КОЛЬЦЕВЫЕ СХЕМЫ РУ	66
5.1. Схемы РУ «Треугольник» и «Расширенный треугольник»	68
5.2. Схемы РУ «Четырехугольник» и «Расширенный четырехугольник»	71
5.3. Схема РУ «Шестиугольник»	77
5.4. Схема РУ «Шестиугольник с подменным выключателем»	79
6. СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СО СБОРНЫМИ ШИНАМИ И ОДНИМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ НА ПРИСОЕДИНЕНИЕ	83
6.1. Схемы РУ с одной рабочей системой сборных шин	84
6.2. Схема РУ «Одна рабочая секционированная система шин с подключением трансформаторов через развилку выключателей»	90
6.3. Схемы РУ с одной рабочей и обходной системой шин	91
6.3.1. Схема РУ «Одна рабочая секционированная выключателем и обходная система шин»	91
6.3.2. Оперативные переключения в схеме РУ «Одна рабочая секционированная выключателем и обходная система шин»	94
6.3.3. Примеры реализации схемы РУ «Одна рабочая секционированная выключателем и обходная система шин»	95
6.3.4. Схема РУ «Одна рабочая секционированная выключателями и обходная системы шин с подключением трансформаторов к обеим секциям шин через два выключателя»	97
6.4. Схема РУ с двумя рабочими системами сборных шин	98
6.5. Схемы РУ с двумя рабочими и обходной системами сборных шин	100
6.5.1. Схема РУ «Две рабочие и обходная системы шин»	100
6.5.2. Схема РУ «Две рабочие и обходная системы шин с обходным и шиносоединительным (обходным) выключателями»	103
6.5.3. Схема РУ «Две рабочие, секционированные выключателями, и обходная система шин с двумя обходными и двумя шиносоединительными выключателями»	104
7. СХЕМЫ РУ С ПОДКЛЮЧЕНИЕМ ПРИСОЕДИНЕНИЙ ЧЕРЕЗ ПОЛУТОРНЫЕ ЦЕПОЧКИ ИЛИ ДВА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	108
7.1. «Полуторная» схема РУ	108
7.2. Схема РУ «Трансформаторы — шины с присоединением линий через полтора выключателя»	111
7.3. Схема РУ «Одна рабочая секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через полуторную цепочку»	112
7.4. Схема РУ «Трансформаторы — шины с присоединением линий через два выключателя»	113

8. ПРИМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ПОДСТАНЦИЙ 35–750 кВ.....	117
8.1. Электрические схемы подстанций распределительных электрических сетей.....	118
8.2. Электрические схемы подстанций магистральных электрических сетей.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ	147
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	148

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

AB (QF)	— автоматический выключатель
ABP (SZR)	— автоматическое включение резерва
ABHP	— автоматический возврат к нормальному режиму
АГП	— автомат гашения магнитного поля
АПВ (AKS)	— автоматическое повторное включение
АРВ	— автоматический регулятор возбуждения
АТ	— автотрансформатор
АЧР	— автоматическая частотная разгрузка
АЭС	— атомная электростанция
БСК (CB)	— батарея статических конденсаторов
В (Q)	— выключатель
ВЛ (W)	— воздушная линия электропередачи
ВН (Q)	— выключатель нагрузки
ДГК	— дугогасящая катушка
ДГР	— дугогасящий реактор
ДЗШ	— дифференциальная защита шин
ЗН (QSG)	— заземляющий разъединитель (заземляющие ножи разъединителя)
ЗОН	— заземляющий однополюсный нож
ЗРУ	— закрытое распределительное устройство
ИП	— источника питания
КЗ (QN)	— короткозамыкатель
К. З.	— короткое замыкание
КЛ	— кабельная линия электропередачи
КРУ	— комплектное распределительное устройство
КРН, КРУН	— комплектное распределительное устройство наружной установки
КРУЭ	— комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией
КСО	— камера сборная одностороннего обслуживания
КТП	— комплектная трансформаторная подстанция
ЛЭП (W)	— линия электропередачи
МЭА	— Международное энергетическое агентство
МЭК	— Международная энергетическая комиссия
ОД (QR)	— отделитель
ОВ (QO)	— обходной выключатель
ОВБ	— оперативно-выездная бригада
ОПН (FV)	— ограничитель перенапряжения (разрядник)
ОСШ (АО)	— обходная система шин
ПА	— противоаварийная автоматика
ПС	— подстанция
РЗ	— релейная защита

РЗА — релейная защита и автоматика
 РП — распределительный пункт
 РП-ТП — распределительный пункт — трансформаторная подстанция
 РПН — устройство регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой
 РУ — распределительное устройство
 РУ НН — распределительное устройство низкого напряжения
 Ск (В) — секция шин
 СК — синхронный компенсатор
 СВ (QB) — секционный выключатель
 СР — секционный разъединитель
 СН — собственные нужды
 СШ (А) — система шин
 Т — трансформатор
 ТЗЛ — земляной трансформатор тока
 ТН (TV) — трансформатор напряжения
 ТС — телесигнализация
 ТСН — трансформатор собственных нужд
 ТП — трансформаторная подстанция
 ТТ (ТА) — трансформатор тока
 ТУ — телеуправление
 ТЭН — тепловой электрический нагреватель
 УВН — устройство высшего напряжения
 УПАСК — устройства передачи аварийных сигналов и команд
 УРОВ — устройство резервирования при отказе выключателя
 ФОЛ — устройство фиксации отключения линии
 ФОТ — устройство фиксации отключения трансформатора
 ФОВ — устройство фиксации отключения выключателя
 ЦП — центр питания
 ШОВ (QAQ) — шиносоединительный и обходной выключатель (выключатель совмещенного исполнения)
 ШСВ (QA) — шиносоединительный выключатель
 ШСН — шкаф (ящик) собственных нужд
 ЩО — щит с односторонним обслуживанием
 Q — выключатель в силовых цепях
 QF — автоматический выключатель
 QW — выключатель нагрузки
 М — двигатель
 QS — разъединитель
 QS — рубильник
 F — предохранитель
 P — измерительный прибор
 PA — амперметр
 PV — вольтметр
 PI — счетчик активной энергии

РК — счетчик реактивной энергии
 BL — датчик уровня
 BK — тепловой датчик
 BT — датчик температуры
 KT — реле времени
 KSG — реле газовое
 KSV — реле контроля цепи напряжения
 KA — реле тока
 KV — реле напряжения
 KH — указательное реле
 KK — электротепловое реле
 KL — промежуточное реле
 KQ — реле фиксации положения выключателя
 KBS — реле блокировки от многократных включений
 KQC — реле положения выключателя «включено»
 KQT — реле положения выключателя «отключено»
 KM — контактор, магнитный пускатель
 YAC — электромагнит включения
 YAT — электромагнит отключения
 Y — электромагнитный замок блокировки разъединителя
 YG — электромагнитный замок блокировки заземляющего разъединителя
 YSQ — электромагнитный замок блокировки тележки выключателя КРУ
 S — аппарат коммутации в цепях управления, сигнализации и измерения
 S — рубильник в цепях управления
 SA — ключ управления (переключатель)
 SB — ключ переключения режима
 SF — выключатель автоматический
 SQ — выключатель путевой
 SQ — вспомогательный контакт выключателя
 SQS — вспомогательный контакт разъединителя
 EL — лампа накаливания
 EK — нагревательный элемент
 C — конденсатор

Примечание. В скобках приводятся обозначения оборудования соответственно с системой обозначений МЭА.

ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие предназначено для студентов, обучающихся по программе бакалавриата направления 140400 (13.03.02) «Электроэнергетика и электротехника» при изучении дисциплин «Электрическая часть электростанций и подстанций» и «Электрическая часть ТЭЦ и подстанций». Оно также может быть полезным для работников, занимающихся проектированием, обслуживанием и эксплуатацией объектов электроэнергетических систем (ОЭС), и тем, кто осуществляет управление режимами электрических сетей.

Энергетика России, ее электрические сети сооружались на протяжении многих десятилетий. В магистральных и распределительных сетях до сих пор работают подстанции, построенные более 70 лет назад, в соответствии с действовавшими в каждый период типовыми проектными решениями. С годами они менялись с учетом изменяющихся требований, предъявляемых к надежности электроснабжения потребителей, финансовых ресурсов, которые могли быть направлены в электроэнергетику, с появлением новых видов оборудования.

В данной книге автор знакомит читателя с тем многообразием схем электрических подстанций, которые работают в России в электрических сетях разного уровня. Основная часть материала книги посвящена схемам электрических соединений распределительных устройств (РУ). Распределительное устройство — важный элемент любого объекта энергосистемы. Оно предназначено для соединения друг с другом основного оборудования электростанций и подстанций, а также линий электропередач разного назначения.

Схем, по которым выполнялись и выполняются РУ действующих подстанций, несколько десятков. Они отличаются составом оборудования и вариантами его связи в РУ. В пособии рассмотрены все действующие типовые схемы РУ подстанций 35–750 кВ, а также многие другие, не типовые схемы РУ.

Применение типовых схем РУ на ПС гарантирует необходимый уровень надежности питания электроэнергией её потребителей и, как правило, требует минимума затрат на ее проектирование, сооружение и эксплуатацию.

К нетиповым схемам, прежде всего, относятся схемы РУ, исключенные в свое время из состава типовых схем. Например, упрощенные схемы РУ с отделителями и короткозамыкателями. Знание их необходимо, поскольку в России еще много подстанций, на которых эти схемы применяются.

В процессе изучения схем РУ читателю прежде всего нужно понять общие принципы их выполнения, а также роль входящего в них конкретного оборудования. Уяснить логику работы устройств релейной защиты и автоматики (РЗ и А) при различных отказах в электроаппаратах самого РУ и на подключенных к нему присоединениях. Ознакомиться с основными правилами проведения оперативных переключений при выводе оборудования в ремонт и вводе его в работу.

В книге использованы материалы ГОСТ Р 59279-2020 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электрические се-

ти. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций. Типовые решения. Рекомендации по применению» [3]. Они дают общее представление о каждой группе схем РУ. Их используют при проектировании новых объектов энергосистем.

Рассмотрены многочисленные примеры схем нормального режима работы подстанций, используемых в диспетчерских организациях, а также оперативные схемы РУ, с которыми работает обслуживающий подстанции персонал.

В 8 разделе книги читатель может ознакомиться с двумя десятками реальных схем подстанций распределительных и магистральных электрических сетей 35–750 кВ. Приводится их описание с указанием особенностей каждой схемы.

В немногочисленных изданиях последнего времени, в которых уделяется внимание схемам РУ, авторы в лучшем случае рассматривают действующие типовые схемы РУ с очень кратким их описанием. По сути, цитируя директивные документы [1–3], попытка более широкого рассмотрения схем РУ подстанций сделана в [15], а применительно к электрическим станциям энергосистем в [18, 19].

Свой профессиональный уровень знаний читатель сможет также существенно повысить, ознакомившись с книгами известных в свое время авторов: С. С. Рокотяна и Я. С. Самойлова, Г. С. Лисовского и М. Э. Хейфица, Л. И. Двоскина.

Их фундаментальные книги [7–9] были изданы в СССР до 1985 г. и с тех пор в нашей стране больше, к сожалению, не выходили. На них выросло не одно поколение советских энергетиков, многие из которых уже оставили свою работу. Вопросы, относящиеся к схемам подстанций, рассмотрены в указанных книгах с серьезным анализом их надежности, стоимости и возможностей практической реализации в конкретных условиях. В книгах указанных авторов рассматриваются схемы и конструкции РУ, которые нашли в свое время широкое применение и в нашей стране, и за рубежом.

Автор выражает большую благодарность Геннадию Павловичу Шафорову и Ларисе Витальевне Вайтеленок за помощь в подготовке рукописи учебного пособия к изданию.

Свои отзывы, замечания и пожелания читатели книги могут направлять по адресу электронной почты vismark@yandex.ru.

1. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ (СТРУКТУРНЫЕ) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИЙ

Согласно [1] электрическая подстанция — электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электрической энергии. Преобразование может осуществляться по напряжению или частоте. В первом случае подстанция называется трансформаторной, а во втором преобразовательной. На преобразовательных подстанциях происходит выпрямление или инвертирование электрического тока. В основном в электроэнергетических системах эксплуатируются трансформаторные подстанции для связи сетей разных номинальных напряжений.

Принципиальные (структурные) электрические схемы любого объекта электроэнергетической системы (ОЭС) отражают связи между его основным электрооборудованием: трансформаторами (автотрансформаторами), источниками реактивной мощности, специальными средствами регулирования напряжения, устройствами ограничения токов КЗ, генераторами (на электрических станциях). На этих схемах отражаются связи основного оборудования с распределительными устройствами (РУ) различных напряжений. Оборудование распределительных устройств на принципиальных схемах не показывается. РУ изображаются на этих схемах в виде прямоугольника с указанием соответствующего номинального напряжения и в некоторых случаях варианта конструктивного его выполнения (ОРУ, ЗРУ, КРУ и др.). Выбор принципиальной электрической схемы ЭС или ПС — начальный этап разработки главной электрической схемы объекта электроэнергетической системы.

Структурные схемы подстанций определяются прежде всего их принадлежностью к той или иной сети энергосистемы:

- системообразующей или магистральной 220–750 кВ;
- региональной распределительной электрической сети общего назначения (пользования) 35–110 кВ;
- распределительной локальной сети 0,4–20 кВ.

Принадлежность ПС к той или иной сети определяет значения номинальных напряжений ее распределительных устройств, их количество и схемы РУ. Этот фактор определяет и состав, и параметры основного оборудования ПС, а именно трансформаторов, устройств компенсации реактивной мощности, регулирования напряжения, ограничения токов КЗ и др. Так, на ПС в качестве главных элементов могут быть установлены обычные двухобмоточные трансформаторы, двухобмоточные трансформаторы с расщепленной обмоткой НН, трехобмоточные трансформаторы или автотрансформаторы (автотрансформаторы с расщепленной обмоткой НН). На ПС могут быть установлены шунтирующие реакторы, синхронные компенсаторы (СК) или батареи статических конденсаторов (БСК), устройства продольной компенсации (реактивного сопротивления), регулировочные или вольтодобавочные трансформаторы, а также токоограничивающие реакторы, устройства компенсации емкостных токов сети.

Наиболее полная классификация ПС приведена в [8]. Соответственно с ней они поделены на три основные категории:

- ПС, выполненные по упрощенным схемам без выключателей или с 1–2 выключателями на высшем напряжении;
- ПС проходные с малым числом линий и выключателей;
- ПС узловые (мощные коммутационные узлы энергосистемы) с большим числом присоединений и выключателей.

ПС по упрощенным схемам могут быть с разными вариантами защиты трансформатора: с предохранителем, с короткозамыкателем, с отделителем и короткозамыкателем, с предохранителями и выключателями нагрузки, с различными системами передачи телеотключающего импульса.

По назначению ПС делятся на потребительские и системные.

Большая часть подстанций распределительной сети относится к потребительским и связывает между собой сети только двух номинальных напряжений. На них, соответственно, используются двухобмоточные трансформаторы с обычной или с расщепленной обмоткой низшего напряжения.

На системных подстанциях связи сетей трех (реже четырех) разных напряжений устанавливаются трехобмоточные трансформаторы или автотрансформаторы. Трехобмоточные трансформаторы применяются при разных режимах нейтрали сети высокого и среднего напряжения: соответственно, эффективно заземленная для сети ВН и изолированная нейтраль для сетей НН и СН. Автотрансформаторы связывают сети высокого и среднего напряжения с эффективно или глухо заземленной нейтралью.

По способу подключения к питающей сети ПС делятся на:

- тупиковые, питаемые от одной или двух тупиковых (радиальных) линий;
- ответвительные (отпаечные), питаемые от одной или двух проходящих линий с одно- или двухсторонним питанием;
- проходные, включаемые в расщепку одной (реже двух) линий с одно- или двухсторонним питанием;
- комбинированные (узловые), когда кроме питающих линий к РУ ВН подключаются линии радиальные или транзитные.

По количеству напряжений могут быть ПС с:

- двумя напряжениями (ВН и НН);
- тремя напряжениями (ВН, СН, НН);
- четырьмя напряжениями (ВН, СН1, СН2, НН).

ПС с четырьмя напряжениями относятся всегда к системным. К ним же относятся и ПС, на которых три разных напряжения, но ВН не менее 220 кВ, а среднее не менее 110 кВ.

По количеству устанавливаемых трансформаторов *одного и того же назначения* могут быть ПС с одним, двумя, тремя и четырьмя трансформаторами. На системных ПС бывают группы трансформаторов разного назначения для связи РУ разных напряжений. Это те ПС, на которых есть два средних напряжения.

На большинстве ПС устанавливаются один или два главных трансформатора. В составе *первой очереди* более двух трансформаторов принимается на основе технико-экономических расчетов. На ПС с большими сроками эксплуатации более двух трансформаторов может оказаться после частичной её реконструкции или расширения.

Парные трансформаторы (автотрансформаторы) ПС одного и того же назначения, как правило, одинаковые. Иные случаи могут иметь место на ПС после их реконструкции и отсутствии на ее этапе возможности подобрать трансформатор с требуемыми параметрами.

На ПС распределительных сетей используются обычно трехфазные трансформаторы. На ПС магистральных сетей также преимущественно устанавливается трехфазное оборудование. При отсутствии трехфазного автотрансформатора необходимой мощности, а также при наличии транспортных ограничений, допускается применение на этих ПС либо группы однофазных автотрансформаторов, либо работающих параллельно двух трехфазных автотрансформаторов одинаковой мощности. При установке на ПС одной (единственной) группы однофазных автотрансформаторов, предусматривается резервная фаза [2].

На ПС с высшим напряжением 35 кВ и выше применяются трансформаторы, оборудованные устройством автоматического регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). Наличие у трансформатора РПН (на электрической схеме) обозначается стрелкой, пересекающей его обмотку высшего или среднего напряжения. Другой вариант регулирования напряжения на трансформаторе предусматривает изменение коэффициента трансформации (переключение) при его отключенном состоянии или без возбуждения (ПБВ). У трехобмоточных трансформаторов возможно наличие двух регулирующих напряжение устройств: и с РПН, и с ПБВ.

В вариантах схем ПС с трехобмоточными трансформаторами или автотрансформаторами, при питании от их обмоток низшего напряжения, помимо собственных нужд других потребителей энергии, могут устанавливаться линейные регулировочные трансформаторы (ЛРТ). При *трехобмоточных* трансформаторах с РПН, для обеспечения независимого регулирования напряжения в сетях СН или НН установка ЛРТ на одной из сторон трансформатора, требует технико-экономического обоснования [2]. В вариантах с автотрансформаторами установка ЛРТ на НН имеет место всегда, за исключением случаев, когда требуемый уровень напряжения на НН и СН ПС обеспечивается другими способами, например источниками реактивной мощности. На ПС, построенных в СССР до середины прошлого века, еще работают АТ без РПН. Для регулирования напряжения в этих случаях применяются специальные вольтодобавочные трансформаторы.

Средством регулирования напряжения на подстанциях 6–10/0,4 кВ является устройство ПБВ, позволяющее менять коэффициенты трансформации трансформаторов в диапазоне до 10% от $U_{ном}$.

Для выработки или потребления реактивной мощности на ПС могут быть установлены специальные устройства: батареи статических конденсаторов (БСК) или синхронные компенсаторы (СК). Чаще всего БСК подключаются

к РУ НН ПС, реже к РУ СН (35–110 кВ). То же относится и к СК. В сетях 35 кВ и более дефицита реактивной мощности, как правило, не бывает. Приближение устройств компенсации реактивной мощности к ее потребителям позволяет наиболее эффективно снижать потери мощности, электроэнергии и напряжения в оборудовании электрических сетей.

При отсутствии на ПС магистральной сети, как такового, РУ НН (без подключения к ПС распределительной сети 6–20 кВ) СК, так же, как и трансформаторы собственных нужд ПС, подключаются к выводам обмоток НН автотрансформаторов. При наличии на ПС полноценного РУ НН СК, может подключаться или к РУ НН, или к выводам обмоток НН автотрансформаторов. Вариант подключения СК зависит от режима его работы (выдача или потребление реактивной мощности) и от того, в сеть какого напряжения преимущественно передается реактивная мощность (НН или СН).

Для компенсации реактивной мощности, генерируемой линиями электропередач, применяются шунтирующие реакторы (ШР). Они выпускаются для классов напряжения от $6,6/\sqrt{3}$ до $787/\sqrt{3}$ кВ. Наиболее часто эти устройства подключаются к установкам 500 и 750 кВ. В установках 6–10 и 35 кВ реакторы используются в сочетании с БСК для регулирования выдаваемой в сеть реактивной мощности.

Примеры структурных схем ПС приводятся на рисунке 1.1. Пунктиром на этом рисунке показаны элементы оборудования, которые могут быть на ПС не всегда (БСК, СК, устройства РПН трансформаторов).

Схема рисунка 1.1а применяется для ПС с низшим номинальным напряжением от 0,4 до 10 кВ. Диапазон напряжений РУ ВН 6–220 кВ. Как было сказано ранее, при высшем напряжении 35 кВ и более трансформаторы оснащаются РПН. Такой вариант схемы ПС применяется чаще всего для питания нагрузок 3-й категории. Он допустим при питании нагрузки, среди которой есть кроме потребителей третьей категории и потребители второй категории, если в электрической сети может быть организована быстрая (в соответствии с нормативом времени) замена неисправного трансформатором резервным.

В схеме рисунка 1.1б предусматривается резервирование питания части нагрузки ПС по линиям связи РУ НН с другими источниками — чаще всего аналогичной ПС. Такие схемы характерны для ПС распределительных сетей городов и предприятий, реже сетей сельскохозяйственных районов. В сельской местности реализация этого варианта затруднена из-за больших расстояний одной ПС от другой. На сетевых однитрансформаторных ПС за пределами расчетного периода (5 лет после ее сооружения) трансформатор может работать систематически с мощностью большей номинальной. Допустимость работы трансформаторов с систематическими нагрузками, большими его номинальной мощности, должна быть оценена по методике, определенной ГОСТ 14209-85 [4].

Все остальные — структурные схемы ПС, показанные на рисунке 1.1, обеспечивают более высокий уровень надежности передачи мощности. Они могут использоваться для питания электроэнергией потребителей любых категорий, а также надежной связи сетей высоких и сверхвысоких напряжений.

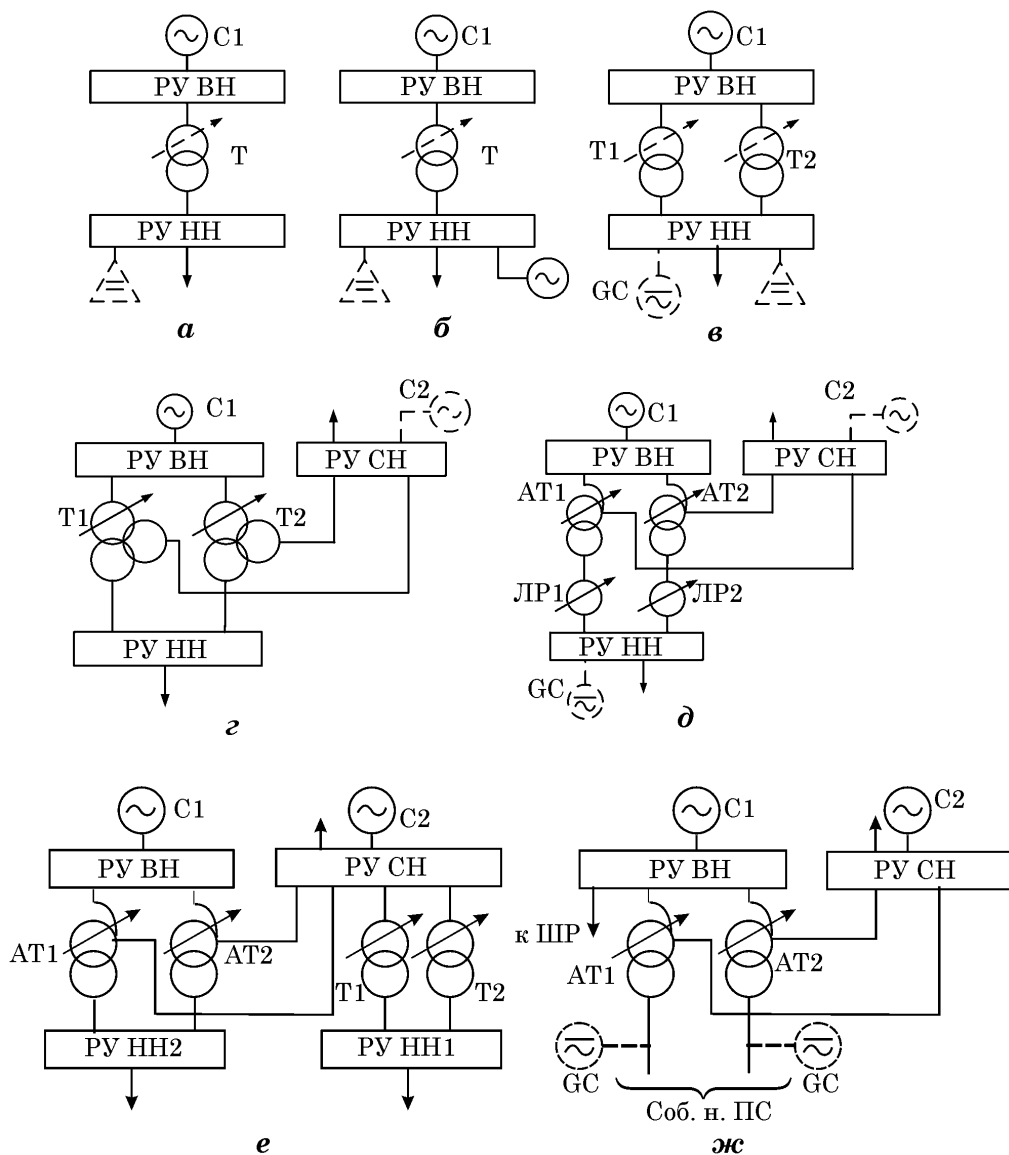


Рис. 1.1
Структурные схемы ПС:

а — с одним двухобмоточным трансформатором без резервирования; б — с одним двухобмоточным трансформатором с резервированием; в — с двумя двухобмоточными трансформаторами; г — с двумя трёхобмоточными трансформаторами; д — с двумя автотрансформаторами и ЛРТ; е — с двумя автотрансформаторами и двумя двухобмоточными трансформаторами; ж — с двумя автотрансформаторами и синхронными компенсаторами.

Схема на рисунке 1.1в — одна из самых распространенных в городских и заводских распределительных сетях 6–10 кВ, а также региональных распре-

лительных электрических сетях общего пользования 35–110 кВ. В нормальных условиях оба трансформатора находятся в работе. Каждый из них обеспечивает питание нагрузки присоединенной к нему секции РУ НН. Отключение одного трансформатора может быть обусловлено отказом в самом трансформаторе или оборудовании его связи с РУ ВН (РУ НН) с последующим их ремонтом. Возможен вариант преднамеренного отключения одного из двух трансформаторов для уменьшения потерь электроэнергии в них при существенном так называемом сезонном снижении нагрузок на ПС. Выгодность работы с одним трансформатором на двухтрансформаторных ПС должна быть подтверждена технико-экономическим расчетом.

Вариант схемы на рисунке 1.1г с трёхобмоточными трансформаторами применяется при связи на ПС сетей трех разных напряжений, чаще всего в региональной распределительной электрической сети общего пользования 35–110 (220) кВ. При этом сети ВН и СН работают с разными режимами нейтрали. В сети ВН нейтраль эффективно заземленная, а в сети СН — нейтраль изолированная или скомпенсирована через дугогасящий реактор (резистор).

На ПС с автотрансформаторами (рис. 1.1д, е, ж) во всех случаях они связывают друг с другом сети с эффективно или глухо заземленными нейтральями (750–110 кВ).

Между выводами ВН и СН одноименных фаз АТ имеется электрическая связь. Выводы ВН и СН между собой связывает последовательная обмотка (ПО) АТ. К выводу СН подключен также конец общей обмотки (ОО) АТ. Начало ОО связано с нейтралью. Нейтраль АТ, таким образом, является общей точкой для обмоток и ВН, и СН. Заземление нейтрали АТ исключает возможность повышения фазных напряжений до величин линейных при однофазных замыканиях на землю в сети СН или ВН. Именно это имеет место в сетях с изолированной нейтралью. Подробно принцип работы АТ в разных режимах рассмотрен автором в [13].

Схема на рисунке 1.1ж (без питания от нее нагрузки 6–20 кВ) применяется на ПС межсистемных связей с очень большими номинальными напряжениями РУ ВН (330, 500, 750 кВ) и РУ СН (110, 220, 330 кВ). Нагрузка населенных пунктов, расположенных вблизи ПС таких классов напряжения, подключается к местной распределительной сети 6–20 кВ. К обмоткам низкого напряжения АТ такой ПС всегда подключаются трансформаторы собственных нужд ПС. Как было сказано ранее, помимо них к обмоткам низкого напряжения АТ могут подключаться синхронные компенсаторы (на рис. 1.1 обозначены как ГС).

Вариант схемы на рисунке 1.1е характерен для ПС, сооружаемых в два этапа. На первом этапе на ПС устанавливаются два двухобмоточных трансформатора Т1 и Т2 для питания нагрузки, подключенной к РУ НН1. ПС при этом относится к распределительной сети энергосистемы. На втором этапе при значительном увеличении нагрузки, подключаемой к ПС на низком напряжении, и (или) необходимости передачи большой мощности в сеть, к которой ПС была подключена на первом этапе, на ПС устанавливаются АТ1 и АТ2 и она становится объектом магистральной сети энергосистемы. Возможен вариант реконструкции ПС с установкой временно или окончательно на ней только одного

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru