

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные сокращения	7
Введение	9

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПОДСТАНЦИЙ

1.1. Источники электрической энергии и ее распределение на объектах абонентов	12
1.2. Основные параметры качества электрической энергии	16
1.3. Режимы работы электрических систем и подстанций	17
1.4. Основные положения методики расчета установившихся режимов электросистемы	20
1.5. Управление режимами и развитием электрических систем	22
1.6. Режимы работы нейтралей электрических систем и установок	24

Глава II

ОСНОВНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

2.1. Синхронные генераторы	35
2.2. Шинные конструкции и изоляторы	38
2.3. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы	41
2.4. Конструкторско-технологические особенности трансформаторов ЗАО «Электрошит»	52
2.5. Классификация электрических аппаратов и распределительных устройств высокого напряжения	55
2.6. Конструктивное исполнение выключателей высокого напряжения	60
2.7. Конструктивное исполнение разъединителей, отделителей, короткозамыкателей и заземлителей	69
2.8. Конструктивное исполнение выключателей нагрузки, предохранителей, разрядников, реакторов	75
2.9. Конструктивное исполнение измерительных трансформаторов	81

Глава III

НОВОЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРО-ПОДСТАНЦИЙ ИМПОРТНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

3.1. Сухие трансформаторы с литой изоляцией	90
3.2. Высоковольтные коммутационные аппараты для РУ	93
3.3. Реклоузер вакуумный	105
3.4. Литые токопроводы внутреннего и наружного применения	108
3.5. Сухие токоограничивающие реакторы	112

Глава IV

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1000 В

4.1. Основные понятия и определения	117
4.2. Конструктивное выполнение электрических сетей	118
4.3. Расчет электрических сетей	128
4.4. Определение потерь электрической мощности и электроэнергии	135
4.5. Выбор сечений проводов и жил кабелей	139

Глава V

ПОДСТАНЦИИ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

5.1. Назначение и классификация подстанций	145
5.2. Схемы и основное электрооборудование главных понижительных подстанций	146
5.3. Конструкции подстанций на 6...10/0,4...0,66 кВ	162
5.4. Распределительные устройства	179
5.5. Электрические измерения, контроль, управление и сигнализация на подстанциях	204
5.6. Выбор числа и мощности трансформаторов для пункта приема электроэнергии объекта	210

Глава VI

СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

6.1. Построение системы электроснабжения объекта	216
6.2. Виды схем электроснабжения	219
6.3. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций	224

6.4. Компенсация реактивной мощности	226
6.5. Конструктивные особенности электрических подстанций нефтяной и газовой отраслей промышленности	230

Глава VII

ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ. ВЫБОР И ПРОВЕРКА ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ, ИЗОЛЯТОРОВ И АППАРАТОВ

7.1. Изменение силы тока в трехфазной цепи при коротком замыкании	241
7.2. Расчет силы токов короткого замыкания	244
7.3. Действие токов короткого замыкания и способы ограничения их силы	260
7.4. Выбор и проверка токоведущих частей, изоляторов и аппаратов	265

Глава VIII

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ПОДСТАНЦИЙ

8.1. Общие вопросы релейной защиты	274
8.2. Классификация реле	276
8.3. Конструкция вторичных реле	278
8.4. Токовая защита	287
8.5. Схемы защиты силовых трансформаторов и сетей отходящих от подстанций	293
8.6. Автоматика в системах трансформаторных подстанций	301
8.7. Сведения об источниках оперативного тока электрических подстанций	311

Глава IX

КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (АППАРАТОВ И УСТРОЙСТВ), НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

9.1. Конструкции сетей напряжением до 1000 В, отходящих от подстанций	315
9.2. Схемы электрических сетей напряжением до 1000 В	318
9.3. Конструкция аппаратов защиты электрических сетей и установок напряжением до 1000 В	321
9.4. Низковольтные комплектные распределительные устройства трансформаторных подстанций	330
9.5. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию проекта электроподстанции	334

Глава X

ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ И ЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

10.1. Защитное заземление	340
10.2. Классификация систем заземления	344
10.3. Зануление	348
10.4. Конструктивное выполнение и расчет заземляющих устройств	350

Глава XI

**ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПУЭ И ПТЭ
ПРИ СООРУЖЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

11.1. Размещение электротехнических сооружений на территории подстанций	358
11.2. Правила сооружения распределительных устройств	359
11.3. Требования к установке трансформаторов	364
11.4. Масляное и ремонтное хозяйство электроподстанций	367
11.5. Надзор и уход за трансформаторами	369
Приложения	372
<i>Приложение 1. Трансформаторы и автотрансформаторы</i>	372
<i>Приложение 2. Концевые муфты для кабелей, не распространяющих горение на напряжение 1...10 кВ</i>	383
<i>Приложение 3. Соединительные муфты для кабелей не распространяющих горение на напряжение 1...10 кВ</i>	385
<i>Приложение 4. Принципиальные однолинейные схемы главных цепей шкафов КРУ серии КРУ2-10-20УЗ</i>	387
<i>Приложение 5. Основные технические показатели КРУ</i>	391
<i>Приложение 6. Однолинейные схемы главных цепей ЩО-70</i>	393
Библиографический список рекомендуемой литературы	412

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АВР	— автоматическое включение резерва
АПВ	— автоматическое повторное включение
ВБК	— высоковольтные батареи конденсаторов
ВЛ	— воздушная линия
ВН	— высшее напряжение
ГПП	— главная понизительная подстанция
ЗРУ	— закрытое распределительное устройство
ИП	— источник питания
ИС	— источник света
КЗ	— короткое замыкание
КЛЭП	— кабельная линия электропередачи
КПД	— коэффициент полезного действия
КРУ	— комплектное распределительное устройство
КСО	— камера стационарная одностороннего обслуживания
КТП	— комплектная трансформаторная подстанция
ЛЭП	— линия электропередачи
ОРУ	— открытое распределительное устройство
ПАР	— послеаварийный режим
ПВ	— продолжительность включения
ПГВ	— подстанция глубокого ввода
ПКН	— предохранитель кварцевый для защиты трансформаторов напряжения
ПУЭ	— правила устройства электроустановок
РП	— распределительный пункт, или распределительная подстанция
РУ	— распределительное устройство
РУНН	— распределительное устройство низкого напряжения
РШ	— распределительный шкаф
СУВН	— соединительное устройство со стороны высшего напряжения
СУНН	— соединительное устройство со стороны низшего напряжения
ТАВР	— тиристорное устройство автоматического ввода резерва
ТП	— трансформаторная подстанция
ТЭР	— технико-экономический расчет

УВН	— устройство ввода со стороны высшего напряжения
ЦЭН	— центр электрических нагрузок
ШБР	— шкафы блочно-релейные
ШВВ	— шкафы ввода высокого напряжения
ШЛ	— шкафы линейные
ШМА	— шинопровод магистральный алюминиевый
ШР	— шкафы релейные
ШРА	— шинопровод распределительный алюминиевый
ШС	— шкафы секционные
ЩСУ	— щитовая станция управления
ЭД	— электродвигатель
ЭДС	— электродвижущая сила
ЭП	— приемник электрической энергии
ЭУ	— электроустановка
ЭЭ	— электрическая энергия
ЭНС	— энергетическая система

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и усложнение конструкций электроподстанций, возрастающие требования к их надежности и экономичности, широкое внедрение автоматизированных систем учета, контроля и управления распределением и потреблением электроэнергии требуют высококвалифицированных инженеров-электриков.

Стратегия развития Единой национальной (общероссийской) электрической сети (ЕНЭС) на десятилетний период, разработанная ФСК ЕЭС предусматривает масштабную замену морально и физически устаревшего электрооборудования (износ сетей ФСК в целом составляет 41%, в том числе подстанционного оборудования — 65%, ЛЭП — 36%, зданий и сооружений — 23,2%). При этом сетевое хозяйство Российской Федерации характеризуется следующими данными:

- ✧ общая протяженность воздушных линий электропередачи 0,38...1150 кВ составляет 3 млн. км., в том числе напряжением 220...150 кВ — 156,9 тыс. км;
- ✧ протяженность воздушных и кабельных линий 0,38...110 кВ в стране составляет более 3 млн. км, в том числе входящих в ЕНЭС (в основном напряжением 220 кВ и выше), превышает 154 тыс. км;
- ✧ количество подстанций 35...1150 кВ составляет порядка 18 тыс. штук, установленная мощность трансформаторов — 610 тыс. МВ·А, в том числе напряжением 220...750 кВ — 326 тыс. МВ·А;
- ✧ в распределительных электрических сетях действует около 17000 подстанций 35...110/6...10 кВ, а также около 800 000 ТП 6-10/0,4 кВ (мощностью до 630 кВ·А) с установленной мощностью силовых трансформаторов около 180 тыс. МВ·А;
- ✧ в эксплуатации находится более 1,5 млн. комплектов устройств релейной защиты и электроавтоматики.

При выборе видов новой техники и технологий необходим учет имеющегося опыта передовых зарубежных стран, возможностей отечественной промышленности и строитель-

ных организаций. К намеченным к внедрению прогрессивным электросетевым технологиям отнесены: гибкие (управляемые) системы передачи электроэнергии (FACTS) с использованием статических тиристорных компенсаторов (СТАТКОМ), управляемых шунтирующих реакторов и систем их управления на базе микропроцессорной техники; использование явления «высокотемпературной» и «низкотемпературной» сверхпроводимости; накопители электрической энергии; полностью автоматизированные подстанции с дистанционным управлением коммутационными аппаратами; силовые трансформаторы, обладающие повышенной стойкостью к токам короткого замыкания; элегазовые выключатели; элегазовые комплектные распределительные устройства (КРУЭ) и др.

В этих условиях от будущих ИТР, специализирующихся в области электроснабжения, требуются знания широкого комплекса вопросов в сферах производства, передачи, преобразования и потребления электроэнергии.

При проектировании электрических подстанций проявляется взаимное влияние многих факторов: выбор силовых трансформаторов, компенсация реактивной мощности и т. д., влияет на качество электроэнергии, надежность и экономичность работы электроподстанции; из многообразия возможных технических решений должны быть получены оптимальные или близкие к ним, что можно сделать только в процессе творческой работы.

Решению многих из указанных задач будет способствовать материал сконцентрированный в книге.

В данном пособии в соответствии с программой специальной дисциплины СДОЗ изложены общие сведения о режимах работы электрических систем и подстанций, приведена классификация трансформаторных подстанций; рассмотрены действия токов короткого замыкания на оборудование; даны методики расчета токов короткого замыкания в электроустановках напряжением до и выше 1000 В; приведены способы ограничения токов короткого замыкания, основные сведения о трансформаторах, их типах и параметрах, изоляторах и токоведущих частях распределительных устройств; коммутационном и защитном оборудовании распределительных устройств; конструкции и принципах действия трансформаторных под-

станций; схемах подстанций со вторичным напряжением до и выше 1000 В; распределительных устройствах; расчетах мощности подстанции и выбора силовых трансформаторов, основного оборудования и токоведущих частей распределительных устройств; релейной защите и автоматики; заземляющих и защитных устройствах, собственных нуждах подстанций; особенностях электрических подстанций по некоторым отраслям.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей 140205 и 140211 и может быть полезно ИТР, повышающим свой технический уровень на производстве.

Автор надеется, что данное пособие поможет развить творческие способности будущих инженеров-электриков указанных выше специальностей.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПОДСТАНЦИЙ

1.1. Источники электрической энергии и ее распределение на объектах абонентов

Питание электрической энергией потребителей промышленности, коммунального и сельского хозяйства осуществляется от сетей энергосистем или от собственных местных электрических станций.

Потребители с большой установленной мощностью электрифицированных механизмов, например, металлургические и машиностроительные предприятия; перекачивающие насосные станции магистральных трубопроводов, комплекс установок нефтяных промыслов, как правило, питаются от энергосистем.

Энергетической системой (ЭС) называют совокупность электростанций, линий электропередачи, подстанций и тепловых сетей, связанных в одно целое общностью режима и непрерывностью процесса производства и распределения электрической и тепловой энергии.

Часть энергосистемы, содержащую только электрические устройства — генераторы, распределительные устройства, трансформаторные подстанции, линии электрической сети и присоединенные к энергосистеме приемники электроэнергии — называют *электрической системой*.

Российская электроэнергетика — это 600 тепловых, 100 гидравлических, 10 атомных электростанций. Их общая установленная мощность превышает 216 млн кВт. В том числе 22,7 млн кВт (около 11%) — АЭС; 45,3 млн кВт (20%) — ГЭС; 148 млн кВт (около 69%) — ТЭС, из которых

8,9 млн кВт — дизельные, работающие на собственную нагрузку.

На ТЭС России находится в эксплуатации 250 энергоблоков общей установленной мощностью 71,8 млн кВт или 50% от установленной мощности всех ТЭС, работающих на органическом топливе.

Сведения о крупнейших ТЭС приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Крупнейшие тепловые электростанции России
мощностью более 2000 МВт**

Электростанция	Параметры			
	Установлен- ная мощ- ность, МВт	Количество и мощность агрегатов, шт. x МВт	Топливо	Год ввода в эксплуа- тацию
Сургутская-2	4800	6x800	Газ	1988
Рефтинская	3800	6x300; 4x500	Уголь	1980
Костромская	3600	8x300; 1x1200	Мазут	1980
Сургутская-1	3324	2x12; 2x180; 14x210	Газ	1986
Рязанская	2800	4x300; 2x800	Мазут	1981
Троицкая	2455	3x85; 4x300; 2x500	Уголь	1976
Ставропольская	2400	8x300	Газ, мазут	1983
Зайнская	2400	12x200	Газ, мазут	1975
Конаковская	2400	8x300	Мазут	1969
Новочеркасская	2400	8x300	Газ, мазут, уголь	1972
Ириклинская	2400	8x300	Газ, мазут	1979
Пермская	2400	3x800	Мазут, газ	1990
Киришская	2020	2x50; 2x60; 6x300	Мазут	1976

Районные сети, предназначенные для питания электроэнергией больших районов, связывают электростанции электросистемы (ЭС) между собой и с центрами нагрузок и имеют напряжение 110 кВ и выше (рис. 1.1).

Местные сети предназначены для питания небольших районов с радиусом действия до 15...20 км и напряжением до 35 кВ включительно. Линии передачи напряжением 220...1150 кВ, связывающие между собой электрические системы, принято называть межсистемными связями [1].

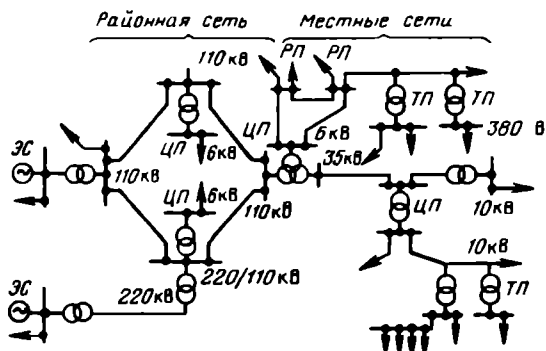


Рис. 1.1. Схема районной и местных электрических сетей электрической системы

Линии местных сетей присоединяются к распределительным устройствам генераторного напряжения электростанций (6...10 кВ) или к распределительным устройствам подстанций напряжением до 35 кВ, называемым *центрами питания* (ЦП). От ЦП электроэнергия подводится к *распределительным пунктам* (РП), от которых она поступает к электроустановкам потребителей без изменения напряжения или к *трансформаторным подстанциям* (ТП), понижающим напряжение перед ее распределением между отдельными потребителями.

Линия передачи, по которой электроэнергия передается от ЦП к РП или подстанции без распределения этой энергии по ее длине, называется *питающей*, а линия передачи, на которой имеется несколько мест отбора энергии по длине (несколько ТП или вводов к потребителям), — *распределительной*.

Сети напряжением до 1000 В, прокладываемые непосредственно на территории (и в зданиях) потребителей, подразделяют на *питающие*, отходящие от источника питания (подстанции) к групповому распределительному пункту, и *распределительные* [2].

Та часть электрической системы, которая распределяет подведенную от электростанций электрическую энергию внутри предприятия и потребляет ее, т. е. преобразует электроэнергию в энергию других видов (тепловую, механическую, световую, химическую) называется *системой электроснабжения* (СЭС). Система электроснабжения включает источники

питания предприятия электроэнергией, его электрические сети, аппаратуру управления и регулирования тока и напряжения, приемники электроэнергии. Совокупность приемников электроэнергии на объекте абонента, объединенная общим технологическим циклом, называется *потребителем электроэнергии*.

Источниками питания электрических систем служат электрические станции, которые в зависимости от вида используемой энергии природного источника делятся на *тепловые, гидроэлектрические* и *атомные* [3].

Все электростанции комплектуют генераторами, вырабатывающими электроэнергию на напряжении, которое называется *генераторным*.

Генераторное напряжение 6...20 кВ меньше напряжения линий электрической сети, наиболее рационального для передачи электроэнергии на значительные расстояния. Поэтому для преобразования генераторного напряжения 6...20 кВ в напряжение электропередачи 35...220 кВ на станции сооружаются *повысительные* подстанции (рис. 1.2), а на вводах линий напряжением 35...220 кВ объектов абонентов — *понижительные* подстанции для преобразования напряжения, подведенного от электрической системы, до 6...10 кВ, на которое рассчитаны приемники. Поэтому к источникам питания объектов электроэнергией относят и трансформаторы, хотя они не вырабатывают электроэнергию, а только преобразуют ее.

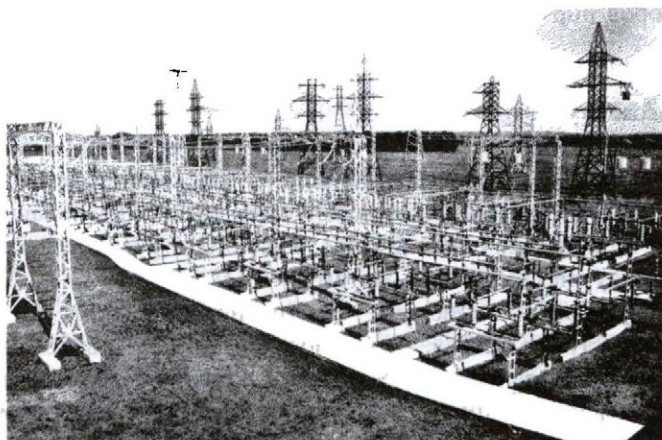


Рис. 1.2. Распределительное устройство повысительной подстанции

1.2. Основные параметры качества электрической энергии

Качество электроснабжения — это способность электрической системы обеспечивать надежное (без перерывов) электроснабжение при заданных показателях напряжения и частоты, которые установлены национальными и международными нормами. Качество электроэнергии (КЭ) характеризуется отклонениями этих показателей (ПКЭ) от установленных норм. В нашей стране качество электроэнергии по ряду показателей нормируется ГОСТ 13109–97.

Нормируемые ГОСТ допустимые изменения ПКЭ гарантируют нормальное функционирование всех элементов электрической сети при установившихся рабочих режимах. Ухудшение ПКЭ приводит главным образом к росту потерь электроэнергии, перегреву оборудования, снижению вращающего момента электродвигателей, износу изоляции, сокращению срока службы электрооборудования, созданию электромагнитных помех, отрицательно влияющих на функционирование средств автоматики, связи, вычислительной техники и т. д., а также создающих дискомфортные условия для человека.

В международной практике для характеристики КЭ пользуются более широким понятием «электромагнитная совместимость», понимая под ней способность оборудования, приборов нормально функционировать в данной электромагнитной обстановке, не внося собственных помех. При этом природа явлений и связанных с ними последствий в том и в другом случае одна и та же.

Выполнение требований стандарта у нас в стране носит обязательный характер. Перечень ПКЭ, подлежащих стандартизации, в разных странах может быть различным в зависимости от местных условий, определяющих структуру, состав, экономику электрических систем.

Структура и экономика электроэнергетических систем в нашей стране такова, что основное внимание в решении проблемы обеспечения качества электроэнергии должно быть уделено действующим сетям, так как доля вновь вводимых электроэнергетических объектов в настоящее время незначительна (2...3% от действующих мощностей). На это направ-

лен разработанный сравнительно недавно экономический механизм (см. гл. 9 п. 9.5).

Задача определения качества электроэнергии должна решаться как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации систем электроснабжения и систематически контролироваться по фактическому вкладу каждого потребителя.

К основным параметрам качества электрической энергии по напряжению в соответствии с ГОСТ 13109–97 «Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения» относятся следующие:

- ◇ отклонения напряжения (ΔU);
- ◇ коэффициент обратной последовательности (K_{2U});
- ◇ коэффициент нулевой последовательности (K_{0U});
- ◇ коэффициент несинусоидальности ($K_{нсU}$);
- ◇ коэффициент гармонической составляющей напряжения ($K_{U(n)}$);
- ◇ провалы напряжения (δU_n);
- ◇ доза колебаний напряжения (ψ) и коэффициент дозы (K_ψ).

1.3. Режимы работы электрических систем и подстанций

Основным режимом работы электрических систем и подстанций является нормальный установившийся рабочий режим. К параметрам рабочего режима относятся: значения частоты, токов в ветвях, напряжений в узлах, полной, активной и реактивной мощностей электропередачи, а также значения, характеризующие несимметрию трехфазной системы напряжений и токов и несинусоидальность изменения напряжений и токов в течение периода основной частоты.

Под рабочим режимом сети понимается ее электрическое состояние. Практически оно непрерывно изменяется в связи с отключением и включением электроприемников, изменением режима их работы и т. п. Обычно при расчетах сетей рассматриваются некоторые идеализированные характерные режимы ее работы. При этом имеются в виду *установившиеся* режимы работы, т. е. длительные, с почти постоянными параметрами, медленно изменяющимися. Характер их изменения во времени часто является случайным.

Параметры режима практически не могут быть допущены произвольными. Каждый элемент имеет номинальные данные, которые определяют допустимые параметры рабочего нормального режима. Кроме нормальных режимов, приходится рассматривать *вынужденные послеаварийные режимы*, которые имеют место при изменении схемы сети в связи с отключением оборудования. В послеаварийных режимах параметры могут иметь несколько большие по сравнению с нормальными режимами значения, но все же в приемлемых пределах.

Кроме нормальных, существуют *быстропротекающие, аварийные и неаварийные режимы*.

В процессе работы сетей могут возникнуть нарушения симметрии напряжений и токов, а также синусоидальности их изменения во времени [19].

Расчеты режимов выполняются как при проектировании, так и при эксплуатации сетей. Целью расчетов рабочего режима сети обычно является проверка технических условий, т. е. соответствия токов в отдельных элементах и напряжений в узлах сети допустимым значениям. Экономичность работы сети характеризуют значения потерь активной и реактивной мощности, а также значения потерь электроэнергии за год.

В зависимости от предъявляемых требований и поставленной задачи расчеты рабочих режимов производятся более или менее детально, с различной степенью точности и учетом влияния различных факторов. Например, при разработке плана развития электрификации страны одновременно с выбором мощности и местоположения электростанций производятся расчеты режимов основных сетей напряжением 220 кВ и выше. Эти расчеты нередко носят оценочный характер, так как нагрузки потребителей обычно известны лишь ориентировочно. Поэтому к точности результатов расчетов рабочих режимов сетей при этом предъявляются меньшие требования. Ряд элементов, например распределительные сети, в этих расчетах учитывается определенными укрупненными показателями.

При проектировании электрических систем и сетей различных напряжений на основании предварительных расчетов рабочих режимов выбираются параметры линий, оборудования электростанций, характеристики устройств защиты и ав-

томатики. Эти расчеты производятся более детально и с большей степенью точности.

В условиях эксплуатации нагрузки потребителей известны более точно, поэтому параметры режимов сетей также производятся с большей точностью, чем при проектировании. Расчеты по оптимизации режимов выполняются с учетом относительно мало влияющих факторов, которые при проектных расчетах могут не учитываться. В электрических системах расчеты по оптимизации режимов производятся с помощью ЭВМ.

В общем случае режимы являются *несимметричными* и *несинусоидальными*. Симметричный синусоидальный режим является частным случаем. Фактически он является режимом прямой последовательности основной частоты. Если степень несимметрии и несинусоидальности относительно невелика, то для определения параметров режима сети достаточно знать параметры режима прямой последовательности основной частоты.

Симметричные синусоидальные режимы работы трехфазных сетей характеризуются одинаковыми значениями параметров режима (модулей токов, напряжений, мощностей) отдельных фаз и синусоидальной формой кривых токов и напряжений. Значение полной мощности S' для трехфазной цепи в этих условиях определяется комплексным числом

$$S' = \sqrt{3}U'I' = P + jQ, \quad (1.1)$$

где I' — комплексное значение тока в соответствующей ветви сети; U' — комплексное значение линейного напряжения в рассматриваемом узле сети; P и Q — активная и реактивная мощности.

Необходимо также отметить, что в расчетах обычно используются фазные токи, линейные напряжения и трехфазные мощности.

Зависимости между параметрами режима приводятся с масштабными коэффициентами, что накладывает определенные ограничения на размерность входящих в них величин.

Часто используют следующую систему единиц: сопротивление — Ом, проводимость — См, сила тока — кА, напряжение — кВ, активная мощность — МВт, реактивная мощность — Мвар, полная мощность МВ·А.

1.4. Основные положения методики расчета установившихся режимов электросистемы

При расчетах различных режимов в ЭС приходится иметь дело с совокупностью элементов, каждый из которых может быть представлен той или иной схемой замещения. В результате объединения схем замещения этих элементов в соответствии с их электрической связью в реальной системе получаем общую расчетную схему замещения ЭС. В схемах для расчетов установившихся режимов генераторы электрических станций обычно вводятся в общую схему не в виде ЭДС, включенной за каким-то сопротивлением, а такими режимными параметрами, как выдаваемая активная мощность и модуль напряжения на их зажимах. Нагрузки на тех или иных шинах, как правило, задаются постоянными значениями активных и реактивных мощностей.

Напомним, что при расчетах ЭС с сетями нескольких номинальных напряжений в общую схему замещения помимо активных и индуктивных сопротивлений входят идеальные трансформаторы связывающие между собой части ЭС с разными $U_{\text{ном}}$. Такую схему широко используют при расчетах установившихся режимов, и при этом результатами расчета являются действительные токи ветвей и напряжения узлов каждой из ступеней, что весьма удобно для последующей оценки допустимости режима, контроля тех или иных технических ограничений и т. п. В то же время алгоритмы решения этих задач могли бы быть существенно упрощены, если бы удалось исключить из схемы идеальные трансформаторы, т. е. заменить электромагнитную связь частей системы гальванической. Это можно сделать посредством приведения параметров всех элементов схемы к одной ступени напряжения.

Для приведения к одной ступени напряжения сопротивлений и проводимостей схемы замещения используют следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \underline{\dot{Z}} &= \underline{Z}(k_{T1}k_{T2}\dots k_{Tn})^2, \\ \underline{\dot{Y}} &= \underline{Y}/(k_{T1}k_{T2}\dots k_{Tn})^2, \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

где $k_{\tau i}$ ($i = 1, \dots, 2, n$) — коэффициенты трансформации идеальных трансформаторов на пути между рассматриваемым элементом и сетью той ступени напряжения, приведение к которой выполняется (обычно это ступень с наиболее высоким напряжением). При этом вводится допущение о том, что коэффициенты трансформации всех идеальных трансформаторов, связывающих две ступени напряжения, вещественны и одинаковы.

При приближенном расчете некоторых параметров режима ЭС достаточно определить потери мощности в сети в нормальном режиме наибольших нагрузок, а также потерю напряжения до электрически наиболее удаленных точек сети в нормальном режиме наибольших нагрузок и наиболее тяжелом послеаварийном режиме.

Потери мощности определяются сначала по участкам (см. гл. 4 п. 4.3), а затем их суммируют и определяют общие потери мощности во всей сети. Полученный результат используют при технико-экономическом сравнении вариантов.

Потери напряжения в нормальном режиме определяются также сначала по участкам (см. формулу 4.15), а затем путем их суммирования рассчитывают потери напряжения до электрически наиболее удаленных точек сети.

В радиально-магистральной сети электрически наиболее удаленные точки обычно совпадают с точками, наиболее удаленными географически. В кольцевой сети электрически наиболее удаленными точками считаются также и точки потоко-раздела.

Затем выбирается наиболее тяжелый послеаварийный режим. В радиально-магистральной сети это обычно режим, возникающий после отказа одной из цепей головного участка магистрали. Так как потокораспределение при этом не изменяется, то расчет потери напряжения для этого режима производят так же, как и для нормального режима, но с учетом изменившихся сопротивлений поврежденного участка.

В кольцевой сети наиболее тяжелым послеаварийным режимом можно считать режим, возникающий после отказа наиболее загруженного головного участка кольца. При этом полностью меняется потокораспределение, так как сеть из кольцевой превращается в радиально-магистральную. Поэтому

вначале следует рассчитать потокораспределение в послеаварийном режиме, затем потерю напряжения по участкам, а затем — потерю напряжения до электрически наиболее удаленных точек.

В сетях 35 кВ и выше потери напряжения и отклонения напряжения от номинального значения не нормируются. Но, чтобы поставлять потребителям качественную электроэнергию, на подстанциях потребителей необходимо обеспечить возможность встречного регулирования напряжения. Поэтому полученные в этом разделе величины потери напряжения до наиболее удаленных точек в нормальном и, особенно, в послеаварийном режиме, нужно соотнести с возможностями серийных устройств РПН и сделать вывод, можно ли будет на всех подстанциях обеспечить встречное регулирование напряжения.

Если окажется, что потеря напряжения в каком-то режиме выше возможностей устройств РПН, то это будет означать, что данный вариант не соответствует техническим требованиям, и необходимо или внести в него какие-то изменения, снимающие данную проблему, или рассмотреть другой вариант.

1.5. Управление режимами и развитием электрических систем

Характерными оптимизационными задачами для электрических систем являются: 1) управление нормальными установившимися режимами; 2) планирование развития на разную временную перспективу.

Первая задача, называемая задачей оптимизации режимов ЭС, состоит в определении таких параметров режима, которым соответствует минимум эксплуатационных издержек на производство электроэнергии в ЭС в целом. При этом должно быть обеспечено максимально надежное электроснабжение потребителей электроэнергией заданного качества без перегрузки основных элементов системы и при минимальном вредном воздействии энергетики на окружающую среду.

Вторую задачу, в которой рассматривается планирование развития электросистемы, отличает от первой то, что минимизируются суммарные затраты по системе, включающие и стоимость сооружения новых электростанций, линий электропередачи и т. д. [20].

Приведенные оптимизационные задачи характеризуются многокритериальностью, т. е. наличием нескольких критериев оптимальности.

Для решения первой из упомянутых задач используются три критерия: *экономичность*, *уровень надежности*, *влияние на окружающую среду*. Главным способом решения многокритериальной задачи является сведение ее к однокритериальной, при этом один из критериев выбирают в качестве основного, а остальные учитывают в виде ограничений. Так, задачу оптимизации режима ЭС формулируют как задачу достижения минимума эксплуатационных затрат при заданном уровне надежности и заданном допустимом вредном воздействии на окружающую среду.

Вторая характерная особенность оптимизационных задач — их высокая размерность, т. е. большое число переменных задачи и их сильная взаимосвязь. Обычно сложные оптимизационные задачи высокой размерности делят на ряд относительно самостоятельных подзадач меньшей размерности, которые решают раздельно и при необходимости полученные решения согласовывают между собой. Такое деление возможно по функциональному, временному и территориальному признакам. Так, по функциональному признаку задачу оптимизации режима делят на две: экономически целесообразное распределение активной мощности между электростанциями и оптимизация режима сети по напряжению и реактивной мощности.

Третья характерная особенность оптимизационных задач в электроэнергетике — наличие случайных факторов и неопределенность исходной информации.

Учет случайных факторов и неопределенности исходной информации может быть выполнен с помощью метода статистического моделирования. В этом случае решение исходной задачи сводится к многократному решению задач с однозначно заданными (детерминированными) исходными параметрами. Часто дискретно изменяющиеся переменные для упрощения заменяют непрерывными с последующей корректировкой полученного решения.

Общая формулировка оптимизационных задач в электроэнергетике, с учетом рассмотренных упрощений, может быть

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru