

# Предисловие

Источники электропитания, являясь неотъемлемой частью любой инфокоммуникационной системы и любого телекоммуникационного устройства, во многом определяют надежность их функционирования и другие технико-экономические показатели. Развитие средств связи, широкое внедрение компьютерных технологий невозможно без создания высокоэффективных источников электропитания, удовлетворяющих требованиям современных интеллектуальных сетей связи. Переход от низкочастотных технологий преобразования электрической энергии к высокочастотным, широкое применение активной коррекции коэффициента мощности, внедрение модульного принципа построения устройств и систем электропитания, переход на цифровые методы управления устройствами и системами электропитания, широкое применение мониторинга с удаленного центра управления для контроля за работой отдельных устройств и электроустановок в целом. Вот далеко не полный перечень того, что отличает современные системы электропитания от ранее разработанных и широко применяющихся до настоящего времени.

Разработка и эксплуатация современных устройств и систем электропитания невозможна без изучения и понимания физических процессов, происходящих в них при различных состояниях системы, и методов предупредительного обнаружения неисправностей. Это, в свою очередь, требует глубокого знания основ силовой электроники и умения ориентироваться в ее современных тенденциях, принципах проектирования самих устройств, систем электропитания и систем контроля и управления системами.

При подготовке учебника авторы основное внимание уделяли рассмотрению физических процессов в изучаемых устройствах, тенденций их дальнейшего развития и их взаимодействия в современных системах электропитания.

Главы 1 и 9 написаны доц. В.М. Бушуевым; главы 4 и 10 — доц. В.А. Деминским; глава 5 и раздел 2.3 — доц. Л.Ф. Захаровым; главы 3, 7 и раздел 2.1 — проф. Ю.Д. Козляевым; главы 6, 8 и разделы 1.6 и 2.2 — доц. М.Ф. Колкановым.

# Введение

Бурное развитие средств связи, широкое внедрение цифровых методов обработки информации, все увеличивающийся объем передаваемой и обрабатываемой информации предъявляют все более жесткие требования к надежности бесперебойной подачи к аппаратуре телекоммуникаций электрической энергии необходимого качества. Работоспособность любой аппаратуры телекоммуникаций возможна только при условии нормального функционирования систем и устройств электропитания. Широко и успешно применявшиеся в системах электропитания в последние два десятилетия XX века низкочастотные тиристорные выпрямительные устройства в настоящее время повсеместно вытесняются высокочастотными выпрямительными устройствами с бестрансформаторным входом. Поскольку первые не отвечают требованиям современной аппаратуры телекоммуникаций не только по энергетическим и массо-габаритным показателям, но и по динамическим характеристикам, а также по уровню помех, вносимых ими в питающую сеть переменного тока. Применение новых типов мощных высоковольтных полевых транзисторов (MOSFET и IGBT), диодов, конденсаторов и магнитных материалов позволяет осуществлять преобразование энергии в устройствах электропитания (в выпрямителях, инверторах, импульсных стабилизаторах) на частотах в сотни килогерц. Повышение частоты преобразования с одновременным отказом от методов «жесткой коммутации» транзисторов, широко применяющихся до настоящего времени при широтно-импульсном управлении этими транзисторами, и переходом к методам «мягкой коммутации» или частотно-импульсным способам управления транзисторами, а также применение технологии поверхностного монтажа позволяют существенно повысить КПД и удельную мощность (мощность на единицу объема или массы) устройств электропитания. Кроме того, применяющиеся для аналоговой аппаратуры связи устройства преобразования энергии, входящие в состав систем электропитания, не приспособлены к требованиям современных систем связи в части контроля, мониторинга и программного управления с центра технической эксплуатации, что затрудняет переход на интеллектуальные сети связи. Поэтому в настоящее время в практике электропитания широко внедряются процессорный мониторинг и управление не только режимами

работы устройств в системах электропитания, но и процессорное управление их работой. В частности, отечественная промышленность начала выпуск так называемых цифровых выпрямителей и инверторов с синусоидальной формой кривой выходного напряжения.

Применение модульного принципа построения систем электропитания с горячим резервированием устройств, выполненных в соответствии с выше упомянутыми принципами, и децентрализация самих систем электропитания требуют новых подходов к их изучению и проектированию.

Основное внимание при изложении материала учебника уделялось физическим принципам работы устройств преобразования энергии, входящих в состав современных источников и систем электропитания устройств телекоммуникаций. Рассмотрены тенденции дальнейшего развития устройств и систем электропитания аппаратуры связи.

Книга предназначена для студентов, обучающихся по направлению 210400 «Телекоммуникации», а также аспирантов и специалистов в области силовой преобразовательной техники и источников электропитания широкого применения.

# Список сокращений

АБ — аккумуляторная батарея  
АВР — автоматическое включение резерва  
АТС — автоматическая телефонная станция  
ГРЩ — главный распределительный щит  
ВАХ — вольт-амперная характеристика  
ВВВ — выпрямитель с бестрансформаторным входом  
ДЭС — дизельная электростанция  
КПД — коэффициент полезного действия  
МДС — магнитодвижущая сила  
ИБП — источник бесперебойного питания  
ИН — инвертор напряжения  
КВ — конвертор вольтодобавочный  
ККМ — корректор коэффициента мощности  
КТП — комплектная трансформаторная подстанция  
КУВ — конвертор унифицированный вольтодобавочный  
ЛЭП — линия электропередачи  
ОПН — одноконтурный преобразователь напряжения  
ПЭС — передвижная электростанция  
РЩ — распределительный щит  
САР — система автоматического регулирования  
СПН — стабилизатор постоянного напряжения  
СС — схема сравнения  
СУ — схема управления  
СЭ — солнечные элементы  
СЭП — система электропитания  
ТКН — температурный коэффициент напряжения  
ТММ — трансформатор малой мощности  
ТП — трансформаторная подстанция  
ТЭЦ — теплоэлектроцентраль  
УЭ — управляющий электрод  
УБП — устройство бесперебойного электропитания  
ЭДС — электродвижущая сила  
УПТ — усилитель постоянного тока  
ЭПУ — электропитающая установка  
ЭС — энергосистема  
ЭУ — электроустановка

# Г л а в а 1

## Источники электроснабжения предприятий связи

### 1.1. Понятия об энергосистемах и электрических сетях

Основными источниками электрической энергии (источниками электроснабжения) для большинства предприятий связи являются электрические сети энергосистем. Предприятия связи стремятся по возможности располагать в местах, где они могут быть обеспечены наиболее надёжными и дешевыми источниками электроэнергии, каковыми и являются в настоящее время электрические сети энергосистем.

Под *энергетической системой* (ЭС) понимается совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этими режимами.

*Электрическая часть энергосистемы* — это совокупность электрических станций, электроустановок и электрических сетей энергосистемы. Электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электрической энергии, объединённые общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии, составляют понятие электроэнергетической системы.

*Электрической сетью* называется совокупность электроустановок для передачи и распределения энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

На электростанциях, входящих в состав ЭС, вырабатывается электрическая энергия трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц с практически синусоидальной формой кривой напряжения. С целью уменьшения потерь электрической энергии ее транспортировка от генерирующих станций до места потребления осуществляется по линиям электропередачи (ЛЭП) при высоких уровнях

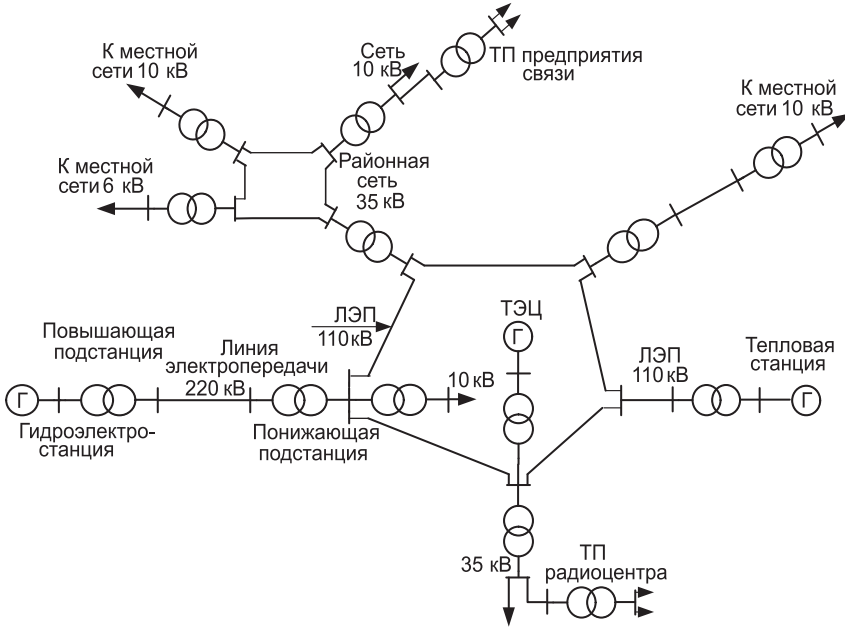


Рис. 1.1. Фрагмент электроэнергетической системы

напряжения (110...750 кВ). Предприятия связи, являющиеся для ЭС потребителями электрической энергии, подключаются к ней чаще всего с помощью собственных понижающих трансформаторных подстанций. Качество электрической энергии в точках общего присоединения потребителей к ЭС зависит не только от энергоснабжающей организации, но и от самих потребителей. В общем случае под потребителем электроэнергии понимается электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещенных на определенной территории.

На рис. 1.1 показан фрагмент ЭС. Кольцевая районная сеть с напряжением 110 кВ получает электроэнергию как от гидроэлектростанции (через повышающую подстанцию, линию электропередачи 220 кВ и понижающую подстанцию), так и от тепловой электростанции через линию электропередачи 110 кВ и повышающую подстанцию. Кроме того, эта районная сеть получает электроэнергию от районной теплоцентрали (ТЭЦ), снабжающей потребителей электрической и тепловой энергией. ТЭЦ включается в районную сеть через повышающую подстанцию.

От районной сети 110 кВ через понижающую подстанцию питается районная сеть 35 кВ, от которой, в свою очередь, через понижающую подстанцию питаются местные сети 10 или 6 кВ.

Предприятия связи могут получать электроэнергию как от местной сети 10 или 6 кВ, так и от районной сети 35 кВ через собственные понижающие трансформаторные подстанции (ТП). Собственные ТП преобразуют с помощью трехфазных трансформаторов, входящих в их состав, электрическую энергию трехфазного переменного тока относительно высокого уровня (6, 10 или 35 кВ) в электрическую энергию трехфазного переменного тока с напряжением 0,4/0,23 кВ (в числителе дроби указывается действующее значение линейного напряжения, а в знаменателе — действующее значение фазного напряжения).

Подача электрической энергии к ТП осуществляется либо по воздушным, либо по кабельным ЛЭП. С ТП через распределительные устройства по воздушным или кабельным линиям электроэнергия поступает непосредственно к потребителям электроустановки (ЭУ) предприятия связи.

## 1.2. Классификация предприятий связи по надежности электроснабжения

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники предприятий связи разделяются на три категории [1].

К первой категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для жизни людей и потерю важной информации, передаваемой по каналам связи. Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойное электроснабжение которых обеспечивает передачу информации, влияющей на ход сложных технологических процессов в области экономики, обороны и здравоохранения людей.

Ко второй категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых может вызвать временные потери в передаче информации, не относящейся к понятию «важной информации», о которой упоминалось выше.

К третьей категории электроприемников относятся остальные, не подпадающие под определение первой и второй категорий. К таким электроприемникам предприятий связи можно отнести светильники наружного освещения, устройства электроотопления и систем горячего водоснабжения, вентиляции вспомогательных помещений.

Конкретный перечень предприятий связи с указанием категорий электроприемников приводится в нормативных документах по проектированию.

Надежность электроснабжения электроприемников первой и второй категорий обеспечивается путем резервирования с помощью независимых источников.

В нормальных режимах работы электроэнергетической системы электроприемники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых друг от друга взаимно резервируемых источников, и перерыв в питании электроприемников при нарушении электроснабжения от одного из них допускается только на время работы устройств автоматического ввода резерва.

Для электроснабжения электроприемников особой группы первой категории должен предусматриваться третий независимый источник электроэнергии. Таким источником на предприятиях связи, как правило, служат собственные дизель-генераторные установки и (или) аккумуляторные батареи, реже используются генерирующие шины энергосистемы или местные электростанции.

Упомянутый выше третий независимый источник для электроприемников особой группы может быть применен как второй независимый источник для электроприемников первой и второй категории. Если с помощью резервирования источников электроэнергии нельзя обеспечить бесперебойность электропитания аппаратуры связи, то в состав электроустановок предприятия связи вводятся установки бесперебойного электропитания постоянного или переменного тока.

Применительно к технологическому оборудованию предприятий связи категоричность электроснабжения последних устанавливается ведомственными строительными нормами и, в частности, инструкцией по проектированию электроустановок предприятий и сооружений электросвязи (ВСН 332). В соответствии с ВСН 332 к электроприемникам особой группы первой категории относится технологическое оборудование междугородных телефонных и телеграфных станций, сетевых узлов и узлов коммутации, городских телефонных станций емкостью более 3000 номеров, районных узлов связи, а также регенерационных и усилительных пунктов магистральной первичной сети, включая магистральные тропосферные радиорелейные линии (РРЛ) и РРЛ прямой видимости. К первой категории относятся центральные усилительные станции радиотрансляционных узлов, городские АТС до 3000 номеров и базовые станции подвижной связи. Все остальное технологическое оборудование связи получает электроснабжение по второй категории.

Что касается другого оборудования предприятий связи, то в особую группу выделены светильники аварийного и эвакуационного освещения, в первую категорию — светильники светоограждения антенных опор, электродвигатели пожарных насосов, вентиляции, а также установка внутренней связи, охранной и пожарной сигнализации.

Все остальные электроприемники отнесены ко второй и третьей категориям.