

В. М. Бушуев, В. А. Деминский,
Л. Ф. Захаров, Ю. Д. Козляев,
М. Ф. Колканов

Электропитание устройств и систем телекоммуникаций

*Рекомендовано УМО по образованию в области
телекоммуникаций в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки
дипломированных специалистов
210400 – «Телекоммуникации»*

Москва
Горячая линия - Телеком
2011

УДК 621.311.6:621.396.6

ББК 31.264.5

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *В. Г. Карташевский*;
канд. техн. наук *В. А. Якушев*

Авторы: *В. М. Бушуев, В. А. Деминский, Л. Ф. Захаров,*
Ю. Д. Козляев, М. Ф. Колканов

Э45 Электроснабжение устройств и систем телекоммуникаций:
Учебное пособие для вузов / *В. М. Бушуев, В. А. Деминский,*
Л. Ф. Захаров и др. — М.: Горячая линия—Телеком, 2011. — 384 с.:
ил.

ISBN 978-5-9912-0077-6.

Рассмотрены вопросы организации электроснабжения предприятий телекоммуникаций и его резервирования. Приведены основные сведения по элементной базе устройств электропитания с учетом последних достижений и тенденций ее развития. Большое внимание при изложении материала уделено принципам управления и физическим процессам в современных высокочастотных устройствах преобразования электрической энергии. Рассмотрены принципы построения и основные характеристики как самих цифровых преобразовательных устройств, так и систем электропитания телекоммуникационной аппаратуры, выполненных на базе этих устройств. Рассмотрены вопросы организации мониторинга и управления в системах бесперебойного электропитания, а также вопросы надежности этих систем.

Для студентов вузов, изучающих курс электропитание устройств и систем телекоммуникаций, аспирантов и специалистов в области силовой преобразовательной техники и источников электропитания.

ББК 31.264.5

Учебное издание

Бушуев Владимир Михайлович, Деминский Владислав Александрович,
Захаров Леонид Фёдорович, Козляев Юрий Дмитриевич,
Колканов Михаил Фёдорович

Электропитание устройств и систем телекоммуникаций

Учебное пособие

Редактор Ю. Н. Чернышов

Художник В. Г. Ситников

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Подписано в печать 30.10.08. Формат 60×90 1/16. Усл.-печ. л. 27. Тираж 2000 экз. (1-й зав. 1000 экз.). Изд. № 8077.

ISBN 978-5-9912-0077-6

© В. М. Бушуев, В. А. Деминский,

Л. Ф. Захаров, Ю. Д. Козляев, М. Ф. Колканов, 2011

© Оформление издательства «Горячая линия—Телеком», 2011

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 кГц. Повышение частоты преобразования с одновременным отказом от методов «жесткой коммутации» транзисторов, широко применявшихся 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.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
Список сокращений	6
Глава 1. Источники электроснабжения предприятий связи	7
1.1. Понятия об энергосистемах и электрических сетях	7
1.2. Классификация предприятий связи по надежности электроснабжения	9
1.3. Качество электроэнергии	11
1.4. Заземление оборудования электроустановки и меры защиты	14
1.5. Трансформаторные подстанции. Автоматическое резервирование	18
1.6. Аккумуляторы	24
1.6.1. Свинцово-кислотные аккумуляторы	26
1.6.2. Щелочные аккумуляторы	41
1.7. Собственные электростанции с двигателями внутреннего сгорания	45
1.8. Преобразователи различных видов энергии в электрическую	49
1.8.1. Термоэлектрические генераторы	49
1.8.2. Электрогенераторы с фотоэлементами (солнечными батареями)	51
1.8.3. Электростанция с применением паротурбогенераторов	53
Глава 2. Электрические компоненты устройств электропитания	55
2.1. Полупроводниковые приборы	56
2.1.1. Полупроводниковые диоды	57
2.1.2. Тиристоры	62
2.1.3. Биполярные транзисторы в режиме переключения	64
2.1.4. Полевые транзисторы	70
2.1.6. Комбинированные транзисторные ключи	76
2.1.7. Элементы цепей управления МОП транзисторов и защиты от перенапряжения транзисторных ключей	79
2.1.8. Тепловая модель полупроводникового прибора ...	84
2.2. Электромагнитные устройства электропитания	85
2.2.1. Электрические реакторы	90
2.2.2. Трансформаторы	93

2.3. Конденсаторы	112
2.3.1. Параметры конденсаторов	113
2.3.2. Основные типы конденсаторов постоянной емкости и особенности их применения	117
Глава 3. Выпрямительные устройства	123
3.1. Режимы работы и основные параметры ВУ	125
3.2. Работа идеальных неуправляемых выпрямителей на на- грузку индуктивного характера	130
3.2.1. Однофазная двухполупериодная схема выпрямле- ния	130
3.2.2. Однофазная мостовая схема выпрямления	136
3.2.3. Трехфазная одноконтурная схема выпрямления	139
3.2.4. Трехфазная мостовая схема выпрямления	142
3.2.5. Каскадные схемы выпрямления	145
3.3. Работа реальных неуправляемых выпрямителей на наг- рузку индуктивного характера	148
3.4. Управляемые выпрямители	152
3.4.1. Однофазная двухполупериодная схема выпрямле- ния	152
3.4.2. Однофазные мостовые схемы выпрямления	156
3.4.3. Трехфазная мостовая схема выпрямления	159
3.5. Элементы схем управления тиристорных выпрямителей	162
3.6. Работа выпрямителя на емкостную нагрузку	164
Глава 4. Сглаживающие фильтры	174
4.1. Сглаживающие RC-фильтры	175
4.2. Сглаживающие LC-фильтры	176
4.3. Переходные процессы в сглаживающих LC-фильтрах .	179
4.4. Расчет LC сглаживающих фильтров	186
Глава 5. Стабилизаторы напряжения и тока	188
5.1. Общая классификация и основные параметры стабили- заторов	188
5.2. Параметрические стабилизаторы напряжения и тока ..	191
5.3. Компенсационные стабилизаторы напряжения постоян- ного тока с непрерывным регулированием	198
Глава 6. Преобразователи напряжения	217
6.1. Одноконтурные ППН с непосредственной связью	218
6.2. Одноконтурные ПН с гальванической развязкой	233
6.3. Двухконтурные преобразователи напряжения постоянного тока	242
Глава 7. Инверторы напряжения	251

7.1. Принципы построения инверторов. Инверторы с прямоугольной формой выходного напряжения	253
7.1.1. Рабочие процессы в типовых схемах однофазных ИН	255
7.1.2. Анализ кривой выходного напряжения инверторов	263
7.2. Инверторы напряжения со ступенчатой формой кривой выходного напряжения	265
7.3. Инверторы с синусоидальной формой выходного напряжения	266
7.4. Инверторы напряжения с самовозбуждением	269
Глава 8. Выпрямительные устройства с бестрансформаторным входом	273
8.1. Структурные схемы выпрямительных устройств с бестрансформаторным входом	273
8.2. Входной помехоподавляющий фильтр	274
8.3. Сетевой выпрямитель и входной сглаживающий фильтр	277
8.4. Коррекция коэффициента мощности в ВБВ	284
8.5. Регулируемый ПН	293
8.6. Функциональные схемы ВБВ	294
Глава 9. Электропитание телекоммуникационной аппаратуры	302
9.1. Системы электропитания аппаратуры связи	302
9.1.1. Электроустановки предприятий связи	302
9.1.2. Классификация установок электропитания и технические требования к их оборудованию	304
9.1.3. Электропитающая установка	309
9.1.4. Системы бесперебойного электропитания постоянного тока	310
9.1.5. Системы электропитания переменного тока	320
9.1.6. Комбинированные системы бесперебойного питания	326
9.1.7. Расчет и выбор оборудования установок бесперебойного электропитания	331
9.2. Электропитание аппаратуры необслуживаемых усилительных и регенерационных пунктов кабельных линий связи	339
9.2.1. Принципы организации дистанционного электропитания	339
9.2.2. Принципы построения электропитания аппаратуры необслуживаемых регенерационных пунктов волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) ..	342

9.3. Система контроля и управления оборудованием элект-	
роустановок.....	346
9.3.1. Основные положения системы	346
9.3.2. Структура системы контроля и управления	348
Глава 10. Надежность устройств и систем электропита-	
ния	353
10.1. Основы теории надежности	353
10.2. Аккумуляторная батарея как резервный элемент систе-	
мы электропитания	359
Литература	365