

В. А. Андреев
Э. Л. Портнов
Л. Н. Кочановский

Направляющие системы электросвязи

Том 1 Теория передачи и влияния

*Рекомендовано Государственным образовательным учреждением
высшего профессионального образования
«Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ)
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки «Телекоммуникации».
Регистрационный номер рецензии 018 от 22 января 2008 г. МГУП.*

Москва
Горячая линия - Телеком
2011

УДК 621.395.73

ББК 32.889

Н27

Н27 Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 — Теория передачи и влияния / В. А. Андреев, Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский; Под редакцией В. А. Андреева. — 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия—Телеком, 2011. — 424 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0092-9.

Рассматриваются состояние, принципы построения и перспективы развития сетей электросвязи Российской Федерации. Излагается теория передачи по различным типам направляющих систем электросвязи (коаксиальным, симметричным, волоконно-оптическим, сверхпроводящим, волноводным), приводятся их конструкции и характеристики. Рассматриваются также электрические влияния между проводными цепями, влияние внешних электромагнитных полей, коррозии и методы их уменьшения. По сравнению с предыдущим изданием существенно обновлены и расширены разделы, посвященные теории и развитию волоконно-оптических систем передачи и кабелей.

Для студентов вузов связи и информатики.

ББК 32.889

Учебное издание

**Андреев Владимир Александрович, Портнов Эдуард Львович,
Кочановский Лев Николаевич**

НАПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
Учебник

Редактор Ю. Н. Чернышов

Художник В. Г. Ситников

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Подписано в печать 28.12.2008. Формат 60×90 1/16. Гарнитура Computer Modern.

Усл.-печ. л. 26,5. Тираж 2000 экз. Изд. т 9092.

ISBN 978-5-9912-0092-9 (Т. 1)

© В. А. Андреев, Э. Л. Портнов,
Л. Н. Кочановский, 2011

© Оформление издательства
«Горячая линия—Телеком», 2011

Предисловие

Последнее шестое издание учебника «Линии связи» вышло в свет в 1995 г. С тех пор произошли заметные изменения в подготовке специалистов по линейно-кабельным сооружениям связи. Исходя из требований предприятий связи, занимающихся строительством и эксплуатацией сооружений связи, больше внимания стали уделять вопросам оптимизации строительства и технической эксплуатации линейно-кабельных сооружений. За это время изменилось и название курса — вместо «Линий связи» курс стал называться «Направляющие системы электросвязи» (НСЭ). Были модернизированы действующие и появились новые средства и системы передачи информации. Существенно изменилась технология проектирования, производства, строительства и эксплуатации линий связи. Создание и широкое внедрение волоконно-оптических линий связи различного назначения ознаменовали научно-техническую революцию в технике производства и эксплуатации сетей и линий связи.

На сегодняшний день в России новые магистральные, внутризоновые и межстанционные линии связи городских телефонных сетей (ГТС) строятся только с использованием волоконно-оптических кабелей (ОК). Межгородские оптические кабели подвешиваются на опорах контактной сети железных дорог и ЛЭП. Кроме того, в последние годы в городах и районных центрах достаточно широко стала применяться подвеска оптических кабелей на опорах городского электрохозяйства (опорах трамвайных и троллейбусных линий, опорах освещения).

С использованием ОК развиваются локальные кабельные сети и сети кабельного телевидения, вычислительных, банковских и внутриобъектовых систем. Достаточно широкое применение ОК находят на сетях широкополосного оптического доступа.

Вместе с тем, несмотря на широкое применение ОК, на сетях связи России продолжают эксплуатироваться линии связи на основе симметричных и коаксиальных электрических кабелей связи. Эти кабели получили применение на сетях широкополосного абонентского доступа и кабельного телевидения.

За последние годы большое количество вузов России открыли подготовку инженерных кадров по направлению «Телекоммуника-

ции» и испытывают острую нехватку в обеспечении учебного процесса учебниками и учебными пособиями вообще и по НСЭ, в частности. В связи с увеличением объема излагаемого материала по курсу НСЭ за счет разделов проектирования, строительства и технической эксплуатации линейно-кабельных сооружений связи, в первую очередь волоконно-оптических линий передачи, учебник издается в двух частях. Во вторую часть учебника выносятся разделы проектирования, строительства и технической эксплуатации линейно-кабельных сооружений. Материал учебника соответствует основным требованиям нового Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, принятого в 2002 году.

Глава 4 «Основы электродинамики направляющих систем» написана к.т.н., доцентом М.Ю. Масловым.

Авторы выражают благодарность инженеру кафедры линий связи и измерений в технике связи ПГАТИ С.А. Гаврюшину за помощь в подготовке учебника к изданию.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Современная электрическая связь	5
1.1. Краткий обзор развития направляющих систем электро- связи	5
1.2. Виды направляющих систем электросвязи и их основ- ные свойства	7
1.3. Системы многоканальной передачи по НСЭ	12
1.4. Направляющие системы передачи	14
1.5. Принципы организации междугородной высокочастот- ной связи по кабельным линиям	18
1.6. Основные требования к направляющим системам элек- тросвязи	22
Контрольные вопросы	23
Глава 2. Принципы построения и перспективы развития сети электросвязи Российской Федерации	24
2.1. Общие положения	24
2.2. Цель и задачи развития ЕСЭ России	25
2.3. Принципы построения и функционирования ЕСЭ	26
2.4. Классификация сетей электросвязи	27
2.5. Стратегия развития сети общего пользования	30
2.6. Принципы построения сети связи общего пользования	33
2.6.1. Принципы построения национального сегмента меж- дународного уровня сети связи ОП	33
2.6.2. Принципы построения междугородного уровня се- ти связи ОП	35
2.6.3. Зоновые телефонные сети	37
Контрольные вопросы	41
Глава 3. Конструкции и характеристики направляющих систем связи	42
3.1. Общие положения	42
3.2. Электрические кабели связи	42
3.2.1. Классификация электрических кабелей связи	42
3.2.2. Конструктивные элементы симметричных кабелей связи	43
3.2.3. Конструктивные элементы коаксиальных кабелей связи	48

3.2.4. Маркировка и типы электрических кабелей связи	49
3.2.5. Электрические кабели для цифровых абонентских линий	52
3.2.6. Классификация оптических кабелей связи	53
3.2.7. Типы оптических волокон	54
3.2.8. Основные конструктивные элементы ОК и матери- алы для их изготовления	57
3.2.9. Технические требования, предъявляемые к ОК ..	62
3.2.10. Основные производители и номенклатура ОК	65
3.2.11. О маркировке оптических кабелей связи	67
3.2.12. Оптические кабели для прокладки в грунт	70
3.2.13. Оптические кабели для пневмозадувки в защитные пластмассовые трубы	71
3.2.14. Оптические кабели для прокладки в кабельной ка- нализации	72
3.2.15. Подвесные оптические кабели	73
3.2.16. Подводные оптические кабели связи	78
Контрольные вопросы	81
Глава 4. Основы электродинамики направляющих сис- тем	83
4.1. Общие сведения	83
4.2. Характеристики электромагнитного поля и электрофи- зические параметры сред	85
4.3. Основные положения теории электромагнитного поля	88
4.4. Граничные условия и краевые задачи электродинамики	94
4.5. Энергетические соотношения в электродинамике	96
4.6. Электромагнитное поле волнового характера	99
4.7. Электромагнитные параметры материальных сред	101
4.8. Краевые задачи электродинамики для направляющих систем	102
4.9. Параметры направляемых волн в линиях передачи ...	104
4.10. Направляемые волны в прямоугольном металлическом вол- новоде	107
4.11. Ослабление волн при распространении в волноводе ...	111
4.12. Направляемые волны в круглом металлическом волно- воде	113
4.13. Линии передачи с T -волной	115
4.14. Общие подходы к расчету направляющих систем пере- дачи	119
Контрольные вопросы	120

Глава 5. Теория передачи по проводным направляющим системам связи	123
5.1. Уравнения передачи однородных двухпроводных направляющих систем связи	123
5.2. Вторичные параметры передачи	127
5.3. Параметры передачи согласованной направляющей системы	130
5.4. Параметры передачи направляющей системы с несогласованными нагрузками по концам	131
5.5. Направляющие системы, неоднородные по длине	136
5.6. Временные характеристики передачи	139
5.6.1. Временные характеристики	142
5.6.2. Временные характеристики с учетом потерь в диэлектрике	147
5.6.3. Искажения импульсов	149
5.6.4. Искажение импульсов на участке «кабель + корректор» ЦСП	151
Контрольные вопросы	152
Глава 6. Параметры передачи проводных направляющих систем электросвязи	153
6.1. Коаксиальные кабели	153
6.1.1. Электрические процессы в коаксиальных цепях ..	153
6.1.2. Электромагнитное поле коаксиальной цепи	157
6.1.3. Передача энергии по идеальной коаксиальной цепи	158
6.1.4. Передача энергии по коаксиальной цепи с учетом потерь в проводниках	160
6.1.5. Емкость и проводимость изоляции коаксиальных цепей	166
6.1.6. Вторичные параметры передачи коаксиальных цепей	168
6.1.7. Оптимальные соотношения диаметров проводников коаксиальной цепи	171
6.1.8. Конструктивные неоднородности в коаксиальных кабелях	173
6.2. Симметричные кабели	176
6.2.1. Электрические процессы в симметричных цепях ..	176
6.2.2. Передача энергии по идеальной симметричной цепи	178
6.2.3. Передача энергии по симметричной цепи с учетом потерь	179

6.2.4. Емкость и проводимость изоляции симметричной цепи	183
6.2.5. Основные зависимости первичных параметров симметричных цепей	185
6.2.6. Вторичные параметры симметричных цепей	187
6.3. Волноводы	187
6.3.1. Физические процессы, происходящие в волноводах	187
6.3.2. Особенности волны H_{01} в цилиндрическом волноводе	189
6.3.3. Электрический расчет цилиндрических волноводов	190
6.3.4. Спиральные волноводы, их достоинства и недостатки	192
6.4. Сверхпроводящие кабели	194
6.4.1. Сверхпроводники и диэлектрики при криогенных температурах	194
6.4.2. Электрический расчет сверхпроводящих кабелей ..	196
6.4.3. Конструктивные и электрические характеристики сверхпроводящих кабельных линий	199
Контрольные вопросы	201
Глава 7. Параметры передачи оптических направляющих систем.....	202
7.1. Физические процессы в оптических волокнах	202
7.2. Волны и лучи в ОВ	206
7.3. Волновая теория ОВ	208
7.4. Типы волн в ОВ	209
7.5. Одномодовый и многомодовый режимы передачи по ОВ	210
7.6. Основные параметры ОВ	214
7.6.1. Конструктивные параметры ОВ	214
7.6.2. Потери в оптических волокнах	216
7.6.3. Дисперсия и пропускная способность ОВ	221
7.6.4. Модовая дисперсия ОВ	223
7.6.5. Хроматическая дисперсия	224
7.6.6. Нелинейные искажения оптических сигналов в ОВ	230
7.6.7. Неоднородности волоконно-оптической линии	235
7.6.8. Эксплуатационные характеристики ОВ	237
7.7. Классификация ОВ	240
7.8. Измерение параметров ОВ	242
7.8.1. Методы измерения затухания	242

7.8.2. Измерения хроматической дисперсии	244
7.8.3. Измерения ПМД	245
7.8.4. Измерения методом обратного рассеяния	247
Контрольные вопросы	252
Глава 8. Волоконно-оптические линии передачи	254
8.1. Основы передачи информации по ВОЛП	254
8.2. Структура и компоненты линейного тракта ВОСП	259
8.3. Характеристики оптических компонентов ВОСП	261
8.4. Соединения ОВ и ОК	264
8.4.1. Способы соединения ОВ	264
8.4.2. Неразъемные соединения ОВ	264
8.4.3. Муфты ОК	267
8.4.4. Оптические разъемы	269
8.4.5. Оборудование систем распределения оптических волокон	274
8.5. Оптические разветвители и оптические циркуляторы .	275
8.6. Оптические фильтры	277
8.7. Оптические переключатели (коммутаторы)	280
8.8. Оптические изоляторы	283
8.9. Оптические аттенюаторы	283
8.10. Оптические усилители	285
8.11. Измерение параметров ВОЛП и паспортизация кабель- ных участков	290
Контрольные вопросы	292
Глава 9. Электромагнитные влияния между проводными цепями связи и методы их уменьшения	294
9.1. Проблема электромагнитной совместимости в направля- ющих системах	294
9.2. Основные понятия о влиянии между симметричными цепями	296
9.3. Первичные параметры взаимного влияния	297
9.4. Вторичные параметры взаимного влияния	300
9.5. Основные уравнения взаимного влияния	303
9.6. Частотные характеристики взаимного влияния	306
9.7. Временные характеристики взаимного влияния	315
9.8. Взаимные влияния в коаксиальных кабелях связи	321
9.9. Нормы на параметры взаимных влияний	325
9.10. Меры повышения защищенности симметричных цепей от взаимных влияний	327
9.11. Симметрирование кабелей связи	327
Контрольные вопросы	335