

О. В. Родина

Волоконно-оптические линии связи

**Практическое
руководство**

*Рекомендовано Учебно-методическим центром
среднего профессионального образования
Федерального Агентства Связи, в качестве
учебного пособия для студентов, получающих
профессиональное образование в области
телекоммуникаций и слушателей курсов
повышения квалификации для специалистов.*

Москва
Горячая линия - Телеком
2012

УДК 621.315

ББК 32.889

Р60

Рецензент: Кафедра «Линейные сооружения связи» Московского технического университета связи и информатики, зав. кафедрой доктор техн. наук, профессор *Э. Л. Портнов*

Родина О.В.

Р60 Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. – М.: Горячая линия– Телеком, 2012. – 400 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0109-4

Приведено систематическое и доступное изложение теоретических основ и практических вопросов проектирования и построения волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Изложены принципы распространения оптических сигналов по оптическому волокну (ОВ), рассмотрены конструктивные элементы оптических кабелей (ОК), особенности их конструкции и маркировки, приведены основные их параметры и методы расчета. Большое внимание уделено практическим вопросам – процессу проектирования, строительству, монтажу и технической эксплуатации ВОЛС; использованию оконечного оборудования и пассивных элементов; измерениям и измерительным приборам.

Для студентов, получающих профессиональное образование в области телекоммуникаций и слушателей курсов повышения квалификации, будет полезна специалистам в области проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС.

ББК 32.889

Адрес издательства в Интернете WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Родина Ольга Вячеславовна

Волоконно-оптические линии связи

Практическое руководство

Редактор Ю.Н. Рысев

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 24.02.2012. Печать офсетная. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 25. Доп. тираж 100 экз.

ISBN 978-5-9912-0109-4

© О. В. Родина, 2009, 2012

© Оформление издательства

Горячая линия–Телеком, 2012

Введение

Развитие телекоммуникационных сетей во всем мире в первую очередь основывается на использовании волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). На сегодняшний день в России на сетях связи различного назначения проложено около 100 000 км оптических кабелей связи.

Оптический кабель (ОК), основой которого являются оптические волокна (ОВ), считается в настоящее время самой совершенной направляющей системой как для телекоммуникационных магистралей большой протяженности, так и для локальных сетей передачи данных. Объясняется это тем, что ОК по своим характеристикам значительно превосходят электрические кабели.

Достоинства ВОЛС: малое затухание и дисперсия сигналов в ОВ позволяют довести длину ретрансляционного участка ВОЛС до 100 км и более. Широкая полоса пропускания дает возможность передавать по одному ОВ поток информации со скоростью в десятки гигабит в секунду. Высокая защищенность от несанкционированного доступа позволяет использовать ОК в системах, где предъявляются повышенные требования к информационной безопасности.

Оптические волокна невосприимчивы к внешним электромагнитным влияниям, так как в многоволоконных ОК не возникает проблемы взаимных помех, присущих электрическим кабелям. При одной и той же пропускной способности электрических кабелей и ОК последние имеют меньшие габариты и массу. ОВ изготавливают из широко распространенных и недорогих материалов (двуокись кремния, полимеры). В настоящее время стоимость кварцевого ОВ не превышает половины стоимости медной пары.

Недостаток современных ВОЛС – высокая стоимость интерфейсного и монтажного оборудования. Однако улучшение конструкции и повышение надежности оптических передатчиков, приемников и пассивных элементов линейного тракта позволяют постоянно снижать стоимость производства волоконно-оптической продукции, а совершенствование технологии монтажа ОК и соединительных элементов, а также упрощение используемого оборудования приводят к существенному уменьшению трудоемкости строительно-монтажных работ.

Началом масштабного применения оптических кабелей связи (ОКС) в России следует считать реализацию крупнейшим оператором

ром связи России – ОАО «Ростелеком» – проекта трансроссийской линии связи, национальной цифровой транспортной линии международной и междугородной оптической связи. Примерно с 1996 г. развитие магистральной и внутрizonовых сетей ведется с применением ОКС, на этих сетях практически полностью прекратилось применение медножильных кабелей связи при новом строительстве.

На начальном этапе внедрения ОКС их поставки осуществлялись зарубежными компаниями, российские кабельные заводы не могли составить им конкуренцию. К 2000 г. ситуация изменилась уже в пользу российских предприятий.

Дальнейшее развитие ВОЛС по мнению специалистов будет заключаться в разработке и внедрении в сетях ЕСЭ различного назначения новых волоконно-оптических технологий, направленных на повышение эффективности ВОЛС. На линиях дальней связи основное внимание по-прежнему будет уделяться повышению скорости передачи информации, увеличению длины регенерационных участков и повышению надежности. Широкое распространение получают промежуточные оптические усилители и методы волнового (спектрального) мультиплексирования. Большие надежды возлагаются на использование среднего инфракрасного диапазона. Применение новых материалов (фтористых стекол и других соединений) позволило изготовить ОК с затуханием не более 0,01 дБ/км.

Доминирующей особенностью развития волоконно-оптических технологий в местных и локальных сетях будет приближение ОВ к конечному пользователю сети (абоненту). Рост потребности в новых видах информационного обслуживания абонентов, а также совершенствование и постоянное снижение стоимости аппаратуры и средств коммутационной техники готовят окончательный переход сетей доступа на ОВ. Ведущая роль в этом процессе принадлежит сети Internet.

Сегодня и в ближайшей перспективе нет альтернативы ВОЛС. Должна быть создана необходимая нормативная база, позволяющая строить и эффективно эксплуатировать надежные оптические линии передачи, а также выработаны стратегии преобразования сетей доступа, сельских сетей и стратегия развития подводных кабельных линий связи.

e-mail: Rodina-Olga@mail.ru

Глава 1. Основные положения передачи информации по волоконным световодам

1.1. Основные понятия и определения

В волоконно-оптических линиях связи информационные сигналы передаются по оптическим кабелям. Основным элементом ОК является волоконный световод – круглый стержень из оптически прозрачного диэлектрика, структура которого обеспечивает распространение вдоль него световых волн. Волоконные световоды из-за малых размеров поперечного сечения обычно называются оптическими волокнами.

Дуплексная связь осуществляется по двум волоконным световодам, каждый из которых предназначен для передачи сигнала в одном направлении (рис. 1.1).

ЭОП – преобразует электрический сигнал в световой (оптический) с помощью полупроводникового лазера (ПЛ) или светоизлучающего диода (СД).

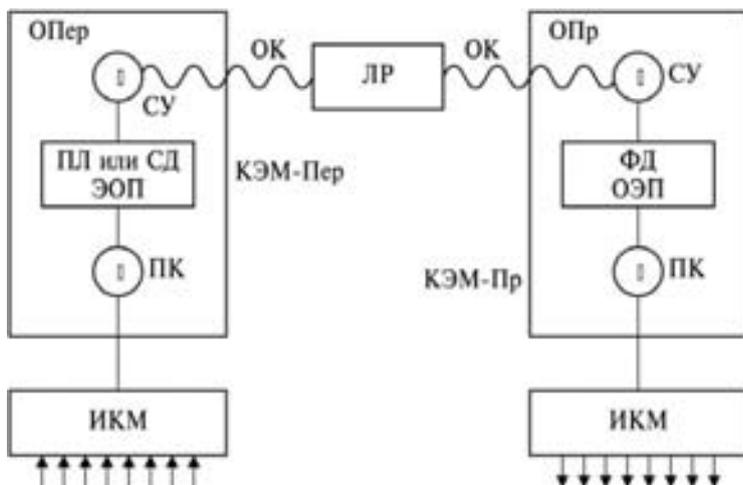


Рис. 1.1. Структурная схема волоконно-оптической связи

ОЭП – преобразует оптический сигнал в электрический с помощью фотодиода (ФД).

ПК – преобразователь кода формирует требуемую последовательность импульсов (для синхронизации и помехозащищенности) и осуществляет согласование уровней по мощности между электрическими (ИКМ) и оптическими (ПЛ, СД, ФД) элементами схемы.

СУ – согласующее устройство формирует и согласует диаграммы направленности и апертуру между приемо-передающими устройствами и кабелями.

Обычно приемники и передатчики выполняют в виде модулей, содержащих преобразователи и согласующие устройства. Такие модули имеют размеры, со спичечную коробку, позволяющие подключить с одной стороны ИКМ, с другой ОК.

Из-за потерь в ОК через ~100 км располагают линейные регенераторы (ЛР). В них оптический сигнал преобразуется в электрический, затем регенерируется и усиливается, после чего снова преобразуется в оптический (для передачи по кабелю).

Свет

Свет представляет собой один из видов электромагнитной энергии, носителем которой является электромагнитное поле, т.е. особый вид материи, оказывающий силовое воздействие на заряженные частицы и обладающий энергией, массой, скоростью. Поле отличается непрерывным распространением в пространстве (электромагнитные волны) и обнаруживает дискретность структуры (фотоны).

Обычно свет представляется в виде волн, а электроны – в виде частиц. Однако современные физические исследования показали, что четкой границы между частицами и волнами не существует. Поведение, как частицы, так и волны может быть и корпускулярным, и волновым. В *волоконной оптике свет рассматривают и как частицу, и как волну.*

Строгое исследование процесса распространения световых волн в ОВ может быть выполнено лишь на основе уравнений электродинамики (уравнения Максвелла), т.е. методами волновой теории. Однако в тех случаях, когда длина волны излучения много меньше размеров поперечного сечения ОВ, для описания процесса распространения света можно пользоваться приближенными методами геометрической (лучевой) оптики, которые отличаются простотой и наглядностью.

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Основные положения передачи информации по волоконным световодам	5
1.1. Основные понятия и определения	5
1.2. Основы геометрической оптики	13
1.3. Анализ лучевого распространения света в волоконных световодах	15
1.4. Волновой анализ распространения мод	21
Глава 2. Параметры оптических волокон	27
2.1. Параметры передачи оптических волокон.....	27
2.1.1 Коэффициент затухания оптического сигнала.....	27
2.1.2 Дисперсия оптического сигнала.....	31
2.1.3 Ширина полосы пропускания.....	43
2.2. Геометрические и оптические параметры оптических волокон	45
2.3. Механические параметры оптических волокон	49
2.4. Расчёт оптических параметров и параметров передачи оптического волокна	52
Глава 3. Оптические кабели	63
3.1. Классификация оптических кабелей	63
3.2. Конструктивные элементы и материалы.....	66
3.3. Маркировка.....	76
3.4. Конструкции волоконно-оптических кабелей различного назначения	85
Глава 4. Строительство волоконно-оптических линий связи	103
4.1. Прокладка волоконно-оптических линий связи	103
4.1.1. Организация строительства ВОЛС	103
4.1.2. Прокладка оптических кабелей в канализации.....	105
4.1.3. Прокладка оптических кабелей в специальных защитных пластмассовых трубках	107
4.1.4. Прокладка оптических кабелей в грунте.....	111
4.1.5. Подвеска оптических кабелей	120

4.1.6. Прочие методы прокладки оптических кабелей.....	132
4.2. Монтаж оптического кабеля	134
4.2.1. Состав и условия проведения монтажных работ.....	134
4.2.2. Сращивание оптических волокон	135
4.2.3. Конструкции муфт и особенности их монтажа	153
Глава 5. Оконечное оборудование и компоненты ВОЛС	180
5.1. Пассивные оптические компонентты	180
5.1.1. Оптические соединители	184
5.1.2. Атенюаторы.....	191
5.1.3. Оптические разветвители	193
5.1.4. Соединительные и переходные розетки.....	196
5.1.5. Оптические соединительные шнуры	198
5.1.6. Виды шлифовок.....	200
5.1.7. Технология оконцевания оптических волокон	201
5.1.8. Пассивное оборудование для ВОЛС специального назначения	206
5.2. Оконечное оборудование ВОЛС	210
5.2.1. Ввод оптических кабелей в объекты связи	210
5.2.2. Оптическое кроссовое оборудование	212
5.2.3. Монтаж оконечных оптических устройств	218
Глава 6. Техническая эксплуатация ВОЛС.....	230
6.1. Организация технической эксплуатации ВОЛС	230
6.2. Эксплуатационно-технические требования к ВОЛС	232
6.3. Организация технического обслуживания ВОЛС.....	236
6.4. Планирование, контроль и обеспечение работ по технической эксплуатации ВОЛС	240
6.5. Технический учет и паспортизация ВОЛС	242
6.6. Ремонт линейных сооружений ВОЛС.....	244
6.7. Охрана кабельных сооружений ВОЛС и аварийно-восстановительные работы	246
6.8. Телеконтроль и мониторинг ВОЛС.....	247
6.9. Назначение, виды и средства измерений для ВОЛС	251
Глава 7. Надежность волоконно-оптических сетей связи.....	274
7.1. Количественные показатели надежности	274
7.2. Источники сбоев и избыточность оборудования на линии.....	276
7.3. Коэффициент готовности кабельной линии	277
7.4. Время восстановления оптической кабельной линии.....	280
7.5. Требования по надежности для российских волоконно-оптических линий связи	282

7.6. Расчет надежности ВОЛС	283
Глава 8. Проектирование ВОЛС	287
8.1. Основы проектирования	287
8.2. Техническое задание и технические условия	291
8.3. Эскизный проект	295
8.4. Технический проект	299
8.5. Рабочий проект	324
8.5.1 Рабочие чертежи	324
8.5.2. Смета на строительство проектируемой ВОЛС.....	329
8.5.3. Техничо-рабочий проект	331
8.6. Составление проектно-сметной документации	332
8.7. Принципы и правила оформления проектной документации	337
Приложения	341
Приложение 1. Ситуационная схема вариантов трас волоконно-оптической линии связи	341
Приложение 2. Пример технико-коммерческого предложения	343
Приложение 3. Пример технического задания на разработку рабочего проекта.....	346
Приложение 4. Пример технического задания на разработку проекта на прокладку	350
Приложение 5. Пример прайс-листа.....	355
Приложение 6. Пример договора на проектирование.....	357
Приложение 7. Пример исполнительной сметы.....	364
Приложение 8. Ведомость ссылочных документов	368
Приложение 9. Перечень нормативно-технической документации по проектированию ВОЛС	370
Приложение 10. Национальный стандарт Российской Федерации. Кабельные изделия. Кабели оптические	373
Список литературы.....	396