

УДК 621.391.63:681.7.068

ББК 32.889

Ф75

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *Ю. А. Пальчун*,
канд. техн. наук *В. А. Шиянов*

Фокин В. Г., Ибрагимов Р. З.

Ф75 Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2020. – 180 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0616-7.

Представлены сведения о возможностях и ограничениях современных волоконно-оптических систем передачи по наращиванию скорости и дистанций при использовании DWDM, оптического усиления и современных форматов представления оптических сигналов. Рассмотрены принципы построения волоконно-оптических систем передачи нового поколения с применением пространственного мультиплексирования SDM в многосердцевинных MCF одномодовых и маломодовых FMF волоконных световодах, технологий многоуровневых форматов модуляции PDMmQAM, суперканалов O-OFDM с терабитными, петабитными скоростями и поддержкой flex grid superchannel, когерентными оптическими приёмниками. Приведены характеристики перспективной элементной базы для построения оптических систем и сетей и примеры реализации оптических систем передачи. Рассмотрены программные продукты для моделирования и дана методика расчётов суперканалов. Рассмотрены элементы технологии программно-конфигурируемых оптических транспортных сетей T-SDN.

Для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 11.03.02 и 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по профилям «Многоканальные телекоммуникационные системы» и «Оптические системы и сети связи», быть полезно для специалистов.

ББК 32.889

Учебное издание

Фокин Владимир Григорьевич Ибрагимов Роман Захирович
**ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
С ТЕРАБИТНЫМИ И ПЕТАБИТНЫМИ
СКОРОСТЯМИ ПЕРЕДАЧИ**

Учебное пособие для вузов

Тиражирование книги начато в 2017 г.

Все права защищены.

Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

www.techbook.ru

© В. Г. Фокин, Р. З. Ибрагимов

Оглавление

| | |
|---|-----------|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 5 |
| 1. Возможности и ограничения в современных системах оптической связи | 9 |
| 1.1. Информационные сигналы и волоконно-оптическая среда для их передачи | 9 |
| 1.2. Оптические передатчики, приёмники и усилители | 24 |
| 1.3. Оптические мультиплексоры выделения/ввода и коммутаторы в оптической сети | 38 |
| 1.4. Форматы кодирования, оптическое отношение сигнал/шум и предел Шеннона для оптических систем передачи | 40 |
| 1.5. Структура передатчика и приёмника сигналов с решетчатым кодированием/декодированием | 46 |
| 1.6. Выводы | 48 |
| Контрольные вопросы | 48 |
| 2. Способы повышения эффективности оптических систем передачи | 50 |
| 2.1. Использование компенсаторов дисперсии и оптических усилителей | 50 |
| 2.2. Использование когерентного приёма и цифровой обработки сигнала | 57 |
| 2.3. Использование многоуровневых форматов модуляции, поляризационного мультиплексирования и суперканалов .. | 60 |
| 2.4. Выводы | 64 |
| Контрольные вопросы | 66 |
| 3. Характеристики волоконных световодов с множеством сердцевин | 67 |
| 3.1. Типы и конструкции многосердцевинных волоконных световодов | 70 |
| 3.2. Характеристики многосердцевинных волоконных световодов | 73 |
| 3.3. Компоненты для линий с многосердцевинными волоконными световодами | 77 |
| 3.4. Выводы | 82 |
| Контрольные вопросы | 82 |
| 4. Системы с модовым разделением оптических каналов | 83 |
| 4.1. Волоконные световоды для систем с модовым мультиплексированием | 84 |
| 4.2. Схемы ввода/вывода и усиления мод | 86 |
| 4.3. Принципы построения систем передачи FMF | 91 |

| | |
|--|------------|
| 4.4. Выводы | 93 |
| Контрольные вопросы | 93 |
| 5. Форматы многоуровневой оптической модуляции и способы реализации суперканалов | 95 |
| 5.1. Простые форматы модуляции | 95 |
| 5.2. Фазовые форматы модуляции | 96 |
| 5.3. Квадратурно-амплитудные форматы модуляции | 98 |
| 5.4. Форматы оптических суперканалов и способы их реализации | 99 |
| 5.5. Методика расчета энергетических параметров суперканалов | 103 |
| 5.6. Выводы | 105 |
| Контрольные вопросы | 106 |
| 6. Современная и перспективная компонентная база оптических систем | 107 |
| 6.1. Электронные компоненты передатчиков, приёмников, коммутаторов, кодеров и декодеров для оптических каналов | 107 |
| 6.2. Оптические компоненты передатчиков, приёмников, усилителей, коммутаторов | 110 |
| 6.3. Выводы | 126 |
| Контрольные вопросы | 127 |
| 7. Достигнутые результаты в построении терабитных и петабитных систем передачи | 128 |
| 7.1. Стандартные решения для коммерческих сетей связи | 128 |
| 7.2. Экспериментальные и планируемые системы | 130 |
| 7.3. Планирование и проектирование гибко управляемых оптических транспортных систем и сетей с DWDM | 140 |
| 7.4. Выводы | 146 |
| Контрольные вопросы | 146 |
| 8. Технология T-SDN и моделирование сложных оптических систем | 148 |
| 8.1. Общая характеристика программно-конфигурируемых сетей SDN | 148 |
| 8.2. Программно-конфигурируемые оптические сети T-SDN .. | 150 |
| 8.3. Среда моделирования сложных оптических систем | 154 |
| 8.4. Выводы | 159 |
| Заключение | 160 |
| Приложения | 162 |
| Список сокращений | 166 |
| Литература | 170 |