

**В. Н. Гордиенко
М. С. Тверецкий**

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Рекомендовано УМО по образованию в области
Инфокоммуникационных технологий и систем связи
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки
210700 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
квалификации (степени) «бакалавр» и «магистр»*

2-е издание, испр. и доп.

**Москва
Горячая линия - Телеком
2013**

УДК 621.396.4
ББК 32.889
Г67

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *Н. Н. Васин*,
доктор техн. наук, профессор *В. Н. Дмитриев*

Гордиенко В. Н., Тверецкий М. С.

Г67 Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. – 2-е издание, испр. и доп. – М: Горячая линия–Телеком, 2013. – 396 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0251-0.

Изложены базовые принципы построения цифровых многоканальных телекоммуникационных систем, рассмотрены особенности работы оборудования цифровых систем передачи плейстохронной и синхронной цифровой иерархий. Рассмотрены вопросы нормирования качества передачи информации по цифровым каналам и трактам, а также особенности применения цифровых систем передачи на современных и перспективных телекоммуникационных сетях, ориентированных на использование волоконно-оптических линий связи.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 210700 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и направлению подготовки дипломированных специалистов 210400 – «Телекоммуникации», может быть полезен студентам колледжей телекоммуникационного направления.

ББК 32.889

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Учебное издание

Гордиенко Владимир Николаевич
Тверецкий Михаил Серафимович

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебник для вузов

Редактор Ю. Н. Чернышов
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова
Художник О. Г. Карпова

Подписано к печати 30.12.2012. Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. 24,75. Изд. № 130251. Тираж 1000 экз. (1-й завод 200 экз.)

ISBN 978-5-9912-0251-0

© В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий, 2013
© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2013

1 Введение в цифровой способ передачи сигналов

1.1. Роль цифровых способов передачи сигналов

Тенденции развития телекоммуникаций в XXI веке показывают, что человечество движется по пути создания глобального информационного общества. Понятие информационного общества (ИО) четко не определено, но можно предположить, что это общество, в котором информатизация и телекоммуникации (инфокоммуникации) будут определять новую ступень развития экономики, социальной сферы, культуры и науки.

В 1995 г. Международный союз электросвязи (МСЭ) взял на себя ведущую роль по международной координации работ по электросвязи, направленных на построение глобального ИО. К работе над ИО подключился и Европейский институт стандартов электросвязи (ETSI) с целью создания Европейской информационной инфраструктуры (ИИ). Предполагается создание национальных информационных инфраструктур (в том числе и российской — РИИ), их объединение в региональные ИИ (например, европейскую — ЕИИ) и мировую (глобальную — ГИИ).

ГИИ — инфраструктура, которая является технологической основой глобального информационного общества. ГИИ должна поддерживать существующие и будущие средства электросвязи, информационные технологии и бытовую электронику, включая интерактивные, вещательные и мультимедийные возможности. Она охватывает проводные и радиосредства связи, стационарные и подвижные сети. Таким образом, ГИИ представляет собой интеграцию электросвязи, информатизации, компьютеризации, баз данных и бытовой электроники. Интеграция указанных областей невозможна без унификации формы представления информации с целью ее передачи и хранения. Такой универсальной формой является *цифровая*.

Информация передается и обрабатывается в большинстве случаев в виде *сигналов электросвязи* — электромагнитных колеба-

ний, в изменениях параметров которых и заложена передаваемая информация. Например, речевое сообщение, представляющее собой изменение звукового давления, посредством микрофона превращается в изменяющееся соответствующим образом электрическое напряжение. В этих изменениях и будет содержаться та информация, которая была в исходном сообщении. Характерно, что в данном случае напряжение непрерывно изменяется во времени — такие сигналы называются *непрерывными*.

В дальнейшем будет показано, что при некоторых ограничениях, в частности при ограничении его частотного спектра сверху, непрерывный сигнал можно представить отдельными его мгновенными значениями, взятыми периодически. Такой сигнал является *дискретным* (дискретизированным во времени). Очевидно, что для передачи дискретного сигнала линия связи будет использоваться периодически в течение коротких отрезков времени. Поэтому при применении дискретных сигналов можно реализовать принцип *многоканальной передачи с временным разделением каналов* (ВРК), периодически предоставляя одну и ту же линию связи для передачи сигналов от разных источников.

Реальный, например телефонный, сигнал в каждый момент времени имеет какое-то одно из бесконечного множества возможных мгновенных значений. Такие сигналы, мгновенные значения которых образуют бесконечные множества, называются *аналоговыми*. Заметим, что аналоговым может быть как непрерывный, так и дискретный (во времени) сигнал.

Прием сигналов в реальных условиях всегда происходит на фоне помех, да и чувствительность приемника конечна. Например, можно утверждать, что звуки со звуковыми давлениями, отличающимися менее чем на 0,01 %, будут восприниматься на слух как одинаковые. Таким образом, перед передачей мгновенных значений сигнала их можно *округлить* до некоторых, достаточно близких друг к другу, *разрешенных значений*. Такое округление называется квантованием сигнала по уровню или просто *квантованием сигнала*. Эта операция превращает *аналоговый сигнал* в *цифровой*, т. е. в сигнал, мгновенные значения которого образуют конечное множество (определяются набором разрешенных значений). Теперь с сигналом можно обращаться как с набором чисел, что и определяет универсальность подхода к операциям с сигналами самой разнообразной информации.

Заметим, что наиболее удобной системой счисления для цифровых электронных устройств является двоичная система. Поэто-

му обычно операция квантования сочетается с операцией кодирования — записи тех или иных полученных значений в двоичной системе или в двоичном коде (в виде последовательности нулей и единиц). Сигналы в цифровой форме отличаются друг от друга, в основном, количественно — необходимой скоростью передачи — количеством битов* информации в секунду. Кроме этого, иногда приходится учитывать и некоторые другие параметры, например размеры групп одинаковых символов, следующих друг за другом (размеры *пакетов* символов), и вероятность появления пакетов определенных размеров, процент ошибок, который можно допустить при передаче, и некоторые другие, о которых будет говориться далее в соответствующих местах.

Передача и обработка сигналов в цифровой форме имеет следующие существенные преимущества перед передачей и обработкой аналоговых сигналов.

Унификация представления различных видов передаваемой информации, это позволяет, в свою очередь, унифицировать оборудование передачи, обработки и хранения информации.

Компьютеризация телекоммуникационного оборудования, которая принципиально невозможна при использовании аналоговых сигналов. В условиях быстро нарастающего информационного обмена без компьютеризации невозможно обеспечить передачу и обработку информации с необходимым высоким качеством.

Интеграция систем передачи информации и систем коммутации — создание полностью цифровых телекоммуникационных сетей. Такие сети обладают высокой надежностью и эффективностью, поскольку позволяют организовывать альтернативные маршруты передачи и выравнивать сетевой трафик.

Высокая помехоустойчивость. Представление информации в цифровой форме, позволяет осуществлять *регенерацию* (восстановление) символов сигналов при передаче их по линии связи, что резко снижает влияние помех и искажений на качество передачи информации. Суть регенерации заключается в *замене* принятого искаженного сигнала на заново генерированный сигнал. При этом, в частности, обеспечивается возможность использования линий связи, на которых из-за высокого уровня помех аналоговые системы передачи применяться не могут.

Цифровые методы передачи весьма эффективны при работе по оптическим линиям, позволяющим организовывать передачу высо-

* Бит — число, принимающее значение или 1, или 0.

Оглавление

1. Введение в цифровой способ передачи сигналов ...	3
1.1. Роль цифровых способов передачи сигналов	3
1.2. Иерархия цифровых телекоммуникационных систем ..	6
1.3. Обобщённые схемы ЦТС	9
2. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование сигналов	17
2.1. Дискретизация сигнала во времени	17
2.2. Квантование сигнала по уровню	23
2.3. Кодирование сигнала	32
2.4. Структурные схемы кодеков	36
3. Принципы мультиплексирования цифровых потоков	42
3.1. Принцип и способы мультиплексирования	42
3.2. Формирование первичного цифрового потока	56
3.3. Структура первичной станции МТС	63
3.4. Формирование цифровых потоков высших ступеней ПЦИ	68
4. Генераторное оборудование	74
4.1. Состав генераторного оборудования	74
4.2. Тактовая синхронизация	82
4.3. Цикловая синхронизация	90
5. Передача цифровых сигналов	104
5.1. Регенерация цифровых сигналов	104
5.2. Особенности передачи по кабелям с металлическими парами	113
5.3. Особенности передачи по кабелям с оптическими волокнами	125
5.4. Коды сигналов МТС	132
6. Синхронные цифровые телекоммуникационные системы (СЦТС)	150
6.1. Преобразование сигналов в СЦТС	150
6.2. Назначение и структура заголовков и указателей в СЦТС	169

6.3. Мультиплексоры СЦТС	184
6.4. Транспортная сеть СЦТС	198
6.5. Синхронизация СЦТС	220
6.6. СЦТС со спектральным уплотнением оптических волокон	240
7. Оптическая (фотонная) транспортная сеть	249
7.1. Структура фотонной сети	252
7.2. Мультиплексирование в фотонной сети	253
7.3. Информационные структуры OTN	255
8. Оптические интерфейсы и протяжённость оптической секции	266
8.1. Интерфейсы СЦТС без волнового уплотнения	266
8.2. Интерфейсы СЦТС-СР	270
8.3. Интерфейсы фотонной сети	277
8.4. Протяжённость оптической секции	285
9. Передача пакетного трафика по сетям с октетной синхронизацией	294
9.1. Формирование универсальных кадров передачи	299
9.2. Принцип виртуальных сцепок контейнеров	314
9.3. Регулировка пропускной способности канала	327
10. Управление цифровыми телекоммуникационными системами	334
11. Параметры качества каналов и трактов МТС	343
11.1. Нормирование ошибок в каналах, трактах и секциях передачи	345
11.2. Нормирование фазовых флуктуаций	363
11.3. Параметры надёжности МТС	372
Приложение 1. Циклы передачи третичных и четверичных МТС ПЦИ	378
Приложение 2. Параметры физического уровня	380
Приложение 3. Англоязычные аббревиатуры и термины, часто используемые в телекоммуникационной технике	387
Литература	393