

И. И. ВЛАСОВ, Э. В. НОВИКОВ, М. М. ПТИЧНИКОВ, Д. В. СЛАДКИХ

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

МОСКВА  
ГОРЯЧАЯ ЛИНИЯ - ТЕЛЕКОМ  
2012

УДК 621.39  
ББК 32.88  
Т38

Рецензент: доктор техн. наук, профессор Э. Л. Портнов

Авторы: И. И. Власов, Э. В. Новиков, М. М. Птичников, Д. В. Сладких

**Т38 Техническая** диагностика современных цифровых сетей связи. Основные принципы и технические средства измерений параметров передачи для сетей PDH, SDH, IP, Ethernet и ATM / Под ред. М. М. Птичникова. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 480 с.: ил. ISBN 978-5-9912-0195-7.

Рассмотрены принципы построения цифровых систем передачи всех действующих иерархий, организации транспортных сетей на базе систем передачи PDH, SDH, ATM и Ethernet, сетей широкополосного абонентского доступа, сетей нового поколения NGN, оптических транспортных сетей OTN, обеспечение голосовых (VoIP) и видеосервисов в сетях с пакетной передачей, вопросы цифрового каналаообразования на базе ИКМ и АДИКМ, организации синхронизации цифровых сетей и сигнализации в этих сетях. Анализируется функционирование линейных трактов на основе металлических и волоконно-оптических кабелей. Изложены принципы соединения (сварки) оптического волокна и использования разъёмных соединительных устройств. Рассмотрены вопросы теории и практики измерений в современных цифровых сетях связи, вопросы нормирования основных технических параметров, принципы, и технические средства их измерений, а также практика проведения измерений параметров передачи цифровых линий и сетей, цифровых стыков всех уровней, характеристик металлических и волоконно-оптических кабелей.

Для специалистов, занимающихся разработкой, строительством и эксплуатацией цифровых систем передачи. Будет полезна для студентов и слушателей курсов повышения квалификации.

**ББК 32.88**

*Адрес издательства в Интернет [www.techbook.ru](http://www.techbook.ru)*

Справочное издание

**Власов Игорь Иоильевич, Новиков Эдуард Викторович,  
Птичников Марк Матвеевич, Сладких Денис Викторович**

**Техническая диагностика современных цифровых сетей связи.  
Основные принципы и технические средства измерений параметров  
передачи для сетей PDH, SDH, IP, Ethernet и ATM**

Редактор Ю. Н. Чернышев  
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова  
Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 26.01.12. Формат 60×90/16. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 34,5. Тираж 1000 (1-й завод 200 экз.)

**ISBN 978-5-9912-0195-7**

© И. И. Власов, Э. В. Новиков,  
М. М. Птичников, Д. В. Сладких, 2012  
© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2012

## Введение. Стратегия и тактика контроля цифровых сетей

Характерной приметой нашего времени является чрезвычайно быстрое развитие и совершенствование техники. При этом связь оказалась одним из наиболее динамично развивающихся направлений научно-технического прогресса. На наших глазах произошёл переход от аналоговых систем передачи и коммутации сообщений к цифровым. В свою очередь, цифровая техника стремительно совершенствуется. Внедряется новая элементная база, новые технологии производства, новые технологии передачи информации, а также и новые носители информации. Радикально меняется и структура трафика, в котором всё больший объём начинает занимать передача данных. При этом стираются различия между телефонными сетями и сетями передачи дискретной информации. Абонентские сети, в недалёком прошлом полностью аналоговые, превращаются в широкополосные сети цифрового доступа.

Стремительное развитие техники связи требует от специалистов отрасли постоянного обновления и расширения своих знаний. Немаловажную их часть составляет информация о технике и технологии контроля систем передачи и коммутации сообщений. Внедрение новой техники неразрывно связано с использованием новых методик измерения её качественных показателей и, соответственно, новых типов контрольно-измерительных приборов. Меняется и совершенствуется также нормативно-техническая документация.

Вот и приходится инженерам-связистам не только изучать теорию цифровой передачи и коммутации и осваивать соответствующую технику, но и работать с большим объёмом нормативно-технической документации, включающей не только привычные Приказы МС РФ, ГОСТы, ОСТы и руководства по эксплуатации, но и многочисленные рекомендации Международного союза электросвязи, а также всевозможные международные стандарты.

При этом мало просто освоить новую технику. В процессе внедрения новой техники приходится оперативно осмысливать полученные результаты, отбрасывать ненужную и правильно интерпретировать полезную информацию. Специалист отрасли должен не только хорошо знать своё дело, но и владеть иностранными языками и свободно обращаться с компьютерной техникой.

Предлагаемая вниманию читателей книга содержит обзор принципов построения транспортных сетей и сетей широкополосного цифрового доступа, цифровых линейных трактов на основе металлических и волоконно-оптических кабелей. Рассматриваются принципы цифрового каналаобразования на базе ИКМ и АДИКМ, плезиохронная и синхронная иерархии цифровых систем передачи и соответствующие цифровые стыки (интерфейсы), информационные структуры, функциональные узлы и топология сетей, в том числе волоконно-оптические транспортные сети и сети доступа FTTx, а так-

же волоконно-оптические системы передачи со спектральным уплотнением (DWDM).

Освещены принципы построения широкополосных сетей АТМ, принципы построения, классификация технологий и динамика развития сетей Ethernet. Нашли отражение вопросы создания сети нового поколения (ССП, или NGN), принципы работы и области применения технологий xDSL, технология Triple Play.

Разработчики и производители аппаратуры связи в обстановке стремительного количественного и качественного роста сетей сталкиваются с вопросами, требующими немедленного решения. Растёт число абонентов, меняется структура услуг, усложняется топология сетей, и используются различные среды передачи. В этой обстановке первоочередными задачами можно считать следующие:

1. Обеспечение взаимодействия аппаратуры различных производителей и годов выпуска. Приходится также учитывать различие в подходе к организации контроля и управления сетями разных фирм-производителей. Требование обеспечения качественной совместной работы комплекса, включающего в себя разнотипное оборудование, должно сочетаться с требованием унификации процедур контроля.

2. Оптимизация процессов мультимплексирования передаваемых сигналов, включая передачу данных, телефонных каналов и изображения, и последующей передачи групповых сигналов по различным средам распространения. Одним из путей решения этой задачи является внедрение новых технологий, таких, например, как xDSL. При этом необходимо обеспечить защиту передаваемой информации от опасных и мешающих влияний, защиту от несанкционированного доступа, обеспечение нормированных качественных показателей каналов и трактов.

Растущие требования к качественным показателям обусловили необходимость выбора и реализации как соответствующих процедур измерения параметров передачи, так и необходимой для этого приборной базы.

Многообразие параметров, подлежащих контролю, разнообразие типов выпускаемых промышленностью контрольно-измерительных приборов и выполняемых ими функций зачастую делает их правильный выбор нелёгкой задачей. Выбор прибора можно отнести к стратегии проведения измерений, правила работы с ним — к тактике измерений.

Различные этапы производства, установки и дальнейшей эксплуатации аппаратуры, которым сопутствуют соответствующие измерения, можно разделить на следующие категории:

- разработка: лабораторные испытания оборудования, отработка и проверка программного обеспечения;
- производство: испытания функциональных узлов, контроль комплектующих изделий, прогон аппаратуры, приёмо-сдаточные и типовые испытания оборудования;
- монтаж на местах эксплуатации: линейные испытания, прогон и анализ полученных результатов;

## Содержание

Введение. Стратегия и тактика контроля цифровых сетей ...	3
<b>1. Принципы построения цифровых телекоммуникационных систем и сетей.....</b>	<b>9</b>
1.1. Современное состояние и тенденции развития сетей связи ...	9
1.2. Термины и определения .....	12
1.3. Структурная схема цифровой системы передачи .....	14
1.4. Транспортные сети и сети доступа.....	15
1.5. Иерархии цифровых систем передачи.....	17
1.6. Цифровые стыки .....	18
<b>2. Цифровое каналообразование .....</b>	<b>28</b>
2.1. Цифровая модуляция.....	28
2.2. Формирование группового цифрового сигнала 2 Мбит/с.....	32
2.3. Гибкие мультиплексоры .....	35
<b>3. Цифровые транспортные сети.....</b>	<b>37</b>
3.1. Системы передачи плезиохронной цифровой иерархии.....	37
3.2. Системы передачи синхронной цифровой иерархии .....	41
3.3. Технология ATM .....	57
3.4. Сети Ethernet .....	64
<b>4. Сети нового поколения.....</b>	<b>74</b>
<b>5. Цифровые сети доступа .....</b>	<b>86</b>
5.1. Принципы организации широкополосного абонентского доступа .....	86
5.2. Технологии xDSL .....	90
5.3. Волоконно-оптические сети доступа FTТх.....	111
<b>6. Среда IP. Интернет. Голосовые и видеосервисы в сетях с пакетной передачей.....</b>	<b>114</b>
6.1. Эволюция систем передачи: от коммутации каналов к коммутации пакетов.....	114
6.2. Протоколы передачи речи поверх IP.....	117
6.3. Технология Triple Play.....	119
<b>7. Синхронизация в цифровых системах передачи.....</b>	<b>122</b>
7.1. Принципы построения систем синхронизации транспортных сетей .....	122
7.2. Оборудование ТСС .....	128
<b>8. Сигнализация в цифровых системах передачи.....</b>	<b>133</b>

8.1. Обзор методов сигнализации .....	133
8.2. Сигнализация, передаваемая вместе с информационными каналами .....	134
8.3. Общий канал сигнализации (протоколы канала D) .....	136
8.4. Интерфейсы V5 .....	143
<b>9. Передача цифровых сигналов по металлическим кабелям</b> .....	<b>145</b>
9.1. Типы металлических кабелей. Конструкции кабелей и соединительных устройств .....	145
9.2. Основные технические характеристики кабельных линий ...	152
9.3. Регенерация цифрового сигнала .....	164
9.4. Сервисные подсистемы цифровых линейных трактов .....	168
9.5. Выводы и рекомендации .....	195
<b>10. Передача цифровых сигналов по волоконно-оптическим линиям связи</b> .....	<b>171</b>
10.1. Принципы передачи сигналов по оптическому волокну .....	171
10.2. Основные параметры оптических волокон .....	173
10.3. Основные типы оптических волокон и кабелей .....	178
10.4. Соединение оптических волокон .....	180
10.5. Волоконно-оптические системы передачи со спектральным уплотнением .....	193
10.6. Оптическая транспортная сеть .....	195
<b>11. Области применения и классификация процедур измерений</b> .....	<b>206</b>
11.1. Виды измерений .....	206
11.2. Процедуры измерений и их место в организации технической эксплуатации телекоммуникационных сетей .....	207
<b>12. Обнаружение и подсчет ошибок в системах передачи</b> ....	<b>211</b>
12.1. Причины появления ошибок при передаче цифровой информации .....	211
12.2. Зависимость качества передачи от количества ошибок .....	212
12.3. Методы обнаружения ошибок и определения коэффициента ошибок .....	214
12.4. Принцип работы измерителя коэффициента ошибок .....	218
12.5. Обнаружение кодовых и цикловых ошибок .....	220
12.6. Метод контроля циклическим избыточным кодом .....	222
12.7. Определение продолжительности измерений .....	225
12.8. Принципы построения приборов контроля .....	228
<b>13. Измерения параметров интерфейсных сигналов каналообразующего оборудования</b> .....	<b>236</b>
13.1. Измерения аналоговых стыков .....	236
13.2. Измерения параметров цифровых абонентских стыков .....	239
13.3. Контроль амплитуды и формы импульса стыкового сигнала .....	243
13.4. Стендовая проверка аппаратуры ЦСП .....	246

<b>14. Измерения параметров передачи ЦСП PDH</b>	<b>255</b>
14.1. Измерения трактов Е1 с остановкой связи	255
14.2. Измерения трактов 2 Мбит/с без остановки связи	262
14.3. Критерии выбора контрольно-измерительного оборудования для трактов 2 Мбит/с	267
14.4. Тестирование трактов Е1, Е2, Е4	268
<b>15. Измерения параметров систем передачи SDH</b>	<b>275</b>
15.1. Принципы организации измерений SDH	275
15.2. Структура тестового оборудования SDH	277
15.3. Измерения на этапах ввода в эксплуатацию и организации обслуживания узлов ТС SDH	278
15.4. Контроль SDH без остановки связи	283
15.5. Измерения параметров сигналов STM-4 и STM-16	290
15.6. Критерии выбора контрольно-измерительного оборудования ТС SDH	292
<b>16. Измерения параметров передачи АТМ</b>	<b>294</b>
16.1. Основные качественные показатели АТМ. Виды измерений	294
16.2. Эффект задержки и потеря ячеек	299
16.3. Категории измерений АТМ	302
16.4. Требования, предъявляемые к тестовому оборудованию АТМ	312
<b>17. Контроль систем синхронизации</b>	<b>314</b>
17.1. Метрологическое обеспечение работы ТСС	314
17.2. Методика измерений нормируемых характеристик	315
17.3. Контроль системы синхронизации сетей SDH	318
<b>18. Измерения джиттера</b>	<b>320</b>
18.1. Причины возникновения джиттера и его влияние на качество передачи цифрового сигнала	320
18.2. Методика измерений джиттера	322
18.3. Структурная схема измерителя джиттера	323
18.4. Измерения параметров джиттера	324
<b>19. Тестирование линий xDSL</b>	<b>331</b>
19.1. Модернизация соединительных и абонентских линий на базе технологии xDSL	331
19.1.1. Общие вопросы подготовки кабельной сети к развёртыванию систем DSL	331
19.1.2. Подготовка абонентских и соединительных линий к использованию технологии HDSL и ADSL	340
19.2. Стратегия тестирования кабельной сети в процессе внедрения технологий xDSL	343
<b>20. Измерения параметров металлических кабелей</b>	<b>352</b>
20.1. Измерения первичных параметров металлических кабелей	352
20.2. Измерения вторичных параметров металлических кабелей	357

20.3. Контроль качества металлических кабелей при помощи рефлектометров .....	360
20.4. Поиск кабелей, трассирование кабельных линий. Приборы для поиска подземных сооружений и обнаружения их повреждений .....	363
20.5. Современные контрольно-измерительные приборы .....	370
<b>21. Техническая диагностика сетей передачи и коммутации пакетов .....</b>	<b>373</b>
21.1. Анализ качества передачи информации в сетях с пакетной передачей .....	373
21.2. Тестирование сетей Ethernet .....	376
<b>22. Тестирование среды IP .....</b>	<b>381</b>
22.1. Критерии качества в сетях IP, VoIP .....	381
22.2. Измерения качественных характеристик среды IP .....	383
22.3. Технологические и субъективные измерения в рамках IPTV .....	386
22.4. Средства измерений в сетях IP .....	390
<b>23. Контроль сигнализации .....</b>	<b>393</b>
23.1. Анализ сигналов управления и взаимодействия .....	393
23.2. Аппаратурная реализация контроля сигнализации .....	394
23.3. Анализ сигнализации, связанной с разговорными каналами .....	396
23.4. Анализ протокола канала D .....	398
<b>24. Нормирование параметров цифровых каналов и трактов. Оценка действующих норм на показатели ошибок .....</b>	<b>399</b>
24.1. Нормирование параметров цифровых каналов и трактов ....	399
24.2. Рекомендация МСЭ-Т G.821 .....	400
24.3. Рекомендация МСЭ-Т G.826 .....	402
24.4. Рекомендации МСЭ-Т M.2100 и M.2101 .....	404
24.5. Основные показатели качества цифровых каналов и сетевых трактов .....	405
<b>25. Измерения параметров ВОЛС .....</b>	<b>411</b>
25.1. Типы измерений ВОЛС .....	411
25.2. Измерения прямых потерь оптической линии связи .....	412
25.3. Методика определения неоднородностей оптической линии ..	416
25.4. Основные технические характеристики оптического рефлектометра .....	419
25.5. Методика проведения измерений .....	423
25.6. Трассомаркирующие системы .....	442
25.7. Практические аспекты тестирования ВОЛС .....	444
<b>26. Тенденции развития телекоммуникационной измерительной техники. Взгляд в будущее .....</b>	<b>449</b>
Приложение. Теория вероятности и измерения .....	454
Литература .....	463
Список сокращений .....	467