

## Тестирование линий и трактов СКС

### 10.1. Общие вопросы тестирования СКС

#### 10.1.1. Назначение и виды измерений

Комплекс измерений параметров отдельных электрических и оптических компонентов структурированной кабельной системы, а также смонтированных линий на их основе предназначен для определения состояния СКС, предупреждения повреждений и накопления статистических данных, используемых при разработке мероприятий по повышению надежности связи. Измерения производятся в следующих случаях:

- в процессе выполнения входного контроля отдельных компонентов перед началом работ по их монтажу;
- при наладке СКС;
- при определении соответствия СКС требованиям стандартов;
- при проведении приемо-сдаточных испытаний СКС;
- во время эксплуатации кабельной системы при выполнении профилактических, аварийных и контрольных проверок.

Целью измерений, выполняемых в процессе *входного контроля*, является проверка качества изготовления и соответствия параметров отдельных компонентов требованиям норм и стандартов. *Приемо-сдаточные измерения* проводятся приемными комиссиями для проверки качества выполнения работ и соответствия параметров линий и трактов стандартам и другим нормативным документам. *Эксплуатационные измерения* проводятся техническим персоналом в процессе текущей эксплуатации СКС. Их принято делить на профилактические, аварийные и контрольные.

*Профилактические измерения* выполняются с целью выявления и устранения возникающих в процессе эксплуатации отклонений параметров от установленных норм. Программа и методики этих измерений в основном схожи с программами и методиками приемо-сдаточных испытаний. Правила проведения профилактических измерений определяются соответствующими стандартами и руководствами. Периодичность измерений этого вида зависит от условий эксплуатации, состояния контролируемых объектов и требований по поддержанию эксплуатационной готовности.

*Аварийные измерения* проводятся с целью определения характера и места повреждений кабельных линий. Основной целью этих измерений является выявление характера повреждений и нахождения его места. Главными требованиями к аварийным измерениям являются высокая скорость определения характера повреждения и точность определения его места.

*Контрольные измерения* осуществляются после окончания ремонтных и аварийных работ. Их целью является определение качества выполнения ремонтно-восстановительных работ. Контрольные измерения включают в себя весь комплекс проверок параметров линий и выполняются по правилам и методикам, принятым для приемо-сдаточных измерений.

Для выполнения измерений в СКС используются в основном те же методы и реализующие их приборы, которые применяются для контроля обычных электрических и оптических линий связи и их компонентов. Однако специфика построения отдельных подсистем СКС заставляет вносить серьезные изменения как в эталонные модели, так и в конструкцию измерительного оборудования, которое используется во время тестирования. Последнее положение наиболее ярко проявляется в отношении измерительных приборов, используемых для тестирования электрических трактов СКС.

Основные аспекты тестирования электрической и оптической подсистем СКС рассматриваются ниже, в разделах 10.2 и 10.3 соответственно.

#### **10.1.2. Документирование результатов измерений**

Основной формой отчетности о проведенных измерениях различных видов являются протокол и паспорт кабельных трасс, которые передаются Заказчику.

В *протоколе* фиксируется информация о дате, времени и месте проведения измерений, объекте испытаний с указанием его уникального идентификатора, использованной методике измерения и измерительных приборах (в том числе их модели, серийном номере и версии программного обеспечения), а также собственно результаты тестирования. Этот документ подписывается специалистами, проводившими измерения с указанием их должности, и утверждается Заказчиком и Исполнителем.

В *паспорте* трассы приводятся:

- номер или условное обозначение трассы;
- начальный и конечный пункты трассы;
- длина трассы (измеряется с помощью рефлектометра в оптической подсистеме и кабельного сканера в электрической);
- измеренные параметры кабельных линий.

В *паспорте* кабельной трассы на основе электрических симметричных кабелей обязательно приводится информация о затухании и величине NEXT, а также другие параметры по согласованию с Заказчиком. К паспорту линий электрической связи могут прикладываться распечатки файлов результатов тестирования, полученных с помощью кабельного сканера.

В паспорте линий оптической связи дополнительно указывается:

- общее затухание сигнала на рабочих длинах волн 850, 1300 и, возможно, 1550 нм (измеряется с помощью оптического тестера или автоматического измерителя);
- наличие неоднородностей, их местонахождение и вносимое ими затухание сигнала (определяется с помощью рефлектометра).

К паспорту линий оптической связи могут прикладываться рефлектограммы отдельных волокон, а также распечатки файлов результатов тестирования, полученных с помощью автоматического измерителя (см. параграф 10.3.2.3).

В случае паспортизации подсистемы внешних магистралей приводится схема прокладки кабеля в канализации и коллекторах и привязки промежуточных муфт к колодцам (при прокладке кабеля по трубам телефонной канализации предприятия или городской телефонной сети).

## 10.2. Тестирование электрической подсистемы СКС

Основным нормативным документом, в наиболее полной степени определяющим различные аспекты тестирования электрической подсистемы, является бюллетень TSB-67 (Telecommunications Systems Bulletin). Этот документ был издан ассоциацией TIA/EIA в октябре 1995 года. В нем определены требования к точности измерительных приборов, предназначенных для определения основных параметров горизонтальных подсистем СКС на основе четырехпарного кабеля, электрические характеристики которого соответствуют требованиям стандарта TIA/EIA-568-A. Определенная информация по тестированию содержится также в стандарте ISO/IEC 11801.

Отметим, что действие всех положений упомянутых выше публикаций распространяется как на неэкранированные, так и на экранированные кабели. Однако влияние экрана на качество связи и правила его заземления являются предметом дальнейшего изучения и связанные с этим вопросы не рассматриваются в данных документах.

### 10.2.1. Объекты тестирования

В общем случае применительно к СКС объекты тестирования можно разделить на две основные группы: компоненты СКС и смонтированные линии связи на основе витых пар.

К тестируемым электрическим компонентам СКС относятся кабели и разъемы. Требования стандартов к их электрическим характеристикам рассмотрены в параграфе 3.1.2.4 и разделе 3.2 соответственно. Необходимость тестирования электрических кабелей как отдельного компонента возникает при входном контроле перед началом прокладки, причем этот процесс может быть выполнен непосредственно на объекте монтажа переносными приборами. Тестирование разъемов возможно только в лабораторных условиях и производится с помощью специальной стационарной измерительной техники.

Основной практический интерес для тестирования смонтированной СКС имеют линии связи на основе витых пар. Они определены в стандарте ISO/IEC 11801 и в бюллетене TSB-67.

Линия связи как объект тестирования может иметь две разновидности, которые называются в дальнейшем (базовая) линия (Link, или Basic Link) и канал<sup>44</sup>. Канал определяет полный путь передачи сигнала приложения от разъема до разъема сетевого оборудования и может иметь максимальную длину 100 м. Вторая разновидность объекта тестирования в стандарте ISO/IEC 11801 называется просто линией, тогда как в стандарте TIA/EIA-568-A — базовой линией и представляет собой канал без оконечных шнуров, предназначенных для подключения сетевого оборудования. Считается, что в процессе проведения измерений параметров линии оконечные шнуры заменяются на шнуры тестирующего оборудования. Таким образом, оба основных объекта тестирования электрических линий связи СКС относятся к горизонтальной подсистеме. Отметим также, что в некоторых публикациях линия без тестовых шнуров (то есть от розетки до розетки) называется постоянной линией (permanent link) [86].

<sup>44</sup> Термин channel (канал) традиционно используется в технической литературе по СКС. Возможно, более правильным является применение для обозначения этого объекта термина «тракт».

### 10.2.1.1. Линии ISO/IEC 11801

На рис. 194 показана схема канала и линии по стандарту ISO/IEC 11801. Максимальная длина канала может достигать 100 м. ISO/IEC 11801 не задает специальных требований к электрическим характеристикам канала.

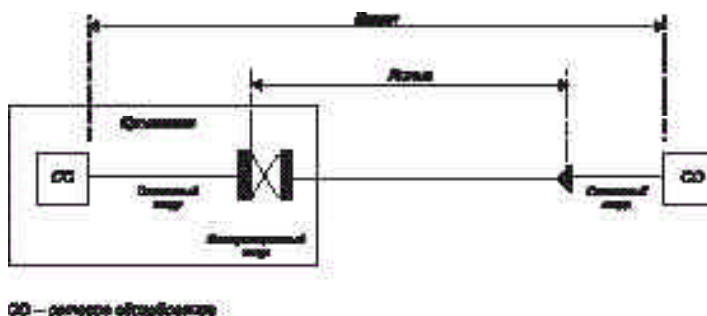


Рис. 194. Схема канала и линии горизонтальной подсистемы для приложений оптического класса

Под линией согласно определению понимается канал без двух оконечных шнуров, максимальная суммарная длина которых 5 м, то есть ее наибольшая длина составляет 95 м. Линия включает в себя кабель горизонтальной подсистемы длиной до 90 м, коммутационный шнур длиной до 5 м и три разъема: по одному для подключения сетевого оборудования в кроссовой и на рабочем месте и еще один на кроссовом поле.

Линии могут тестироваться в следующих основных случаях:

- **проверка наличия связи** (Acceptance testing). Это простейший тест, который может выполняться для линий, спроектированных в соответствии с требованиями стандарта и смонтированных из компонентов, также отвечающих этим требованиям;
- **проблемы со связью** (Troubleshooting). Этот тест выполняется в случае потери или сбоя связи;
- **тест линии на соответствие требованиям ISO/IEC 11801** (Compliance testing). Он выполняется для проверки соответствия электрических характеристик линии требованиям классов С или D.

В табл. 104 приведен перечень тестов для всех трех перечисленных случаев.

Требования к электрическим характеристикам линий классов С и D стандартом ISO/IEC 11801 выработаны исходя из наиболее жестких условий на полную совокупность электрических характеристик среды передачи сигнала максимальной дли-

Таблица 104. Перечень тестируемых параметров по ISO/IEC 11801

Название теста	Проверка наличия связи	Проблемы со связью	Тест линии на соответствие требованиям ISO/IEC 11801
Затухание		X	X
NEXT		X	X
Волновое сопротивление			X
Время прохождения сигнала			X
Сопротивление постоянному току			X
Сопротивление экрана постоянному току		X	
Импульсный отклик		X	
Целостность проводника, экрана, короткое замыкание и обрывы	X	X	

**Таблица 105.** Предельные затухание, NEXT и ACR линий классов С и D

Частота, МГц	Максимум затухания, дБ		Минимум NEXT, дБ		Минимум ACR, дБ
	класс С	класс D	класс С	класс D	класс D
1,00	3,7	2,5	39	54	—
4,00	6,6	4,8	29	45	40
10,00	10,7	7,5	23	39	35
16,00	14,0	9,4	19	36	30
20,00	—	10,5	—	35	28
31,25	—	13,1	—	32	23
62,50	—	18,4	—	27	13
100,00	—	23,2	—	24	4

контролируемым переходным затуханием NEXT понимается минимальное значение этого параметра, измеряемое для всех возможных комбинаций пар в кабеле и с двух сторон для каждой комбинации.

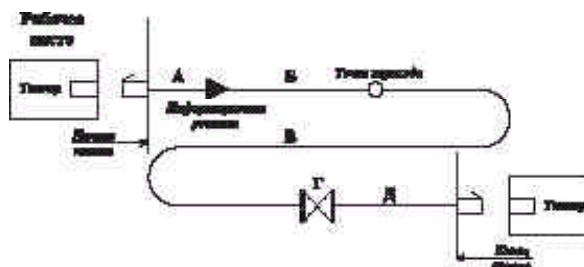
Для класса D в дополнение к нормам в отношении максимального затухания и минимального NEXT стандарт устанавливает требование к минимальному значению параметра ACR, отражающего отношение сигнал/шум на входе приемника (см. параграф 2.1.3.4). Требования по ACR на частотах 10 МГц и выше заданы более жесткими, чем при прямых вычислениях разности между NEXT и затуханием для данных линии класса D из табл. 105. Это означает, что затухание или NEXT реально должны иметь лучшие значения, для того чтобы обеспечить требуемое значение ACR.

Волновое сопротивление линии должно находиться в пределах  $100 \pm 15$  Ом в частотном диапазоне от 1 до 16 МГц для класса С или до 100 МГц для класса D. Время прохождения сигнала по кабелю критично для некоторых приложений, например для сетей Ethernet. Для линий классов С и D оно не должно превышать 1 мкс. Сопротивление пары постоянному току измеряется при короткозамкнутых проводниках на дальнем конце. Этот параметр важен для сетей Token Ring и для линий классов С и D не должен превышать 40 Ом.

Дополнительно к перечисленным параметрам стандарт ISO/IEC 11801 рекомендует контролировать значения балансировки линии, потерь на отражение и волновое сопротивление экрана. Однако методика измерения этих параметров пока отработана не в полном объеме. Предполагается, что она будет конкретно определена в следующих редакциях стандарта ISO/IEC 11801.

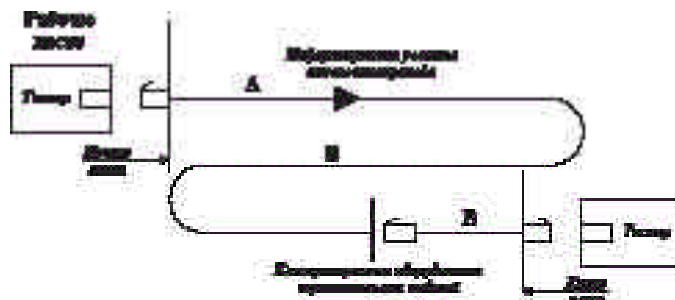
#### 10.2.1.2. Канал и базовая линия по TSB-67

TSB-67 определяет две модели линий связи на основе витых пар: канал (Channel) и базовую линию (Basic Link). Их схемы изображены на рис. 195 и рис. 196 соответственно.



А, Д — оконечные шнуры; Б, В — горизонтальные кабели;  
Г — коммутационный шнур или перемычка;  
Max. Б + В = 90 м; Max. А + Г + Д = 10 м

**Рис. 195.** Модель канала по TSB-67



А, В — оконечные шнуры измерительного оборудования;  
Б — горизонтальный кабель.

Рис. 196. Модель базовой линии по TSB-67

В состав канала входит горизонтальный кабель длиной не более 90 м, два оконечных шнура (на рабочем месте и в кроссовой для подключения сетевого оборудования), розетка на рабочем месте, разъем точки перехода (transition point) вблизи рабочего места (если она предусмотрена) и комму-

тационного кабеля в кроссовой. Суммарная длина двух оконечных и одного коммутационного шнуров не должна превышать 10 м. Оконечные восьмиконтактные вилки модульных разъемов оконечных шнуров (рис. 195), предназначенные для подключения сетевого оборудования, в состав канала не включаются. Таким образом, канал включает в себя максимум четыре соединителя (разъемных и/или неразъемных):

- разъем информационной розетки на рабочем месте;
- соединитель точки перехода, соединяющий два сегмента горизонтального кабеля;
- первый разъем на коммутационном оборудовании в кроссовой, который подключает кабель горизонтальной подсистемы к коммутационному шнуру;
- второй разъем на коммутационном оборудовании в кроссовой, подключающий коммутационный шнур к оконечному.

Все измерения, производимые на канале, должны быть выполнены таким образом, чтобы исключить влияние на результаты тех вилок модульных разъемов оконечных шнуров, которые подключаются к тестирующему оборудованию.

Базовая линия состоит из горизонтального кабеля максимальной длиной 90 м и двух соединительных шнуров длиной до 2 м каждый для подключения измерительного оборудования. Их оконечные разъемы аналогично предыдущему случаю не включаются в базовую линию. Таким образом, максимальная длина базовой линии равна 94 м и включает в себя только два разъема:

- разъем на рабочем месте или разъем точки перехода для подключения соединительного шнура к кабелю горизонтальной подсистемы;
- разъем на коммутационном оборудовании в кроссовой, через который происходит подключение кабеля горизонтальной подсистемы к соединительному шнуру.

Несложно убедиться в том, что модель базовой линии позволяет оценить характеристики только кабеля горизонтальной подсистемы, уложенного на трассе прокладки и разделанного в оконечных разъемах кроссового оборудования и информационной розетки на рабочем месте, а значения затухания и NEXT у нее естественным образом оказываются несколько лучшими по сравнению с каналом.

#### 10.2.1.3. Области применения моделей тестируемых линий

Необходимость введения двух достаточно близких моделей линий связи обусловлена следующими причинами. Электрические характеристики канала являются наиболее важной информацией для пользователя, так как полностью определяют качество линии связи. Вместе с тем во время проведения приемосдаточных испытаний СКС оконечные шнуры могут быть еще не подключены к розеткам

на рабочих местах. К моменту окончания монтажа СКС не всегда бывает расставлена мебель в помещениях и может отсутствовать сетевое оборудование. Кроме того, соединительные шнуры достаточно часто изготавливаются Заказчиком самостоятельно или приобретаются не у той компании, которая осуществляет монтаж и поставки остальных компонентов СКС.

Вывод по результатам тестирования канала о соответствии его характеристик требованиям определенной категории правомерен только для тех оконечных и коммутационных шнуров, а так же только для тех разъемов коммутационного оборудования в кроссовой, которые использовались при проведении измерений. Между тем процесс эксплуатации СКС предполагает выполнение переключений шнуров, а сами шнуры на рабочих местах без ведома администратора СКС могут быть заменены пользователями. Замена любого элемента в канале изменяет его электрические характеристики, так что повторная паспортизация возможна только при проведении нового цикла измерений.

В отличие от этого все элементы базовой линии неизменны в процессе эксплуатации. Поэтому актуальность результатов тестирования базовых линий сохраняется значительно дольше, чем актуальность результатов тестирования канала. Немаловажным является также то обстоятельство, что, как будет показано ниже, тестирование базовых линий может быть выполнено с большей точностью, чем тестирование канала.

Современные редакции обоих основных стандартов СКС не задают жестких требований по применению рассмотренных выше моделей тестирования в различных встречающихся в процессе создания и эксплуатации СКС случаях. Анализ принципов построения упомянутых моделей и их общих свойств показывает, что моделью (базовой) линии лучше пользоваться на этапе строительства и сдачи готовой СКС. В особо ответственных случаях, а также при наличии специальных требований на этот счет на этапе приемо-сдаточных испытаний может быть выполнена также выборочная или сплошная проверка параметров каналов. Модель канала может быть использована во время текущей эксплуатации СКС при поиске и устранении неисправностей. Приведенные положения являются общепризнанными в инженерной практике.

### **10.2.2. Измеряемые параметры**

Каналы и базовые линии подразделяются на категории 3, 4 и 5 в соответствии с их определениями в стандарте TIA/EIA-568-A. TSB-67 в качестве параметров, необходимых и достаточных для принятия решения о соответствии требованиям определенной категории, определяет:

- затухание;
- переходное затухание NEXT;
- длину;
- правильность разводки проводников пар по контактам модульного разъема (Wire map).

Измерения первых двух параметров выполняются в частотном диапазоне, соответствующем рабочим частотам категорий 3-5.

Кроме основных параметров современные тестеры СКС контролируют также ряд дополнительных характеристик.

#### **10.2.2.1. Требования к затуханию электрических трактов передачи**

Затухание канала и базовой линии является суммой затуханий, вносимых всеми их составляющими элементами: горизонтальным кабелем, оконечными и коммутационными шнурами и разъемами. Максимально допустимое затухание А можно выразить следующим образом:

$$A = \Sigma A_{\text{разъема}} + A_{\text{кабеля на 100 м}} \times (L_{\text{кабеля}} + 1,2 \times \Sigma L_{\text{шнуров}}) / 100 \text{ м}, \quad (14)$$

где  $\Sigma A_{\text{разъема}}$  — сумма максимально допустимых затуханий, вносимых всеми разъемами (см. табл. 38). В канале может быть до четырех разъемов, в базовой линии всегда два разъема;

$A_{\text{кабеля на 100 м}}$  — максимально допустимое затухание горизонтального кабеля на длине 100 м (см. табл. 25);

$L_{\text{кабеля}}$  — фактическая длина горизонтального кабеля канала или базовой линии;  
 $\Sigma L_{\text{шнуров}}$  — фактическая сумма длин всех шнуров канала или базовой линии.

Коэффициент 1,2 учитывает то обстоятельство, что для кабеля с витыми проводниками для оконечных и коммутационных шнуров стандартом TIA/EIA-568-A максимальное затухание допускается на 20% выше, чем для горизонтального кабеля с монолитными проводниками.

**Таблица 106.** Максимальное затухание в канале и базовой линии по TSB-67

Частота, МГц	Затухание, дБ					
	Категория 3		Категория 4		Категория 5	
	Канал	Базовая линия	Канал	Базовая линия	Канал	Базовая линия
1,00	4,2	3,2	2,6	2,2	2,5	2,1
4,00	7,3	6,1	4,8	4,3	4,5	4,0
10,00	11,5	10,0	7,5	6,8	7,0	6,3
16,00	14,9	13,2	9,9	8,8	9,2	8,2
20,00	—		11,0	9,9	10,3	9,2
31,25	—		—		12,8	11,5
62,50	—		—		18,5	16,7
100,00	—		—		24,0	21,6

В табл. 106 даны максимальные затухания при температуре 20°C в канале и в базовой линии соответственно. Значения затухания вычислялись по формуле 14 при  $L_{\text{кабеля}} = 90 \text{ м}$  и  $\Sigma L_{\text{шнуров}} = 10 \text{ и } 4 \text{ м}$  для канала и базовой линии соответственно.

Если температура окружающей среды во время тестирования отлична от 20°C, то максимальные затухания, приведенные в

табл. 105 и табл. 106, должны быть скорректированы согласно следующему выражению:

$$A(t^\circ) = A_{\text{max } 20^\circ} (1 + k \times (t^\circ - 20^\circ)),$$

где  $t^\circ$  — температура окружающей среды во время тестирования в °C;

$A_{\text{max } 20^\circ}$  — максимальные затухания из табл. 106;

$k$  — температурный коэффициент затухания (для кабелей категории 3 равен 0,015, а для кабелей категорий 4 и 5 — 0,004).

Согласно TSB-67 измерения затухания необходимо проводить в диапазоне от 1 до 16, 20 и 100 МГц для категорий 3, 4 и 5 соответственно. Шаг смены частот не должен превышать 1 МГц. Тестируются все четыре пары. Наихудшее из четырех полученных значений сравнивается с нормами, приведенными в табл. 106. Из-за неизбежных ошибок измерения (см. далее) значения затухания менее 3 дБ с нормами не сравниваются.

Для увеличения точности и достоверности проводимых испытаний TSB-67 рекомендует производить измерение затухания для каждой пары и с двух сторон. При этом результаты тестирования не должны различаться друг от друга во всем диапазоне частот более чем на величину допустимой погрешности измерительного прибора.



### 10.2.2.2. Требования к переходному затуханию NEXT электрических трактов передачи

Минимально допустимое значение NEXT для канала и базовой линии рассчитывается по формуле:

$$NEXT = -20 \lg(10^{-NEXT_{\text{кабеля}/20} + n \times 10^{-NEXT_{\text{разъема}/20}}), \quad (15)$$

где  $NEXT_{\text{кабеля}}$  — минимальное переходное затухание горизонтального кабеля на длине 100 м (см. табл. 26);

$NEXT_{\text{разъема}}$  — минимальное переходное затухание разъема (см. табл. 38);

$n$  — количество разъемов на ближнем конце ( $n=2$  и  $1$  для канала и базовой линии соответственно)<sup>45</sup>;

В табл. 107 приведены рассчитанные по формуле 15 минимальные значения NEXT для канала и базовой линии соответственно.

Измерение переходного затухания для канала и базовой линии осуществляется в диапазоне от 1 до 16, 20 и 100 МГц для категорий 3, 4 и 5 соответственно. Шаг смены частот выбирается не выше 0,15 МГц в диапазоне 1–31,25 МГц и 0,25 МГц в диапазоне 31,25–100 МГц. Тестирование производится для всех шести возможных комбинаций пар и с двух сторон.

Наихудшее из измеренных значений сопоставляется с данными из табл. 107, и по результатам сравнения принимается решение о соответствии канала и базовой линии нормам.

**Таблица 107.** Минимальные значения NEXT для канала и базовой линии по TSB-67

Частота, МГц	Категория 3, дБ		Категория 4, дБ		Категория 5, дБ	
	Канал	Базовая линия	Канал	Базовая линия	Канал	Базовая линия
1,00	39,1	40,1	53,3	54,7	60,0	60,0
4,00	29,3	30,7	43,3	45,1	50,6	51,8
10,00	22,7	24,3	36,6	38,6	44,0	45,5
16,00	19,3	21,0	33,1	35,3	40,6	42,3
20,00	—	—	9,9	8,8	9,2	8,2
31,25	—	—	—	—	10,3	9,2
62,50	—	—	—	—	12,8	11,5
100,00	—	—	—	—	18,5	16,7

### 10.2.2.3. Измерение длины

Длина канала и базовой линии представляет собой сумму длин горизонтального кабеля и всех оконечных и коммутационных шнуров. Для оценки длины используется рефлектометрический метод. Суть этого метода состоит в том, что в витую пару излучается короткий электрический импульс и измеряется интервал времени задержки до прихода отраженного сигнала. Тогда длина кабеля может быть оценена по формуле:

$$L_{\text{кабеля}} = NVP \times C \times T_{\text{изм}} / 2, \quad (16)$$

где  $NVP$  — отношение скорости распространения электромагнитных волн в данном конкретном кабеле к скорости света в вакууме (см. параграф 2.1.3.5);

$C$  — скорость света в вакууме;

$T_{\text{изм}}$  — временной интервал между моментом излучения зондирующего импульса и приходом отраженного сигнала.

<sup>45</sup> Из-за пренебрежимо малого вклада токов наводок с дальних участков линии в общую величину переходной помехи разъемы на дальнем конце не учитываются.

Оценка, полученная по формуле 16, называется электрической длиной кабеля. По полярности отраженного импульса дополнительно можно определить эффективность согласования витой пары на дальнем конце кабеля. Если сопротивление  $R_H$  нагрузки превышает модуль волнового сопротивления  $Z_B$  кабеля (например, при разомкнутых концах кабеля), то отраженный импульс имеет положительную амплитуду. При  $R_H < |Z_B|$  (например, при коротком замыкании) отраженный импульс имеет отрицательную амплитуду, а при согласованной нагрузке на дальнем конце отраженный импульс будет отсутствовать, и длина кабеля измерена быть не может.

TSB-67 требует измерения  $T_{изм}$  для всех четырех пар. Вычисления по формуле 16 производятся для наименьшего из четырех значений  $T_{изм}$ . Динамический диапазон тестера должен быть достаточен для измерения кабеля максимальной длиной не менее 310 м. Это позволяет выполнять входной контроль кабеля при его поставке в наиболее популярной 305-метровой (1000-футовой) упаковке.

Измеренная электрическая длина сравнивается с максимально допустимой длиной канала (100 м) или базовой линии (94 м).

#### 10.2.2.4. Проверка разводки проводников пар по контактам модульного разъема

В правильно смонтированном канале или базовой линии проводники витых пар должны подключаться к контактам оконечных модульных разъемов с одними и теми же номерами, то есть так же, как в прямых оконечных и коммутационных шнурах (см. раздел 3.4.1). Пример правильного подключения проводников пар согласно схеме T568B показан на рис. 197а, там же изображены типовые ошибки, допускаемые монтажниками при установке модульных разъемов.

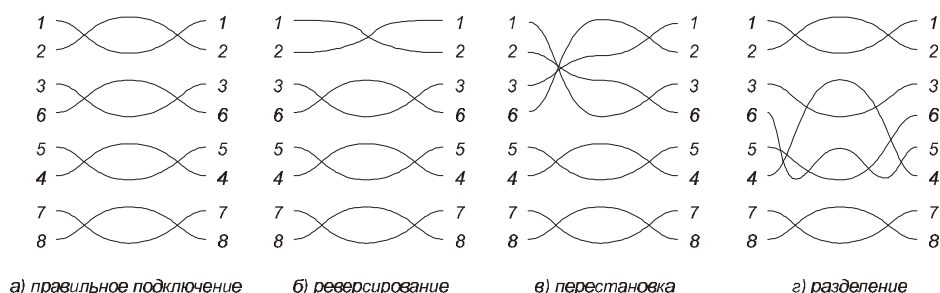


Рис. 197. Типовые ошибки при установке модульных разъемов на примере схемы разводки T568B

Все ошибки в разводке модульных разъемов могут быть разбиты на три основные группы:

- **реверсирование пары (Reversed Pair)** (рис. 197б) возникает в тех ситуациях, когда на разных сторонах кабельной линии взаимно меняются номера контактов модульного разъема, к которым подключаются провода пары. Это ведет к смене полярности сигнала на приемной стороне;
- под **перестановкой пар (Transposed Pairs)** (рис. 197в) понимается подключение любой пары к контактам одной из трех других пар на второй стороне кабельной линии. Перестановка пар практически всегда приводит к потере связи (например, передатчики на разных сторонах могут оказаться подключенными друг на друга) и поэтому легко обнаруживаются уже на ранних этапах тестирования или опытной эксплуатации смонтированной СКС;

- **разделение пар (Split Pairs)** (рис. 197г) происходит в тех случаях, когда к контактам модульных разъемов, предназначенных для подключения одной пары, подключаются провода, физически относящиеся к разным парам, то есть не перевитые между собой. Разделение пар сопровождается резким ухудшением электрических характеристик кабеля за счет возрастания затухания и падения переходного затухания.

Все остальные виды ошибок представляют собой комбинацию перечисленных выше основных.

Современные модели диагностических приборов СКС снабжаются графическим дисплеем, на экран которого при выполнении соответствующего теста в схематическом виде выводится фактическая разводка витых пар между оконечными разъемами тестируемого тракта распространения сигнала. По внешнему виду изображения опытный монтажник легко обнаруживает допущенную при разводке ошибку и ее тип.

#### 10.2.2.5. Градации производительности

В настоящее время качество четырехпарных кабелей и других компонентов СКС категории 5 многих производителей существенно превосходит формальные требования стандартов ISO/IEC 11801 и TIA/EIA-568-A. При этом затухание кабелей с диаметром проводников 0,5 мм примерно одинаково, составляя  $22 \pm 1$  дБ на длине 100 м и частоте 100 МГц, тогда как значения NEXT при общем соответствии требованиям категории 5 могут различаться более чем на 10-15 дБ. Очевидно, что качество трактов СКС, построенных на этих кабелях, будет существенно различаться.

Объективное сравнение технических характеристик кабельных систем, построенных из компонентов различных производителей, можно проводить по величине защищенности на ближнем конце ACR, однако этот параметр оказался понятным только специалистам и не был принят широким кругом пользователей. Требовался другой, универсальный и легко воспринимаемый всеми параметр. Некоторые изготовители оборудования для СКС в рекламных целях гарантировали существенное увеличение допустимых длин линий, построенных из своих кабелей, однако это запрещается действующими редакциями стандартов. Кроме того, при измерениях линии максимальной длины и разного качества не вполне понятным являлся сам процесс пересчета достигаемых запасов по помехоустойчивости в предельную длину.

Более удачным оказалось понятие градаций производительности (Performance Grading), предложенное специалистами американской компании Microtest, которая специализируется на выпуске тестирующего оборудования для СКС. Их суть заключается в том, что измеренные величины NEXT последовательно сравниваются с набором пороговых значений, первое из которых соответствует требованиям стандартов для категории 5. Пороговые значения выбираются согласно следующему выражению:

$$\text{NEXT}_{\text{порога}}(N_{\text{порога}}, f) = \text{NEXT}_{\text{мин}}(f) + N_{\text{порога}} \times [1 + \lg(f)], \quad (17)$$

где  $\text{NEXT}_{\text{порога}}$  — пороговое значение NEXT в дБ;

$N_{\text{порога}}$  — номер порога;

$f$  — частота в МГц;

$\text{NEXT}_{\text{мин}}$  — минимальное значение NEXT для кабелей категории 5, линий классов D по ISO/IEC 11801, каналов или базовых линий категории 5 по TIA/EIA-568-A.

Из формулы 17 следует, что при  $N_{\text{порога}}=0$  пороговое значение NEXT совпадает с формальными требованиями стандартов для систем категории 5. При  $f=100$  МГц пороговые значения NEXT будут отстоять друг от друга на 3 дБ или в два раза по мощности. Графики порогов NEXT показаны на рис. 198.

Области между порогами называются полосами качества (Quality Bands). Кабель, измеренные значения NEXT которого не превысили ближайшего верхнего порога с номером  $N_{\text{порога}}$ , относятся тестером к полосе качества с номером  $N_{\text{порога}}+1$ . Чем выше полоса качества кабеля, тем лучше его электрические характеристики и обеспечиваемое им отношение сигнал/шум.

Корректность использования понятия градации производительности вместо параметра ACR следует из определения этих величин и факта примерного равенства значений затухания горизонтальных кабелей различных производителей во всем рабочем частотном диапазоне.

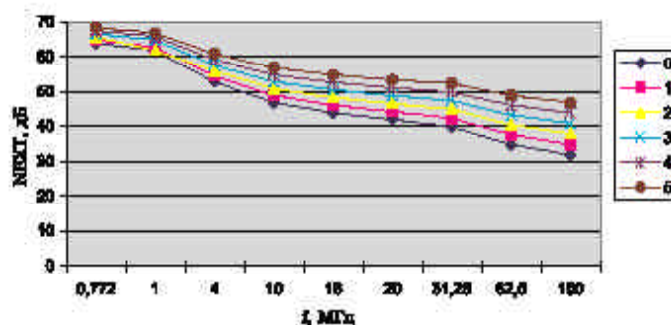


Рис. 198. Пороги NEXT

Справедливости ради отметим, что и это достаточно простое и ясное понятие также не получило широкого распространения и используется в каталогах и другой технической документации относительно редко.

### 10.2.3. Погрешности измерений оборудования для полевого тестирования СКС

Основным диагностическим прибором для выполнения тестирования электрических характеристик смонтированной СКС непосредственно на объекте монтажа (или полевого тестирования по западной терминологии) является тестер. Первые образцы этих приборов для кабельных систем категории 5 появились в 1993 году и значительно проигрывали по точности измерений сетевым анализаторам, которые использовались для решения аналогичных задач в лабораторных условиях. Согласно TSB-67, основными причинами этого являлись:

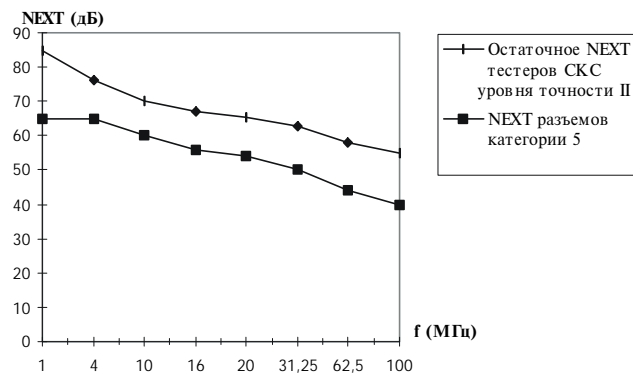
- низкая точность балансировки внутренних элементов тестеров и, в частности, восьмиконтактных модульных разъемов, что приводило к ухудшению измеряемого NEXT по сравнению с фактическими значениями;
- установка слишком большого линейного или логарифмического шага изменения частоты при измерении затухания и переходного затухания, что повышало вероятность пропуска наихудших значений на выбросах характеристик этих параметров в процессе тестирования;
- использование для упрощения конструкции приборов пониженного по сравнению с реальными уровня тестирующих сигналов и применение процедур экстраполяции для оценки результатов измерений, полученных на пределе чувствительности тестера;
- подключение тестера к измеряемой линии через внешний соединительный шнур, вносящий дополнительное затухание и уменьшающий переходное затухание, в то время как сетевые анализаторы подключались к тестируемому кабельному сегменту непосредственно.

**Таблица 108.** Требования TSB-67 к техническим характеристикам тестеров СКС уровней точности I и II

Параметр	Обозначение	Значение в диапазоне 1-100 МГц	
		Для тестера уровня точности I	Для тестера уровня точности II
Уровень собственных шумов на входе приемника (Random Noise Floor)	$\Delta_{\text{enf}}$	$\geq 50-15 \lg(f/100)$ дБ	$\geq 65-15 \lg(f/100)$ дБ
Остаточное переходное затухание (Residual NEXT)	$\Delta_{\text{r\_next}}$	$\geq 40-15 \lg(f/100)$ дБ	$\geq 55-15 \lg(f/100)$ дБ
Несимметрия выходного сигнала относительно земли (Output Signal Balance)	$\Delta_{\text{osb}}$	$\geq 27-15 \lg(f/100)$ дБ	$\geq 37-15 \lg(f/100)$ дБ
Подавление сигнала разбалансировки (Common Mode Rejection)	$\Delta_{\text{cmr}}$	$\geq 27-15 \lg(f/100)$ дБ	$\geq 37-15 \lg(f/100)$ дБ
Погрешность измерения напряжения входного сигнала (Dynamic Accuracy)	$\Delta_{\text{da}}$	$\leq \pm 1$ дБ	$\leq \pm 0,75$ дБ
Погрешность измерения длины (Length Accuracy)	$\Delta_{\text{la}}$	$\leq \pm 1 \text{ м} \pm 4\%$	$\leq \pm 1 \text{ м} \pm 4\%$
Возвратные потери (Return Loss). Этот параметр отражает точность согласования выходного сопротивления тестера с волновым сопротивлением тестируемого кабеля	$\Delta_{\text{rl}}$	$\geq 15$ дБ	$\geq 15$ дБ

TSB-67 определяет два уровня точности тестеров СКС — уровень I и уровень II. При этом точность уровня I соответствует приборам выпуска до 1994 года [87]. В табл. 108 приведены требования к техническим характеристикам тестеров обеих групп точности, которые оказывают наибольшее влияние на точность результатов измерений затухания и переходного затухания. Кроме того, TSB-67 требует, чтобы результаты измерений тестеров имели близкое совпадение с результатами измерений, выполненных с помощью сетевых анализаторов, особенно для приборов уровня точности II.

На величину остаточного переходного затухания тестера основное влияние оказывают переходные помехи внутренних цепей обработки сигнала и модульного разъема. На рис. 199 показаны графики минимально допустимого значения NEXT для разъемов категории 5 согласно TIA/EIA 568-A (см. табл. 38) и минимально допустимое значение остаточного NEXT для тестеров уровня точности II по TSB-67 согласно выражению из табл. 108. Видно, что к остаточному NEXT тестеров уровня точности II предъявляются более жесткие требования. Напомним, что оконечные восьмиконтактные модульные разъемы соединительных шнуров не включаются в модель канала по TSB-67 (рис. 195). Все измерения при тестировании канала должны быть сделаны без учета их влияния на электрические характеристики. При подключении вил-



**Рис. 199.** Минимально допустимое значение NEXT для разъемов категории 5 и остаточного NEXT для тестеров класса точности II

ки окончного шнура к розетке тестера NEXT модульного разъема не будет удовлетворять требованиям к тестерам СКС уровня точности II, независимо от характеристик самого тестера. Это означает, что точность тестирования параметров каналов всегда соответствует уровню I.

Оконечные шнуры, используемые для подключения тестера и инжектора к базовой линии в процессе измерения параметров, относятся к составным частям измерительного оборудования. Разъемы этих шнуров изготавливаются по специальным технологиям, обеспечивающим очень высокое значение переходного затухания (порядка 70 дБ и более на частоте 100 МГц) при подключении к базовому блоку и инжектору. Для обеспечения столь высоких характеристик может применяться как специальная конструкция приборного гнезда модульного разъема, так и отказ в приборной части от розетки модульного разъема в пользу более качественных высокочастотных разъемов другой конструкции. В результате этого остаточное переходное затухание тестеров СКС при проверке базовых линий может соответствовать требованиям, предъявляемым к измерительным приборам уровня точности II.

#### 10.2.3.1. Погрешности измерения затухания и NEXT

На основании параметров, приведенных в табл. 108, TSB-67 определяет математическую модель оценки точности измерений тестеров. Согласно ей погрешность измерения затухания и NEXT может быть выражена формулой 18 и формулой 19 соответственно.

$$\Delta_{\text{Затухание}} = |\Delta_{\text{da}}| + 20 \lg[1 + 10^{-\Delta_{\text{rl}}/10}]; \quad (18)$$

$$\Delta_{\text{NEXT}} = |\Delta_{\text{da}}| + 20 \lg[1 + 10^{-\Delta_{\text{rl}}/10} + (10(\text{NEXT}_{\text{изм}} - \Delta_{\text{r\_next}})/10 + 10(\text{NEXT}_{\text{изм}} - \Delta_{\text{rnf}})/10 + 10(10^{-\Delta_{\text{osb}}})/10 + 10(5 - \Delta_{\text{cmf}})/10)0,5], \quad (19)$$

где  $\text{NEXT}_{\text{изм}}$  — измеренное значение NEXT, а остальные обозначения аналогичны табл. 108.

Максимальные погрешности измерения затухания и переходного затухания в диапазоне 1-100 МГц тестерами классов точности I и II приведены в табл. 109. Эти погрешности вычислены по формуле 18 и формуле 19 с учетом зависимостей  $\Delta_{\text{rnf}}$ ,  $\Delta_{\text{r\_next}}$ ,  $\Delta_{\text{osb}}$  и  $\Delta_{\text{cmf}}$  от частоты согласно табл. 108 и при  $\text{NEXT}_{\text{изм}}$  равным минимально допустимому для кабелей категории 5 согласно формуле 9.

**Таблица 109.** Максимально допустимые погрешности тестеров СКС классов точности I и II

Параметр	Класс точности тестера	
	I	II
$\Delta_{\text{Затухание}}$	$\leq 1,3$ дБ	$\leq 1$ дБ
$\Delta_{\text{NEXT}}$	$\leq 3,4$ дБ	$\leq 1,6$ дБ

#### 10.2.3.2. Погрешность измерения длины

Требования к величине погрешности измерения длины кабельного сегмента для тестеров СКС классов точности I и II указаны в табл. 108. Однако эти требования даны без учета возможных дополнительных ошибок, связанных с неточностью задания скорости распространения сигнала по данному конкретному кабелю. Точность оценки расстояния по формуле 16 зависит от погрешности знания величины NVP и от точности измерения  $T_{\text{изм}}$ . У кабелей категории 3 разброс значений NVP различных образцов кабеля и отдельных пар одного кабеля может достигать 5%. У кабелей категорий 4 и 5 разброс NVP несколько ниже. Современные тестеры содержат в своей внутренней памяти электронную таблицу со

значениями NVP для всех основных типов кабелей и позволяют пользователю устанавливать этот параметр самостоятельно. Для выполнения последней операции осуществляется предварительная калибровка на контрольном отрезке кабеля заранее известной длины. На нем тестером СКС измеряется время между излученным и отраженным импульсами и обратным пересчетом из формулы 16 вычисляется значение NVP:

$$NVP = 2 L_{\text{кабеля}} / (C \times T_{\text{изм}}), \quad (20)$$

где  $L_{\text{кабеля}}$  — длина эталонного отрезка кабеля;

$C$  — скорость света в вакууме;

$T_{\text{изм}}$  — измеренное время между излученным и отраженным импульсами.

Калибровка настоятельно рекомендуется для снижения погрешности измерения длины. Для повышения точности выполнения этой процедуры рекомендуется производить ее на сегменте кабеля длиной не менее 25 м.

С ростом частоты NVP имеет тенденцию к увеличению. В целом у одного и того же кабеля в диапазоне 1-100 МГц NVP может варьироваться в пределах 5%. Это приводит к искажению зондирующего импульса и в конечном итоге к погрешности определения момента прихода отраженного импульса ( $T_{\text{изм}}$ ). Еще одним фактором, влияющим на точность измерения  $T_{\text{изм}}$ , является конечное значение частоты внутреннего задающего генератора тестера. Она определяет минимальный временной интервал, различаемый тестером. Чем выше значение этого параметра, тем точнее измерение  $T_{\text{изм}}$ .

TSB-67 требует измерения  $T_{\text{изм}}$  для всех четырех пар. Вычисления по формуле 16 должны производиться для наименьшего из четырех  $T_{\text{изм}}$ . Максимальная длина кабеля, измеряемая тестером, должна быть не менее 310 м.

Кроме перечисленных факторов, оказывающих непосредственное влияние на точность измерения длины кабеля, имеется еще один, который может привести к совершенно неожиданным и неверным результатам измерений. Это вариации волнового сопротивления кабельного сегмента. Как указывалось выше, на участках неоднородности волнового сопротивления возникают отражения сигнала. При достаточно высокой чувствительности приемника тестера импульс, отраженный от места такой неоднородности, может быть принят за импульс, отраженный от конца кабельного сегмента, и оценка длины может оказаться существенно меньше физической длины линии. Во избежание таких ошибок тестер СКС должен обеспечивать возможность регулировки порога чувствительности до минимального уровня, достаточного только для приема основного отраженного импульса.

#### 10.2.4. Измерительное и тестирующее оборудование

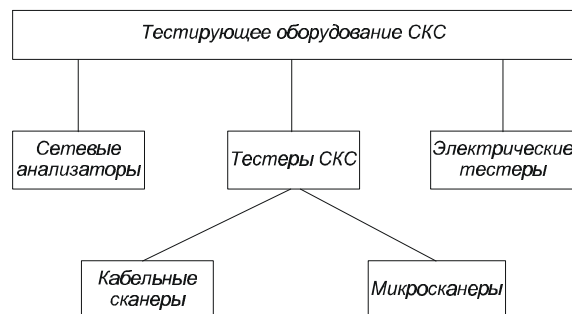
##### 10.2.4.1. Виды оборудования для тестирования электрических трактов СКС

Измерительное и тестирующее оборудование СКС на основе витых пар можно подразделить на три основные группы (рис. 200):

- сетевые анализаторы (Network Analyzers);
- тестеры СКС (FTE — Field Test Equipment);
- обычные электрические тестеры, или мультиметры (Continuity Testers).

**Сетевые анализаторы** (не следует путать их с анализаторами протоколов) представляют собой эталонное измерительное оборудование для диагностики и сертификации кабелей и кабельных систем. Это прецизионные крупногабаритные и

дорогие (стоимостью более 20 тыс. долл.) приборы, предназначенные для использования в лабораторных условиях. В качестве примера можно привести сетевые анализаторы компании Hewlett-Packard — HP 4195A и HP 8510C. Оборудование подобного класса применяется в центрах сертификации и в научно-исследовательских лабораториях. Рассмотрение принципов построения и технических особенностей конструкции этих приборов выходит за рамки данной работы.



**Рис. 200.** Оборудование для тестирования электрической подсистемы СКС

**Тестеры СКС** были разработаны специально для диагностики и тестирования СКС непосредственно на объекте монтажа кабельной системы (то есть для выполнения так называемого полевого тестирования (field testing)). Достаточно часто их называют кабельными сканерами (Cable Scanners). Тестеры СКС являются основным инструментом для оперативных измерений подсистем СКС, реализованных на основе витых пар. Эти устройства позволяют проводить комплексную проверку четырехпарных кабелей, линий классов C и D по стандарту ISO/IEC 11801, а так же каналов и базовых линий, определенных в TSB-67, на соответствие требованиям категорий 3, 4 или 5.

**Электрические тестеры**, или мультиметры представляют собой простые, дешевые и широко распространенные приборы. Позволяют измерять постоянный и переменный ток и напряжение, а также активное сопротивление постоянному току. Наиболее совершенные устройства этой группы дополнительно контролируют частоту, емкость, температуру, параметры полевых и биполярных транзисторов и выполняют некоторые другие измерения. Ранее были распространены стрелочные аналоговые варианты конструктивного исполнения, в большинстве современных мультиметров вывод результатов измерения производится в цифровом виде на жидкокристаллический индикатор с задней подсветкой. Их применяют для простейших диагностических проверок типа определения обрывов и коротких замыканий в случае отсутствия тестера СКС. Достаточно подробный обзор функциональных возможностей современных моделей импортных цифровых мультиметров приводится в статье [88].

Кроме перечисленных выше устройств функции диагностики кабельной разводки СКС могут выполняться как дополнительная опция некоторыми моделями анализаторов протоколов. В качестве примера укажем устройство 68x Enterprise LANMeter компании Fluke.

#### **10.2.4.2. Тестеры СКС**

##### **10.2.4.2.1. Общие сведения и функциональные возможности**

Тестер СКС является основным видом тестирующего и диагностического оборудования и широко применяется на всех этапах создания и эксплуатации СКС. Представляет собой легкое (масса обычно менее 1 кг) и портативное устройство (габариты порядка 20×10×5 см) с питанием от аккумуляторных батарей или от сетевых источников. Емкость аккумулятора подбирается таким образом, чтобы обеспечить проведение измерений в течение одного рабочего дня. Наи-



более известными на российском рынке производителями тестеров СКС являются фирмы Datacom Technologies, Fluke, Microtest, Scope Communication<sup>46</sup> и Wavetek. Общие сведения о выпускаемой ими продукции приводятся в табл. 112, в табл. 110 приводятся данные о диапазоне измеряемых параметров и величинам ошибок.

Современный уровень развития элементной базы микроэлектроники позволяет добиться высокой степени автоматизации процесса проведения измерений и интерпретации полученных результатов. Во время общего теста (режим Autotest) в течение нескольких секунд последовательно без вмешательства оператора измеряется ряд необходимых для проверки параметров, далее результаты измерений сравниваются с требованиями стандартов или определенного сетевого протокола при его указании в явном виде и выдается отчет с общим выводом по результатам тестирования в виде ДА/НЕТ (Pass/Fail) (рис. 201). Решение о прохождении теста принимается только в том случае, если все требования стандартов были удовлетворены, а отрицательный результат выдается, если был обнаружен хотя бы один параметр, не соответствующий нормам. В

**Таблица 110.** Параметры, контролируемые современными тестерами СКС

Измеряемый параметр	Типовой динамический диапазон	Типовая погрешность измерений	Примечание
Затухание	0-50 дБ	~1,5 дБ	Для 4 пар на дискретном наборе частот в диапазоне 1-100 МГц с шагом 1 МГц или на фиксированном наборе частот (1, 4, 10, 16, 20, 31,25, 62,5 и 100 МГц)
Переходное затухание на ближнем конце (NEXT)	0-60 дБ	~1,5 дБ	Выдается худшее значение из всех шести возможных комбинаций пар на дискретном наборе частот с шагом 0,1 МГц в диапазоне 0,7-100 МГц
Длина	3-1000 м	1м + 4% + погрешность измерения NVP	Для всех пар. Дополнительно может определяться состояние пары на дальнем конце — разомкнута или короткозамкнута
Разброс задержек распространения сигналов по парам (Skew)	—	—	
Проверка правильности разводки пар по контактам модульного разъема (Wire Map)	—	—	Производятся проверки на обрыв, короткое замыкание, реверсирование проводников, перестановку пар, разделение пар и другие несоответствия
Волновое сопротивление (импеданс)	50-200 Ом	~5 Ом	Для всех пар в диапазоне 1-100 МГц
Активное сопротивление постоянному току	0-10 кОм	~5 %	Измеряется сопротивление всех пар по шлейфу, то есть при короткозамкнутых проводниках на дальнем конце
Емкость	0-100 пФ	~10 %	Для всех пар
Шум, наведенный внешним ЭМИ	0-3 В	—	Измеряется средний уровень шума

<sup>46</sup> В 1999 году компания вошла в состав Hewlett-Packard.

случае отрицательного результата тестирования на экран дисплея выводятся наименования параметров, значения которых выходят за рамки ограничений стандартов.

Кроме комплексного тестирования с общим результатом в виде ДА/НЕТ тестеры позволяют замерить и какой-либо один конкретный параметр или же их ограниченный перечень, который предварительно должен быть в явном виде указан оператором.

Тестеры СКС всегда состоят из двух устройств — базового блока и инжектора (Injector). В процессе проведения измерений инжектор подключается к противоположному концу тестируемой линии. Необходимость такого решения обусловлена тем, что большинство измерений и тестов (затухание, NEXT, разводка пар по контактам модульного разъема и др.) требуют выполнения определенных операций на дальнем конце линии. Для измерения затухания инжектор излучает в кабель синусоидальный сигнал определенной частоты и известной амплитуды, а базовый блок принимает его, пропуская через узкополосный фильтр для подавления шумов и помех, и измеряет амплитуду. Во время измерения тестером параметра NEXT инжектор на дальнем конце обеспечивает согласованную нагрузку. TSB-67 требует измерения NEXT с двух концов кабеля, поэтому некоторые современные тестеры позволяют не менять местами базовый блок и инжектор в процессе измерения NEXT на втором конце кабеля, что существенно сокращает время проведения тестирования и трудозатраты (в этом случае базовый блок и инжектор меняются местами не физически, а функционально).

Инжектор первых моделей тестеров был предназначен главным образом для создания согласованной нагрузки тестируемой линии, что являлось необходимым условием получения точности измерений, требуемой TSB-67. В этом случае данный блок представляет собой чисто пассивное устройство. Существенное расширение функциональных возможностей тестеров второго поколения достигается передачей части выполняемых операций на реализацию в инжектор (так называемый инжектор активного типа). Это позволяет, в частности, резко уменьшить время проведения измерений. Инжектор активного типа питается от никель-кадмиевого аккумулятора, в состав комплекта прибора вводится второе зарядное устройство.

Основными элементами базового блока являются управляющий контроллер, память для хранения операционной системы, программ измерений, используемых при расчетах констант, управляющая клавиатура и графический жидкокристаллический экран с типовым разрешением 128×64 точки. Экран используется как для вывода результатов измерений в цифровом и графическом виде, так и для представления на нем контекстно-зависимого меню и help-подсказки. Подавляющее большинство моделей тестеров имеют черно-белый экран, появились также первые образцы приборов с цветным дисплеем. Для обеспечения работы в условиях плохой видимости применяется подсветка рабочего поля экрана.

Ввод необходимых управляющих команд выполняется с клавиатуры, которая имеет 12 алфавитно-цифровых, несколько дополнительных и функциональных кнопок. При этом могут применяться как обычные, так и пленочные кнопки и управляющие манипуляторы. Собственно процесс ввода выполняется по меню с помощью курсора и задания определенных параметров в явном виде, в необходимых случаях может использоваться help-подсказка.

AUTOTEST	PASS
Wire Map	PASS
Resistance	PASS
Length 307 ft	PASS
Delay Skew	PASS
Attenuation	PASS
Return Loss	PASS
NEXT	PASS
Power Sum NEXT	PASS
ELFEXT	PASS
Power Sum ELFEXT	PASS
▲ ▼ & ENTER to view results	
Memory	Page Down

Рис. 201. Вид экрана тестера после выполнения проверки

В некоторых моделях тестеров базовый блок и инжектор имеют средства для подключения микротелефонной гарнитуры. Это позволяет устанавливать служебную связь между операторами на разных концах тестируемой линии, что существенно ускоряет процесс проведения измерений.

Подключение тестируемого кабеля к базовому блоку и инжектору производится по трем основным схемам (рис. 202). Первая предполагает фиксированную конфигурацию и основана на том, что, аналогично сетевым адаптерам Combo, на приборе располагаются несколько типов разъемов, обычно это модульная розетка и розетка типа BNC. В настоящее время такой подход считается устаревшим и в новых приборах не используется. Вторая схема реализует модульную конструкцию, когда при необходимости перехода на новый тип разъема устанавливается сменный модуль. Контроллер прибора автоматически опознает подключение соответствующего модуля и выполняет необходимые переключения и настройки. Данное решение, в свою очередь, известно в двух разновидностях. Первая из них основана на применении внутреннего сменного модуля, который в рабочем положении целиком закрыт корпусом прибора. Вторая разновидность предполагает применение внешнего навесного модуля. Подобный прибор несколько менее удобен в работе, однако имеет заметно меньшие габариты при его переноске в сумке в нерабочем состоянии. Кроме легкости адаптации к конкретному типу физической среды рассматриваемые решения позволяют легко восстановить работоспособность тестера при износе контактов модульного разъема в процессе его длительной эксплуатации простой заменой вышедшего из строя модуля. И, наконец, третий вариант заключается в использовании внешних приставок. Наиболее часто это конструктивное решение реализуется в тестерах, которые позволяют наряду с электрическими тестировать и волоконно-оптические тракты СКС.



Рис. 202. Технические решения по согласованию с типом среды передачи

Отметим, что работа со всеми типами среды выполняется по одинаковым правилам. Это существенно упрощает процесс работы и обучения оператора, а также уменьшает вероятность ошибки.

Результаты тестирования (500 и более линий) записываются во внутреннюю память прибора и могут быть считаны оттуда через последовательный порт в виде файла для хранения на компьютере, печати на принтере в виде протокола измерений и записи в специализированную базу данных. Кроме собственно результатов измерений файл обязательно снабжается датой и временем проведения испытаний, условным наименованием трассы и другой дополнительной информацией, облегчающей его анализ и интерпретацию.

Для облегчения процесса настройки прибора в его внутренней памяти хранится встроенная библиотека параметров основных типов кабелей. Кроме того, пользователь имеет возможность пополнения этой библиотеки в случае работы с кабелями, которые не входят в исходный перечень.

#### 10.2.4.2.2. Контролируемые параметры и выполняемые функции

Штатными тестируемыми параметрами согласно TSB-67 являются:

- проверка схемы разводки;
- электрическая длина;

- затухание;
- величина NEXT.

Погрешность измерения современных тестеров СКС ведущих производителей оборудования этого класса обычно удовлетворяет требованиям TSB-67 с существенным запасом (табл. 111).

Кроме основных параметров также контролируются:

- сопротивление постоянному току. Измеряется по шлейфу (короткое замыкание на дальнем конце) и обеспечивает эффективную проверку отсутствия обрывов проводников и качества заделки контактов;

**Таблица 111.** Погрешности измерений некоторых моделей современных тестеров СКС уровня II

Модель	Фирма-производитель	Погрешность измерения, дБ	
		Затухания	NEXT
Норма TSB-67		1.0	1,7
PentaScanner+	Microtest	0.3	0,5
WireScope 155	Scope Communication	0.8	0.5
LT-8100	Wavetek	0.6	1,6

**Таблица 112.** Основные параметры тестеров СКС уровня II [89]

Модель	Измеряемые параметры:	Максимальная тестируемая частота, МГц	Время выполнения авто-теста, с	Возможность двухканального тестирования	Кол-во и тип батарей питания	Время работы при полной зарядке батарей, ч
<b>Datakom Textron</b>						
LANcat System 6	A, AC, FC, I, L, N, NC, PA, PF, PN, R, RL, V, W	250	20	Да	NiMg	12
LANcat System 5	A, AC, I, L, N, NC, PN, R, V, W	100	20	Да	NiMg	12
<b>Fluke Corp.</b>						
DSP-4000	A, AC, C, FC, I, L, N, NC, PA, PF, PN, R, RL, V, W	350	10	Да	NiCd	10-12
DSP-2000	A, AC, C, I, L, N, NC, PN, R, RL, V, W	155	20	Да	NiCd	10-12
<b>Microtest Inc.</b>						
OMNIScanner 8222-XX	A, AC, FC, L, LR, NC, PA, PF, PN, RL, V, W	300	27	Да	NiCd	10
PentaScanner-350 8180-XX	A, AC, C, L, L, LR, LT, N, NC, RL, W	100	21	Да	NiCd	8
<b>Hewlett-Packard/Scope Communication</b>						
WireScope 155	A, AC, AR, FC, I, L, N, NC, PA, PF, PN, RL, V, W	160	13	Да	NiMg	8
<b>Wavetek Wandel &amp; Goltermann</b>						
LT-8000	A, AC, C, FC, N, I, L, NC, PA, PF, PN, R, RL, V, W	100	10	Да	NiCd	12
LT-8155	A, AC, C, FC, N, I, L, NC, PA, PF, PN, R, RL, V, W	155	10	Да	NiCd	12

A — затухание, C — емкость, I — импеданс, D — сопротивление постоянному току, L — длина кабеля, N — шумы, NE — параметр NEXT, PS — power-sum NEXT, V — параметр NVP, W — разводка пар

- емкость пар проводников. Сильное отклонение от номинала свидетельствует о некачественной заделке проводов в вилках и розетках разъемов и о недопустимо сильном растяжении кабеля в процессе прокладки;
- волновое сопротивление;
- структурные возвратные потери (параметр SRL);
- задержка сигнала;
- уровень электрического шума, что позволяет контролировать уровень наводок от внешних источников.

Известна также функция локатора NEXT, при реализации которой на экран дисплея прибора выводится график зависимости фактической величины NEXT в данной конкретной точке от расстояния. Наличие данной функции весьма полезно при поиске различного рода неисправностей.

Пользователь имеет возможность выбора полной или сокращенной программы тестирования. В последнем случае в явном виде указываются тестируемые параметры.

Большинство моделей тестеров осуществляет проверку контролируемых параметров до частоты 100 МГц. Имеются также приборы с расширенным частотным диапазоном до 160 МГц (модель WireScope-155 компании Scope Communication) и даже до 350 МГц (Penta Scanner 350 компании Microtest и DSP-4000 компании Fluke). В связи с ожидающимся в ближайшее время принятием официальных документов, регламентирующих характеристики электрических трактов категории 5е и 6, следует ожидать появления большого числа моделей тестеров с расширенным частотным диапазоном и увеличенным перечнем контролируемых параметров. Вероятно, по аналогии с существующими приборами за ними закрепится название тестеров уровня 5е и 6.

Стандарты СКС задают параметры кабельного тракта, исходя из наихудшего случая. Некоторые разновидности сетевой аппаратуры за счет выбора пар с наибольшим значением NEXT позволяют получить существенно лучшие характеристики, которые формально не могут быть получены на кабельном тракте категории 5. Для проверки возможности использования данного конкретного тракта для передачи сигналов сетевой аппаратуры тестеры проводят измерения значений затухания и параметра ACR в том частотном диапазоне и для тех комбинаций пар, которые необходимы для обеспечения работы конкретного приложения. При выполнении таких измерений все настройки выполняются тестером автоматически, за оператором остается только указание названия протокола из меню.

Облегчение создания и текущей эксплуатации СКС достигается введением в перечень операций, выполняемых некоторыми моделями тестеров, функций трассировки и офис-локатора.

При реализации функции трассировки тестер излучает в кабель специальный тестовый сигнал, который улавливается локатором при его нахождении над кабелем. Это дает возможность отследить место прохождения и трассу кабеля при его скрытой прокладке.

Функция офис-локатора позволяет существенно ускорить процесс восстановления кабельного журнала в случае его утери или потери актуальности. Для этого в розетки на рабочих местах вставляются специальные вставки, со стороны кроссовой включается базовый блок. При обнаружении на другом конце линии вставки на экране прибора высвечивается ее номер.

#### **10.2.4.3. Микросканеры**

Обычный кабельный сканер представляет собой сложное и достаточно дорогое устройство стоимостью в несколько тысяч долларов (типовой разброс цен на

российском рынке по состоянию на середину 1999 года составляет от 3 до 7 тыс. долл. в зависимости от модификации и комплектации). Его целесообразно применять в процессе сертификационных испытаний различных кабельных трасс, а также во время поиска и локализации неисправностей. Задачи текущей диагностики трактов СКС может выполнить более простой прибор, который часто называют микросканером. За счет существенного сокращения функциональных возможностей это устройство имеет значительно меньшую стоимость (обычно в диапазоне 300-500 долл.) и лучшие массогабаритные показатели. В перечень контролируемых параметров включаются проверка непрерывности и правильности разводки, а также длины тракта. В состав реализуемых функций может входить также функция офис-локатора. Микросканер как измерительный прибор позволяет:

- обеспечить нормальную эксплуатацию СКС;
- произвести ее расширение на уровне организации нескольких дополнительных кабельных трасс без немедленного предоставления их на сертификацию и выдачу гарантии от производителя.

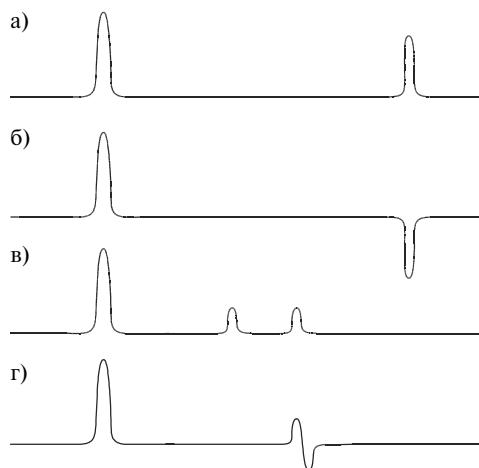
Наиболее известным в нашей стране прибором данного класса является устройство Microscanner фирмы Microtest.

### 10.2.5. Другие устройства для тестирования электрической подсистемы СКС

#### 10.2.5.1. Рефлектометры для электрических кабелей

Принцип действия рефлектометра во временной области TDR (Time Domain Reflectometer) основан на анализе сигнала, отраженного от различных неоднородностей в линии при ее зондировании мощными импульсами тока небольшой длительности.

Электрическая волна, возбуждаемая в тестируемой линии импульсным генератором рефлектометра, при распространении в линии отражается в обратном направлении от всех точек неоднородностей. При этом амплитуда отраженной волны пропорциональна изменению волнового сопротивления в неоднородности линии. Анализатор приемника контролирует как момент прихода отраженного сигнала, так и изменение его формы во времени. Результат работы анализатора может представляться на дисплее в графическом виде так называемой рефлектограммы или же в табличной форме. Дополнительно по времени задержки между зондирующим и приходящим импульсом рассчитывается расстояние до неоднородности, значения которого выводятся на экран.



**Рис. 203.** Основные варианты рефлектограмм электрических кабелей:  
а) обрыв; б) короткое замыкание;  
в) дефекты; г) активная нагрузка или антенна

В случае если сопротивление нагрузки равно или же очень близко к волновому сопротивлению кабеля, отражение отсутствует и на рефлектограмме имеется только зондирующий импульс. Импульс, отраженный от точки с импедансом выше волнового, имеет положительную полярность, тогда как при

отражениях от точки с импедансом ниже волнового поляриность отрицательная. По амплитуде импульса отражения можно сделать также вывод о том, замкнут или разомкнут конец кабеля. В случае нагрузки кабеля на активное устройство или антенну импульс отражения может иметь более сложную S-образную форму. С эффектом искажения формы импульса, отраженного от активной нагрузки, часто сталкиваются монтажники СКС, которые в процессе тестирования следят за тем, чтобы к розетке не была подключена рабочая станция пользователя. При нарушении этого условия кабельный сканер часто выдает показания длины, которые иногда отличаются от фактических в несколько раз.

Наличие графического индикатора позволяет выполнить комплексный анализ всех неоднородностей кабеля. Приборы с цифровым индикатором часто реализуются в виде измерителей длины или же используются для поиска простейших неисправностей.

Рефлектометры для электрических кабелей нашли достаточно широкое применение в сетях городской и междугородной связи. Из-за трудностей анализа начального участка они эффективны только в процессе тестирования кабелей магистральных подсистем и поэтому не получили широкого распространения в технике СКС. При тестировании горизонтальной подсистемы их роль достаточно успешно выполняют кабельные сканеры, все модели которых в большем или меньшем объеме реализуют функции рефлектометра.

Технические характеристики рефлектометров для электрических кабелей, доступных на российском рынке, можно найти в статье [90] и монографии [91].

#### **10.2.5.2. Устройства для проверки разводки**

Эти устройства, называемые в некоторых публикациях кабельными тестерами [92], предназначены для выполнения простейших проверок на уровне контроля правильности разделки отдельных проводов кабеля из витых пар, отсутствия обрывов и коротких замыканий проводников. На практике используются для контроля как отдельных соединительных и оконечных шнуров, так и целиком смонтированных линий.

Устройства конструктивно выполнены в виде небольшого карманного прибора с батарейным питанием. На корпусе предусматривается несколько гнезд розеток восьмипозиционных модульных разъемов, один из которых является опорным, а остальные — рабочими и соответствуют конкретной схеме разводки. Наиболее часто применяются три рабочих гнезда: для схем разводки USOC, T568A и T568B. Иногда устройства для проверки выполняются специализированными и позволяют контролировать только одну схему разводки. Результаты тестирования отображаются светодиодным индикатором. В некоторых моделях показания оптического индикатора дублируются акустическим извещателем.

Большинство известных моделей устройств рассматриваемого вида рассчитаны на работу с кабельными изделиями из четырехпарных кабелей UTP. Устройство SLT-3 (33.D0020), используемое в составе кабельной системы Mod-Tap, позволяет контролировать также изделия из кабелей S/UTP. Отличается тем, что дополнительно проверяет целостность экрана.

Известны также устройства рассматриваемого класса с расширенными функциональными возможностями, которые позволяют производить измерения большего количества параметров и осуществлять более точную интерпретацию полученных результатов. В качестве примера укажем прибор типа KARPi немецкой компании BTR. В число дополнительных проверяемых параметров этого устройства входят:

- сигнализация наличия на каждой из жил постороннего постоянного напряжения с указанием его полярности;
- поддержка функций офис-локатора.

Индикаторными элементами служат 10 светодиодов (девяти красных по одному на каждый провод и экран, а также один зеленый, используемый для сигнализации выполнения процедур измерения и их завершения), а также семисегментный цифровой индикатор. Наличие последнего в комбинации с клавишей переключения позволяет, во-первых, сразу же указывать на характер обнаруженной неисправности и, во-вторых, анализировать комплексные ошибки.

## 10.3. Тестирование волоконно-оптической подсистемы СКС

### 10.3.1. Объекты тестирования и контролируемые параметры

В перечень тестируемых волоконно-оптических элементов входят:

- **Кабели.** Требования стандартов к оптическим характеристикам волокон кабелей, применяемых в СКС, даны в параграфе 4.1.2. Тестирование кабелей производится непосредственно на катушках или барабанах на этапе входного контроля перед началом прокладки. В зависимости от трудоемкости прокладки тестирование кабелей и их волокон может быть выборочным или полным. Для кабелей, прокладываемых внутри зданий, можно применять выборочный контроль, для кабелей внешней прокладки настоятельно рекомендуется 100% входной контроль всех волокон.
- **Разъемы.** Требования стандартов к затуханию оптических разъемов приведены в параграфе 4.2.1. Входной контроль разъемов перед их монтажом можно не проводить, однако необходимо контролировать уровень вносимого затухания установленного разъема.
- **Неразъемные сварные или механические оптические соединители.** Внутри зданий необязательно контролировать уровень затухания, вносимого каждым установленным соединителем оптических волокон. Затухание оптических соединителей, устанавливаемых во внешних проходных и разветвительных муфтах, необходимо контролировать сразу после их монтажа перед герметизацией муфты.
- **Линии связи.** Волоконно-оптические линии связи представляют собой смонтированные оптические линии, включающие в себя кабель и всю сопутствующую кабельную арматуру (муфты, разъемы, оптические соединители и т.д.), кроме оконечных шнуров. Тестирование оптических характеристик линий связи производится на этапе приемо-сдаточных испытаний кабельной системы, а также в случае проблем со связью на этапе эксплуатации.
- **Каналы.** Канал представляет собой волоконно-оптическую линию с оконечными соединительными шнурами. Оптические параметры канала характеризуют его качество от разъема до разъема. Тестирование канала проводится в случае проблем со связью на этапе эксплуатации.

Телекоммуникационная система, оборудование которой использует в качестве среды передачи волоконно-оптический кабель, согласно стандарту ISO/IEC 11801, выделяется в приложения оптического класса. Приложения оптического класса характеризуются высокой и очень высокой скоростью обмена данными, то есть тактовые частоты передаваемых сигналов равны или превышают 10 МГц. На основании достигнутого на сегодняшний день уровня техники считается, что при характерных для СКС расстояниях обеспечиваемая оптическим кабелем ши-



рина полосы передаваемых частот не является лимитирующим фактором. На основе волоконно-оптических кабелей могут быть реализованы все три подсистемы СКС.

Схема канала и линии горизонтальной подсистемы для приложений

оптического класса показана на рис. 204. Она практически совпадает со схемой линии и канала для электрической подсистемы (сравни с рис. 194) и отличается только введением в тракт линии двух дополнительных неразъемных соединителей НС, которые реализуются в виде сварных сростков или с помощью механических сплайсов.

Максимальная длина линий магистральной подсистемы составляет 2000 м в случае многомодового кабеля и 3000 м при построении ее на основе одномодового кабеля. На одномодовом кабеле в принципе могут быть построены магистрали большей длины, однако такие линии связи не входят в область действия стандартов на СКС.

Внутренняя магистральная подсистема обычно строится на оптическом кабеле внутренней прокладки длиной до 500 м, который прокладывается между кроссовой этажа КЭ и КЗ. Внешняя магистральная подсистема реализуется на кабеле внешней прокладки, который проводится между КВМ и КЗ.

Канал магистральных подсистем образуется добавлением двух оконечных шнуров для подключения сетевого оборудования длиной до 30 м каждый. Допускается применение оконечных шнуров большей длины, однако при этом длина магистрального кабеля соответствующим образом уменьшается. В случае использования промежуточных кроссов максимальная длина коммутационных шнуров на каждом из них ограничивается значением 20 м. Значения затуханий сигналов в кабелях различного типа на рабочих длинах волн приведены в табл. 113. Анализ данных, приведенных в этой таблице, показывает, что все представленные значения по затуханию легко выполняются в случае использования для построения оптических трактов СКС обычных серийных компонентов.

Основными измерительными приборами, применяемыми в процессе строительства и эксплуатации волоконно-оптических подсистем СКС, являются оптические рефлектометр и тестер. Для приложений оптического класса полоса пропускания линии, характеристики которой отвечают требованиям стандартов, не является лимитирующим фактором. На основании это-

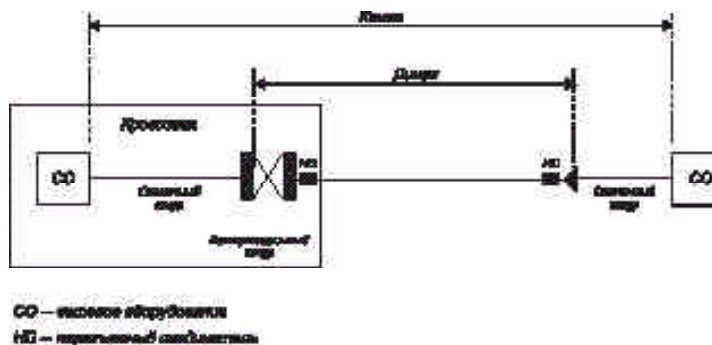


Рис. 204. Структурная схема канала и линии по ISO/IEC 11801

Таблица 113. Максимально допустимые расстояния и затухания сигналов в подсистемах СКС для приложений оптического класса

Подсистема	Длина канала, м	Затухание, дБ			
		Одномодовый		Многомодовый	
		1310 нм	1550 нм	850 нм	1300 нм
Горизонтальная	100	2,2	2,2	2,5	2,5
Внутренних магистралей	500	2,7	2,7	3,9	2,6
Внешних магистралей	1500	3,6	3,6	7,4	3,6

го оба вида приборов контролируют физическую целостность тракта распространения сигнала и величину затухания на рабочих длинах волн сетевой аппаратуры. Рефлектометр чаще используется в процессе строительства и во время проведения аварийных измерений для поиска обрывов и выявления внутренних дефектов отдельных волокон. Измерения опти-

**Таблица 114.** Параметры, измеряемые в процессе строительства и эксплуатации линий оптической связи

Измеряемый параметр	Входной контроль	Строительство	Приемосдаточные испытания	Эксплуатация
Коэффициент затухания	+	+	+	—
Затуханием				
- оптического спуска	—	+	+	—
- кабельной трассы	—	+	+	+
Расстояние до места повреждения или неоднородности	+	+	+	—
Уровни оптической мощности				
- на выходе излучателя	—	+	—	+
- на входе приемника	—	+	—	+

ческим тестером осуществляют после завершения строительства и выполнения контрольных замеров рефлектометром, а также в процессе производства регламентных работ. Полученные с его помощью результаты дополняют измерения рефлектометром, так как показывают фактические значения затухания «от разъема до разъема». Кроме того, оптический тестер позволяет убедиться в правильности подключения отдельных вилок к розеткам разъемных соединителей внутри коммутационного устройства и отсутствия перекрещивания световодов.

### 10.3.2. Оптические тестеры

#### 10.3.2.1. Методы измерения затухания

Наиболее часто измерение затухания производится по методу 6 нормы ИЕС 874, который реализует известный в оптической измерительной технике *метод вносимого затухания*. Под вносимым затуханием понимается разность уровней оптической мощности на входе приемника при непосредственном подключении к источнику и через измеряемый объект. Метод относится к группе методов «точка-точка», согласно которым измеритель и источник размещаются по разным сторонам тестируемого объекта. Достоинством метода является учет и исключение из результатов измерения потерь мощности на входе и выходе измеряемого объекта, недостатком — необходимость обеспечения примерного равенства этих потерь при проведении калибровки и в рабочем режиме.

Измерения осуществляются в два этапа. Первый этап представляет собой калибровку рабочего места и выполняется по схеме рис. 205 с записью опорного значения в ЗУ приемника. После завершения процедуры записи приемник автоматически переключается в режим измерения относительной мощности.

На втором этапе, схема которого изображена на рис. 205, выполняется определение затухания, значение которого считывается прямо с индикатора приемника. Обязательным условием проведения измерений является использование для соединения тестовых шнуров и контролируемого кабеля высококачественных розеток разъемных соединителей, входящих в комплект тестера. Одновременно нали-

чие тестовых шнуров позволяет добиться достаточно эффективного подавления паразитных излучаемых и вытекающих мод, что увеличивает точность получаемого результата.

Для увеличения точности измерений рекомендуется производить их в двух направлениях с усреднением полученных результатов.

Необходимо отметить, что тестовые шнуры и измеряемый кабель должны иметь одинаковый диаметр сердцевины и числовую апертуру. В связи с широким распространением в нашей стране оптических кабелей с волокнами 50/125 стандартная комплектация прибора обычно дополняется двумя одноволоконными шнурами 50/125.

Анализ рис. 205 показывает, что процесс измерений требует введения в тракт распространения оптического сигнала дополнительных разъемов, вилки которых вставляются в розетки. В связи с ограниченной повторяемостью потерь соединителя (обычно  $\pm 0,1-0,15$  дБ) при низких значениях затухания нельзя гарантировать достоверность полученного значения затухания. Поэтому при показаниях прибора 1 дБ и менее в протоколах измерений можно указывать «< 1 дБ». Этот случай является типичным при измерениях затухания многомодовых оптических соединительных шнуров, и в их паспортах в графе «потери» часто приводится «< 1 дБ».

В некоторых случаях используется *метод прямого измерения*. Согласно этому методу, измеряют абсолютный уровень оптического сигнала на выходе источника излучения и на выходе тестируемого элемента (линии). Разность измеренных уровней дает величину затухания. Реализация этого метода требует предварительной калибровки приборов и соединительных шнуров. Метод дает хорошие результаты при значительных величинах измеряемого затухания. Он применяется на трассах большой протяженности, когда процесс предварительной калибровки приемника, необходимый для реализации метода вносимого затухания, становится невозможным или выполняется с большими сложностями.

*Метод обрыва* относится к группе методов разрушающего контроля и часто применяется во время входного контроля оптического кабеля. В процессе его реализации световод тем или иным способом армируют наконечником, подключают к источнику и фиксируют измерителем уровень выходного сигнала на другом конце кабеля. Затем на передающем конце отрезают фрагмент волокна длиной 1-1,5 м, скалывают его конец и с помощью адаптера на обнаженном волокне замеряют уровень сигнала, который принимается за входной уровень. Разность полученных значений дает искомое затухание. Для увеличения точности рекомендуется повторить сколку волокна несколько раз, а за уровень входного сигнала принять среднее из измеренных значений.

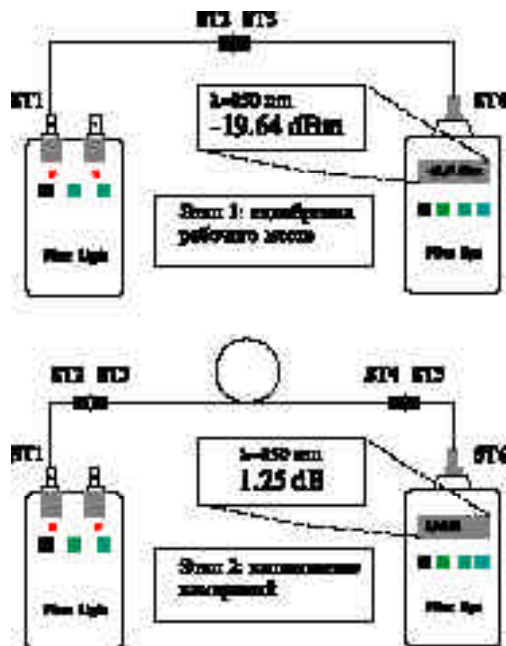


Рис. 205. Выполнение измерений затухания оптических потерь методом вносимого затухания (метод 6 стандарта IEC 874)

#### 10.3.2.2. Конструктивные особенности оптических тестеров

Оптические тестеры, или измерители оптических потерь, предназначены для измерения среднего уровня мощности оптического излучения на рабочих длинах волн волоконно-оптических линий связи (850, 1300 и 1550 нм) и определения затухания сигнала в кабелях и отдельных компонентах линии. Тестеры применяются во время строительства, монтажа и эксплуатационного обслуживания линий волоконно-оптической связи, а также в процессе профилактических проверок и настроечных работ на сетевом оборудовании с волоконно-оптическими портами.

Тестеры могут работать как с многомодовыми, так и с одномодовыми световодами и комплектуются одним или несколькими сменными адаптерами для подключения к вилкам разъемов различных типов.

В состав оптического тестера входят два основных прибора: измеритель оптической мощности и источник излучения.

Измерители оптической мощности (optical power meter — OPM) применяются для измерения мощности оптического сигнала и определения затухания сигнала в линиях и каналах, а также отдельных элементах оптической кабельной системы. В состав конструкции измерителя входят фотодиод (обычно германиевый или со структурой InGaAs) с усилителем фототока, сигнальный процессор и цифровой дисплей. Падающий на окно фотодиода световой поток преобразуется последним в электрический ток, который обрабатывается сигнальным процессором. Результат обработки в подавляющем большинстве случаев выводится на цифровой индикатор (в приборе Pocket Fiber Tester фирмы Darkstar Technologies использован светодиодный столбчатый индикатор с разрешением 2 дБ). В функции сигнального процессора входит также компенсация нелинейности амплитудной и неравномерности спектральной характеристик фотодиода, преобразование входного аналогового сигнала в выходной цифровой, подавление флуктуаций за счет накопления нескольких отсчетов и выдача управляющего сигнала на индикатор. При включении измерителя процессор выполняет комплекс проверок исправности отдельных электронных узлов. Измерители обычно калибруются на нескольких фиксированных длинах волн, значения которых выводятся на индикатор.

Стабилизированные источники излучения (Stabilized Light Source — SLS) служат для подачи в контролируемый волоконно-оптический элемент оптического сигнала заданной мощности и длины волны. Постоянство выходной мощности такого источника поддерживается за счет регулировки прямого тока излучателя по сигналу рассогласования источника опорного напряжения и фотоприемника цепи обратной связи. Источники делятся на светодиодные и лазерные. Лазерные многоволновые источники проигрывают светодиодным по стоимости и стабильности характеристик, однако существенно более удобны в работе за счет наличия только одного соединителя. Для подачи на него сигналов с различных источников использован внутренний оптический разветвитель. Данное устройство в светодиодных моделях используется сравнительно редко из соображений минимизации стоимости прибора.

Многие модели источников высокочастотных оптических тестеров могут работать в режиме модуляции интенсивности выходного сигнала с частотой, равной или близкой 2 кГц. Использование таких сигналов позволяет исключить влияние на точность измерений посторонних засветок в оптическом диапазоне и низкочастотных шумов в электрическом тракте. Не исключается возможность увеличения чувствительности приемника за счет применения резонансных усилителей и синхронных детекторов. Некоторые типы измерителей оптической мощности высвечивают на экране частоту модуляции прини-

маемого сигнала или отмечают поступление такого сигнала акустическим извещателем. На практике промодулированный с определенной частотой оптический сигнал используется также при работе идентификатора активных волокон (см. параграф 10.3.4).

Некоторые типы тестеров имеют скомбинированные в одном корпусе и согласованные по оптическим характеристикам излучатель и фотоприемник и иногда называются интегрированными измерителями или анализаторами затухания оптического кабеля. Такая конструкция позволяет уменьшить время измерения в том случае, если два оператора на разных концах кабельной трассы имеют одинаковые приборы.

Для питания многомодовых оптических тестеров обычно используются NiCd-аккумуляторы или гальванические элементы. Лазерные источники излучения с большим энергопотреблением часто снабжаются адаптером сетевого питания.

Основные технические характеристики некоторых моделей оптических тесте-

ров приводятся в табл. 115. Более подробные сведения о характеристиках оптических тестеров производства других компаний можно найти в работах [93] и [94].

Для увеличения гибкости и уменьшения разовых финансовых затрат пользователей некоторые фирмы предлагают отдельные специализированные модели оптических источников и измерителей, рассчитанных на одну рабочую длину волны. В зависимости от конкретных потребностей пользователь имеет возможность приобрести определенную лазерную или светодиодную модель излучателя и приемник с различной точностью и динамическим диапазоном измерения оптической мощности.

### 10.3.2.3. Приставки к кабельным сканерам и автоматические измерители

Некоторые изготовители контрольного оборудования для СКС выпускают приставки к своим кабельным сканерам, которые позволяют тестировать волоконно-оптические кабели. При подключении приставки контроллер сканера автоматически опознает ее присутствие и запускает соответствующую программу. Результаты измерения уровня оптического сигнала выводятся на штатный индикатор основного прибора сканера и могут быть при необходимости записаны в память для последующего документирования.

Примером подобного устройства может служить Fiberkit фирмы Wavetek, предназначенный для подключения к кабельному сканеру Lantek Pro. Стандартный

Таблица 115. Основные технические характеристики оптических тестеров

Характеристика	OTV-94	AQ-4250(085)+AQ2752	Fiber Solution Kit	FOT-02
	Оптроник, Россия	ANDO, Япония	Microtest, США	ExFO, Канада
Рабочие длины волн, мкм	0,85, 1,3, 1,55	0,85	0,85, 1,3	0,85, 1,3, 1,55
Динамический диапазон измерения уровня мощности, дБ	-50 ... +3	-80 ... +10	-55 ... +3	-50 ... +6
Частота модуляции излучения, Гц	270	—	0,2000	—
Погрешность измерения	10 %	5 %	0,02 дБ	6 %
Рабочая температура, градусы	-10 ... +50	0 ... +50	0 ... +50	-10 ... +50

вариант устройства осуществляет измерения на длине волны 850 нм; существует разновидность измерителя для работы на длине волны 1300 нм. Емкости внутренней памяти сканера достаточно для записи в него результатов 500 измерений.

Аналогичная приставка типа Fiber smartprobe может быть использована для измерителя Wirescope 155 производства компании Scope Communication, рекомендуемого в качестве стандартного измерительного прибора для тестирования структурированной кабельной системы Mod Tar. Расширение функциональных возможностей измерителя достигнуто введением в него функции измерения длины оптического кабеля с выводом результата измерения на экран базового блока и сравнения его с заданным стандартами значением. Большинство подобных приставок рассчитаны на работу с многомодовыми оптическими трактами. В связи с ростом популярности одномодовой техники на рынке начинают появляться первые модели одномодовых приставок, позволяющих производить измерения на длинах волн 1310 и 1550 нм.

В тестере LANCat V компании DataCom фотоприемник выполнен в виде сменного блока, вставляемого в гнездо прибора и фиксируемого невыпадающими винтами. Источником сигнала служит дополнительный модуль с питанием от гальванического элемента или сетевого адаптера.

Применение приставок к кабельным сканерам позволяет естественным образом несколько уменьшить затраты на тестирующее оборудование, так как часть функций измерителя передается на схемы базового блока. Еще большее уменьшение цены достигнуто в изделии FPC850 компании Wavetek. Этот прибор также оформлен в виде приставки и обеспечивает крутизну проходной характеристики 1 мВт/мВ. Это позволяет подключать его к обычному мультиметру, используя для измерений мощности его индикатор.

При тестировании и паспортизации кабельных трасс на основе многоволоконных кабелей удобно использование автоматических измерителей. Канадская фирма EXFO выпускает измеритель типа FOT-910, который обеспечивает определение затухания на двух длинах волн и запись полученных значений во внутреннюю память емкостью 680 измеряемых значений. При работе двух одинаковых приборов, устанавливаемых с разных концов трассы, они в автоматическом режиме осуществляют предварительную настройку параметров и калибровку, что существенно увеличивает точность измерений. Полученные результаты могут быть считаны на компьютер или распечатаны на принтере с помощью встроенного порта RS-232.

Еще более широкими функциональными возможностями обладает комплект CertiFiber компании Microtest. В состав комплекта входят базовый и удаленный блоки, которые подключаются к паре световодов с двух сторон тестируемой линии. Во время работы не требуется переключения световодов. Тестирование осуществляется на двух длинах волн — 850 и 1300 нм, результаты 1000 измерений записываются во внутреннюю память базового блока с указанием даты и времени проведения измерений, а также, в случае необходимости, алфавитно-цифрового наименования трассы. Накопленная информация может быть считана из памяти для анализа и распечатки стандартного протокола измерений.

Кроме измерения затухания прибор определяет общую длину оптической линии и значение задержки сигнала<sup>47</sup>. Все измерения выполняются в автоматическом режиме, единственными вводимыми вручную параметрами являются

<sup>47</sup> Необходимость поддержки этой функции имеет очень важное значение для сетей Gigabit Ethernet, так как на длинных линиях сильное мешающее влияние на качество передачи начинает оказывать явление дифференциальной модовой задержки.

количество разъемов и неразъемных сростков. В процессе тестирования реализуется функция Symmetry, сущность которой состоит в сравнении значений затухания волокон тестируемой пары. В случае значительного расхождения результатов, что является косвенным свидетельством возможных дефектов, вырабатывается предупреждающее сообщение. По оценкам разработчиков применение комплекта позволяет сэкономить до 75% времени, затрачиваемого на проведение тестирования, по сравнению со случаем измерений с помощью обычного тестера.

### 10.3.3. Оптические рефлектометры и локаторы

Оптические рефлектометры во временной области (Optical Time Domain Reflectometer — OTDR)<sup>48</sup>, или просто рефлектометры, являются одним из наиболее мощных аппаратных средств для тестирования волоконно-оптических кабелей и находят применение во время строительства, аттестации, эксплуатационного обслуживания, профилактических проверок, ремонтно-восстановительных и других работ. Это обусловлено тем, что рефлектометр:

- позволяет за один цикл измерений одновременно определять целый ряд основных параметров оптического кабеля, в том числе его длину, погонное затухание, наличие и местоположение мест неоднородностей и повреждений, их характер, потери в соединителях, сростках и т.д. без проведения сложных подготовительных работ;
- в отличие от оптических тестеров допускает выполнение всего комплекса измерений с одного конца оптического кабеля.

Основные недостатки рефлектометра как измерительного прибора следующие:

- ограниченный динамический диапазон (не более 40 дБ у известных приборов), что связано с небольшой мощностью сигнала обратного рассеяния;
- высокая требовательность к качеству ввода излучения в тестируемое волокно;
- невозможность проведения измерения в реальном масштабе времени (время получения достаточно качественной рефлектограммы составляет не менее 30 с);
- высокая стоимость.

#### 10.3.3.1. Принцип действия рефлектометра

Рефлектометр как измерительный прибор реализует метод обратного рассеяния, в основу которого положено явление обратного релеевского рассеяния (см. параграф 2.2.4.2). В процессе проведения измерений контролируемое волокно зондируют через разветвитель мощными оптическими импульсами небольшой длительности. Из-за отражений от распределенных и/или локальных неоднородностей возникает поток обратного рассеяния. В процессе регистрации этого потока определяют затухание кабеля как функцию его длины, анализ которой позволяет выявить местонахождение, характер неоднородностей и величину вносимых локальных и распределенных потерь. Полученные результаты представляются в форме диаграммы (рефлектограммы), что обеспечивает гораздо более точное определение характеристик неоднородностей и причин их возникновения.

Упрощенная структурная схема рефлектометра изображена на рис. 206. Управляющий процессор обеспечивает согласованную работу полупроводниково-

<sup>48</sup> Название прибора связано с тем, что существуют еще рефлектометры в частотной области, не получившие широкого распространения.



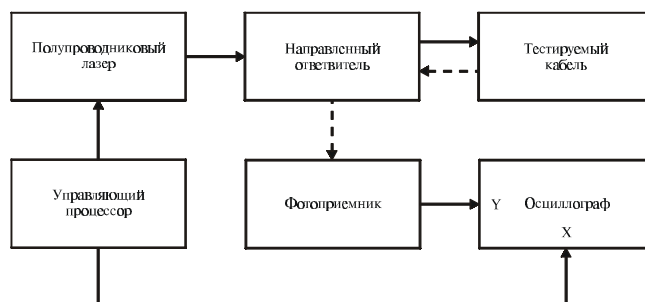


Рис. 206. Структурная схема рефлектометра

го лазера и электронного осциллографа. Для ввода оптических импульсов в волокно используется направленный ответитель с розеткой оптического разъема. Поток обратного рассеяния через ответитель поступает на фотоприемник, где преобразуется в электрическое напряжение,

подаваемое, в свою очередь, на вход вертикальной развертки Y осциллографа. На экране последнего происходит формирование кривой обратного рассеяния.

Для улучшения массогабаритных характеристик прибора и расширения функциональных возможностей рефлектометра в смысле различных вариантов представления результатов измерения и их сохранения для дальнейшего анализа многие модели рефлектометров, особенно портативных, выполняют поточечное формирование рефлектограммы из значений, записанных во внутреннюю память в цифровом виде, а в качестве индикатора используется жидкокристаллический дисплей.

Пример рефлектограммы, выводимой на экран рефлектометра, в схематическом виде показан на рис. 207. Наряду с плавным изменением уровня мощности потока обратного рассеяния на рефлектограмме имеются локальные скачки, обусловленные различными неоднородностями. Начальный выброс сигнала 1 обусловлен френелевским отражением в оптическом разъеме, через который производится соединение прибора с испытуемым кабелем. Форма правого фронта этого выброса определяется процессами установления модового состава излучения на начальном участке. Аналогичный выброс 3 рефлектометр регистрирует при наличии в тракте разъемного соединителя и на конце кабеля в точке 4. Точка сращивания световодов в механическом или сварном сплайсе, в которой обычно отсутствуют отражения, отмечается на рефлектограмме ступенькой 2. Высота ступеньки пропорциональна величине вносимых потерь. Место обрыва или конца кабеля определяется по импульсу френелевского отражения 4 и следующему за ним участку 5 с резкими шумообразными перепадами уровня регистрируемого сигнала.

В некоторых случаях конечная точка волокна имеет неплоскую или перпендикулярную оси торцевую поверхность. Такой случай отображается на рефлектограмме резким падением уровня сигнала обратного рассеяния при небольших или полностью отсутствующих шумоподобных перепадах уровня сигнала за точкой скола.

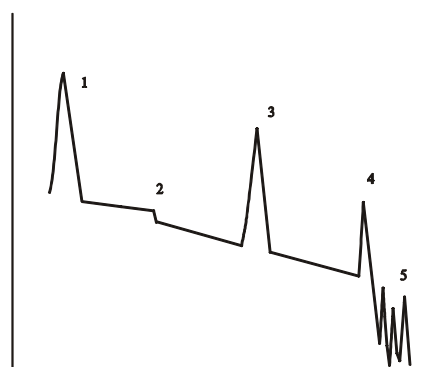


Рис. 207. Пример рефлектограммы, снимаемой рефлектометром



Высококачественные рефлектометры с высокой чувствительностью при исследованиях коротких трасс с малыми потерями достаточно часто фиксируют неоднородность на расстоянии, которое в два раза превышает длину кабельной трассы. Этот эффект определяется двойным отражением зондирующих импульсов от дальнего и ближнего конца волокна.

По углу наклона прямых участков рефлектограммы можно рассчитать величину удельных потерь, а по перепаду между начальной и конечной точками — общие потери в тракте. Все расчеты выполняются контроллером прибора автоматически, для выполнения измерений на локальных участках используется управляемая оператором система маркеров и указателей.

### 10.3.3.2. Конструктивные особенности рефлектометров

На практике находят применение одномодовые и многомодовые рефлектометры, которые работают во всех основных окнах прозрачности волоконных световодов и могут быть выполнены в виде стационарного прибора размером с профессиональный осциллограф (так называемый рефлектометр дальнего действия) или как портативный мини-рефлектометр. Небольшие габариты и масса последних в сочетании с хорошими характеристиками при работе на кабельных трассах длиной до нескольких десятков километров привели к широкому распространению мини-рефлектометров среди системных интеграторов, занимающихся созданием линий волоконно-оптической связи СКС. Технические параметры некоторых мини-рефлектометров приводятся в табл. 116.

Таблица 116. Технические параметры мини-рефлектометров

Параметр	FTB-250-202	FTB-250-303	FTB-250-303	OFT-50	OFT-30	AQ7225A	AQ7229A
Фирма-изготовитель	Exfo			Wandel & Goltermann		Ando	
Тип световода	SM	SM	MM	SM	MM	SM	MM
Длина волны, нм	1310	1550	850	1310	850	1310	850
Динамический диапазон, дБ	20	26	24	30	22	31	31
Ближняя зона нечувствительности, м	3	5	2	—	—	25	25
Разрешающая способность, м	15	25	7	14	8	5	
Масса, кг	6,52			2,5	—	4,6	

Перед проведением измерений оператор имеет возможность установки длительности зондирующего импульса, времени накопления результатов, величины порога регистрации неоднородности и других параметров, влияющих на точность и продолжительность измерений, устойчивость представления рефлектограммы и т.д.

При расчете величины потерь на различных дефектах и неоднородностях, которые вычисляются как высота соответствующей ступеньки на рефлектограмме, могут использоваться методы двух и четырех точек. Для увеличения точности расчетов общих и удельных потерь оператору предоставляется возможность ручной установки маркеров, остальные операции контроллер рефлектометра вы-

полняет автоматически. Облегчение считываний показаний обеспечивается градуировкой горизонтальной оси индикатора в метрах, милях или футах, а вертикальной оси — в децибелах.

Рефлектометр имеет функцию лупы времени, наличие которой обеспечивает возможность исследования определенных участков рефлектограммы с увеличенным разрешением. При этом вся рефлектограмма исследуемой линии с указанием на ней места исследуемого участка также воспроизводится на экране в мелком масштабе.

Для увеличения удобства работы современные мини-рефлектометры имеют встроенную функцию автоматического выбора диапазона измеряемых длин и длительности зондирующего импульса, а также воспроизведения формируемой рефлектограммы с дискретом 2 с (режим Real time). Приборы позволяют производить высокоточный (разрешающая способность по уровню оптического сигнала 0,01 дБ и по длине до 10 см) анализ формы рефлектограммы, представляемой как в графическом виде, так и в форме таблицы. Для облегчения анализа сложных трасс с большим количеством неоднородностей в рефлектометр FiberFOX фирмы Wandel&Goltermann введена функция сертификации. При ее активизации прибор автоматически сравнивает параметры всех неоднородностей с нормами и выдает результат в виде «соответствует — не соответствует».

Результаты измерений могут быть записаны во внутреннем ЗУ, на магнитную карточку, внутренний жесткий диск или 3,5-дюймовую дискету. При необходимости рефлектограмма может быть считана на внешнее устройство с помощью интерфейса RS-232 или Centronics.

Наглядность выполняемых измерений и информативность экрана индикатора в современных мини-рефлектометрах увеличивается применением цветного жидкокристаллического дисплея с типовым размером по диагонали 7-8 дюймов, хотя в младших моделях из соображений минимизации стоимости прибора применяется монохромный экран. Управление процессом измерения, обработки и считывания результатов выполняется в большинстве приборов кнопочными переключателями (канадская компания Exfo использует для этого сенсорный экран). Упрощение выполнения рабочих процедур достигается развитой системой графических и текстовых подсказок, выводимых на экран индикатора.

Рефлектометры фирм Exfo и Laser Precision снабжаются встроенной алфавитно-цифровой клавиатурой. Ее наличие позволяет легко снабжать полученные рефлектограммы обширными тестовыми комментариями без подключения внешней клавиатуры.

Обычно рефлектометр имеет мертвую зону, так как измерения потока обратного рассеяния невозможны до окончания действия зондирующего импульса. Для устранения этого недостатка в рефлектометрах типа OFT-30 и OFT-50 немецкой фирмы Wandel & Goltermann предусмотрена внутренняя удлиняющая волоконная катушка, конец которой принимается за нуль шкалы.

Питание мини-рефлектометра производится от сетевого источника или никель-кадмиевого аккумулятора. Емкости заряженного аккумулятора достаточно для поддержания работоспособности некоторых моделей в течение восьми часов. Для обеспечения возможности непрерывного проведения измерений в комплект поставки прибора входят два аккумулятора и зарядное устройство. Многие модели приборов имеют выведенный на экран дисплея аналоговый или цифровой индикатор уровня зарядки аккумулятора.

Мини-рефлектометры первого поколения обычно выпускались в виде законченных приборов. В современных конструкциях отчетливо наметилась тен-

денция перехода к модульным решениям. Эти приборы выполнены в виде шасси с несколькими слотами, куда вставляются сменные блоки различного назначения, позволяющие производить измерения в диапазонах длин волн 850, 1300 и 1550 нм одномодовых и многомодовых световодов. В таких рефлектометрах часто предусматриваются встроенный принтер, работающий на термочувствительной бумаге, дисковод 3,5-дюймовых дискет для записи на них результатов измерений и гнездо для установки магнитной карточки. Последнее весьма удобно в случае необходимости обновления версии программного обеспечения. В число сменных модулей входят также оптический тестер, визуализатор дефектов, оптический телефон, оптический анализатор спектра и другие приборы. На корпусе обычно предусматриваются гнезда для подключения клавиатуры и манипулятора типа мышь. Количество сменных модулей различного назначения в рефлектометре типа MTS-5100 фирмы Wavetek составляет 22.

На российском рынке представлены рефлектометры практически всех ведущих изготовителей оборудования этого класса. Наибольшее распространение получили приборы фирм Wavetek, Ando, Hewlett-Packard, EXFO и Anritsu.

Для снижения стоимости рефлектометров предложено решение в виде плат для установки в PC-совместимые компьютеры (платы серии АОС фирмы Antel и платы FCS-300 и FCS-400 компании EXFO). Плата вставляется в слот стационарного или переносного компьютера и несет на себе электронные компоненты формирования зондирующего импульса, приема отраженного сигнала, его преобразования в электрический сигнал. Процедуры дальнейшей обработки и формирования рефлектограммы выполняет процессор компьютера, на котором предварительно должно быть установлено соответствующее программное обеспечение. В случае необходимости в один компьютер может быть установлено несколько таких плат.

В процессе проведения измерений с помощью рефлектометров иногда используют так называемые *нормализующие катушки*. Это устройство представляет собой волоконный световод в буферном покрытии 0,25 мм длиной не менее 1 км, намотанный на бобину. Один из концов волокна армирован наконечником разъёмного соединителя и в процессе измерений подключается к рефлектометру. Второй конец волокна соединяется с испытуемым кабелем сваркой, механическим сплайсом или через второй разъём. Основное назначение катушки — эффективное подавление вытекающих и излучаемых мод с обеспечением установившегося модового режима, то есть катушка фактически играет роль модового фильтра. Это позволяет значительно увеличить точность анализа начального участка неоконцованных оптических кабелей. Одновременно катушка устраняет мертвую зону рефлектометра. В последнем случае вилка разъёмного оптического соединителя устанавливается также на второй конец волокна, а сама катушка



Рис. 208. Рефлектометр типа E6000 фирмы Hewlett-Packard

помещается в футляр с выведенными на его торцевую поверхность розетками. Такое конструктивное исполнение использовано в катушке типа FSM-1000 американской компании FiberPlus.

#### **10.3.3.3. Оптические локаторы**

Классический рефлектометр даже в варианте мини-рефлектометра является сложным и дорогим прибором<sup>49</sup> и за счет этого мало доступен широкому кругу средних и особенно мелких фирм, занимающихся созданием СКС. Стремление разработчиков технологического оптоволоконного оборудования к удовлетворению потребностей пользователей этого сегмента рынка привело к появлению упрощенных моделей зондирующих оптических приборов, получивших название оптических локаторов, или измерителей длины оптической линии. Принцип действия локаторов также основан на методе обратного рассеяния, а упрощение достигнуто главным образом за счет отказа от использования графического дисплея и применения более простого специализированного программного обеспечения, выполняющего процедуры построения рефлектограммы. Это позволяет на 10-50% снизить стоимость локатора по сравнению с обычными рефлектометрами.

В более сложном измерителе типа Photodyne, серия 5200 американской фирмы 3М, графический дисплей заменен на простой алфавитно-цифровой, на который можно последовательно выводить расстояние до дефекта или неоднородности и величину затухания сигнала на этом дефекте. Дальность действия измерителя достигает 82 км.

Измерители длины оптической линии типа Fiber Ranger американской компании Rifoc за счет уменьшения гарантированной дальности действия до 5 км имеют значительно лучшие массогабаритные показатели. Эти измерители выпускаются в одномодовом и многомодовом вариантах и также последовательно выводят на экран расстояние до неоднородностей. При наличии у пользователя персонального компьютера, на котором установлено соответствующее программное обеспечение, на экране монитора может быть воспроизведена полная рефлектограмма исследуемой линии.

#### **10.3.4. Идентификаторы активных волокон и визуализаторы дефектов**

Идентификатор активных волокон используется в процессе проведения профилактических работ на оконечных коммутационно-распределительных устройствах и обеспечивает быструю и точную идентификацию волокон без прерывания связи с указанием направления передачи сигнала. Принцип действия идентификатора основан на применении изгибного ответвителя и фотодетектора, регистрирующего снимаемый с ответвителя световой поток. Для выполнения идентификации головку прибора надевают на световод. После срабатывания зажима на световод воздействует калиброванное изгибающее усилие. В точке изгиба за счет нарушения условий распространения и появления большого количества вытекающих мод начинается интенсивное свечение, которое регистрируется фотоприемником. Наряду с обнаружением активного волокна идентификатор показывает также направление распространения оптического сигнала по нему. Чувствительность используемого в идентификаторе фотоприемника достаточна для работы с волокнами в цветном буферном покрытии 0,9 мм. Результат измерения отображается светодиодным индикатором и акустическим извещателем. Для дополнительного увеличения точности и функциональной гибкости при работе в условиях фоновой засветки идентификатор может

<sup>49</sup> По состоянию на середину 1999 года стоимость наиболее дешевых моделей мини-рефлектометров на российском рынке составляла примерно 9 тыс. долл.

быть настроен на обнаружение сигнала с определенной частотой модуляции, который генерирует оптический тестер. Известные модели идентификаторов (AFD-100 фирмы NHC, LFD-100 фирмы EXFO и OFI компании Wilcom) выполнены в виде ручных приборов с батарейным питанием (рис. 209).

Визуализатор дефектов предназначен для выявления близких к концу кабеля (расстояние не свыше 5 км) обрывов и других дефектов волоконных световодов методом просветки. Основой прибора является мощный лазер красного цвета свечения, для улучшения условий наблюдения световой поток этого лазера может модулироваться с частотой 1 Гц. При подключении визуализатора к волокну место повреждения начинает светиться красным цветом.

Некоторые модели оптических рефлектометров (например, E6000A компании Hewlett-Packard) с модульной конструкцией позволяют встраивать модуль визуализатора дефектов в базовый блок.



**Рис. 209.** Идентификатор активных волокон типа AFD-100 канадской фирмы NHC

## 10.4. Выводы

Измерения в СКС выполняются на всех этапах строительства и эксплуатации кабельной системы и являются необходимым условием обеспечения нормального функционирования и быстрого восстановления работоспособности каналов и трактов в аварийных ситуациях.

Измерения производятся в процессе входного контроля, приемо-сдаточных испытаний и эксплуатации СКС, причем последние измерения делятся на профилактические, аварийные и контрольные. Правила и методики этих измерений построены по одинаковым принципам, для их реализации используются одинаковые измерительные приборы. Конкретный объем и методика измерений того или иного вида определяются поставленной целью, а также требованиями к скорости получения результата и точности.

Основные методы измерения в СКС совпадают с методами, применяемыми для тестирования обычных кабельных линий. Однако специфика СКС заставляет вводить серьезные изменения как в методики проведения измерений, так и в конструкцию измерительных приборов.

Стандартизованные нормативными документами модели тестируемых объектов и методики измерений позволяют добиться ошибки измерений основных параметров на уровне 1,0-1,5 дБ, что удовлетворяет потребностям как эксплуатационных измерений, так и сертификационных проверок на предоставление гарантии производителя СКС.

Основной вывод о соответствии тестируемой электрической линии нормам делается по результатам контроля четырех параметров (затухание и переходное затухание в полосе частот до 100 МГц, а также длина и правильность разводки), современные тестеры СКС контролируют также ряд дополнительных характери-

стик. После принятия новых редакций стандартов следует ожидать появления следующего поколения тестеров с расширенным частотным диапазоном и перечнем контролируемых параметров. Для линий оптической связи обязательно контролируется только длина и общее затухание на различных длинах волн. Из-за большого числа тестируемых объектов и необходимости контроля значительного количества параметров электрических и оптических трактов КС широко применяются приборы с микропроцессорным управлением и внутренней памятью на 500 и более результатов тестирования (так называемые тестеры СКС и автоматические измерители). Полный комплекс измерений одной линии выполняется ими полностью в автоматическом режиме за несколько десятков секунд без проведения предварительной настройки. Значительная стоимость этих приборов привела также к достаточно широкому распространению для выполнения текущих измерений более простых неавтоматизированных измерителей.