

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет
имени К.И. Сатпаева

А.Ж. Сагындикова

**СПЕЦИЗМЕРЕНИЯ В
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Рекомендовано Научно-методическим советом
университета в качестве учебного пособия

Алматы 2013

УДК 654(075.8)
ББК 32.968 я 73
С 13

С 13 Сагындикова А.Ж. Специзмерения в телекоммуникационных системах.
– Алматы: КазНТУ, 2013. – 146 с.

Ил.
ISBN978-601-228-506-2

Измерительная техника, применяемая современными операторами, используется не только для проверки на соответствие стандартам (в первую очередь международным), но и для изучения процессов, протекающих в сети. С переходом к цифровым системам передачи с высокой пропускной способностью и т. д. сложность систем связи объективно повышается. Подробно рассмотрены методология и конкретные примеры исследования и реализации измерительных телекоммуникационных систем, развитие систем внутренней диагностики интеллектуальных узлов сетей, а также применение современной измерительной техники.

Учебное пособие будет полезно для разработчиков систем измерительной техники, а также для студентов и магистрантов специальностей: радиотехника, электроника и телекоммуникации, информационные системы, вычислительная техника и программное обеспечение и др.

УДК 654 (075.8)
ББК 32.968 я 73

Рецензенты:

Шайхин А.К., канд. физ.-мат. наук, доц. КазНТУ им. К.И. Сатпаева
Табултаев С.С., канд. техн. наук, проф., декан Института
Информационных технологии Алматинского университета
Энергетики и связи
Алибек Н.Б., д-р PhD Казахского Национального Аграрного
университета

Печатается по плану издания Министерства образования и науки
Республики Казахстан на 2013 г.

ISBN978-601-228-506-2

© Сагындикова А.Ж, 2013
© КазНТУ, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Измерение – это информационный процесс получения опытным путем численного отношения между данной физической величиной и некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения.

Результат измерения – именованное число, найденное путем измерения физической величины. Результат измерения может быть принят как действительное значение измеряемой величины.

Одна из основных задач измерения – оценка степени приближения или разности между истинным и действительным значениями измеряемой физической величины – погрешности измерения.

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность измерения является непосредственной характеристикой точности измерения.

Средство измерений – это техническое устройство, используемое в измерительном эксперименте и имеющее нормированные характеристики точности.

Количественная информация, полученная путем измерения, представляет собой измерительную информацию.

Измерительная информация – это количественные сведения о свойстве или свойствах материального объекта, явления или процесса, получаемые с помощью средств измерений в результате их взаимодействия с объектом.

Роль измерительной техники является новой в практике отечественной связи. До сих пор измерительная техника служила для контроля работы сети и соответствия ее узлов в первую очередь отечественным стандартам – имелись четкие рекомендации по методологии измерений на сетях связи, т. е. указания

на прибор, методику измерений и параметры измерений. В современной ситуации, когда процесс стандартизации технологии значительно отстает от развития самих технологий, четких рекомендаций по использованию измерительной техники и эксплуатационной методологии нет, и в ближайшем будущем не предвидится. Измерительная техника, применяемая современными операторами, используется не только для проверки на соответствие стандартам (в первую очередь международным), но и для изучения процессов, протекающих в сети. Это позволяет операторам быстро осваивать новые технологии на международном уровне, что является необходимым условием дальнейшей успешной работы. С переходом к цифровым системам передачи с высокой пропускной способностью и т. д. сложность систем связи объективно повышается. В связи с этим возникают задачи контроля и настройки работы интеллектуальных систем, каковыми в настоящее время являются сети связи. Этот процесс идет двумя путями: первый – развитие систем внутренней диагностики интеллектуальных узлов сетей, второй – применение современной измерительной техники.

Учитывая, что развитие средств связи идет очень динамично, разработка систем самодиагностики и их отработка несколько отстают от развития самих средств связи. Таким образом, применение независимых от оборудования систем контроля в ряде случаев является единственно корректным решением. Это приводит к тому, что роль измерительной техники на сети связи повышается с развитием новых технологий.

Измерительная техника на сетях современных телекоммуникаций играет важную роль – настройка и оптимизация, сетей связи, поиск неисправностей и причин конфликтов, разрешение конфликтных ситуаций.

Распространенное мнение о том, что цифровые системы связи лучше, надежнее и поэтому требуют в меньшей степени обслуживания на этапе эксплуатации, не верно. Действительно, верно, что цифровые технологии обеспечивают лучшее качество связи, меньшие эксплуатационные затраты, лучший контроль за ресурсом сети. Верно также, что хорошо отлаженная, "ухаженная" цифровая сеть требует в меньшей степени обслуживания.

Однако также верно, что "неухоженная" цифровая сеть деградирует гораздо быстрее аналоговой, и требует при восстановлении гораздо больших затрат. Это – объективная плата за сложность технологии цифровой передачи.

На практике часто встречается заблуждение о том, что иностранные фирмы, обеспечивающие пуск участков цифровых сетей, должным образом настроят сеть и в дальнейшем ее работа не потребует квалифицированной эксплуатации. Такой подход ведет к зависимости операторов сети от инофирм, что является негативным фактором. С уверенностью можно сказать, что использование современной измерительной техники дает операторам ключ к пониманию процессов, происходящих в сети. В этом случае поиск конфликтных ситуаций и противоречий, "тонкая настройка" сети помогают добиться максимальной эффективности ее работы.

Наиболее традиционным подходом является оснащение измерительной техникой "в довесок" к закупке линейного оборудования, когда вместе с линейным оборудованием закупается измерительное оборудование для эксплуатации.

Обычно возникают решения в виде "набора приборов", без реализации комплексного подхода к организации измерений. "Набор приборов" является технически удобным решением для фирмы-поставщика линейного оборудования, поскольку любое комплексное решение требует проработки основ методов измерения, интеграции измерительных приборов в общую сеть, соединения полученного комплекса с системой управления и т. д. Наиболее простым вариантом является сведение этих задач к уровню эксплуатации, где "набор приборов" представляет собой корректное решение. Распространенность подхода оснащения оборудованием "в довесок" определяется еще и низким уровнем знаний эксплуатирующего персонала о современных технологиях телекоммуникаций, поскольку требование комплексности решений связано с пониманием задач измерительной техники в каждой конкретной сети.

1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Процесс совершенствования измерительных технологий подчиняется общей тенденции усложнения высоких технологий в процессе их развития во второй половине XX в. Основными тенденциями развития являются: миниатюризация, экономичность и, как следствие, усложнение.

Этот процесс наглядно виден на примере развития современных технологий цифровой связи. С переходом к цифровым системам передачи с высокой пропускной способностью (SDH), новым принципам мультимплексирования (ATM), новым концепциям систем сигнализации (SS 7 и протоколы ведомственных сетей ISDN), новым сетевым концепциям предоставления услуг пользователям (интеллектуальные сети) сложность систем связи объективно повышается. Этот процесс связан с увеличением пропускной способности систем передач, снижением стоимости интеллектуальных устройств и внедрением в современные телекоммуникации принципов распределенной обработки информации. В связи с этим возникают задачи контроля и настройки работы интеллектуальных систем, каковыми в настоящее время являются сети связи. Этот процесс идет двумя путями: первый – развитие систем внутренней диагностики интеллектуальных узлов сетей; второй – применение современной измерительной техники.

Учитывая, что развитие средств связи идет очень динамично, разработка систем самодиагностики и их отработка несколько отстают от развития самих средств связи. Таким образом, применение независимых от оборудования систем контроля в ряде случаев является единственно корректным решением. Это приводит к тому, что роль измерительной техники на сети связи повышается с развитием новых технологий.

Измерительная техника на сетях современных телекоммуникаций играет важную роль – настройка и оптимизация, сетей связи, поиск неисправностей и причин конфликтов, разрешение конфликтных ситуаций.

Распространенное мнение о том, что цифровые системы связи лучше, надежнее и поэтому требуют в меньшей степени обслуживания на этапе эксплуатации, не верно.

На практике часто встречается заблуждение о том, что иностранные фирмы, обеспечивающие пуск участков цифровых сетей, должным образом настроят сеть и в дальнейшем ее работа не потребует квалифицированной эксплуатации. Такой подход ведет к зависимости операторов сети от инофирм, что является негативным фактором. С уверенностью можно сказать, что использование современной измерительной техники дает операторам ключ к пониманию процессов, происходящих в сети. В этом случае поиск конфликтных ситуаций и противоречий, "тонкая настройка" сети помогают добиться максимальной эффективности ее работы.

Эта роль измерительной техники является новой в практике отечественной связи. До сих пор измерительная техника служила для контроля работы сети и соответствия ее узлов в первую очередь отечественным стандартам – имелись четкие рекомендации по методологии измерений на сетях связи, т. е. указания на прибор, методику измерений и параметры измерений. В современной ситуации, когда процесс стандартизации технологии значительно отстает от развития самих технологий, четких рекомендаций по использованию измерительной техники и эксплуатационной методологии нет, и в ближайшем будущем не предвидится.

Оценивая состояние развития рынка измерительной техники, можно признать, что этап системной интеграции здесь только начинается. Это связано с тем, что измерительная техника требует более глубокого знания технологий телекоммуникаций, а также знания ряда дополнительных дисциплин (теории, метрологии и т. д.). Не удивительно, что "инкубационный период" системной интеграции на рынке измерительных технологий длиннее, чем на рынке самих средств связи.

1.1. Эволюция подхода к созданию комплексных измерительных решений

По мере развития рынка измерительных технологий и понимания задач измерительной техники меняется структура предлагаемых на рынке измерительных решений. На рис. 1.1 показана эволюция комплексных измерительных решений.

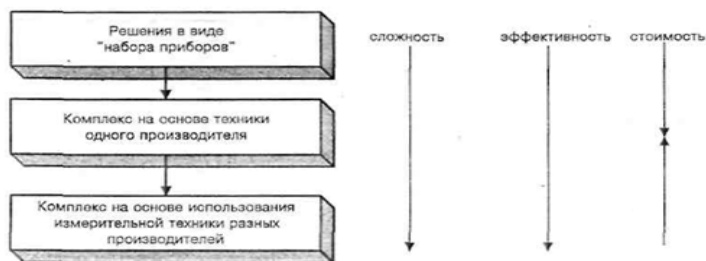


Рис. 1.1. Эволюция комплексных измерительных решений

Решения, предлагаемые на рынке измерительных технологий, отражают степень развития рынка. В начале (на этапе работы СП-дистрибьютеров), решения строятся на основе предлагаемой техники, как правило, без детального анализа задачи заказчика и методологии измерений. В условиях дефицита измерительной техники и недостаточно высокой квалификации заказчиков такой подход вполне может существовать. С развитием рынка измерительных технологий, когда, с одной стороны, возникают задачи проведения комплексных измерений, с другой стороны – на рынок выходят представительства инофирм-производителей, имеющих опыт создания комплексных измерительных решений на основе своего оборудования, появляются первые комплексные решения на основе использования техники одного производителя. Эти комплексные решения опираются на опыт инофирм и являются опробованными, однако довольно дорогими и не всегда эффективными, поскольку часто не учитывают специфику заказчика.

Подытоживая анализ процесса развития рынка измерительных технологий, можно выделить четыре этапа их развития, представленные в табл. 1.1.

Таблица 1.1
Этапы развития измерительных технологий

Этап	Эволюция подхода к измерениям	Эволюция системной интеграции	Эволюция измерительных решений	Характерные черты
1	Оснащение измерительной техникой «в довесок»	Этапы СП и дистрибьюторов	Решения, исходя из предлагаемой техники, в виде «набора приборов»	Низкая квалификация заказчиков и поставщиков. Как следствие, низкая эффективность использования измерительной техники
2	Появление задачи комплексного анализа	Выход на рынок представителей	Появление комплексных решений на основе техники одного поставщика	Использование опыта и квалификации иностранных специалистов. Высокая эффективность решений
3	Задачи комплексного анализа	Появление системных интеграторов	Появление комплексных решений на основе всей возможной техники	Оптимизация комплексных решений. Высокая квалификация поставщиков
4	Стабилизация рынка	Системные интеграторы и представительства	Комплексные решения на основе использования техники одного и разных производ. сосуществуют на рынке	Высокая квалификация заказчиков и поставщиков

Оценивая перспективы развития рынка, можно предположить его стабилизацию. Она будет выражаться в повышении квалификации участников рынка (поставщиков и заказчиков) до уровня развития мировых измерительных технологий.

1.2. Измерительные технологии

Процесс совершенствования измерительных технологий подчиняется общей тенденции усложнения высоких технологий в процессе их развития. Основными тенденциями развития являются:

- миниатюризация;
- экономичность;
- широкое внедрение интеллектуальных устройств и, как следствие, усложнение.

Этот процесс наглядно виден на примере развития современных технологий цифровой связи. С переходом к цифровым системам передачи с высокой пропускной способностью (SDH), новым принципам мультиплексирования (ATM), новым концепциям систем сигнализации (ОКС 7 и протоколы ведомственных сетей ISDN), новым сетевым концепциям предоставления услуг пользователям (интеллектуальные сети) сложность систем связи объективно повышается.

Это приводит к тому, что роль измерительной техники на сети связи повышается с развитием новых технологий. Измерительная техника на сетях современных телекоммуникаций играет важную роль – настройка и оптимизация сетей связи, поиск неисправностей и причин конфликтов, разрешение конфликтных ситуаций.

Современные измерительные приборы для телекоммуникаций, такие как анализаторы протоколов сигнализации, анализаторы цифровых систем передачи, измерительные приборы ВОЛС и т. д. составляют рынок специализированной техники.

Подводя итог вышесказанному, сформулируем следующие выводы:

- цифровизация в области телекоммуникаций, составляющая основу современной научно-технической революции, объективно приводит к усложнению технологии современных систем связи;
- такое усложнение требует дополнительных организационно-технических мероприятий для обеспечения работы современных сетей связи, в результате появляются два связанных

между собой направления развития технологии – создание систем самодиагностики и управления и широкое внедрение измерительной техники, из этих двух направлений только внедрение измерительной техники обеспечивает в полной мере задачи контроля работы сетей, как следствие, роль измерительной техники в современных телекоммуникациях увеличивается;

- повышение роли измерительной техники приводит к расширению специализации измерительных приборов, появлению и развитию специализированного рынка измерительной техники для телекоммуникаций, который начинает развиваться столь же динамично, как и рынок самих средств связи.

1.3. Особенности измерительной технологии

В целом, развитие измерительной технологии на рынке полностью соответствует описанным выше закономерностям. Например, современный этап развития измерительной технологии характеризуется широкими знаниями в области технологии измерений Е1, PDH, каналов ТЧ, протоколов аналоговой сигнализации. В описанной выше классификации эти технологии находятся на этапе III. На этапе IV находится развитие технологии измерений на аналоговых системах передачи с частотным разделением, эта технология представляется старой и постепенно уходит с рынка. Новые измерительные технологии, такие как технология измерений на сетях ISDN и ОКС 7 находятся на этапе становления (этап II). Новейшие технологии, к которым можно отнести технологию измерений на сетях АТМ, находятся в стадии выхода на рынок (этап I), что характеризуется низким уровнем знаний о технологии измерений, малым опытом и отсутствием достаточно широкого рынка измерительных приборов.

Технология измерений обычно тесно связана с соответствующей технологией телекоммуникаций и “сопровождает” ее в своем развитии. Однако имеется важная особенность этого процесса – *развитие измерительной технологии происходит в виде двух “волн”*. Это связано с тем, что измерительная технология

присутствует на рынке в виде двух направлений: системное и эксплуатационное оборудование.

Виды и формы представления физических величин

Физические величины разделяют на непрерывные и прерывистые (дискретизированные во времени и пространстве); а также аналоговые и квантованные величины, разновидностью квантованной величины являются кодовые величины.

Дискретизация непрерывного по времени сигнала $x(t)$ является линейной операцией умножения этого сигнала на функцию дискретизации во времени.

Квантование по уровню – операция создания сигнала, абсолютные или относительные размеры параметров которого имеют ограниченное число заданных значений.

Кодирование – операция перевода по определенным правилам формального объекта, выраженного кодовыми символами одного алфавита, в формальный объект, выраженный символами другого алфавита (пример: преобразование аналогового сигнала, выраженного в значение в десятиричной системе, дискретизированного по времени, квантованного по уровню и преобразованного в многозначный двоичный код с n символами в каждом отсчете).

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

2.1. Роль измерительной техники в современных телекоммуникациях

Как уже отмечалось выше современную измерительную технику для телекоммуникаций отличает узкая специализированность. В результате современные технологии измерений и измерительная техника для телекоммуникаций чрезвычайно разнообразны. Ориентироваться в этом многообразии и искать общие тенденции развития измерительной техники сложно, поэтому необходима классификация измерительной техники и измерительных технологий.

Эти требования существенно различны для перечисленных классов и представлены на рис. 2.1 в порядке уменьшения приоритетности.

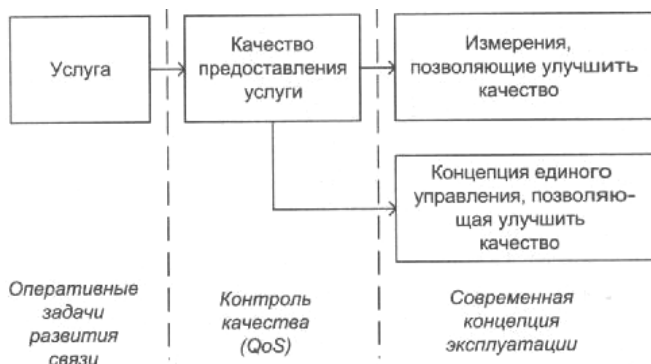


Рис. 2.1. Иерархия приоритетов технологии современной связи

С переходом к цифровым технологиям передачи данных с высокой пропускной способностью (SDH и ATM), к новым системам сигнализации (ОКС 7 и протоколы ведомственных сетей ISDN) и новым концепциям предоставления услуг пользователям (интеллектуальные сети), оборудование и программное обеспечение систем связи стали значительно сложнее.

Соответственно повысилась и роль измерительной техники на сетях связи. Измерительные технологии в сетях современных телекоммуникаций должны сыграть конструктивную роль, т. е. помочь в настройке и оптимизации сетей связи, поиске неисправностей для разрешения конфликтных ситуаций.

2.2. Обобщенная модель контроля и классификация измерительных технологий современных телекоммуникаций

Диагностирование, контроль в сочетании с измерением, анализом и тестированием служат более глубокому пониманию физических процессов, протекающих при передаче информации, и нацелены на поддержание используемых для этой цели устройств в состоянии, удовлетворяющим установленным критериям.

Анализ – метод исследования путем рассмотрения отдельных стадий, свойств и составных частей объекта или процесса, в т. ч. сигнала, с помощью специальных технических средств, осуществляющих измерения с последующей обработкой по определенному правилу результатов этих измерений.

Протокол – набор правил или стандартов, регламентирующих соединения и обмен информацией с минимальными ошибками, отражается в электросвязи одноименными структурированными сигналами, оперирование с которыми можно рассматривать с позиций выполнения операций над физическими величинами.

Тестирование – установление опытным путем соответствия между состояниями и свойствами объекта или процесса, находящегося под воздействием строго определенных величин, заданной норме и осуществляемое с помощью специальных средств, хранящих в явном или неявном виде единицы этой величины, определяющие область значений нормы.

Мониторинг – определение параметров объектов и процессов, которые должны сохраняться в заданных пределах, или более точное определение мониторинга – распределенное в пространстве или во времени тестирования, при котором сравне-

нию с нормой подвергается множество объектов, находящихся под воздействием физической величины (величин) установленного размера или совокупности размеров, в т. ч. равных нулю, отражая в последнем случае мониторинг с использованием измерений и анализа.

Диагностика и контроль – процесс установления соответствия состояний и свойств объекта или процесса заданной норме путем восприятия физических величин, сопоставления их с предварительно установленными значениями или совокупностями значений и последующим формированием вывода. Иными словами диагностике и контролю подвергаются объекты или параметры процесса с получением результата, являющегося их качественной характеристикой в виде вывода о нахождении объекта или процесса в норме или вне нормы, т. е. исправен или не исправен, соответствует или не соответствует и т. д. Если контроль выявляет соответствие или несоответствие объекта заданной норме, то при диагностике должен быть сформулирован вывод о месте и причине имеющего место несоответствия.

2.3 Системное и эксплуатационное измерительное оборудование

Всю измерительную технику современных телекоммуникаций можно условно разделить на два основных класса: системное и эксплуатационное измерительное оборудование. Требования к обоим классам значительно отличаются, соответственно отличаются функции приборов, схемы их использования, спецификации тестов и т. д.

К системному оборудованию относится измерительное оборудование, обеспечивающее настройку сети в целом и ее отдельных узлов, а также последующее мониторингирование состояния всей сети. Системным оно называется потому, что современное оборудование этого класса имеет широкие возможности интеграции в измерительные комплексы, сети измерительных приборов, и входит в качестве подсистем в автоматизи-

рованные системы управления связью (Telecommunications Management Networks – TMN).

Эксплуатационное измерительное оборудование должно обеспечивать качественную эксплуатацию отдельных узлов сети, сопровождение монтажных работ и оперативный поиск неисправностей.

Разделив весь спектр оборудования на два основных класса, легко понять требования к каждому из них. Эти требования существенно различны для перечисленных классов и представлены в табл. 2.1 в порядке уменьшения приоритетности.

Таблица 2.1

Спектр оборудования

Системное оборудование	Эксплуатационное оборудование
- функциональность тестов - возможность интеграции в системе - быстрота и легкость модернизации - удобство работы - надежность - стоимость - портативность	- портативность - стоимость - надежность - удобство работы - функциональность тестов

Для системного оборудования основным требованием является максимальная функциональность прибора: его спецификация тестов должна удовлетворять всем существующим и большинству перспективных стандартов и методологий. В противном случае прибор не обеспечит полной настройки и оценки параметров сети.

Другим требованием является возможность интеграции в системы приборов и интеграции с вычислительными средствами и сетями передачи данных. Это также существенно в условиях создания TMN, куда должны быть включены и измерительные средства.

Эксплуатационное оборудование в первую очередь должно быть портативным и дешевым, затем надежным и уже после этого многофункциональным.

Измерения в различных частях современной системы электросвязи. Дальнейшее изложение основных измерительных технологий будет идти в контексте классификации измерительных технологий по использованию в различных частях системы электросвязи. Для анализа этой классификации рассмотрим структурную схему современной цифровой системы электросвязи, рис. 2.2.

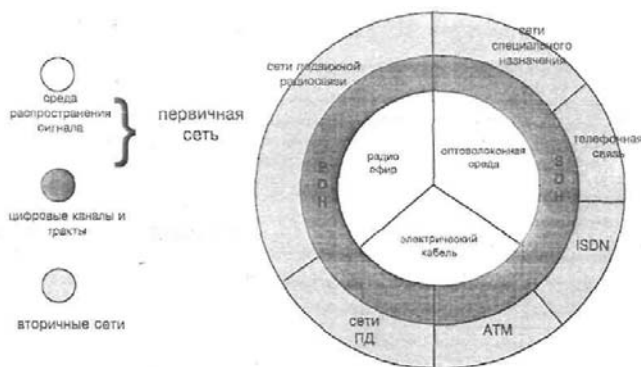


Рис. 2.2. Структурная схема цифровой системы электросвязи

2.4. Использование семиуровневой модели взаимодействия открытых систем

Служба электросвязи – это комплекс средств, обеспечивающий представление пользователям услуг. Вторичные сети обеспечивают транспортировку, коммутацию сигналов в службах электросвязи, первичные снабжают вторичные каналами. Составной частью соответствующей службы является оконечное оборудование, которое располагается у пользователя. Служба передачи данных может предоставлять и услуги телефонной сети. Она входит в состав служб ДЭС, которые обеспечивают передачу разнообразной нетелефонной информации.

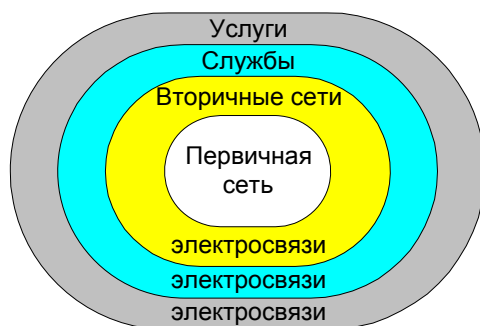


Рис. 2.3. Совокупность сетей и служб связи

Каждый уровень выполняет свою задачу. Уровни подстраховывают и проверяют работу друг друга.

Седьмой уровень – прикладной уровень является основным, именно ради него существуют все остальные уровни. С ним взаимодействуют прикладные процессы системы, которые должны решать некоторую задачу совместно с прикладными процессами, размещенными в других открытых системах (получение протоколов для факса, телекса и видеотекста). Прикладной уровень эталонной модели ВОС определяет смысловое содержание информации, которой обмениваются открытые системы в процессе совместного решения заранее известной задачи.

Шестой уровень – это уровень представления. Он определяет процедуру представления передаваемой информации в нужную сетевую форму (преобразование символов двоичному коду ASCII). В сети, объединяющей разнотипные компьютеры, информация, передаваемая по сети, должна иметь определенную единую форму представления.

Пятый уровень называется уровнем сессий. Он предназначен для организации, синхронизации диалога сеанса связи.

Четвертый уровень – транспортный уровень. Основная задача – найти свободный от ошибок и экономно оптимальный маршрут для передачи данных. Здесь обнаруживается и исправляется ошибка от начала до конца.

Третий уровень – сетевой, прокладывает путь через сеть, обслуживает подключение, поддерживает связь и после того, как сеанс заканчивается, разъединяет. На этом уровне формируются пакеты из полученных данных и адресуются.

Второй уровень – канальный, представляет собой комплекс процедур и методов управления каналом передачи данных, организованный на основе физического соединения, он обеспечивает обнаружение и исправление ошибок.

Первый уровень – физический, обеспечивает непосредственную взаимосвязь со средой передачи. Он определяет механические и электрические характеристики, требуемые для подключения, поддержания соединения и отключения физической цепи. Канал может передавать несколько бит сразу (т. е. параллельно) или последовательно. На каждом уровне используются определенные протоколы, которые стандартизируются Международной Организацией по Стандартизации ITU-TS. Протоколы ITU-TS используются для общественных сетей и частных. Функции уровней 4–7 почти идентичны.

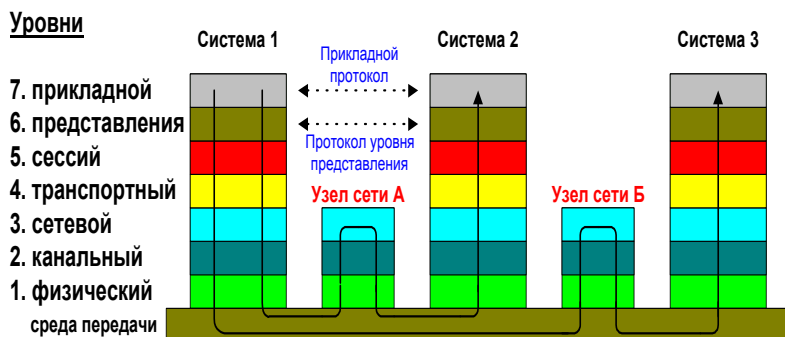


Рис. 2.4. Структура эталонной модели ВОС

В основе системы электросвязи лежит первичная сеть, включающая в себя среду распространения и аппаратуру передачи сигнала, обеспечивающую создание типовых каналов и трактов первичной сети, которые используются для передачи информации. В современной системе электросвязи таких сред

три: электрический кабель, оптоволоконный кабель и радиозфир или радиочастотный ресурс.

Среда распространения сигнала используется для создания типовых трактов первичной сети электросвязи. Цифровая первичная сеть может строиться на основе принципов плезиохронной цифровой иерархии (PDH) или синхронной цифровой иерархии (SDH).

Типовые каналы и тракты первичной сети используются различными вторичными сетями: цифровой телефонии, цифровыми с интеграцией служб (ISDN), на основе принципов асинхронного режима передачи (ATM), передачи данных (ПД) на основе использования таких протоколов как X.25, Frame Relay и т. д., сотовой радиосвязи и транкинга, а также сетями специального назначения: сетями диспетчерской связи, оперативного и технологического управления, селекторных совещаний и т. д.

В соответствии с описанной структурой может быть предложена следующая классификация измерительных решений. Первый уровень измерений – это тестирование среды распространения сигнала: кабельной и радиозфира. Кабельное тестирование включает в себя тестирование металлических кабелей и оптоволоконных кабелей. Радиочастотные измерения связаны с измерением радиорелейных и спутниковых систем передачи и контролем эфира, как правило, с измерениями на вторичных сетях радиосвязи.

Второй уровень – это измерения цифровых трактов первичной сети. В настоящей книге описывается только цифровая первичная сеть, таким образом, описаны измерительные решения, связанные с сетями PDH и SDH.

Третий уровень: измерения на вторичных сетях связи, обычно включающие в себя следующие группы: измерения канального уровня, протокол – анализ работы устройств, анализ трафика и качества предоставления услуги.

Группы измерений, характерные для вторичных сетей связи, показаны на рис. 2.5. Для удобства рассмотрения технологий измерений на вторичных сетях связи можно выделить несколько групп таких измерений.



Рис. 2.5. Основные группы измерений на вторичных сетях

Группа измерений канального уровня – это измерения интерфейсов с первичной сетью, характеристик каналов вторичных сетей и цикловой (пакетной) структуры передаваемой информации. Как правило, эта группа измерений относится к измерениям на первичной сети.

Группа измерений, связанная с анализом протоколов, едина для всех вторичных сетей. Во вторичных сетях для организации взаимодействия устройств сети используются различные протоколы сигнализации. Логический протокол-анализ работы узлов сети необходим для анализа корректной работы устройств и выявления возможных противоречий в их работе. Отдельно от группы измерений протокол-анализа стоят измерения, связанные с имитацией трафика. Эти измерения необходимы для анализа способности сети связи передавать и коммутировать заданную нагрузку трафика.

Измерения параметров качества предоставляемых услуг являются довольно разнородными для разных вторичных сетей, поэтому в дальнейшем изложении эти измерения рассматриваются, когда предоставляемая услуга напрямую связана с системой связи (например, создание аналоговых абонентских линий сетью цифровой телефонии).

3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

3.1. Общее описание технологии измерений в оптических системах передачи

Развитие технологии волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Рассмотрение вопроса об измерениях сред распространения сигнала в телекоммуникациях начнем с технологии измерений оптических кабелей. Современные технологии высокоскоростной передачи основаны в первую очередь на использовании оптоволоконных сред, которые в настоящее время обеспечивают максимально возможную пропускную способность. Именно поэтому технология оптоволоконных сред передачи в настоящее время бурно развивается во всем мире, и в т. ч. в нашей стране.

Технология оптоволоконных сред передачи является новой, быстро развивающейся и наиболее перспективной, и измерения в этой области – наиболее важными.

Типовая схема оптической линии передачи

Рассмотрим типовую схему ВОСП, представленную на рис. 3.1.

В состав ВОСП входят: оптический передатчик или генератор сигнала, интерфейс оптического генератора, оптическое волокно или кабель с характерными местами сопряжения различных кабелей и сварок и неоднородностями, промежуточные станции или ретрансляторы и оптический приемник сигнала. В ВОСП входят также система передачи, принимающая электрический сигнал и аппаратура сопряжения, которая обеспечивает преобразование электрического сигнала в оптический.



Рис. 3.1. Типовая схема волоконно-оптической линии связи

Основные измерения, проводимые на оптоволоконных системах передачи. В анализе оптоволоконных кабелей и узлов существенно различаются две категории задач: промышленный и эксплуатационный анализ.

Промышленный анализ включает в себя измерения узлов и параметров кабелей перед укладкой. Задачи измерений этого класса возникают при разработке нового оборудования, в процессе производства оптических кабелей и при подготовке кабелей к укладке для определения соответствия характеристик кабеля заданным нормам (анализ кабелей в бухтах).

Спецификация промышленного анализа кабелей включает в себя измерения следующих параметров:

- погонного затухания в оптическом волокне;
- полосы пропускания и дисперсии;
- длины волны отсечки;
- профиля показателя преломления;
- числовой апертуры;
- диаметра модового поля;
- геометрических и механических характеристик оптоволоконного кабеля;
- энергетического потенциала и чувствительности фотоприемного устройства;
- уровней оптической мощности устройств.

Учитывая требования высокой точности и автоматизации этого класса измерений, они выполняются системным измерительным оборудованием.

Эксплуатационный анализ оптических кабелей и узлов требует измерения в процессе прокладки кабеля и измерения на этапе эксплуатации. При этом измеряют затухание, вносимое сростками кабелей, затухание оптических волокон, а также уровни мощности оптического излучения на выходах передающих и входах приемных оптоэлектронных модулей.

Эксплуатационные измерения делятся на профилактические, аварийные и контрольные. Аварийные измерения обеспечивают быструю локализацию точек деградации качества кабельной сети и устранение этой деградации.

Спецификация эксплуатационных измерений кабелей включает в себя:

- измерение уровней оптической мощности;
- измерение переходного затухания;
- определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля;
- стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП.

Задачи эксплуатационного анализа выполняются эксплуатационным измерительным оборудованием.

Отдельно от задач промышленного и эксплуатационного анализа стоят задачи калибровки и поверки эксплуатационного измерительного оборудования.

3.2 Измерения на ВОЛС

Характеристики волоконных световодов и оптических кабелей (ВС и ОК).

Характеристики передачи и оптические характеристики.

- геометрические характеристики;
- механические характеристики;
- климатические и эксплуатационные характеристики.

К оптическим характеристикам относят:

- затухание, коэффициент затухания, потери в стыках;
- дисперсию, полосу пропускания, длину волны нулевой дисперсии;
- числовую апертуру, диаграмму направленности;

- профиль показателя преломления;
- диаметр модового поля (для одномодовых ВС);
- критическую длину волны (для одномодовых ВС).

К геометрическим характеристикам относят:

- длину ВС или ОК, расстояние до места повреждения или неоднородности;
- диаметры сердцевины, оболочки, защитного покрытия ВС, размеры элементов конструкции ОК;
- эксцентриситеты сердцевины по отношению к оболочке и защитному покрытию, а также некруглости сердцевины, оболочки и защитного покрытия.

К механическим характеристикам относят:

- допустимые растягивающие и раздавливающие усилия для ВС и ОК;
- допустимое число закручиваний и допустимый радиус изгиба ВС и ОК;
- устойчивость к ударам и вибрациям;
- допустимое ассимметричное сжатие (для подводных ОК).

К климатическим и эксплуатационным характеристикам относят:

- стойкость к повышенным и пониженным температурам, пожароустойчивость;
- стойкость к воздействию влаги и агрессивным средам;
- радиационную стойкость;
- герметичность.

Большая часть этих характеристик измеряется при разработке конструкции ВС и ОК, при заводских испытаниях.

Классификация измерений в ВОЛС:

Измерения в ВОЛС можно разделить на две группы:

1) Измерения в процессе строительства

- входной контроль;
- оценка качества строительных работ с целью доведения параметров до установленных нормативов;
- приемно-сдаточные испытания.

2) Измерения в процессе эксплуатации

- профилактические измерения;
- аварийные измерения;

- входной контроль;
- контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ;
- непрерывный мониторинг с помощью встроенного в ВОСП контрольно-измерительного оборудования.

Входной контроль производится перед проведением строительных и ремонтных работ, связанных с заменой кабеля и прочих компонентов ВОЛС. В ходе этих измерений контролируется качество строительных длин кабеля и других компонентов. При входном контроле измеряют вносимое затухание и по известной строительной длине по нему рассчитывают коэффициент затухания, измеряют потери в контрольных сварках различных строительных длин между собой и для паспортизации регистрируют рефлектограммы всех ВС строительной длины.

Оценка качества строительных работ включает измерение вносимого затухания всех ВС на смонтированных участках, потерь во всех неразъемных соединениях.

Приемно-сдаточные испытания, профилактические и контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ включают измерение вносимого затухания всех ВС кабельного участка, потерь в стыках, коэффициентов затухания на разных участках, а также паспортизацию кабельного участка по результатам измерений и его рефлектограмме.

Аварийные измерения проводятся для определения характера повреждения и расстояния до него.

3.3. Технические характеристики оптического рефлектометра

Для анализа волоконно-оптической среды передачи применяется следующая измерительная техника:

- оптические измерители мощности;
- стабилизированные источники сигнала;
- измерители потерь в оптической линии;
- переменные оптические аттенуаторы;
- оптические рефлектометры.

Дополнительно в системном оборудовании тестирования оптических кабелей используются перестраиваемые оптические рефлекторы и оптические переключатели.

Системное и эксплуатационное оборудование для анализа оптических кабелей отличается, главным образом, точностью измерений и техническими характеристиками (например, портативностью). Функциональность оборудования при этом одинакова.

Оптические измерители мощности (Optical Power Meter – OPM) используются для измерения оптической мощности сигнала, а также затухания в кабеле. Эти измерители являются столь же распространенным прибором для инженеров, связанных с оптоволоконными системами, как мультиметр для инженеров-электронщиков.

Основными параметрами OPM являются тип детектора, точность и график необходимой калибровки, диапазон и разрешающая способность, а также возможность поддержки различных оптических интерфейсов.

Наиболее важный элемент измерителя – оптический детектор, который определяет характеристики самого прибора.

Оптический детектор представляет собой твердотельный фотодиод, который принимает входной оптический сигнал и переводит его в электрический сигнал заданной интенсивности. Полученный электрический сигнал идет на сигнальный процессор, где производится пересчет полученного электрического сигнала в соответствии с характеристикой твердотельного фотодиода в единицы измерений (дБм или Вт), представляемые затем на экране прибора (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Схема устройства оптического измерителя мощности

Схема устройства оптического измерителя мощности выходного сигнала фотодиода от мощности входного оптического

сигнала на разных длинах волн, точнее равномерность этой характеристики. В зависимости от этого сигнальный процессор в большей или меньшей степени должен компенсировать возможную нелинейность характеристики.

В зависимости от длины волны используются различные типы детекторов (табл. 3.1.).

Наиболее мощные ОРМ используют детектор на основе сплава InGaAs, который дает возможность измерений сигнала в трех оптических окнах: 850, 1300 и 1550 нм. Кроме того, детекторы на основе сплава InGaAs имеют наиболее равномерную измерительную характеристику, температурную стабильность и меньший уровень собственных шумов по сравнению с детектором на основе германия.

Таблица 3.1

Типы детекторов ОРМ в зависимости от длины волны в ВОСП

Рабочая длина волны, нм	Оптимальный тип детектора
850	Si (кремний)
850/1300	Ge (германий) и InGaAs
1300/1550	InGaAs
850/1300/1550	InGaAs

Диапазон и разрешающая способность ОРМ – основные параметры его функционирования как прибора.

Возможность поддержки различных оптических интерфейсов в современных оптических системах передачи является также важным условием выбора прибора. Современные оптоволоконные сети используют различные оптические интерфейсы. Наиболее распространенные типы оптических интерфейсов представлены на рис. 3.3.

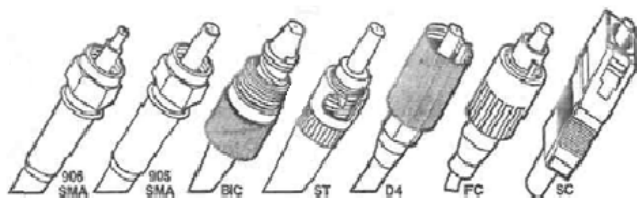


Рис. 3.3. Наиболее распространение типы оптических интерфейсов

Стабилизированные источники оптического сигнала (Stabilized Light Source – SLS) служат для внесения в оптическую линию сигнала заданной мощности и длины волны. Оптический измеритель мощности принимает этот сигнал и, таким образом, оценивается уровень затухания, вносимого оптическим кабелем.

Существует три основных типа стабилизированных источников сигнала: лазерные источники, светодиодные источники (LED) и источники белого света с вольфрамовой лампой. Эти источники отличаются, главным образом, характеристикой добротности источника - шириной полосы излучения. Лазерные источники имеют самую высокую добротность, источники белого света – самую низкую.

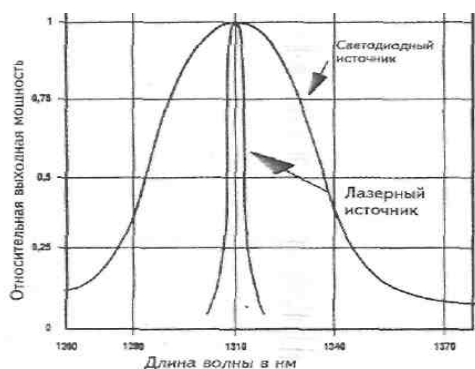


Рис. 3.4. Спектральная характеристика лазерного и светодиодного источника

Лазерные источники оптического сигнала имеют узкую полосу излучения и генерируют практически монохроматический сигнал. В отличие от светодиодных источников сигнала, лазерные источники не имеют постоянной характеристики в излучаемом диапазоне (ширина менее 5 нм). Характеристика лазерного источника имеет несколько дискретных частот излучения по краям основной частоты. Эти источники являются самыми мощными, однако, самыми дорогими. Они используются для измерения оптических потерь в одномодовом кабеле на большом расстоянии (уровень потерь более 10 дБ). Для измерения многомодовых кабелей применение лазерных источников обычно не рекомендуется из-за дисперсии в кабеле.

Светодиодные оптические источники (LED) сигнала имеют более широкий спектр излучения, обычно в пределах 50–200 нм. Сигнал светодиода является некогерентным и более стабильным по мощности. Светодиодные источники сигнала дешевле лазерных и часто применяются для анализа потерь в кабелях малой длины, например, в приложениях анализа кабелей локальных вычислительных сетей (LAN).

Источник белого света с использованием вольфрамовой лампы является альтернативным LED и дешевым источником сигнала. В сочетании с кремниевым детектором он может использоваться для измерения уровня затухания в оптическом кабеле на длине волны 850 нм, в сочетании с детектором InGaAs – на длине волны 1310 нм, поскольку суперпозиция спектральной характеристики OPM и источника белого света дают центральную частоту 1300 нм.

Анализаторы затухания, вносимого оптическим кабелем (Optical Loss Test Set – OLTs), – это комбинация оптического измерителя мощности и источника оптического сигнала.

Анализаторы потерь оптической мощности обеспечивают пошаговый анализ оптической линии передачи, включая участки кабеля, места соединений и сварок. Это в первую очередь касается отдельных эксплуатационных анализаторов потерь оптической мощности. В то же время интегрированные анализаторы потерь, которые обычно применяются для промышленного анализа, обладают повышенной функциональностью и точностью измерений.

Например, многие двухчастотные анализаторы могут выполнять измерения на длинах волн 1310 и 1550 нм параллельно.

Перестраиваемые оптические аттенуаторы используются для имитации потерь в оптической линии, что применяется для стрессового тестирования линии, т. е. для анализа работоспособности устройств (в первую очередь, линейного и терминального оборудования) при различных условиях работы сети.

Обычно различают три типа оптических перестраиваемых аттенуаторов: дискретно-перестраиваемые, непрерывно перестраиваемые и комбинированные, где дискретный переключатель обычно выполняет роль полного подавления входящего сигнала. Все аттенуаторы, как правило, широкополосные.

Оптические рефлектометры (Optical Time Domain Reflectometer – OTDR) – наиболее полнофункциональный для эксплуатационного анализа оптических кабельных сетей. Рефлектометр представляет собой комбинацию импульсного генератора, разветвителя и измерителя сигнала и обеспечивает измерение отраженной мощности при организации измерений с одного конца.

Существенными характеристиками рефлектометров являются рабочая длина волны, тип оптического интерфейса, разрешающая способность.

Важный параметр OTDR – диапазон возможного затухания (backscatter range). Этот параметр определяет возможный" диапазон измерений потерь оптической мощности в линии.

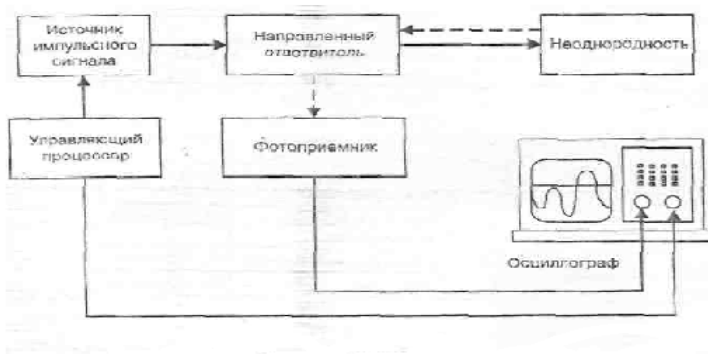


Рис. 3.5. Принципиальная схема рефлектометра

Диапазон возможного затухания обычно оценивается по средней длине измеряемого кабеля, которая может превышать 10 км для мощных рефлектометров. Как правило, максимальная длина измеряемого кабеля в два раза больше, она и является границей диапазона возможного затухания.

Рефлектометры обычно разделяются на два класса: дальнего действия и мини-рефлектометры. Мини-рефлектометры имеют обычно высокое разрешение и обеспечивают локализацию неисправности и различение двух объектов на расстоянии менее 10 м, тогда как мертвая зона рефлектометров дальнего действия обычно превышает 10 м». Мини-рефлектометры используют при эксплуатации кабелей длиной 100 м – 50 (100) км. В случае более длинных кабелей необходимо применять рефлектометры дальнего действия.

Эксплуатационные измерения на ВОСП. Эксплуатационные измерения включают в себя:

- измерение уровней оптической мощности,
- измерение затухания,
- определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля
- стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП.

Измерения уровней оптической мощности и измерения затухания являются взаимосвязанными. Как известно, измерение затухания в любой системе передачи связано с определением уровня сигнала (его мощности) на входе и выходе.

Измерение затухания без разрушения кабеля в точности соответствует схеме, представленной на рис. 3.6. Этот метод используется обычно для измерения узлов ВОСП, проведения пошагового тестирования ВОСП в точках, позволяющих подключить источник сигнала и ОРМ. Для повышения точности метода обычно используют статистическое накопление результатов или повторение измерений после разрушения нескольких сантиметров кабеля.

Метод измерения с разрушением кабеля часто используют при проведении строительно-монтажных работ. В этом случае производят обрыв волокна на расстоянии нескольких метров от входного конца и измеряют разность значений оптической мощности на всей длине кабеля и на коротком участке обрыва (рис. 3.7). Измеренное значение мощности на дальнем конце

кабеля считают P_L , а измеренное значение после обрыва кабеля – P_0 . Разность этих двух значений определяет величину затухания в кабеле. Недостаток метода в том, что разрушается волокно. Для повышения точности измерения повторяют несколько раз путем дополнительных обрывов волокна длиной несколько сантиметров.

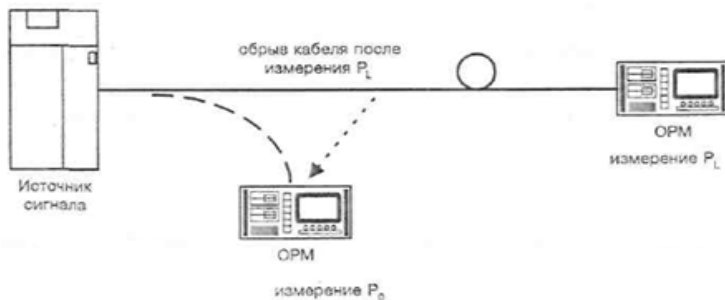


Рис. 3.6. Измерение затухания с разрушением кабеля

Метод обратного рассеяния для измерения затухания основан на использовании оптических рефлектометров, описанных в 3.3.

В основе метода обратного рассеяния лежит явление обратного релеевского рассеяния. Для реализации метода измеряемое волокно зондируют мощными оптическими импульсами, вводимыми через направленный ответвитель. Вследствие отражения от рассеянных и локальных неоднородностей, распределенных по всей длине волокна, возникает поток обратного рассеяния.

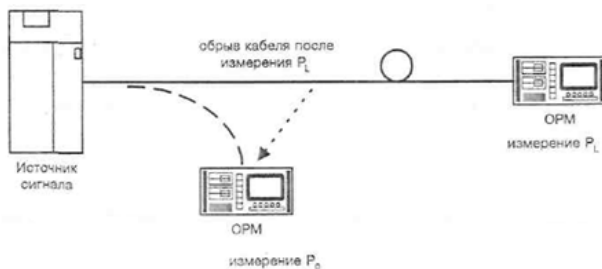


Рис. 3.7. Схема организации измерений параметров оптической линий с использованием рефлектометра

Генератор оптического сигнала в составе рефлектометра посылает короткий импульс, который отражается на неоднородностях А и В. При отражении от каждой неоднородности возникает проходящий и отраженный сигналы. В результате на анализаторе мощности относительно времени прихода импульса можно получить график зависимости отраженного от неоднородностей сигнала от длины линии (рефлектограмму). На графике этой зависимости представлены следующие изменения отраженного сигнала: отражение от А, отражение от В, интермодуляционные отражения высших порядков (В-А-В и т. д.), которые обычно малы по амплитуде и воспринимаются как шум. Угол наклона кривой определяет удельное затухание оптического сигнала в линии.

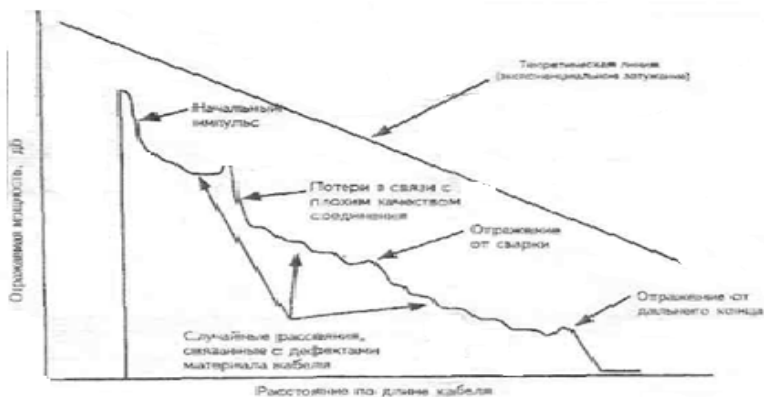


Рис. 3.8. Зависимость отражаемой мощности от длины кабеля

По рефлектограмме можно определить величину затухания на разности длин как половину от разности мощностей сигнала на рефлектограмме, т. е. по формуле:

$$a = [P_{L1}(\text{dBm}) - P_{L2}(\text{dBm})] / 2(L_2 - L_1).$$

Другие виды тестирования волокна. Самым важным видом тестирования для большинства видов волокна является точное измерение характеристик затухания. Но для работающих с

большой скоростью или очень длинных волоконно-оптических сетей могут понадобиться и другие виды тестирования. При измерении дисперсии определяется, какое влияние на информационную емкость волокна может оказать наличие разных скоростей распространения света в волокне (т. е. тот факт, что некоторые компоненты светового излучения, несущие информацию, могут распространяться быстрее, чем другие). В многомодовом волокне это называется измерением ширины полосы пропускания. Измерения дисперсии и ширины полосы пропускания при работе с оптическим рефлектометром не проводятся.

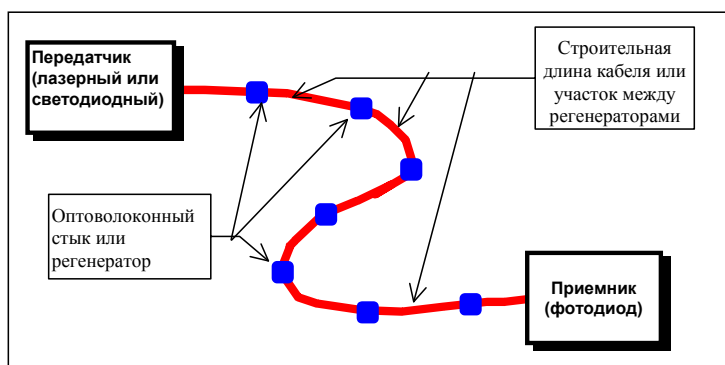


Рис. 3.9. Типичная волоконно-оптическая линия связи

Оптический рефлектометр. Оптический рефлектометр (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) – это электронно-оптический измерительный прибор, используемый для определения характеристик оптических волокон. Он определяет местонахождение дефектов и повреждений, измеряет уровень потерь сигнала в любой точке оптического волокна. Все, что нужно для работы с оптическим рефлектометром, – это доступ к одному концу волокна. Оптический рефлектометр производит тысячи измерений по всей длине волокна. Точки с результатами измерений находятся друг от друга на расстоянии от 0,5 до 16 м. Эти точки выводятся на экран и образуют наклонную линию, идущую слева направо и сверху вниз.

3.4. Способы применения оптических рефлектометров

Оптические рефлектометры широко применяются на всех этапах создания и эксплуатации волоконно-оптической сети – от сооружения до технического обслуживания, определения мест повреждений и их исправления. Оптический рефлектометр применяется для того, чтобы:

- измерять полные потери в волокне для приемки сети и ее ввода в строй, для проверки волокна на барабанах и подтверждения его технических характеристик;

- измерять потери как в механических, так и в сварных соединениях (оптоволоконных стыках) во время монтажа, строительства и ремонтных работ;

- измерять отражение, или оптические потери на отражение на оптических разъемах и механических соединениях (оптоволоконных стыках) для CATV (сетей кабельного телевидения), SDH (СЦИ) и других аналоговых или высокоскоростных линий цифровой связи, в которых отражение должно поддерживаться на низком уровне;

- определять место обрывов и дефектов волокон;

- проверять, оптимальна ли оптическая соосность волокон при операциях по их сращиванию;

- обнаруживать постепенное или внезапное ухудшение качества волокна путем сравнения его характеристики с зафиксированными результатами ранее проведенного тестирования.

Оптический рефлектометр. Для измерения характеристик оптического волокна оптический рефлектометр использует явления релеевского рассеяния и френелевского отражения. Посылая в волокно световой импульс и измеряя время его распространения и интенсивность его отражения от точек, находящихся внутри волокна, рефлектометр выводит на экран дисплея рефлектограмму "уровень отраженного сигнала в зависимости от расстояния".

Релеевское рассеяние. При посылке светового импульса по волокну часть импульса натывается на имеющиеся в стекле микроскопические частицы (которые называются "примесью") и рассеивается во всех направлениях. Это явление называется

релеевским рассеянием. Часть световой энергии – около 0,0001 % – рассеивается назад, в направлении, противоположном направлению распространения импульса; это называется обратным рассеянием. Поскольку в процессе изготовления волокна примеси распределяются равномерно по всему волокну, это явление рассеяния возникает по всей его длине.

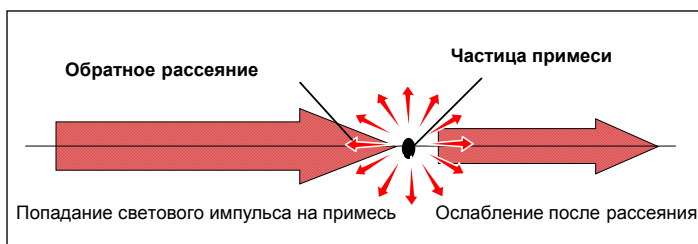


Рис. 3.10. Релеевское рассеяние

Релеевское рассеяние – это основная причина потерь, имеющих место в волокне. На более длинных световых волнах рассеяние меньше, чем на более коротких. Так например, свет на 1550 нм теряет из-за релеевского рассеяния от 0,2 до 0,3 дБ на километр (дБ/км), в то время как на 850 нм – от 4,0 до 6,0 дБ/км. Имеющие более высокую плотность примеси также увеличивают рассеяние и, следовательно, повышают уровень удельного затухания. Оптический рефлектометр может измерять уровни обратного рассеяния с большой точностью, используя эту способность для выявления незначительных изменений характеристик волокна в любой его точке.

Френелевское отражение. Всегда, когда свет, распространяющийся в каком-нибудь материале (например, в оптическом волокне), попадает в материал с другой плотностью (например, в воздух), часть световой энергии (до 4 %) отражается назад, к источнику света, в то время как остальная световая энергия продолжает распространяться дальше. Резкие изменения плотности материала имеют место на концах волокна, у обрывов волокна и, иногда, у оптоволоконных стыков. Количество отраженного света зависит от величины изменения плотности материала (которая характеризуется показателем преломления – бо-

лее высокий показатель преломления означает большую плотность), а также от того угла, под которым свет падает на поверхность раздела между двумя материалами. Это явление называется френелевским отражением. Оно используется в оптическом рефлектометре для точного определения мест обрывов волокна.

Френелевское отражение напоминает ситуацию со светом карманного фонарика, падающим на оконное стекло. Большая часть света проходит через стекло, но какая-то его часть отражается назад, к вам. От угла, под которым луч света падает на оконное стекло, зависит куда попадет отраженный свет: назад в фонарик или же к вам в глаза.

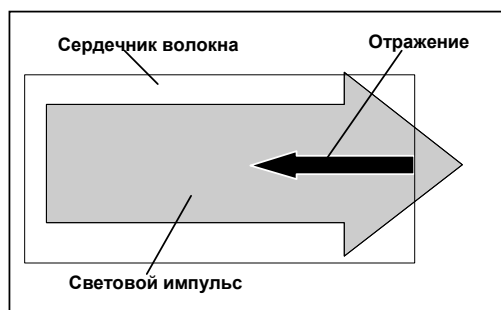


Рис. 3.1. Френелевское отражение

Технические характеристики оптического рефлектометра. Динамический диапазон оптического рефлектометра определяет, какую длину волокна он может измерить. Диапазон выражается в децибелах, причем чем больше значение диапазона, тем больше длина волокна, которое можно измерить. Тестирующий импульс должен быть достаточно сильным, чтобы достичь конца тестируемого волокна, а измеритель должен быть достаточно чувствительным, чтобы быть в состоянии измерить самые слабые сигналы обратного рассеяния, поступающие с конца длинного отрезка волокна. Динамический диапазон зависит как от полной импульсной мощности лазерного источника света, так и от чувствительности измерителя: очень мощный источник света и чувствительный измеритель обеспечат большой динамический

диапазон и наоборот. Динамический диапазон оптического рефлектометра определяется как разность между уровнем обратного рассеяния на ближнем конце волокна и верхним уровнем среднего значения шума у конца волокна или после него.

Мертвая зона – это та часть, показывающей Френелевское отражение рефлектограммы волокна, в которой высокий уровень этого отражения "перекрывает" более низкий уровень обратного рассеяния.

Появление мертвой зоны можно пояснить примером с рассматриванием звездного неба: если вокруг нет никакого освещения, то ваши глаза становятся чувствительней, и вы начинаете различать очень тусклые звезды ("обратное рассеяние"). Если же кто-нибудь посветит вам прямо в лицо фонариком то этот, более яркий, свет ("Френелевское отражение") ослепит вас, так что вы уже не сможете различать звезды. Вы не будете видеть ничего кроме яркого света до тех пор, пока он будет светить вам в глаза ("длительность импульса"). После того как этот свет уберут, ваши глаза постепенно привыкнут к темноте, станут более чувствительными, и вы опять сможете различать слабый свет звезд. Измеритель рефлектометра ведет себя примерно так же, как и ваши глаза в этом примере. Период "слепоты" и восстановления чувствительности и есть мертвая зона.

Мертвые зоны можно разделить на две категории: мертвые зоны события (неоднородности) и мертвые зоны затухания.

Разрешающая способность имеются две разновидности разрешающей способности: пространственная (расстояние) и по потерям (уровень).

Разрешающая способность по потерям (по затуханию) – это способность измерителя различать воспринимаемые им уровни мощности. Большинство измерителей рефлектометров могут выводить на экран дисплея разность между уровнями обратного рассеяния вплоть до 0,01 или 0,001 децибела.

Точность измерения потерь. Точность измерений, производимых измерителем оптического рефлектометра, определяется точно так же, как и у оптических ваттметров и фотоприемников любого вида. Точность любого оптического измерителя зависит от того, насколько близко выходная мощность электрического

сигнала соответствует входной мощности оптического излучения. Большинство оптических измерителей преобразуют поступающую мощность оптического излучения равномерно по всему рабочему диапазону в электрический сигнал соответствующего уровня, но выходная мощность электрического сигнала оказывается крайне низкой. Во всех измерителях используются электрические усилители, повышающие крайне низкий уровень выходной мощности электрического сигнала, но все эти усилители вносят в сигнал определенные искажения.

Показатель преломления – это соотношение между скоростью света в вакууме и скоростью света в каком-нибудь определенном волокне.

Рефлектометры обеспечивают анализ кабеля на поиск неоднородностей. При этом визуальный анализ формы рефлектограммы позволяет качественно оценить характер повреждения в кабеле.

Стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП. Проектирование аппаратуры ВОСП обязательно включает в себя расчет энергетического бюджета оптического сигнала в ВОСП. Реальное значение обычно отличается от расчетного в связи с различием в качестве сварочных узлов, соединений и т. д.

Для анализа запаса по мощности используются принципы стрессового тестирования, т.е. имитации плохих условий функционирования ВОСП. Для имитации плохого качества ВОСП используются оптические аттенюаторы. Измерения могут сопровождаться анализом цифрового - канала связи по параметру ошибки (BER) в зависимости от уровня сигнала в линии. Схема такого измерения представлена на рис. 3.12

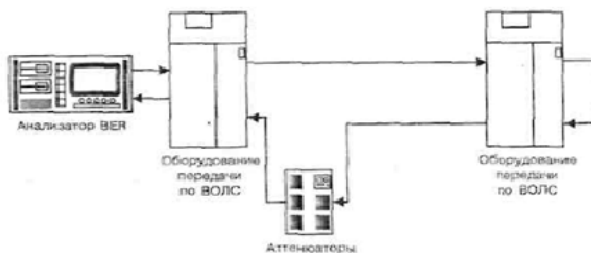


Рис. 3.12. Схема стрессового тестирования ВОСП

Согласно схеме в линию передачи включается оптический аттенуатор, который вносит дополнительное затухание в ВОСП. При этом измеряется зависимость параметра ошибки BER от уровня вносимого затухания. Предельное значение вносимого затухания, при котором аппаратура ВОСП функционирует согласно ТУ, определяет запас по мощности в ВОСП.

Промышленный анализ оптоволоконных кабелей.

Промышленный анализ включает в себя измерения следующих параметров:

- погонного затухания в оптическом волокне;
- полосы пропускания и дисперсии;
- длины волны отсечки;
- профиля показателя преломления;
- числовой апертуры;
- диаметра модового поля;
- геометрических и механических характеристик оптоволоконного кабеля;
- энергетического потенциала и чувствительности фотоприемного устройства;
- уровней оптической мощности устройств.

Измерения погонного затухания в оптическом кабеле в лабораторных условиях (анализ кабеля в бухтах) выполняется по прямому методу анализа с использованием высокоточных анализаторов затухания. Эти измерения описаны выше.

Измерение профиля показателя преломления – основного параметра широкополосности оптических кабелей – выполняется различными высокоточными методами: интерферометрическими, лучевыми и рассеяния, сканирования отражения от торца, пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах) и др.

Измерение числовой апертуры необходимо для разработки соответствующих устройств – ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них.

3.5. Перспективы развития измерительных технологий ВОСП

Развитие измерительных технологий всегда идет по пути развития самих технологий телекоммуникаций. Оценивая будущее развитие ВОСП, нельзя не отметить общую тенденцию к переходу к системам передачи с частотным разделением в волоконно-оптических кабелях (Wavelength Division Multiplexing – WDM).

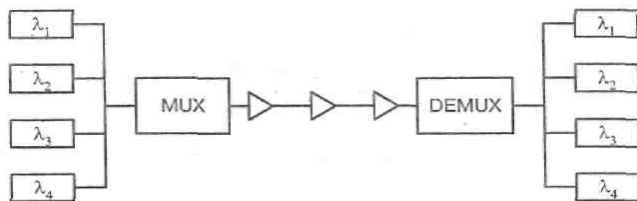


Рис. 3.12. Система передачи мультимплексора

Схематически такая система представлена на рис. 4.9. В представленной системе передачи используются четыре частоты X_1, X_2, X_3, X_4 . Модулированные сигналы четырех длин волн поступают в оптический мультиплексор (MUX), затем передаются по оптическому кабелю к демultipлексору (DEMUX), где из группового сигнала снова восстанавливаются четыре значения частоты. В основе технологии WDM лежит частотное разделение (или разделение по длинам волн) в оптической системе передачи.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СРЕД РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА. ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

4.1. Обзор методов контроля. Методы измерения. Классификация

Методы сопоставления – осуществляемые параллельно за один прием, теоретически мгновенно, при одновременном использовании всех применяемых элементарных средств измерения, за исключением воспроизведения величины заданного размера, которая выполняется заблаговременно созданной мерой, и поэтому процедура измерения состоит только из одной операции сравнения.

Методы уравнивания – осуществляемые последовательно при нескольких приемах выполнения измерительных процедур, требующих определенных затрат времени.

Дифференциальные методы – осуществляемые последовательно с использованием двух мер и устройств сравнения, определяющие вначале разность в первом приближении, а затем более точно суммирующие полученные результаты.

Свойства данных методов зависят от сочетания используемых элементарных измерительных средств, которые при полном наборе включают.

Мера – устройство сравнения и измерительный преобразователь. Измерительный преобразователь, меру, устройство сравнения и масштабный преобразователь.

Методы сопоставления и уравнивания можно реализовать различными способами:

- с многоканальной нерегулируемой мерой и операцией сравнения, выполняемой несколькими устройствами сравнения;
- с одноканальной нерегулируемой мерой и масштабными многоканальными преобразователями.

Методы уравнивания могут быть выполнены с одновременным и разновременным уравниванием. При этом одновременное уравнивание реализуется посредством:

- одноканальной регулируемой меры и устройства сравнения, т. е. осуществляется изменение выходной величины меры и устройства сравнения её с входной величиной;

- одноканальной нерегулируемой меры и регулируемого масштабного одноканального преобразователя, выполняя изменение его коэффициента преобразования до уравнивания выходного сигнала с входной величиной.

Согласно дифференциальному методу, величина X сначала измеряется с помощью меры, имеющей большой шаг квантования, затем посредством вычитания определяется разность Δx между X и полученным значением $x_1 = N_m \Delta x_k$. На втором этапе измеряется полученная разность с помощью меры, имеющей меньший шаг квантования, получая значение разности.

Метод анализа – прием или совокупность приемов установления зависимости значения физической величины, отношения порядка или соотношения между размерами однородных величин от временного или иного параметра в соответствии с реализованным принципом анализа физического явления или эффекта, который положен в основу анализа тем или иным средством анализа.

В зависимости от задачи и принципа анализа различаются реализации этих принципов. При спектральном анализе переход от временного представления сигнала к частотному представлению осуществляется с помощью прямого преобразования Фурье, а при восстановлении исходного представления сигнала – посредством обратного преобразования Фурье.

При анализе логически структурированных сигналов используются только логические операции, поэтому данные виды можно разделить по виду сравниваемых кодов, способам их выделения из битовых потоков и др.

Методы тестирования – когда нормой является не область значений контролируемой величины, а ее определенные значения, то применяются методы тестирования. При тестировании используются перечисленные ранее методы измерения. Тестирование в общем случае можно определить как побайтное сравнение кодов. При последовательном побитном сравнении кодов используется понятие логической равнозначности кодов.

Средства контроля – инструменты и системы контроля имеют одно общее свойства, заключающееся в соединении информации и физического мира, требующих для исследования огромного количества инструментов. Анализаторы протоколов (Protocol analyzers) – представляют собой программные или аппаратно-программные системы, которые ограничиваются в отличие от систем управления лишь функциями мониторинга и анализа трафика в сетях.

4.2. Основные виды и характеристики контроля

Весь спектр контроля в электросвязи делится на измерения, анализ и тестирование, также различается прямой контроль, выполняемый в единицах контролируемой физической величины, и косвенный контроль, осуществляемый исходя из прямого контроля других величин, которые связаны с искомой величиной известной функциональной зависимостью.

Существуют следующие виды контроля:

- настроечный контроль при первоначальной настройке каналов и трактов с целью выявления соответствия настроечным нормам и характеризуется строгой последовательностью в зависимости от применяемого оборудования;
- приемо-сдаточный контроль, назначение которого заключается в проведении полного объема процедур измерений анализа и тестирования на соответствие установленным нормам с отражением результатов в техническом паспорте;
- профилактический контроль, выполняемый в процессе эксплуатации системы передачи на соответствие эксплуатационным нормам;
- внеплановый контроль, являющийся составной частью ремонтно-восстановительных работ, в которые на заключительном этапе могут входить как настроечные, так и приемо-сдаточные измерения и тестирование.

В зависимости от режима работы оборудования контроль может осуществляться с включенным оборудованием, с вы-

ключенным оборудованием, с частично выключенным оборудованием.

Контроль также бывает непосредственным, дистанционным, распределенным, централизованным (мониторинг).

Рассмотренные виды контроля могут осуществляться для аналоговых, дискретных и логически структурированных величин.

Учитывая особенности контроля сетей телекоммуникаций, его можно разделить на:

- контроль транспортного уровня сети, включая параметры среды распространения;
- контроль абонентского уровня;
- трафиковый контроль;
- контроль протоколов передачи, которые могут осуществляться программными, программно-аппартными и аппаратными (техническими) средствами.

Модель контроля соответствия взаимодействия открытых систем

Соответствие – согласованность параметров объектов, величин или процессов с установленными рекомендациями и стандартами.

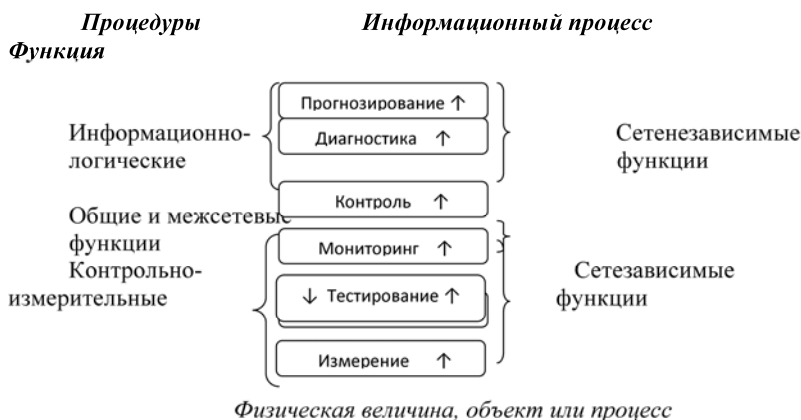


Рис.4.1. Процедуры и функции МКС ВОС

Точность и достоверность – важной характеристикой контроля является точность измерения, выраженная через погрешность измерения, которая включает в себя систематические, случайные, погрешности, методические, аддитивные, мультипликативные, погрешность нелинейности и др., которые могут быть выражены как абсолютная, относительная или приведенная к определенному уровню погрешность.

4.3. Общие тенденции в измерительных технологиях электрических кабелей

Измерения электрических кабелей являются достаточно известными и исторически наиболее отработанными технологиями. Однако в последнее время с развитием общей тенденции к цифровизации сетей связи технологии измерений электрических кабелей претерпели некоторые изменения.

С повышением пропускной способности кабельных систем в настоящее время наметилась тенденция к вытеснению на магистральных линиях электрических кабелей оптическими. Место электрических кабелей в телекоммуникациях будущего, вероятно, будет ограничиваться абонентскими кабельными сетями. Однако и в абонентских кабельных сетях в последнее время произошли изменения, связанные с необходимостью расширения пропускной способности. В настоящее время абонентские кабельные сети строятся на основе концепции структурированных кабельных сетей и используют кабели категории 5 стандарта TIA/EIA 568A. Требования, выдвигаемые новыми цифровыми технологиями ISDN и HDSL к абонентским кабелям, приводят к общей тенденции в проведении измерений кабельных сетей – измерения ориентируются на абонентские кабельные сети.

Измерения магистральных кабелей. Измерения магистральных кабелей разделяются по этапам их прокладки:

- измерения перед прокладкой кабеля,
- измерения в процессе прокладки и в процессе приемосдаточных испытаний,
- измерения на этапе эксплуатации, обычно связанные в не-

обходимостью локализации повреждения кабеля и его устранения.

Измерения перед прокладкой кабеля сводятся к анализу характеристик кабеля в бухтах с целью проверки соответствия кабеля заданным характеристикам. Обычно эти измерения проводятся на заводе-производителе, но могут также проводиться и операторами сетей связи для проверки заданных технических характеристик.

При измерениях кабеля в бухтах анализируют следующие параметры кабелей:

- погонное сопротивление импеданс кабеля,
- сопротивление изоляции,
- зависимость затухания в кабеле от частоты.

Анализ погонного сопротивления и импеданса кабеля, а также зависимости затухания в кабеле от частоты выполняется анализаторами цепей. Для анализа сопротивления изоляции используют специализированные приборы – анализаторы сопротивления изоляции, работающие по принципу анализаторов цепей, но с учетом специфики измерений: анализатор цепей подает в цепь изоляции высокое напряжение, затем измеряется ток утечки. Специфика измерений состоит в том, что генератор должен быть в этом случае мощным, а анализатор – высокочувствительным.

Измерения на этапе эксплуатации обычно связаны с локализацией точки повреждения кабеля. Для этого используются кабелеискатели, обеспечивающие легкое обнаружение точек обрывов кабелей и соединительных муфт, что актуально при поиске и устранении неисправностей и обрывов.

При анализе магистральных кабелей с одного конца используют металлические рефлектометры дальнего действия, принципы работы которых аналогичны принципам работы оптических рефлектометров, описанных в предыдущей главе. Диапазон измерений металлических рефлектометров дальнего Действия достигает 15–20 км, разрешающая способность – до 10 см, что обеспечивает локализацию точек обрыва даже без использования на местности кабельных локаторов.

Измерения магистральных кабелей, связанные локацией точки повреждения кабеля. Локация точки повреждения кабеля

является существенным эксплуатационным измерением. Существует несколько основных методов локации этой точки. Наиболее простым способом измерения является подача тестового сигнала в кабель и определение точки повреждения кабеля индуктивным датчиком. Частота и мощность тестового сигнала, подаваемого в кабель выбирается в соответствии с типом кабеля, глубиной его залегания и чувствительностью приемника.

Приборы, осуществляющие такие измерения, называются кабелеискателями. Как правило, кабелеискатели выполняют следующие измерения:

- трассировка пути залегания кабеля,
- определение глубины залегания кабеля,
- измерение величины тока в кабеле,
- определение характера повреждения: короткое замыкание или обрыв,
- определение степени повреждения: легкое повреждение или сильное повреждение,
- индикация силовых кабелей и кабелей питания,
- определение точек намокания кабеля.

Кабелеискатели могут выполнять измерения не только кабелей, уложенных в грунт, но также кабелей на столбах и подвесах. Измерения могут проводиться в условиях повышенной влажности.

В состав кабелеискатели входит передатчик, обеспечивающий генерацию тестового сигнала в измеряемом кабеле и приемник-локатор с набором антенн. Передатчик может подключаться к тестируемому кабелю напрямую или через индуктивный переходник.

Одним из дополнительных измерений с использованием кабелеискателя является измерение, связанное с анализом препятствий для прокладки кабеля в трубах. В этом случае в трубу, в которой предполагается прокладка кабеля, опускается активный источник, мини-передатчик, который указывает местоположение препятствия. Кабелеискатель фиксирует это место для проведения строительных работ по удалению препятствия.



Рис. 4.2. Схема определения препятствия для прокладки кабеля в трубе

Соответствующая схема измерений представлена на рис. 4.2. Следует заметить, что такого рода измерения актуальны в первую очередь для абонентских кабелей.

Измерения с использованием рефлектометров для металлических кабелей. Принципы устройства рефлектометра (TDR) для металлических кабелей аналогичны принципам устройства оптических рефлектометров.

Различают два основных типа металлических рефлектометров: с отображением формы принимаемой волны и с цифровым отображением. Рефлектометры с отображением формы принимаемой волны (рефлектограммы) дают возможность комплексного анализа всех неоднородностей в кабеле, рефлектометры с цифровым отображением показывают расстояние до первой неоднородности, и могут с успехом применяться в эксплуатации, поскольку представляют собой дешевый и портативный вариант прибора. Некоторые приборы этого класса селективируют неоднородности, определяя категорию неисправности: обрыв или короткое замыкание по импедансу кабеля.

4.4. Измерения на абонентских кабельных сетях

Общие принципы измерений абонентских кабельных систем. Технологии измерений абонентских кабельных сетей с одной стороны очень распространены, с другой стороны в мировой практике фактически неструктурированы в том смысле, что нет универсальных рекомендаций по организации измерений. В результате, несмотря на то, что набор параметров абонентских кабелей известен, существует несколько совершенно разных методов их измерения и различное оборудование для проведения этих измерений.

Основными параметрами абонентских кабельных сетей являются:

- сопротивление линии (тестирование на короткое замыкание и обрыв),
- смена полярности в кабеле,
- наличие расщепленной пары,
- АЧХ абонентского канала (полоса пропускания),
- длина кабеля.

Измерения абонентских линий проводятся в следующих случаях:

- при приемосдаточных испытаниях абонентской кабельной сети,
- для выбора наиболее качественных пар перед инсталляцией ISDN, HDSL и т. д. (более подробно этот вопрос обсуждается в гл. 9),
- для проведения работ по согласованию абонентских кабелей и повышения качества телефонной связи.

Измерения электрических параметров абонентских кабелей. Существует несколько основных методов измерения электрических параметров абонентских кабелей. Самым простым методом является использования обычного цифрового мультиметра (DMM) для определения скалярных характеристик абонентской линии.

Для организации измерений на одном конце измеряемого кабеля делается шлейф, с другой стороны подключается цифровой мультиметр с функцией индикации низкоомного кабеля

("прозвонка"). По такой схеме могут быть измерены параметры импеданса кабеля, а также произведен анализ на обрыв и короткое замыкание абонентских пар. Следует заметить, что такой метод измерения не дает возможности анализировать большую часть перечисленных выше параметров абонентского кабеля.

Вторым методом измерений является использование специализированных измерительных приборов – анализаторов абонентских пар. Как измерительный прибор, анализатор абонентских пар представляет собой комбинацию мультиметра, кабельного локатора и простого анализатора телефонных каналов – TIMS. Функционально анализатор абонентских пар обеспечивает измерение электрических характеристик телефонного канала, анализа шумов, обнаружение неисправности кабеля и оценку характера неисправности, подсчет количества регенераторов, загрузочных петель и отпаяк, обнаружение регенераторов и т. д.

5. МЕТОДОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ

5.1. Понятие бинарного канала и методы анализа его параметров

Согласно принятым терминам и определениям под каналом передачи понимается комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающих передачу сигнала электро-связи в полосе частот и скоростью, характерных для данного канала. Если в канале информация передается в цифровом виде, такой канал называется цифровым каналом.



Рис. 5.1. Бинарный цифровой канал

Основное назначение бинарного цифрового канала – это передача цифровой информации в двоичной форме, так же в виде битов. Поэтому основные параметры качества такой цифровой передачи связаны с параметром ошибки по битам (Bit Error Rate – BER) и его производными. Как будет показано в соответствующих разделах, особенное значение методологии измерений параметров бинарного канала состоит в том, что измерения по параметру BER вошли в методики измерений всех первичных и вторичных сетей.

Для правильного понимания всех нюансов измерений цифровых каналов связи необходимо глубокое понимание технологии измерений бинарного цифрового канала, которая будет рассмотрена в этой главе.

Различают два типа измерений бинарного канала – с отключением и без отключения канала. Измерения с отключением канала предусматривают, что канал не используется в процессе измерений для передачи реального цифрового трафика. В этом случае в качестве источника и приемника двоичного сигнала используются анализаторы цифрового канала. Измерения без отключения канала предусматривают использование специальных алгоритмов анализа параметров канала при передаче реального трафика.

5.2. Этапы развития телефонной сети

Тенденция развития технологии телефонной связи схематически представлена на рис. 5.2. Этапы развития сетей телефонии показаны на рисунке прямоугольниками, переходные процессы, приводящие к смене состояний – овалами, в прямоугольниках с закругленными краями перечислены основные факторы в процессе перехода.

Как показано на схеме, эволюция сетей телефонии идет по пути постепенного перехода от аналоговых сигналов к цифровым. Первым ее этапом является внедрение цифровых АТС, соединенных цифровыми каналами связи. В мировой практике для соединения АТС используются каналы первичного потока PDH E1D1, в отечественной практике – только канал E1 (ИКМ-30). Движущими силами этого процесса выступали чисто экономические показатели эксплуатации сети (снижение трудоемкости в обслуживании, повышение надежности, уменьшение рабочих площадей). В результате появляется так называемая интегрированная цифровая сеть (ИЦС – Integrated Digital Network – IDN), которая обеспечивает передачу трафика в цифровой форме, но предоставляет услуги только аналоговой телефонии.

В это время интенсивно "развивается технология передачи данных, главным стимулом которой выступает широкое внедрение персональных компьютеров. Встает задача расширения услуг IDN. Решение оказалось простым – необходимо было в сети IDN довести цифровой поток до пользователя, переместив ана-

логово-цифровой преобразователь к абоненту. Так возникает цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС – Integrated Service Digital Network – ISDN) как способ интеграции сетей телефонии и передачи данных. Таким образом, второй этап развития сетей телефонии связан с переходом от IDN к ISDN.

Третьим этапом является переход к услугам широкополосных сетей и интеграция ISDN с широкополосными сетями (сети передачи видеоизображения, высокоскоростные сети передачи данных, кабельного телевидения и т. д.). Основными движущими силами этого процесса является быстрый рост трафика в сетях передачи данных, связанный с ростом размеров программных продуктов, развитием технологии мультимедиа и развитием технологии объединения локальных сетей. В результате этого процесса в будущем появятся сети широкополосной ISDN на основе использования технологии быстрой пакетной передачи и асинхронного мультиплексирования (ATM).



Рис. 5.2. Эволюция вторичных сетей телефонии

На этапе аналоговых сетей обычно использовались аналоговые протоколы (одночастотные, многочастотные или дискретные типа E&M), затем в сетях IDN был осуществлен переход к цифровым протоколам, связанным с каналами голосовой

связи (Common Associated Signaling – CAS) и появилась возможность внедрения протоколов по выделенному сигнальному каналу (Common Channel Signaling – CCS), первыми попытками которых были система сигнализации № 6 (SS#6) и протоколы ведомственных сетей, такие как система сигнализации в пакетном режиме по аналоговым каналам (APNSS). Следующим этапом явилось создание выделенных сетей передачи сигнальной информации в сети телефонии (SS#7 – ОКС 7).

6. ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Особенности радиочастотных измерений

Радиочастотные измерения представляют собой большой класс измерений, связанных с анализом радиочастотных каналов и систем беспроводной связи.

К средствам беспроводной радиосвязи относятся все средства связи, использующие радиоэфир в качестве среды передачи. Технология радиочастотных измерений отличается в зависимости от диапазона измерений и условий распространения сигнала, связанных со спецификой использования радиоэфира. Оценка влияния доплеровского сдвига по частоте оказывается существенной для систем спутниковой и мобильной радиосвязи, но не существенна для радиорелейных систем передачи и т. д.

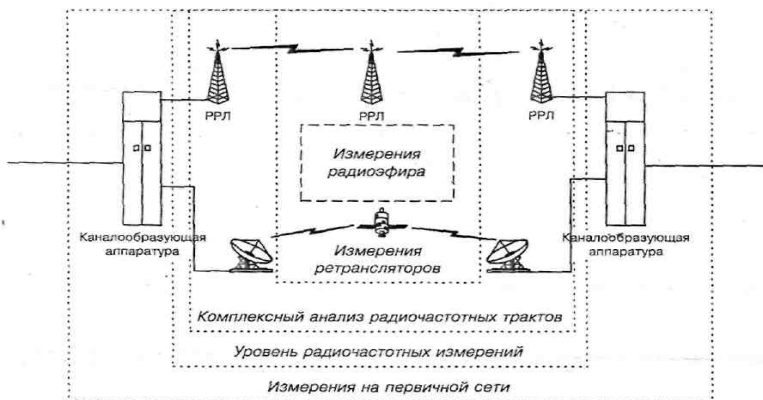


Рис. 6.1. Структурная схема организации радиочастотных измерений на первичной сети

Согласно приведенной схеме радиочастотные измерения входят составной частью в комплекс измерений на первичной сети. Из рассматриваемых радиочастотных измерений исключается каналообразующая аппаратура, преобразующая сигналы цифровых каналов первичной сети в радиосигналы.

В основе радиочастотных систем передачи лежит использование ретрансляторов, для систем спутниковой связи это спутни-

ковый ретранслятор, для радиорелейных систем передачи это ретрансляторы РРЛ. Анализ работы узловых радиочастотных устройств – ретрансляторов – является существенной частью проведения радиочастотных измерений и составляет следующий уровень радиочастотных измерений.

6.2. Измерения радиоэфир

Различие систем измерений радиоэфира определяется следующими факторами:

- пространственным размещением анализаторов;
- используемыми приемными антеннами;
- структурой сети сбора и обработки информации об электромагнитной обстановке;
- различными алгоритмами оптимизации измерений. Системы контроля радиочастотного ресурса выполняют комплексный анализ электромагнитной обстановки с привязкой на местности. В результате таких измерений получают данные в виде карт распределения интенсивности электромагнитного поля в различных диапазонах. В зависимости от региона охвата различают:
 - системы радиоконтроля национального значения, выполненные по стандартам Международного Союза Электросвязи (ITU);
 - системы радиоконтроля местного значения (область, регион), совместимые с национальными системами контроля, однако охватывающие меньший район;
 - локальные системы радиоконтроля для анализа электромагнитной обстановки на локальной площадке (например, на месте установки ретранслятора или приемопередающей станции).

Системы радиоконтроля областного и местного значения. Системы областного и местного значения используются областной администрацией и крупными операторами сетей радиосвязи для контроля и оптимизации использования различных участков спектра.

Системы радиоконтроля областного и местного значения обычно строятся по принципу радиальной топологии с центром

обработки данных и связанными с ним стационарными и мобильными точками мониторинга спектра. Привязка к географическим координатам в точках мониторинга осуществляется навигационными спутниковыми средствами.

Системы радиоконтроля локального назначения. Системы контроля электромагнитной обстановки (ЭМО) локального значения представляют собой прибор (обычно анализатор спектра с необходимым набором антенн) для определения параметров радиоэфира при размещении источника радиосигнала. Такие системы используются обычно для анализа базовых станций систем радиосвязи перед установкой, радиорелейных станций, наземных станций спутниковой связи и т. д.

Основными задачами локального анализа ЭМО являются:

- определение соответствия выделенного радиочастотного ресурса заданным техническим условиям (отсутствие в выделенном ресурсе нелегализованных источников сигнала);
- оптимизация размещения источника радиосигнала на данном участке;
- локализация возможных помех и источников интерференции сигнала, которые могут привести к деградации качества радиосвязи.

Основу локальных систем радиоконтроля составляют анализаторы спектра. Различают системы стационарного и портативного исполнения, которые ориентируются на применение высокоточных или портативных анализаторов спектра соответственно. Высокоточные анализаторы спектра используются для проведения измерений ЭМО при размещении узловых станций систем радиосвязи или аппаратуры передачи (наземные станции спутниковой связи и радиорелейные станции). Портативные анализаторы спектра применяются при настройке антенн абонентских терминалов систем спутниковой связи и систем радиосвязи, а также для индикации и грубой локализации источников помех и интерференции.

6.3. Измерение характеристик ретрансляторов

После анализа характеристик радиоэффира является анализ характеристик ретрансляторов или активных устройств, передающих сигнал. От работы ретранслятора напрямую зависят параметры радиочастотных трактов и, следовательно, выходные параметры каналов первичной сети. Поэтому анализ параметров работы ретрансляторов является важным этапом при проведении комплексных измерений.

В радиорелейных линиях передачи ретрансляторами являются приемопередающие и регенераторные станции радиорелейной связи (они так и называются – ретрансляторы (РТР)), в системах спутниковой связи в роли ретранслятора выступает спутник связи. Анализ параметров ретранслятора как активного устройства радиочастотных трактов во многом сходен с анализом усилителя СВЧ, поскольку именно усилитель является основным элементом ретранслятора. Основными группами измерений являются измерения амплитудно-частотной характеристики ретранслятора, характеристик усиления, фазово-частотной характеристики и измерения шумов.

Измерения АЧХ ретранслятора. АЧХ ретрансляторов определяет параметры линейности характеристик усилителей ретранслятора по частоте. Эти параметры определяют работу ретранслятора в заданном диапазоне и его частотный ресурс. Измерения АЧХ ретрансляторов выполняется анализаторами спектра в паре с генератором. До последнего времени для этой цели также использовались селективные измерители мощности (селективные вольтметры), однако в последнее время общей тенденцией в измерительной технике является переход к использованию анализаторов спектра в качестве приемника.

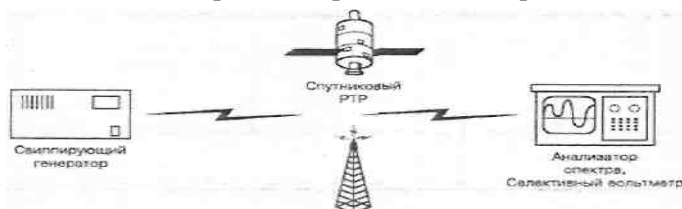


Рис. 6.2. Измерение АЧХ ретранслятора

Измерения характеристик усиления ретрансляторов. Характеристики усиления измеряются, как правило, анализаторами спектра или селективными измерителями мощности в паре с генераторами и представляют собой зависимости уровня выходного сигнала от сигнала на входе. Эти характеристики определяют параметры нелинейности радиочастотных трактов. Нелинейность радиочастотных трактов является важным параметром, поскольку приводит к ряду нежелательных эффектов в системах радиосвязи таким, как:

- возникновение комбинационных помех;
- возникновение паразитной модуляции сигнала;
- снижение выходной мощности при работе в режиме многостанционного доступа с частотным разделением (МДЧР) в спутниковых системах.

На практике для оценки эффектов нелинейности усилительных трактов производят измерения характеристики усиления на первой гармонике, реже на первой и третьей, а затем расчетными методами выстраивают передаточную характеристику усилительного тракта ретранслятора.

Оценка параметров нелинейности ретрансляторов является важной и интересной задачей математического моделирования, опирающегося на данные измерений. Это моделирование помогает прогнозировать различные процессы, происходящие в радиотракте, что особенно важно для спутниковых систем связи, где один и тот же ретранслятор используется большим количеством наземных станций.

В практике эксплуатации комплексное моделирование ретранслятора обычно не делается, однако данные о характеристике усиления используются для анализа уровня интермодуляционных искажений и для выбора допустимого уровня мощности передачи. Характеристика усиления определяет диапазон линейности ретранслятора или его энергетический ресурс.

6.4. Измерения основных характеристик радиочастотного тракта

Основные параметры для измерений участков радиочастотного тракта. За уровнем измерений ретрансляторов идет уровень измерений радиочастотных трактов, к которым относятся тракты радиорелейных линий и тракты спутниковых систем связи.

Существенно различаются методики измерений параметров участков радиочастотного тракта и комплексные измерения радиочастотных трактов, которые выполняются вместе с измерениями канального уровня систем передачи (измерения по параметру ошибки – BER).

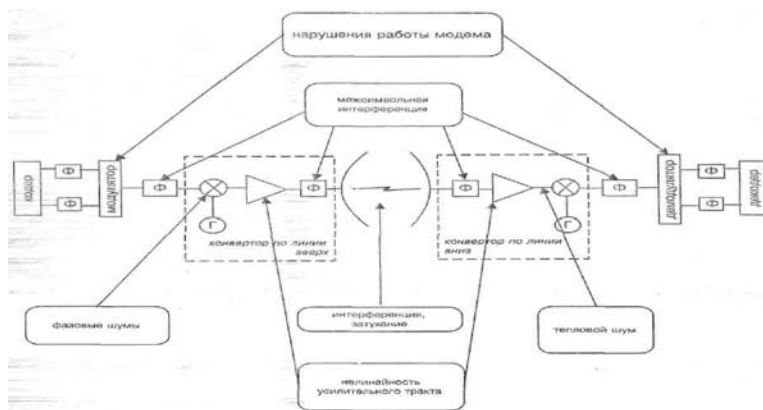


Рис. 6.3. Схема типичного радиочастотного тракта передачи и факторов, влияющих на параметры тракта

На рисунке также показаны основные факторы, влияющие на параметры радиочастотного тракта и на результирующий параметр радиочастотных систем передачи – увеличение параметра ошибки (BER). Рассматривая эти параметры, можно выделить соответствующие им группы измерений участков радиочастотного тракта:

- контроль возможных нарушений работы модемов – приводит к необходимости измерений параметров модуляции;

- учет возможной нелинейности в усилительных элементах – приводит к необходимости контроля усилителей и измерения характеристики усиления этих элементов;
- определение вероятности межсимвольной интерференции – требует тщательного анализа фильтров ПЧ и РЧ.

6.5. Комплексные измерения радиочастотных трактов

Все измерения устройств радиочастотного тракта производятся для того, чтобы добиться наименьшего параметра ошибки в системе передачи. Основным параметром цифровых систем передачи, использующих радиочастотный тракт, является параметр ошибки BER. Поэтому окончательные параметры радиочастотной системы передачи всегда выполняются в виде функций зависимости от BER. Так, например, зависимость BER от отношения сигнал/шум в радиочастотной системе передачи является практически наиболее важным параметром системы передачи, учитывающим вклады всех устройств в составе тракта. Поскольку обычно каждое из устройств в составе радиочастотного тракта вносит вклад в общий параметр ошибки, комплексные измерения радиочастотных трактов производятся после пошаговых измерений устройств в составе тракта или с учетом известных параметров этих устройств. Анализ работы эквалайзеров. Измерения параметров устойчивости к линейному затуханию и затуханию, связанному с многолучевым прохождением сигнала. Особенность радиочастотных систем передачи по сравнению с кабельными системами состоит в том, что, используя в качестве среды передачи сигналов радиоэфир, эти системы не имеют точных характеристик среды передачи сигнала. В то время как характеристики металлического или оптического кабелей со временем меняются незначительно, параметры радиоэфира меняются постоянно, в результате даже описать полностью условия распространения сигнала по радиоканалу можно только статистическими методами. В практике разработки современных радиочастотных систем передачи получили широкое распространение различные устройства и методы выравнивания и автоподстройки

сигнала в зависимости от изменений условий его распространения по радиочастотному тракту. Эти устройства получили название эквалайзеров.

В практике современных радиочастотных систем передачи встречаются два основных вида затухания, связанного с факторами распространения сигнала по радиочастотному тракту: линейное затухание и затухание, связанное с многолучевым прохождением сигнала.

Линейное затухание представляет собой равномерное уменьшение амплитуды сигнала, не зависящее от его частоты. Уменьшение сигнала приводит к уменьшению отношения сигнал/шум и, как следствие, к увеличению параметра ошибки в цифровой системе передачи. Линейное затухание обычно обусловлено природными факторами распространения радиочастотного сигнала, такими как дождь и снег, и проявляется обычно на высоких частотах. Для компенсации линейного затухания используют эквалайзеры в составе передатчика/приемника. Работу эквалайзера, компенсирующего линейное затухание, можно измерить, используя перестраиваемые аттенюаторы согласно схеме, представленной на рис. 6.4.

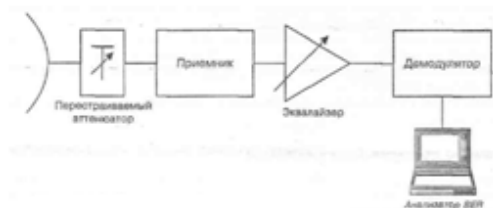


Рис. 6.4. Использование перестраиваемого аттенюатора для анализа работы эквалайзера

В современных методиках имитации линейного затухания в радиочастотном тракте наметилась тенденция от использования перестраиваемых аттенюаторов к использованию дополнительных источников шума или интерференции, вызывающих уменьшение отношения сигнал/шум и тем самым обеспечивающих анализ работы эквалайзеров и стрессовое тестирование системы передачи.

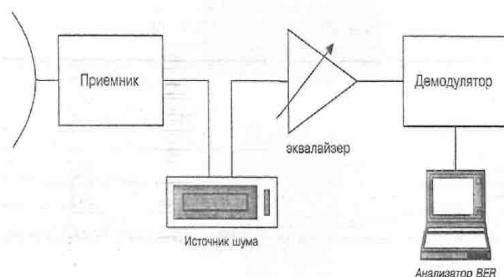


Рис.6.5. Использование дополнительного источника шумов для анализа работы эквалайзера

Реализация методики с использованием дополнительного источника шума требует наличия высокоточного источника гауссова или белого шума.



Рис. 6.6. Явление многолучевого прохождения сигнала в РРЛ

Затухание, связанное с многолучевым прохождением сигнала, относится только к радиорелейным системам передачи. Явление многолучевого прохождения сигнала представлено на рис. 6.5. В радиорелейной системе передачи помимо основного (прямого луча) возникают еще два вторичных. Один луч возникает вследствие переменного коэффициента рефракции в атмосфере, обычно в условиях высокой температуры, как правило, летом. В результате интерференции вторичного луча рефракции и основного луча возникает затухание, зависящее от частоты. Другой вторичный луч возникает вследствие отражения сигнала от поверхности земли. Такое отражение становится возможным из-за

широкой диаграммы направленности антенны передатчика. В результате интерференции с основным лучом возникает устойчивая картина биений, и, как следствие, затухание.



Рис. 6.7. Резервирование антенных устройств приемника для поиска наилучшего пути распространения сигнала

Явление многолучевого прохождения существенно зависит от длины участка приемо-передачи. Так, например, при проектировании РРЛ с большими участками приемо-передачи обычно используют частотный диапазон ниже 15 ГГц, в то время как для более высокого диапазона обычно проектируют участки передачи-приема малой длины. Таким образом, уменьшается влияние многолучевого прохождения сигнала и линейного затухания, связанного с изменением погодных условий.

7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЦИФРОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ PDH

7.1. Структура первичной сети, построенной на основе PDH. Общие тенденции в измерительных технологиях PDH

Первичная цифровая сеть на основе PDH/SDH состоит из узлов мультиплексирования (мультиплексоров), выполняющих роль преобразователей между каналами различных уровней иерархии, каналов стандартной пропускной способности (табл. 7.1, 7.2), регенераторов, восстанавливающих цифровой поток на протяженных трактах, и цифровых кроссов, которые осуществляют коммутацию каналов первичной сети.

В соответствии с рекомендациями ITU-T G.703 и G.707 первичная сеть на основе PDH и SDH создает типовые каналы и тракты, описанные в табл. 7.1. и 7.2 соответственно.

Таблица 7.1.
Скорости передачи передачи системы PDH

Уровень PDH	Скорость передачи, кбит/с
E1	2 048
E2	8 448
E3	34 368
E4	139 264

Таблица 7.2.
Скорости системы SDH

Уровень SDH	Скорость передачи, Мбит/с
STM-1	155.520
STM-4	622.080
STM-8	1 244.160
STM-12	1 866.240
STM-16	2 487.320

Основным отличием системы SDH от системы PDH является переход на новый принцип мультиплексирования. Система

PDH использует принцип асинхронного мультиплексирования, согласно которому для мультиплексирования, например, четырех потоков E1 (2048 кбит/с) в один поток E2 (8448 кбит/с) производится процедура выравнивания тактовых частот входящих сигналов *методом стаффинга*. В результате при демultipлексировании необходимо производить пошаговый процесс восстановления исходных каналов. Например, во вторичных сетях цифровой телефонии наибольшее распространение имеет использование потока E1. При передаче этого потока по сети PDH в тракте E3 необходимо сначала провести пошаговое мультиплексирование E1-E2-E3, а затем – пошаговое демultipлексирование E3-E2-E1 в каждом пункте выделения канала E1.

В системе SDH производится синхронное мультиплексирование/ демultipлексирование, которое позволяет организовывать непосредственный доступ к каналам PDH, которые передаются в сети SDH. Это довольно важное и простое нововведение в технологии привело к тому, что в целом технология мультиплексирования в сети SDH намного сложнее, чем технология в сети PDH, усилились требования по синхронизации и параметрам качества среды передачи и системы передачи, а также увеличилось количество параметров, существенных для работы сети. Как следствие, измерительная технология SDH намного сложнее измерительной технологии PDH.

Следует также отметить, что SDH дает возможность прямого доступа к каналу 2048 кбит/с за счет процедуры ввода/вывода потока E1 из трактов всех уровней иерархии SDH. Канал E1 является основным, используемым в системах цифровой телефонии и ISDN, вследствие чего операторы сетей SDH практически не заинтересованы в проведении измерений на всех уровнях иерархии PDH.

7.2. Измерительные технологии PDH. Анализ потока E1

Особенности измерений E1. Поток E1 – первичный канал иерархии PDH – основной, используемый во вторичных сетях телефонии, передачи данных и ISDN. По сравнению с остальными

каналами иерархии PDH этот канал имеет несколько особенностей, связанных с его использованием, а именно сверхцикловую структуру и канал сигнализации, используемый во вторичных сетях цифровой телефонии и ISDN.

Все измерения потока E1 делятся на два больших класса: измерения компонентов системы передачи и эксплуатационные измерения, относящиеся к сети в целом. Система передачи E1 состоит из нескольких сетевых элементов. Для целей эксплуатации наибольшее значение из всех представляют мультиплексоры и регенераторы. Работа коммутаторов обычно при эксплуатации систем E1 не анализируется. Таким образом, измерения, связанные с анализом компонентов цифровой системы передачи, включают две группы измерений: анализ работы мультиплексоров и анализ работы регенераторов. Обе группы представляют собой функциональные измерения, которые проводятся с отключением устройства сети, поэтому условно их можно отнести к преднастояционным измерениям.



Рис. 7.1. Общая концепция организации измерений систем передачи E1

Описание структуры потока E1, которая в отечественных источниках получила название ИКМ-30, а также требований и параметров для измерений, изложено в следующих международных стандартах МСЭ:

- МСЭ G.703 Физические/электрические характеристики интерфейсов;
- МСЭ G.704 Структура синхронных циклов;

- МСЭ G.706 Цикловая структура (FAS) и контрольная сумма (CRC);
- МСЭ G.821 Параметры на ошибки в международных каналах связи;
- МСЭ M.550/M.2100 Сервисные нормы на международные каналы связи.

Основные группы измерений (физического, канального и сетевого уровня модели OSI) потока E1 представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3.

Основные группы измерений потока E1

Уровень	Измерения
Физический	1. Измерения параметров интерфейса МСЭ G.703 (импеданс, напряжение и т. д.) 2. Измерение соответствия формы сигнала требованиям МСЭ G.703 3. Определение типа линейного кодирования и измерения правильности линейного кодирования (кодовые ошибки) 4. Измерения частоты сигнала и ее вариаций (джиттера и вандера)
Канальный	4. Измерения параметров ошибки согласно МСЭ G.821 5. Анализ цикловой и сверхцикловой структуры E1 6. Анализ контрольных сумм (CRC-4) 7. Измерения параметров синхронизации, анализ "проскальзываний" согласно МСЭ G.826 8 Эксплуатационный анализ согласно МСЭ M.2100
Сетевой	9. Анализ по битам E

Измерения физического уровня E1 обеспечивают полный анализ физического интерфейса первичного канала E1 согласно рекомендации МСЭ G.703. Эта рекомендация определяет весь комплекс параметров физического уровня каналов PDH, включая:

- скорость и частоту передачи данных;
- тип и алгоритм линейного кодирования;
- допустимую форму цифрового сигнала;
- тип используемой кабельной пары, нагрузочный импеданс;

- параметры цифрового импульса (номинальное пиковое напряжение импульса и в отсутствии импульса, ширина импульса, отношение амплитуд положительного и отрицательного импульса, отношение по ширине положительного и отрицательного импульса);
- допустимый уровень фазового дрожания сигнала (джиттер и вандер).

Все перечисленные параметры должны измеряться на всех этапах развития сети: развертывание, отладка, эксплуатация и модернизация.

Значение измерений физического уровня для измерений на первичной сети очень велико. Технология PDH довольно совершенная, поэтому современное линейное оборудование обычно не дает сбоев кодовых ошибок или нарушений цикловой структуры E1. В то же время нарушения работы физического уровня наиболее часты, поскольку связаны с числом эксплуатационными причинами (плохое качество соединений, нарушения в кабельной системе, использование неподходящих кабелей, неправильное проектирование систем синхронизации и т. д.).

Кроме того, измерения физического уровня E1 обеспечивают косвенную оценку с одной стороны качества кабельных линий без проведения полного анализа кабельного хозяйства, с другой стороны – качества работы системы синхронизации (частотные измерения) и цифровой первичной сети в целом (измерения джиггера). Так, например, нет необходимости исследовать параметр ошибки, если форма импульса показывает высокую реактивную составляющую в канале. Вероятнее всего это связано с повреждениями в кабеле, а параметр ошибки (BER) в этом случае может быть далеко не в норме. С другой стороны, рассинхронизация по частоте приемника и передатчика дадут постоянные проскальзывания и последовательности ошибок, выяснить причину которых невозможно без проведения частотных измерений.

Общие измерения по G.821 (анализ по параметрам ошибки):

- параметры наличия сигнала, готовности канала и его неготовности;
- число и частота возникновения битовых и кодовых ошибок;
- число и частота возникновения блоковых ошибок и оши-

бок CRC;

- число нарушений цикловой и сверхцикловой структуры;
- процент секунд, пораженных ошибками, секунд, несколько раз пораженных ошибками и минут деградации качества связи.

Общие измерения по G.826 (анализ по параметрам синхронизации):

- частота принимаемого сигнала, максимальная и минимальная частоты;
- уровень битовых проскальзываний, частота битовых проскальзываний;
- уровень фазового дрожания сигнала, джиггера (частоты или периода фазового дрожания с частотой выше 10 Гл и вандера (частоты или периода низкочастотного фазового дрожания ниже 10 Гц);
- число секунд потери синхронизации и процент секунд потери синхронизации.

Измерения по M.2100/550 (эксплуатационные параметры канала):

- параметры наличия сигнала, готовности канала и его неготовности;
- процент секунд, пораженных ошибками, секунд, несколько раз пораженных ошибками, и минут деградации качества связи.

Неструктурированный поток E1 используется в сетях передачи данных и не имеет цикловой структуры, т. е. разделения на каналы (обычно это мультиплексирование каналов ОЦК – 64 кбит/с). Измерения неструктурированного потока не требуют анализа цикловой структуры. Как правило, в этом случае анализ потока E1 сводится к измерениям физического уровня и оценке параметра ошибки (BER).

Поток E1 с цикловой структурой имеет разделение на 32 канала ОЦК по 64 кбит/с в форме разделения на каналные интервалы (Time Slot – TS) от 0 до 31. При этом нулевой каналный интервал отводится под передачу сигнала цикловой синхронизации FAS (Frame Alignment Signal). В отечественной терминологии этот вариант цикловой структуры получил название ИКМ-31. Он используется в ряде систем передачи данных, а также в некоторых приложениях ISDN и B-ISDN.

Измерения канального уровня Е1 проводятся для определения соответствия измеряемого канала Е1 нормам рекомендаций МСЭ G.821, G.826 и M.2100. Эти нормы определяют спецификацию измерений и перечень измеряемых параметров, приводимый ниже (в скобках указаны сокращения и аббревиатуры, часто встречаемые в меню приборов для описания параметра). Группа измерений, относящихся к анализу параметров канального уровня систем передачи Е1 является наиболее важной при эксплуатации последних. Канальный уровень является наиболее важным для систем передачи и вообще первичной сети. Именно поэтому к этой группе измерений относится большая часть стандартов, определяющих нормы каналов первичной сети.

К группе измерений канального уровня можно отнести следующие группы измерений:

- измерения параметров битовых ошибок;
- измерения блоковых ошибок;
- измерения кодовых ошибок;
- анализ цикловой и сверхцикловой структуры.

Помимо анализа цикловой структуры для измерений канального уровня важен анализ эффективности использования контрольной последовательности (CRC-4).

Сумма контрольной последовательности CRC-4 в составе сверхцикла часто используется при передаче потока Е1 для идентификации возможных ошибок. CRC-4 позволяет определить ошибки передачи Е1 в процессе сервисного мониторинга при работающем канале.

Принцип CRC-4 базируется на простом математическом расчете, производимом в каждом сверхцикле данных. Оборудование передачи Е1 производит расчет суммы CRC-4 и включает результаты суммы в сигнал следующего сверхцикла. Оборудование приемника принимает сигнал и производит аналогичный расчет и сравнение полученной суммы и переданной в следующем сверхцикле. Если в двух полученных суммах имеется расхождение, генерируется сигнал ошибки CRC-4. В настоящее время в линейное оборудование и системы самодиагностики цифровых каналов ИКМ встраивается функция анализа по CRC-4. В этом случае часто возникает вопрос о целесообразности проведения анализа

по BER, если система и так анализирует параметр ошибки по CRC-4. Отвечая на этот вопрос, необходимо учесть два основных принципа использования CRC-4. Во-первых, каждая ошибка CRC-4 не обязательно связана с ошибкой *одного* бита информации. Несколько битовых ошибок в одном сверхцикле дадут только одну ошибку CRC-4 для блока. Во-вторых, несколько битовых ошибок могут компенсировать друг друга в смысле значения суммы CRC-4. CRC-4 является удобным методом контроля ошибок в процессе сервисного мониторинга при работающем канале, когда практически невозможно измерить реальные параметры ошибок по битам, поскольку невозможно добиться синхронизации тестовой последовательности. Тем не менее в режиме с отключением канала необходимо проводить измерения ошибок по битам, поскольку результаты таких измерений более точны.

CRC-4 использует сверхцикловую структуру 16 циклов, как показано на рис. 7.3. Однако сверхцикл CRC-4 не обязательно связан со сверхциклом MFAS. Каждый сверхцикл может быть разбит на 2 подцикла (SMF).

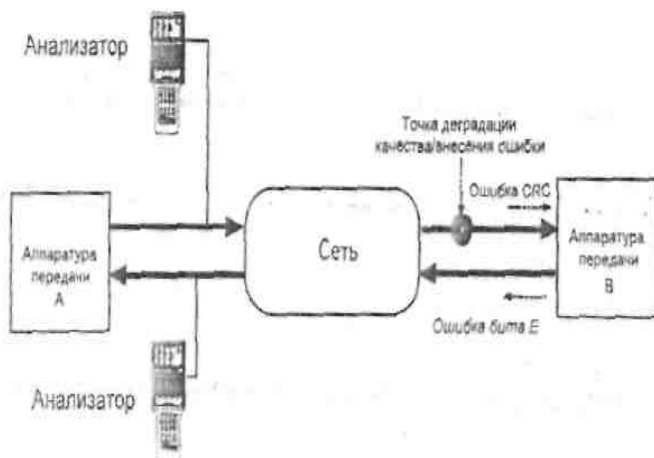


Рис. 7.3. Анализ корректной работы процедуры обмена E-битами в сети

Когда оборудование работает с использованием алгоритма CRC-4, возникает процедура взаимной передачи Е-битов. В настоящий момент существует возможность анализа работы этой процедуры. Оборудование генерирует бит Е, когда оно получает информацию об ошибке CRC-4. Процедура является довольно новой в практике передачи Е1, поэтому не исключается вероятность ее некорректной работы. Для проверки работы процедуры обмена Е-битами в режиме сервисного мониторинга без отключения канала используется схема, показанная на рис. 7.4.

Существует три основных схемы подключения анализаторов к цифровому каналу: с отключением канала, высокоомное подключение без отключения канала и режим "через себя" (THRU).

Схема подключения прибора в режиме с отключением канала представлена на рис. 7.5 (стрелками на рисунке показаны передача и прием цифрового потока Е1). Согласно схеме анализатор цифрового потока имитирует оконечное линейное оборудование передачи/приема. Такая схема используется для проведения всей спецификации измерений физического и канального уровня. Схема актуальна на этапе развертывания сети.

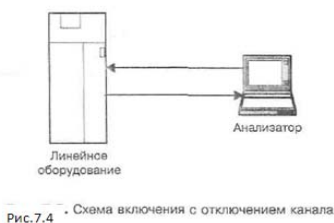


Схема использования прибора в *режиме высокоомного подключения* представлена на рис. 7.6. В этом случае анализатор цифрового потока подключается высокоомно к цифровому каналу без нарушения цифрового обмена. Такая схема обеспечивает полный анализ обмена, однако не позволяет вносить изменения в исследуемый канал, что важно для проведения стрессового тестирования. Схема обычно используется на этапе эксплуатации сети.

Схема подключения прибора в *режиме "через себя"* (*режим THRU*) представлена на рис. 7.7. В этом случае анализатор цифрового потока подключается к цифровому каналу так, что цифровой поток проходит через анализатор. При этом весь цифровой поток передается с порта приема анализатора на порт передачи. Для такой схемы включения необходимо две пары портов передачи-приема на анализаторе, что реализовано не во всех приборах этого класса. Такая схема обеспечивает полный анализ обмена и позволяет вносить изменения в исследуемый канал для проведения стрессового тестирования. Схема обычно используется на этапе развертывания, эксплуатации сети и в случае проведения аварийных измерений.

Непосредственные измерения потока E1 включают в себя измерения:

- мультимплексорного оборудования ИКМ-30;
- каналов цифровых систем передачи;
- эксплуатационного мониторинга сети.

PPC, работающие в магистральных и внутризональных системах передачи должны обеспечивать непрерывный круглосуточный режим функционирования.

PPC ведомственных сетей могут использоваться в режиме периодической работы, если это допускается требованиями потребителя.

PPC может работать в следующих режимах:

- прием и передача сигналов телефонии;
- прием и передача данных.

В зависимости от скорости передачи данных в стволе аппаратура цифровых PPC разделяется на следующие виды:

- высокоскоростная (более 100 Мбит/с в одном радиостволе);

- среднескоростная (от 10 Мбит/с до 100 Мбит/с в одном радиостволе);

- низкоскоростная (не более 10 Мбит/с в одном радиостволе).

В соответствии с плезиохронной цифровой иерархией (PDH) в радиорелейной системе могут образовываться первичный, вторичный, третичный и четверичный цифровой линейный тракт.

В соответствии с синхронной цифровой иерархией (SDH) в радиорелейной системе могут образовываться цифровые линейные тракты субпервичного (SUB STM-1), первичного (STM-1) и более высоких уровней.

Требования к параметрам приемника

Избирательность приемника по зеркальному каналу должна быть:

- для РРС работающих в диапазоне частот до 3 ГГц – не менее 75 дБ;

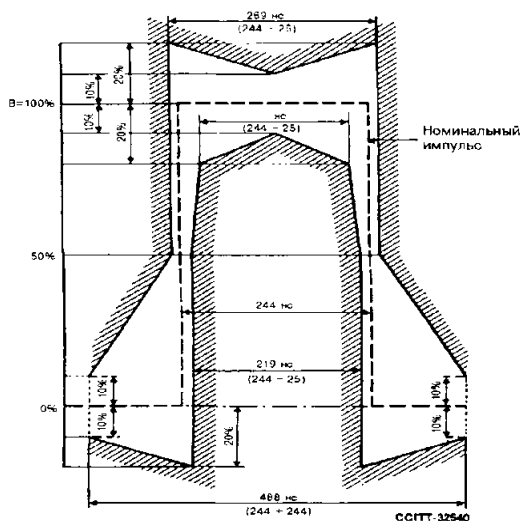
- для РРС работающих в диапазоне частот от 3 до 6 ГГц – не менее 120 дБ;

- для РРС работающих в диапазоне частот от 6 до 8 ГГц – не менее 100 дБ;

- для РРС работающих в диапазоне частот свыше 8 ГГц – не менее 90 дБ.

Цифровой сигнал, поступающий на входной порт, должен соответствовать приведенным выше требованиям с учетом изменений параметров, обусловленных характеристиками соединительных пар. Предполагается, что затухание этой пары должно соответствовать закону $\sqrt{f}$, а затухание на частоте 1024 кГц должно находиться в пределах 0–6 дБ. Это затухание должно учитывать любые затухания, связанные с наличием цифрового устройства переключения между комплектами аппаратуры.

Форма сигнала должна соответствовать маске на рис. 7.8 независимо от знака



Примечание. "В" соответствует номинальному максимальному значению.

Рис. 7.7. Маска импульса на стыке 2048 кбит/с

Стык на 8448 кбит/с

Скорость передачи: $8448 \text{ кбит/с} \pm 30 \times 10^{-6}$.

Код: биполярный код высокой плотности третьего порядка (HDB3).

Параметры на входных портах:

цифровой сигнал, поступающий на входной порт, должен соответствовать приведенным выше требованиям с учетом изменений параметров, обусловленных характеристиками соединительных пар. Предполагается, что затухание этой пары должно соответствовать закону $\sqrt{f}$, а затухание на частоте 4224 кГц должно находиться в пределах 0–6 дБ. Это затухание должно учитывать любые затухания, связанные с наличием цифрового устройства переключения между комплектами аппаратуры.

Внешний проводник коаксиальной пары должен заземляться на выходном порту; в случае необходимости, должна быть предусмотрена возможность заземления внешнего проводника коаксиальной пары на входном порту.

Измерения каналов цифровых систем передачи. Анализ мультиплексоров дает необходимую информацию о работе узлов цифровых систем передачи.

Наиболее простым способом измерений является измерение по схеме "точка-точка". Для измерения необходимы два анализатора потока E1, включенные по схеме с отключением канала, один в качестве генератора тестовой последовательности, другой – анализатора параметров цифрового канала.

Согласно схеме для измерений устанавливается шлейф через цифровую первичную сеть. Анализатор при этом является одновременно генератором потока E1. Недостатком такой схемы является необходимость использования двух цифровых каналов связи для проведения измерений вместо одного. Кроме того, результаты измерений зависят от параметров обоих измеряемых каналов, что затрудняет локализацию участков деградации качества.

Измерения каналов цифровых систем передачи являются необходимой частью проведения настроечных и приемосдаточных работ по созданию участков первичной цифровой сети.

7.3. Измерительные технологии PDH. Анализ потоков E2, E3 и E4

Отличительные особенности тестирования потоков E2, E3 и E4. Основным отличием измерительных технологий анализа каналов PDH иерархии выше E1 от измерительных решений анализа E1 является более узкая спецификация измерений, связанная с тем, что потоки E2, E3 и E4 не имеют сверхцикловой структуры. Кроме того, мультиплексорное оборудование PDH уровней E2, E3 и E4 не выполняет функции аналого-цифрового преобразования, что также уменьшает общую спецификацию тестов.

Измерительная технология потоков E2, E3 и E4 включает в себя измерения:

- мультиплексорного оборудования;
- каналов цифровых систем передачи;
- эксплуатационного мониторинга сети.

Измерения мультиплексорного оборудования. Мультиплексорное оборудование PDH высших иерархий значительно отличается от мультиплексоров ИКМ-30. Мультиплексоры PDH используются в двух режимах:

- для организации переходов между различными уровнями иерархии PDH (мультиплексирование нескольких потоков E_N ($N=1, 2, 3$) в один E_{N+1});
- в качестве регенераторов потока E_N ($N=1,2,3$ или 4), т. е. без перехода на следующий уровень иерархии PDH.

На схеме показано, что мультиплексор выполняет преобразование потока PDH-1 в поток PDH-2. В этом случае, если PDH-1 > PDH-2, то это процесс мультиплексирования, если PDH-1 < PDH-2, то это процесс демультиплексирования, если PDH-1 = PDH-2, это соответствует процессу регенерации.

Обычно параметрами воздействия являются:

- внесение битовой и цикловой ошибки;
- имитация низкого качества канала (высокий процент ошибок во входящем сигнале);
- имитация нарушений в цикловой структуре входящего сигнала;
- внесение сдвига по частоте входящего сигнала (для реализации таких измерений анализатор обычно синхронизируется от мультиплексора для внесения определенного сдвига по частоте);
- внесение джиттера;
- внесение ослабления цифрового сигнала по уровню.

Измерения каналов цифровых систем передачи обычно выполняют на последних этапах развертывания участков цифровой первичной сети и при проведении приемосдаточных работ. Как и в случае измерений потока $E1$ эти схемы также могут быть успешно использованы при проведении аварийных работ по поиску участков деградации качества.

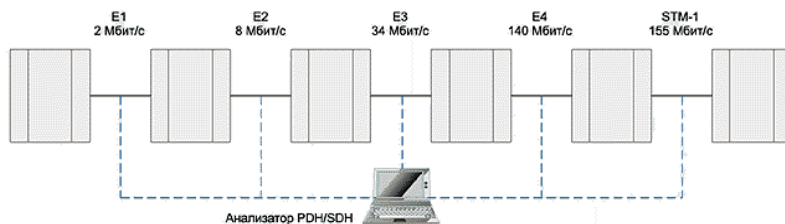


Рис. 7.8. Схема организации мониторинга цифровой первичной сети PDH/SDH

Измерения на этапе эксплуатационного мониторинга цифровой первичной сети выполняются на особо важных участках работы сети (точки сопряжения между оборудованием разных производителей, крупные узлы и т. д.). При этом анализаторы включают высокоомно без отключения канала.

8. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЦИФРОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ PDH/SDH

8.1. Измерительные технологии SDH

Необходимость измерений на сети SDH. Технология SDH намного сложнее технологии плезиохронной цифровой передачи, что требует от обслуживающего персонала глубокого знания всех механизмов работы SDH. На практике изучить эти механизмы и их взаимовлияние без использования тестового оборудования невозможно.

Только использование "внешнего" тестирования системы SDH дает возможность контроля таких важных параметров взаимодействия сетей SDH-PDH, как уровень фазового дрожания сигнала (джиттер), связанный, как правило, с погрешностями в сети синхронизации.

Таким образом, тестирование сетей SDH внешними анализаторами является актуальной задачей на этапе их создания, пуска и эксплуатации. По перечисленным выше причинам в настоящий момент это единственный способ достижения высокой эффективности работы сетей SDH.

Наиболее важными участками измерений являются:

- точки сопряжения сетей SDH разных производителей;
- точки сопряжения сетей SDH разных операторов;
- точки сопряжения сетей SDH с сетями PDH;
- участки соединения "островов" SDH через сеть PDH (для России типичная задача).

Для анализа сети SDH характерно несколько уровней:

- измерения мультиплексорного оборудования;
- измерения каналов цифровых систем передачи;
- эксплуатационный мониторинг параметров работы сети.

Измерения мультиплексорного оборудования. Основным элементом сети SDH является мультиплексор ввода/вывода (MBB – Add-Drop Multiplexor ADM) выполняющий следующие основные функции:

- создание виртуальных контейнеров с нагрузкой PDH, включая представление в виде карт (mapping), битовый стафф-

финг, создание заголовка.

- восстановление нагрузки PDH из виртуального контейнера, включая удаление заголовка, удаление стаффинговых битов и компенсацию полученного джиттера.

- мультиплексирование/демультиплексирование потоков STM-M в поток STM-N ($N > M$), компенсация возможной рассинхронизации приходящих потоков за счет использования указателей (pointers).

Эти три основных функции определяют три схемы подключения анализатора к мультиплексору и три основные группы тестов мультиплексоров SDH (рис.8.1 а, б, в).

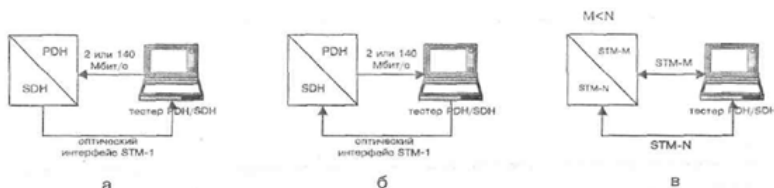


Рис.8.1. Схемы организации измерений мультиплексоров SDH

Анализ процессов создания виртуальных контейнеров (рис. 8.1, а) позволяет определить ряд параметров работы MBV (вносимый джиттер, вносимый BER). Кроме того, внося джиттер, можно определить уровень компенсации вносимого джиттера MBV. Последний должен выполнять процедуру компенсации нестабильности частоты передаваемого сигнала (в соответствии с нормами на нестабильность частоты в PDH). Внося нестабильность передаваемой частоты, можно определить влияние этого параметра на BER и джиттер. Анализ процессов восстановления нагрузки PDH (рис. 8.1, б) является особенно важным, поскольку именно на этом участке возникает джиттер, существенно влияющий на параметры качества цифровых каналов связи (например, на BER). В простейших тестах анализатор производит измерение полученных на выходе MBV джиттера и BER. Внося в канал SDH ошибку, можно проанализировать работу системы контроля SDH и индикацию MBV при получении ошибки передачи. Внося джиттер, можно определить уровень компенсации вносимого джиттера мультип-

лексором. Существенным тестом является имитация процессов рассинхронизации в сети. Для этого вносятся дополнительные указатели (pointers) и измеряется джиттер и BER на выходе MBV. Этот тест определяет эффективность механизма компенсации джиттера при смещении указателей (pointers movement). Анализ процессов синхронного мультиплексирования/ демultipлексирования потоков STM-N (рис. 8.1, в) в простейшем случае связан с измерением вносимых на этом участке BER и джиттера. Однако и здесь существует ряд специфических тестов. Для измерения устойчивости работы мультиплексора к вносимому сетью SDH джиттеру (мультиплексор должен его компенсировать) производится внесение джиттера и измерение уровня его компенсации его на выходе MBV. Внося ошибку в передаваемый сигнал, можно проанализировать работу системы контроля SDH и индикацию MBV при получении ошибки передачи. Существенным является комплексный тест, имитирующий рассинхронизацию приходящих потоков. Для этого анализатор синхронизируется от MBV и производится имитация рассинхронизации путем внесения нестабильности частоты приходящего сигнала. В этом случае измеряется уровень смещения указателей (pointers movement), определяющий эффективность компенсации рассинхронизации.

Анализ каналов SDH. После тестирования мультиплексоров, как правило, производится тестирование сети SDH в целом:

- мониторинг и сбор статистики на участках сети и сопоставление ее со статистикой, полученной системой контроля;
- исследование различных механизмов работы сети, в первую очередь компенсации джиттера при прохождении нескольких мультиплексоров.

Особенности измерений джиттера в сетях SDH. Описание технологий измерений на сетях SDH будет неполным, если мы отдельно не рассмотрим вопрос измерения джиттера в системах SDH. В системах PDH джиттер возникает при некорректной работе аппаратуры передачи (например, дрожание частоты задающего генератора) или вследствие особенностей среды распространения сигнала, т. е. имеет физическую природу. В системах SDH джиттер имеет алгоритмическое происхождение. Поскольку этот процесс приводит к временному смещению на-

грузки на один байт, то применительно к джиттеру это означает его всплеск на 8 UI (UI — единичный интервал или время, необходимое для передачи одного бита информации). Таким образом, в системах PDH джиттер является постоянным по амплитуде, а в системах SDH — импульсным. По этой причине измерение джиттера в системах SDH — наиболее важно. Импульсный джиттер возникает в практике телекоммуникаций только при переходе к технологии SDH, т. е. является принципиально новым параметром измерений. Для измерения джиттера на сетях PDH можно использовать методику измерений с накоплением данных и анализом среднего значения параметра. Такая методика измерения джиттера в системах SDH неприменима, поскольку характерный для этих систем всплеск джиттера оказывается нефиксируемым. Итак, при выборе измерительного оборудования необходимо четко представлять, какой тип джиттера будет измеряться — импульсный или постоянный. Именно этот принципиальный момент обычно упускают, когда рассматривают технику измерений для SDH.



Рис. 8.2. Контроль компенсации рассинхронизации в сети

На рынке существуют несколько моделей универсальных анализаторов, способных проводить измерения в сетях PDH и SDH.

8.2. Измерение джиттера в цифровых системах

Измерение джиттера в цифровых системах. Джиттер (англ. jitter – дрожание) – нежелательные фазовые и/или частотные случайные отклонения передаваемого сигнала. Возникают вследствие нестабильности задающего генератора, изменений параметров линии передачи во времени и различной скорости распространения частотных составляющих одного и того же сигнала.

Джиттер является одной из основных проблем при проектировании устройств цифровой электроники, в частности, цифровых интерфейсов. Недостаточно аккуратный расчет джиттера может привести к его накоплению при прохождении цифрового сигнала по тракту и, в конечном счёте, к неработоспособности устройства.

При цифровой записи звука джиттер вносит в сигнал искажения. Однако вносимые цифровым джиттером искажения существенно заметнее искажений звука, вносимых детонацией. Видимо, это связано с большей «мягкостью» и «плавностью» детонационных искажений (можно сказать, «аналогового джиттера»), обусловленных эластичностью магнитной ленты и инерционностью механических элементов лентопротяжных механизмов.

В телекоммуникациях под джиттером часто понимается разброс максимального и минимального времени прохождения пакета от среднего. К примеру, посылается 100 пакетов минимальное время прохождения пакета – 395 мс, среднее – 400 мс, максимальное – 405 мс, в этом случае джиттер можно считать маленьким. Если же посылается 100 пакетов минимальное время прохождения пакета – 1 мс, среднее – 50 мс, максимальное – 100 мс, в этом случае джиттер – большой. Например, VoIP очень чувствителен к джиттеру.

Джиттером хронирования, или просто джиттером (jitter), называют паразитную фазовую модуляцию сигнала тактовой частоты. Можно также сказать, что джиттер представляет собой отклонение моментов стробирования сигнала от их идеальных положений.

Слишком большой джиттер иногда вызывает дополнительные ошибки цифрового сигнала или даже нарушает его синхронизацию. Возможными причинами являются:

- паразитная фазовая модуляция в генераторах тактовой частоты;
- воздействие шумов и помех на цепь синхронизации в приемнике;
- изменение длины тракта передачи;
- изменение скорости распространения;
- доплеровское смещение от движущихся объектов;
- нерегулярное поступление хронизирующей информации и т. д.

Случайный джиттер RJ имеет гауссову функцию плотности вероятности PDF и характеризуется двумя параметрами: средним значением и среднеквадратичным отклонением.

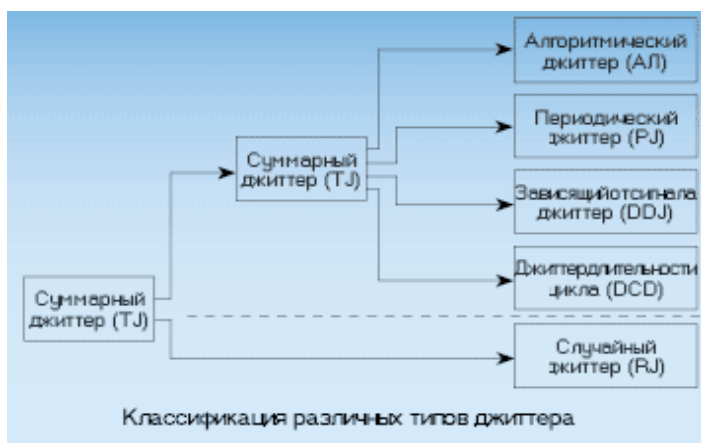


Рис.8.3. Классификация джиттера

Систематический джиттер DJ имеет отличающуюся от гауссовой функцию распределения плотности вероятности и ограниченную амплитуду и включает в себя целый ряд джиттеров:

- периодический (Periodic Jitter, PJ), иногда называемый синусоидальным SJ;

- зависящий от информационного сигнала (данных) (Data Depending Jitter, DDJ);
- длительности цикла (Duty Cycle Distortion, DCD);
- алгоритмический (Algorithmic Jitter, AJ).

Главными причинами периодического джиттера PJ являются помехи от местных радиостанций или от переключений в высокоточных сетях. Он возникает также вследствие нестабильной работы систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Периодический джиттер может быть разложен в ряд Фурье и представлен в виде набора синусоид, поэтому иногда его называют синусоидальным. По определению, периодический джиттер не имеет корреляции с любым периодически повторяющимся сигналом данных. Этим он отличается от джиттера DDJ, который рассмотрим ниже. Джиттер, зависящий от информационного сигнала DDJ, возникает вследствие межсимвольной интерференции (Intersymbol Interference, ISI) соседних импульсов. Характеристика этих искажений, а, следовательно, и соответствующего джиттера будет зависеть от конкретного вида цифровой последовательности.

Джиттер характеризуется амплитудой и частотой. Флуктуации фазы с частотой выше 10 Гц называют джиттером, а флуктуации с частотой до 10 Гц включительно – вандером. В отечественной технической литературе джиттеру соответствует термин «фазовое дрожание», а вандеру – «дрейф фазы» тактовой частоты.

Измерение вандера производится в абсолютных единицах времени и требует прецизионного источника тактовой частоты, при этом оно длится довольно долго. Основная характеристика вандера – ошибка временного интервала (Time Interval Error, TIE) – представляет собой отклонение (девиацию) тактовой частоты от частоты эталонного источника. TIE формирует базу для расчета двух других параметров вандера: максимально допустимой ошибки временного интервала (Maximum Tolerable Interval Error, MTIE) и девиации времени (Time Deviation, TDEV), первый из которых является критерием оценки долгосрочной, а второй – кратковременной стабильности синхросигнала. При недоступности эталонного источника тактовой

частоты для оценки вандера применяется относительный параметр (Maximum Relative Time Interval Error, MRTIE). В этом случае на параметр МТІЕ накладывается неизбежное смещение частоты. Поэтому при измерении MRTIE из результата измерения МТІЕ вычитается соответствующее смещение частоты.

Джиттер – один из параметров оценки качества передачи цифрового сигнала. Качество передачи цифровой информации оценивают с помощью джиттера (Jitter). Джиттер – это дрожание или быстрые колебания фазы цифрового сигнала. Другими словами, джиттер – это паразитная фазовая модуляция формы цифровых импульсов. Цифровые схемы работают стабильно, пока колебания фазы не достигнут значительной величины по сравнению с общей длительностью импульсов. Джиттер приводит к нестабильному срабатыванию компараторов АЦП или ключей ЦАП, что приводит к ошибкам преобразования сигнала. В первом приближении можно считать, что джиттер порождает дополнительный шум и паразитные частотные составляющие, искажая исходный сигнал, особенно в высокочастотной области. Визуальное представление о величине джиттера дает рис. 8.4.

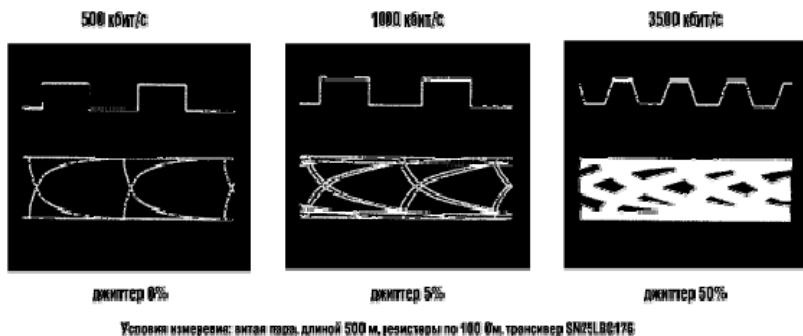


Рис.8.4. Джиттер при разных скоростях обмена для витой пары длиной 500 м

На рис. 8.5. приведена формула для расчета джиттера. Интервальной единицей называется промежуток времени, обратно пропорциональный частоте передачи данных.

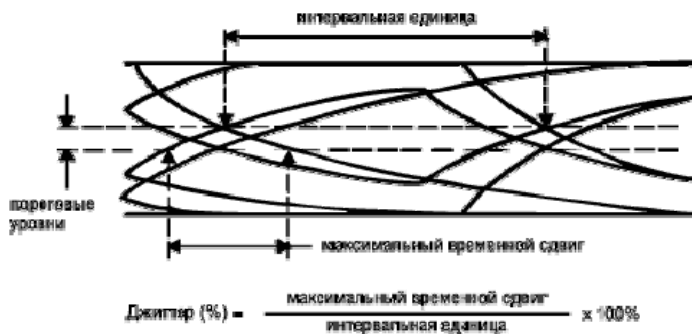


Рис.8.5. Джиттер (Jitter) и его измерение

Максимальный временной сдвиг или амплитуда джиттера – это максимальное значение смещения по времени (обычно измеряется в наносекундах или пикосекундах). Большое значение джиттера может привести к потере битов и сбою в работе устройства, если ничего не принято для коррекции и устранения ошибок.

8.3. Глазковые диаграммы (ГД)

Для анализа параметров цифровых сигналов используются глазковые диаграммы, как при проведении лабораторных измерений (системное оборудование), так и эксплуатационных. Глазковые диаграммы являются модификацией осциллограмм, с той разницей, что используют периодическую структуру цифровых сигналов. Для построения двухуровневой глазковой диаграммы (рис. 8.6), цифровой битовый поток подается на осциллограф, а синхронизация внешней развертки производится от битового потока с частотой f_b . при построении многоуровневых диаграмм сигнал должен проходить, через многоуровневый конвертер, а синхронизация производится от символьного потока с частотой f_s . Для калибровки глазковой диаграммы сигнал часто подают в обход фильтра, ограничивающего диапазон сигнала.

В этом случае возникает диаграмма в виде прямоугольника, показана на рис. 8.7 слева. Фильтр, ограничивающий полосу передаваемого сигнала, вносит существенные изменения в фор-

му импульса, в результате чего возникает диаграмма в виде «стандартного глаза» (рис. 8.7. справа «бинарный глаз»), глазковые диаграммы используют периодическую структуру цифровых сигналов.

В результате проведения измерений с накоплением получается глазковые диаграммы, на которую по оси Y откладывается амплитуда сигналов по уровням (рис. 8.6).



Рис. 8.6. Структурная схема измерения глазковой диаграммы

Исследование глазковых диаграмм позволяет провести детальный анализ цифровых сигналов по параметрам непосредственно связанным с формой волнового фронта: параметру межсимвольной интерференции (ISI), джиттеру (дрожанию) передачи данных и джиттеру по синхронизации.

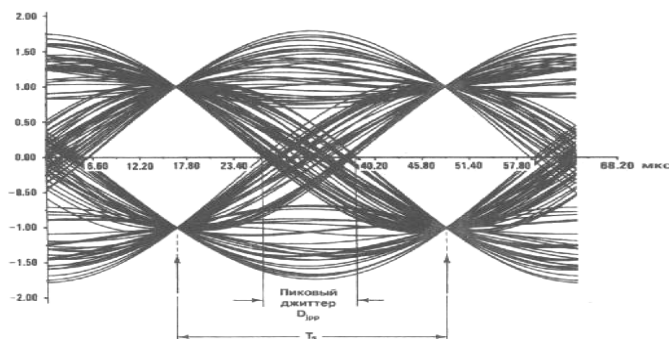


Рис. 8.7. Глазковая диаграмма цифрового сигнала, проходящего через фильтр с коэффициентом ограничения спектра $\alpha=0,3$ (компьютерная иммитация)

Пример глазковой диаграммы представлен на рис. 8.7. Трасса двухуровневого сигнала на глазковые диаграммы в точках времени, соответствующим точкам отсчета, проходит точно через нормированные значения -1 , $+1$. Следовательно ISI (межсимвольная интерференция) на рисунке отсутствует. В то же время различные трассы пересекаются с временной осью в разные временные промежутки.

9. ИЗМЕРЕНИЯ НА СЕТЯХ ISDN

9.1. Развитие технологии ISDN

Следующим после IDN шагом в развитии цифровых сетей связи был переход к технологии ISDN. Почву для этого перехода подготовили, с одной стороны развитие технологии IDN, создавшее условия для передачи в сети цифрового потока без аналого-цифровых преобразований и, с другой стороны, рост популярности передачи данных, потребовавший от операторов телефонной связи расширения номенклатуры услуг своих сетей. Так появилась идея использовать существующие каналы телефонной связи (а именно витую пару) для передачи цифровой информации, т. е. для доведения цифрового потока до пользователя.

Казалось бы, простой шаг в развитии сетей – переход к ISDN – значительно усложнил структуру сети, и в первую очередь – абонентской части. Кроме того, появилась необходимость развития протоколов абонентской и межстанционной сигнализации для передачи сигнальных сообщений о новых цифровых услугах связи, реализованных в ISDN.

Все это сделало технологию ISDN довольно сложной, и требующей особенной тщательности при развертывании и обслуживании. Роль измерительной техники при переходе к технологии ISDN значительно возросла, а сами измерительные технологии стали более комплексными и менее отработанными.

9.2. Структура базового доступа 2B+D

Структура сети ISDN включает в себя структуру базового доступа BRI (2B+D) и первичного доступа PRI (30B+D), рис. 9.1. Базовый доступ (Basic Rate Interface – BRI) предусматривает предоставление пользователю двух каналов по 64 кбит/с (B-каналов) и одного канала D 16 кбит/с для передачи сигнализации. Первичный доступ (Primary Rate Interface – PRI) предусматривает предоставление пользователю 30 каналов 64 кбит/с и канала сигнализации D 64 кбит/с.

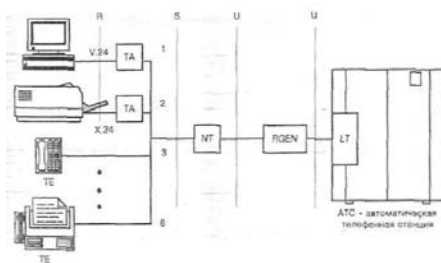


Рис. 9.1. Структура абонентского доступа ISDN

Рис. 9.1. Структура базового доступа

Цель сетей ISDN – доведение цифрового потока от АТС до пользователя – реализуется с использованием существующего абонентского (обычно электрического двухпроводного) кабеля. Подключение к существующему кабелю называется стандартной точкой или интерфейсом U. В случае, если затухание сигнала в интерфейсе U превышает нормы для возможности использования этого канала для ISDN, для усиления сигнала используются специальные устройства – регенераторы (RGEN). Сетевое окончание (NT) соединяет канал U с аппаратурой пользователя (TE) через шину S (понятие шины вводится поскольку в общем случае в S-интерфейсе могут подключаться до 8 TE). Рекомендация ITU-T I.430 описывает несколько вариантов построения шины S, представленные на рис. 9.2.

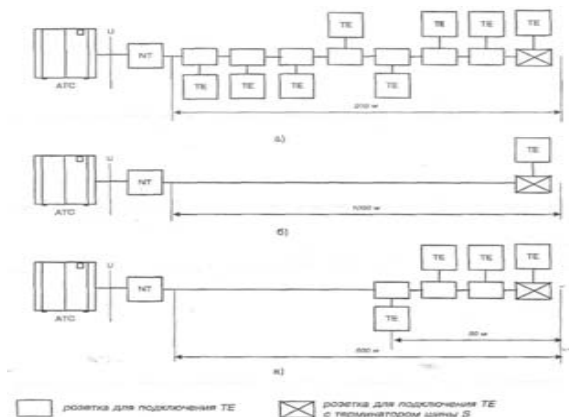


Рис. 9.2. Схема различных вариантов построения шины S

На рис. 9.2, а представлена схема "короткой пассивной шины S" (short passive S bus), к которой могут подключаться до восьми различных терминалов на произвольном расстоянии по длине шины. Максимальная длина кабеля пассивной шины составляет не более 200 м.

Отдельный терминал (рис. 9.2, б) может подключаться к NT по схеме шины S типа "точка-точка". Удаление терминала от NT может достигать 1 км. Фактором ограничения выступает затухание к кабелю, которое не может превышать 6 дБ.

В случае необходимости сделать вынос группы терминалов (рис. 9.2, в) используется схема включения "расширенная пассивная шина S" (extended passive S bus), длина которой может достигать 500 м, однако все терминалы должны быть подключены к шине в пределах 50 м.

Шина S четырехпроводная кабельная линия со скоростью передачи 192 кбит/с, по которой передается сигнал в виде бинарного линейного кода (модифицированный код АМІ).

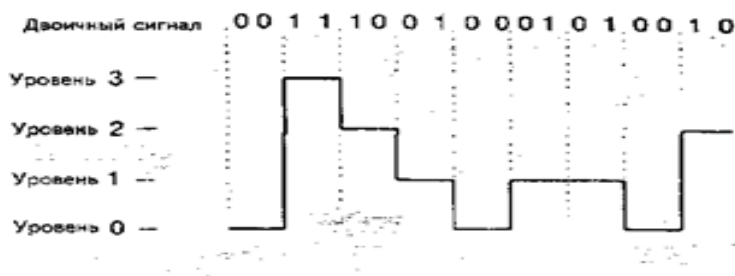


Рис. 9.3. Линейный код 2B1Q

Интерфейс S точки полностью стандартизован. В то же время U интерфейс, использующий существующие абонентские кабели (в первую очередь витую пару), не является полностью стандартизованным в мировой практике. Для кодирования в интерфейсе U могут использоваться различные варианты линейных кодов, среди которых наиболее часто встречаются коды 2B1Q и 4B3T. В отечественной практике код 4B3T практического распространения не получил. В основном используется ли-

нейный код 2B1Q, который схематически представлен на рис. 9.3. Как видно, код 2B1Q использует четырехуровневое кодирование сигнала. Эффективность этого кодирования значительно зависит от уровня затухания в кабеле интерфейса U.

При измерениях, связанных с анализом базового доступа ISDN, выделяют следующие основные категории измерений:

- измерения физического уровня, связанные с анализом параметров абонентских каналов связи;
- измерения параметров цифровой передачи (тестирование по параметру ошибки - BERT);
- анализ протокола абонентской сигнализации;
- задачи имитации каналов ISDN;
- задачи имитации трафика базового доступа ISDN.

Среди перечисленных задач особое значение имеет анализ протокола абонентской сигнализации, поскольку ISDN является сложной технологией, требующей детального анализа взаимодействия различных устройств в сети, тем более, что таких цифровых устройств сейчас чрезвычайно много.

Структура первичного доступа 30S+D. В целом структура первичного доступа ISDN практически не отличается от структуры абонентского доступа, представленной на рис. 9.1, за исключением того, что варианты построения шины S в случае первичного доступа невозможны. Как правило, терминалы первичного доступа подключаются к NT через интерфейс S₂M, который совпадает с интерфейсом G.703, принятым для передачи сигнала ИКМ-30.

Также как и для базового доступа, для первичного доступа существенны следующие измерения:

- измерения физического уровня, связанные с анализом параметров цифровых каналов связи;
- измерения параметров цифровой передачи или измерения канального уровня ИКМ;
- анализ протокола сигнализации;
- задачи имитации трафика первичного доступа ISDN.

Аналоговые измерения каналов базового доступа ISDN. Перед развертыванием абонентской сети ISDN обычно возникает необходимость в проведении ряда измерений на аналоговых

каналах существующей сети. Эти измерения формально могут быть отнесены к паспортизации абонентского кабельного хозяйства. Например, обычно в технических условиях и рекомендациях по подключению терминального оборудования ISDN указываются требования к абонентским кабелям (витой паре) на соответствие определенной категории (для ISDN обычно категории 5). Однако, учитывая, что в полной мере эти требования на существующих отечественных кабельных сетях не выполняются, резонно рассмотреть; подробнее измеряемые параметры абонентских кабелей и указать влияние этих параметров на те или иные параметры функционирования ISDN.

Аналоговые измерения интерфейса S. Рассмотрим параметры интерфейса S и их влияние на работу сети.

Измерение напряжения в шине S. Обычной стандартной практикой является установка источников переменного напряжения возле розеток S интерфейсов. Поэтому возникает возможность нежелательного соединения шины S с цепями питания. Для устранения возможной опасности при подключении терминалов к шине S измеряют напряжение в шине.

Соппротивление изоляции. Используемый кабель шины S может быть поврежден при перевозке или установке. Измерения сопротивления изоляции обеспечивают анализ возможных повреждений кабеля и устраняют возможность короткого замыкания, которое может повредить терминалы.

Аналоговые измерения интерфейса U. Параметры интерфейса U наиболее существенны для работы базового доступа ISDN, поскольку именно этот интерфейс использует существующие кабельные линии. Абонентские кабели могут быть составными, иметь различное сопротивление и другие параметры, поэтому измерения интерфейса U наиболее важны.

Учитывая, что ISDN накладывается на существующую кабельную сеть, измерения интерфейса U обычно проводятся до подключения абонентского терминала с целью выбора из пучка абонентских линий наиболее подходящей для предоставления услуг ISDN. Наиболее простым способом выбора является сравнение уровней затухания сигнала в различных парах в диапазоне частот выше канала ТЧ (обычно от 80 Гц до 8 кГц). Эти измере-

ния дают возможность наилучшего выбора. Однако остается вопрос о потенциальном качестве предоставляемой услуги ISDN по выбранному кабелю. Для тестирования выбранной линии существенны приведенные ниже следующие параметры аналоговых каналов:

шум в широкой полосе частот. Если выбранный кабель хорошо сбалансирован, то интерференция сигналов с другими кабелями существенно низкая, следовательно, уровень широкополосных шумов в таком кабеле должен быть низким;

перекрестные влияния в смежных кабелях. Интерференция сигналов с соседними кабелями негативно сказывается на качестве цифровой передачи. Перекрестные влияния (crosstalk) могут быть двух типов: влияние на ближнем конце (NEXT) или влияние на удаленном конце (FEXT). Обычно FEXT наиболее существенно влияет на параметры качества цифровой передачи, однако для ряда линейных кодов, таких, например, как 4B3T, NEXT выступает как ограничивающий параметр. Измерения канального уровня по базовому доступу ISDN. Эти измерения делаются как на интерфейсе S, так и на интерфейсе U. Суть измерений сводится к измерениям по параметру ошибки.

При этом анализаторы включаются обычно вместо ТЕ или NT и обеспечивают измерения параметра ошибки по схеме "точка-точка" или при шлейфовом включении. Обычно анализ по параметру ошибки (BER) производится параллельно с анализом протоколов базового доступа.

9.3. Методы анализа протоколов базового доступа

Метод пошагового тестирования с отключением абонентской части. Наиболее распространенным методом анализа протоколов является метод пошагового тестирования с отключением абонентской части, представленный схематически на рис. 9.4. Общая методика проведения таких измерений следующая. Измерения начинаются с отключения NT, подключения тестера по интерфейсу U и проведения анализа протокола и BER по интерфейсу U по схеме "точка-точка". Затем NT подключается, а тес-

тер включается на правах терминала в шину S и проводятся те же измерения по схеме "точка-точка" или по шлейфу.

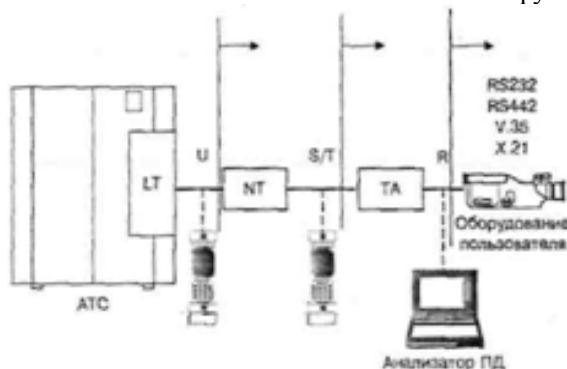


Рис. 9.4. Схема измерений с отклонением абонентской части

Затем для проведения анализа работы приложений оборудование пользователя отключается в точке R (точка за терминальным адаптером – обычно стандартный интерфейс передачи данных) и подключается анализатор каналов передачи данных для проведения измерений по BER (поскольку в точке R нет поддержки протокола, анализ его не производится).

Метод пошагового тестирования с замещением устройств. Метод с замещением устройств в целом аналогичен описанному выше, однако при проведении измерений в этом случае производится отключение устройств типового тракта и подключение вместо них анализатора.

Удобством этой методики является то, что, во-первых, тестируемый тракт не изменяется (устройства не отключаются), что обеспечивает анализ в условиях максимально близким к реальным условиям работы, во-вторых, недостатки описанного выше метода полностью устраняются. Так в случае нарушений работы регенератора при замещении его на тестер тракт начинает работать в нормальных условиях и делается вывод о необходимости замены регенератора. Если же после замены регенератора на тестер тракт по-прежнему работает с нарушениями, делается вывод о некорректном использовании регенератора на линии

(например, недостаточной мощности регенерации, нарушениях физических параметров канала и т. д.).

Недостатком метода является необходимое усложнение в структуре тестеров. Для проведения измерений тестер должен иметь два интерфейса U (для анализа работы регенераторов), а также возможность передачи цифрового потока с интерфейса U на интерфейс S через тестер.

Структура и методы измерений первичного доступа ISDN (30B+D). Структура первичного доступа ISDN (30B+D) соответствует структуре цифрового потока канала E1. Соответственно, измерения физического и канального уровня соответствуют полной спецификации измерений потока E1. В некоторых случаях применяется схема, аналогичная структуре базового доступа. В этом случае физическая и цикловая структура интерфейса S₂M, описанная в рекомендации ITU-T I.431, полностью соответствует интерфейсу G.703/G.704. В канале NT-LT обычно используется код 1T2B. В случае большого удаления ТЕ необходимо использовать регенераторы, что значительно усложняет схему организации связи. Для того чтобы обойти проблемы регенерации, для организации каналов PRI часто используют волоконно-оптические каналы.

С точки зрения организации измерений наиболее важными являются измерения, связанные с анализом протоколов первичного доступа ISDN. Эти измерения являются тем более важными, что остальные измерения физического и канального уровня связаны с анализом параметров потока E1.

Для взаимодействия с сетями общего пользования было решено использовать протокол абонентского доступа EDSS1 (ETSI), который обеспечивает все необходимые параметры работы ведомственной сети с сетью общего пользования, является несимметричным протоколом. В то же время несимметричность протокола EDSS1 делает его неэффективным при создании ведомственных сетей ISDN.

В последнее время в связи с тем, что рынок ДВО стабилизировался, возникла необходимость стандартизации протоколов ведомственных ISDN для исключения противоречий между УПАТС различных производителей. Эта стандартизация приве-

ла к появления протокола Qsig, который стал рекомендованным ETSI протоколом межстанционной сигнализации ведомственных ISDN.



Рис. 9.5. Схема совместного использования имитаторов базового и первичного доступа в сети ISDN

Задачи имитации трафика в сетях ISDN. Для сетей ISDN существенными являются задачи имитации трафика как для базового доступа, так и для первичного, когда в процессе измерений производится имитация сигнального трафика (рис. 10.5.). Для проведения измерений используются трафиковые имитаторы BRI и PRI. Они в отличие от имитаторов трафика IDN намного сложнее и конфигурируются под определенные протоколы ведомственных сетей ISDN.

10. ИЗМЕРЕНИЯ НА СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

10.1. Структура современных сетей передачи данных

Современные сети передачи (СПД), один из вариантов которых представлен на рис. 10.1, используют модемные и цифровые каналы ПД, различные виды интерфейсов (цифровые интерфейсы отмечены прямоугольниками), алгоритмов передачи и протоколов.

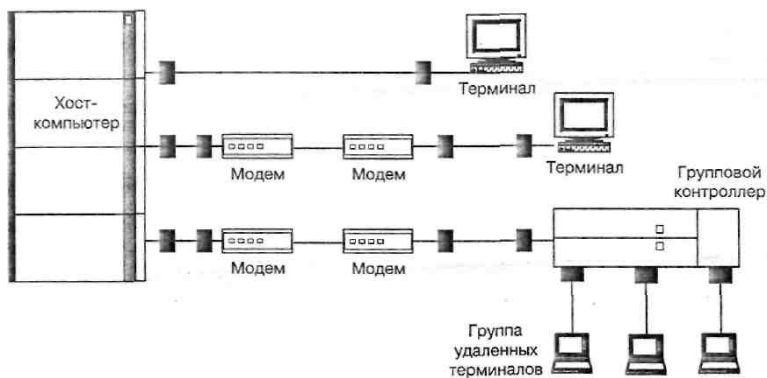


Рис. 10.1. Структура сети передачи данных

На сетях ПД можно выделить следующие группы измерений:

- физического уровня, к которым относится анализ интерфейсов ПД,
- канального уровня, которые предусматривают анализ каналов ПД по параметру ошибки и синхронизации,
- сетевого уровня, которые предусматривают анализ протокола СПД,
- задачи имитации трафика в СПД.

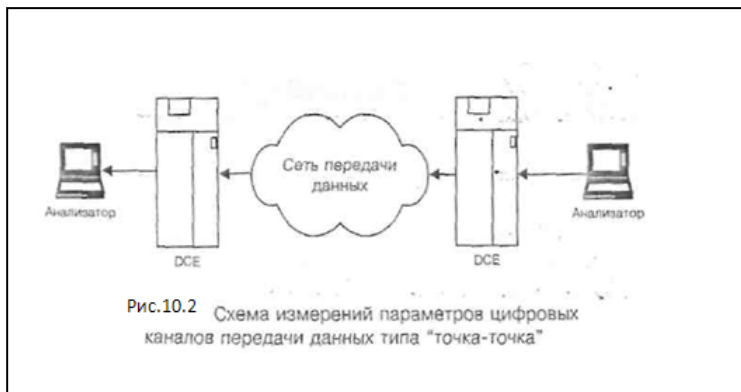
Такие важные вопросы, как тестирование приложений СПД, относятся к анализу современного ПО, а не к телекоммуникациям, и здесь не рассматриваются.

Измерения физического уровня. Измерения физического уровня в СПД сводятся к измерениям используемых интерфейсов ПД: RS-232C, V.35, X.21, V.11, RS-449, G.703. Для каждого

интерфейса специфицируются сигналы передачи, приема, синхронизации, квитирования и т. д. Различаются интерфейсы устройств с внутренней синхронизацией (DTE) и внешней синхронизацией (DCE). Оконечные и узловые устройства сетей ПД, такие как терминалы, маршрутизаторы и т. д. относятся к устройствам DTE, тогда как коммуникационные устройства, такие как модемы, конвертеры и т.д. являются устройствами DCE. Важным вопросом организации схемы тестирования в СПД является правильное выставление последовательности устройств DTE-DCE и соответствующий анализ их интерфейсов. Основные сигналы интерфейса RS-232C для режимов DTE/DCE приведены в табл. 10.1 с используемыми сокращениями в обозначении сигналов, единых для всех рассматриваемых типов интерфейсов. (Примечание: цифрой 2 обозначен второй канал для передачи соответствующего сигнала – вторичный канала передачи сигнала).

Измерения интерфейсов ПД выполняются анализаторами каналов ПД в виде световой индикации состояния соответствующих сигналов (активен/не активен) или в виде сигнальных диаграмм в зависимости от времени (диаграмм напряжения по заданным контактам от времени). В наиболее простых приборах реализована только световая индикация, которая помогает проанализировать правильность установки DTE/DCE режимов в тестируемом оборудовании, полярность соединительного кабеля и логическое функционирование аппаратуры передачи данных. Такие устройства называются анализаторами интерфейса – Breakout Box. Для детального логического анализа работы интерфейсов необходимо тестирование с представлением результатов в виде сигнальных диаграмм.

Измерения канального уровня. Измерения канального уровня включают в себя анализ цифровых каналов ПД. Основными параметрами такого анализа являются параметр ошибки (BER), – распределение ошибок и уровень проскальзываний цифрового сигнала вследствие нарушений работы системы синхронизации СПД.



В практике встречаются две схемы организации измерений канального уровня: "точка-точка" и измерений по шлейфу. В этом, случае один анализатор является генератором тестовой цифровой последовательности и имитирует, терминальное оборудование (DTE), а другой анализатор выступает как приемник цифровой последовательности (рис. 10.5).

Шлейфовый анализ каналов передачи данных имеет два возможных варианта: измерения по локальному шлейфу и измерения по удаленному шлейфу (рис. 10.6). В обоих случаях шлейф создается на аппаратуре DCE. Локальный предусматривает создание шлейфа в телефонных каналах модемной передачи данных, когда на аппаратуре DCE (модем) создается шлейф с модулятора на демодулятор.

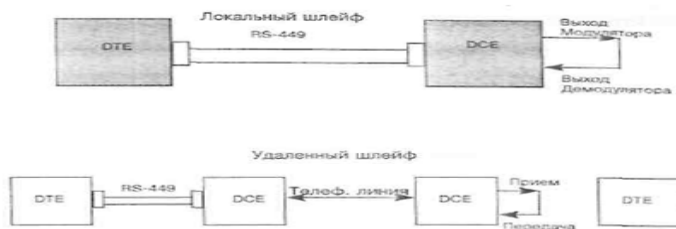


Рис.10.3 Шлейфовый анализ каналов передачи данных

Измерения сетевого уровня. Измерения сетевого уровня в сетях передачи данных сводятся к различным задачам анализа протоколов обмена

в сети. Современные СПД используют большое число протоколов, наиболее мощными из которых являются X.25, Frame Relay и SMDS. В последнее время говорят об ориентации операторов на использование

высокоскоростных протоколов на основе Frame Relay, однако актуальность протокола X.25 несомненна, поскольку в отечественной практике качество каналов ПД далеко не совершенно и помехозащищенность протокола X.25

будет еще долго востребована.

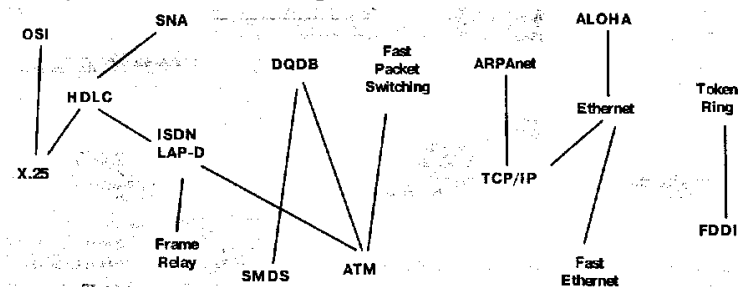


Рисунок 10.4. Эволюция протоколов передачи данных

Целью анализа протоколов в сети является не только устранение конфликтов сигнального обмена в оборудовании сети, но и устранение конфликтов между подсетями с различными протоколами, анализ работы шлюзов, а также анализ сквозной передачи трафиков и служебной информации через несколько сетей с различными протоколами.

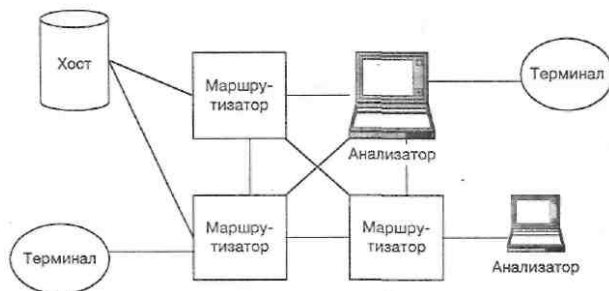


Рис. 10.5. Включение анализаторов протокола в сеть передачи

Для анализа протоколов используются специальные анализаторы протоколов. В этом случае анализатор имитирует оконечное оборудование пользователей (например, терминал передачи данных) производит передачу и прием пакетов в различные адреса.

Наиболее полный анализ сети возможен в случае имитации анализатором маршрутизатора, однако, это требует большой мощности анализатора целью проведения измерения является:

- анализ корректности реализации заданного протокола во всех устройствах сети,
- анализ эффективности загрузки ресурса сети,
- поиск и устранение точек логических конфликтов (неправильные установки, конфликты, работа программного обеспечения шлюзов и т. д.).

Поскольку современные СПД широко оснащаются различными системами диагностики и управления, встает задача анализа работы ПО таких систем, а также механизмов реакции на ошибки, возникающие в СПД.

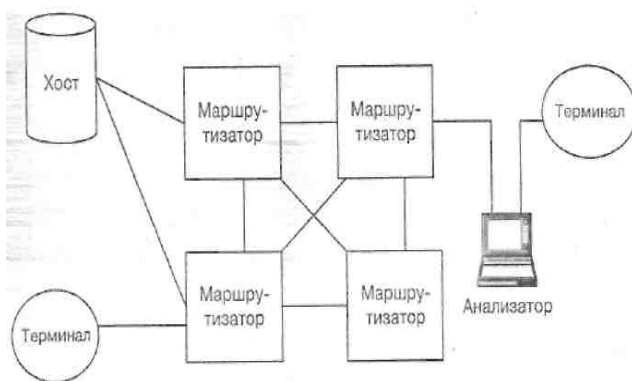


Рис. 10.6. Стрессовое тестирование в сети передачи данных

10.2. Анализаторы протоколов сетей передачи данных

В ходе проектирования новой или модернизации старой сети часто возникает необходимость в количественном измерении некоторых характеристик сети таких, например, как интенсивности потоков данных по сетевым линиям связи, задержки, возникающие на различных этапах обработки пакетов, времена реакции на запросы того или иного вида, частота возникновения определенных событий и других характеристик.

Для этих целей могут быть использованы разные средства и прежде всего - средства мониторинга в системах управления сетью, которые уже обсуждались в предыдущих разделах. Некоторые измерения на сети могут быть выполнены и встроенными в операционную систему программными измерителями, примером тому служит компонента ОС Windows NT Performance Monitor. Даже кабельные тестеры в их современном исполнении способны вести захват пакетов и анализ их содержимого.

Но наиболее совершенным средством исследования сети является анализатор протоколов. Процесс анализа протоколов включает захват циркулирующих в сети пакетов, реализующих тот или иной сетевой протокол, и изучение содержимого этих

пакетов. Основываясь на результатах анализа, можно осуществлять обоснованное и взвешенное изменение каких-либо компонент сети, оптимизацию ее производительности, поиск и устранение неполадок. Очевидно, что для того, чтобы можно было сделать какие-либо выводы о влиянии некоторого изменения на сеть, необходимо выполнить анализ протоколов и до, и после внесения изменения.

Анализатор протоколов представляет собой либо самостоятельное специализированное устройство, либо персональный компьютер, обычно переносной, класса Notebook, оснащенный специальной сетевой картой и соответствующим программным обеспечением. Применяемые сетевая карта и программное обеспечение должны соответствовать топологии сети (кольцо, шина, звезда). Анализатор подключается к сети точно так же, как и обычный узел. Отличие состоит в том, что анализатор может принимать все пакеты данных, передаваемые по сети, в то время как обычная станция – только адресованные ей. Программное обеспечение анализатора состоит из ядра, поддерживающего работу сетевого адаптера и декодирующего получаемые данные, и дополнительного программного кода, зависящего от типа топологии исследуемой сети. Кроме того, поставляется ряд процедур декодирования, ориентированных на определенный протокол, например, IPX. В состав некоторых анализаторов может входить также экспертная система, которая может выдавать пользователю рекомендации о том, какие эксперименты следует проводить в данной ситуации, что могут означать те или иные результаты измерений, как устранить некоторые виды неисправности сети.

Методология проведения анализа может быть представлена в виде следующих шести этапов:

- захват данных;
- просмотр захваченных данных;

Оборудование для диагностики и сертификации кабельных систем относятся сетевые анализаторы, приборы для сертификации кабелей, кабельные сканеры и тестеры. Прежде чем перейти к более подробному рассмотрению этих устройств, при-

ведем некоторые необходимые сведения об основных электромагнитных характеристиках кабельных систем.

Основными электрическими характеристиками, влияющими на работу кабеля, являются: затухание, импеданс (волновое сопротивление), перекрестные наводки двух витых пар и уровень внешнего электромагнитного излучения. Перекрестные наводки между витыми парами или NearEndCrosstalk (NEXT) – представляют собой результат интерференции электромагнитных сигналов, возникающих в двух витых парах. Один из кабелей витой пары является передающим, а второй – приемным. При прохождении сигнала по одному из кабелей, например передающему, в приемном кабеле возникают перекрестные наводки. Величина NEXT зависит от частоты передаваемого сигнала – чем выше величина NEXT, тем лучше (для категории 5 NEXT должен быть не менее 27 Дб при частоте 100 МГц, для кабеля категории 3 на частоте 10 МГц NEXT должен быть не менее 26 Дб).

Затухание (Attenuation) – представляет собой потерю амплитуды электрического сигнала при его распространении по кабелю. Затухание имеет два основных источника: электрические характеристики кабеля и поверхностный эффект. Последний объясняет зависимость затухания от частоты. Затухание измеряется в децибелах на метр. Для кабеля категории 5 при частоте 100 МГц затухание не должно превышать 23.6 Дб на 100 м, а для кабеля категории 3, применяемого по стандарту IEEE 802.3 10BASE-T, допустимая величина затухания на сегменте длиной 100 м не должна превышать 11,5 Дб при частоте переменного тока 10 МГц.

Импеданс (волновое сопротивление) – это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи. Импеданс измеряется в омах и является относительно постоянной величиной для кабельных систем. Для неэкранированной витой пары наиболее часто используемые значения импеданса – 100 и 120 Ом. Характерные значения импеданса для сетей стандарта Ethernet на коаксиальном кабеле составляют 50 Ом, а для сетей стандарта Arcnet – 93 Ом. Резкие изменения импеданса по длине кабеля могут вызвать процессы внутреннего отражения, приводящие к возникновению стоячих волн. Рабочая станция, под-

ключенная к кабелю вблизи узла стоячей волны, не сможет получать адресованные ей сообщения.

Активное сопротивление – это сопротивление постоянному току в электрической цепи. В отличие от импеданса активное сопротивление не зависит от частоты и возрастает с увеличением длины кабеля. Для неэкранированной витой пары категории 5 активное сопротивление не должно превышать 9,4 Ом на 100 м.

Емкость – это свойство металлических проводников накапливать энергию. Два электрических проводника в кабеле, разделенные диэлектриком, представляют собой конденсатор, способный накапливать заряд. Емкость является нежелательной величиной, поэтому ее следует делать как можно меньше. Высокое значение емкости в кабеле приводит к искажению сигнала и ограничивает полосу пропускания линии. Для кабельных систем категории 5 значение емкости не должно превышать 5,6 нФ на 100 м.

Уровень внешнего электромагнитного излучения, или электрический шум – это нежелательное переменное напряжение в проводнике. Электрический шум бывает двух типов: фоновый и импульсный. Электрический шум можно также разделить на низко-, средне- и высокочастотный. Источниками фонового электрического шума являются в диапазоне до 150 КГц линии электропередачи, телефоны и лампы дневного света; в диапазоне от 150 КГц до 20 МГц компьютеры, принтеры, ксероксы; в диапазоне от 20 МГц до 1 ГГц – телевизионные и радиопередатчики, микроволновые печи. Электрический шум измеряется в мВ. Кабельные системы на витой паре не сильно подвержены влиянию электрического шума (в отличие от влияния NEXT).

Сетевые анализаторы (не следует путать их с анализаторами протоколов) представляют собой эталонные измерительные инструменты для диагностики и сертификации кабелей и кабельных систем. В качестве примера можно привести сетевые анализаторы компании HewlettPackard – HP 4195A и HP 8510C. Сетевые анализаторы содержат высокоточный частотный генератор и узкополосный приемник. Сетевые анализаторы – это прецизионные крупногабаритные и дорогие (стоимостью более

\$20 000) приборы, предназначенные для использования в лабораторных условиях специально обученным техническим персоналом.

Кабельные сканеры – приборы позволяют определить длину кабеля, NEXT, затухание, импеданс, схему разводки, уровень электрических шумов и провести оценку полученных результатов. Существует достаточно много устройств данного класса, например, сканеры компаний MicrotestInc., FlukeCorp., DatacomTechnologiesInc., ScopeCommunicationInc. В отличие от сетевых анализаторов сканеры могут быть использованы не только специально обученным техническим персоналом, но даже администраторами-новичками.

Для определения местоположения неисправности кабельной системы (обрыва, короткого замыкания, неправильно установленного разъема и т. д.) используется метод "кабельного радара", или TimeDomainReflectometry (TDR). Суть этого метода состоит в том, что сканер излучает в кабель короткий электрический импульс и измеряет время задержки до прихода отраженного сигнала. По полярности отраженного импульса определяется характер повреждения кабеля (короткое замыкание или обрыв). В правильно установленном и подключенном кабеле отраженный импульс совсем отсутствует.

Точность измерения расстояния зависит от того, насколько точно известна скорость распространения электромагнитных волн в кабеле. В различных кабелях она будет разной. Скорость распространения электромагнитных волн в кабеле (NVP – nominalvelocityofpropagation) обычно задается в процентах к скорости света в вакууме. Современные сканеры содержат в себе электронную таблицу данных о NVP для всех основных типов кабелей и позволяют пользователю устанавливать эти параметры самостоятельно после предварительной калибровки.

Наиболее известными производителями компактных (их размеры обычно не превышают размеры видеокассеты стандарта VHS) кабельных сканеров являются компании MicrotestInc., WaveTekCorp., ScopeCommunicationInc.

Тестеры кабельных систем – наиболее простые и дешевые приборы для диагностики кабеля. Они позволяют определить непрерывность кабеля, однако, в отличие от кабельных

сканеров, не дают ответа на вопрос о том, в каком месте произошел сбой.

Портативные анализаторы – портативный вариант анализатора, почти аналогичный по своим возможностям DSS, реализован в продуктах серии ExpertSnifferAnalyzer (ESA), известный также как TurboSnifferAnalyzer. При значительно меньшей, чем продукты серии DSS, стоимости, ESA предоставляют администратору те же возможности, что и полномасштабная DSS, но только для того сегмента сети, к которой ESA подключен в данный момент.

Анализатор протоколов LANalyser компании Novell – является полнофункциональным высокопроизводительным анализатором протоколов, способным выполнить полное декодирование для большинства протоколов и сетевых технологий (в т. ч. Ethernet, TokenRing на 4 и 16 Мб/с). LANalyser поставляется в виде сетевой платы и программного обеспечения, которые необходимо устанавливать на персональном компьютере, либо в виде ПК, с уже установленными платой и программным обеспечением. LANalyser имеет развитый удобный интерфейс с пользователем, с помощью которого устанавливаются выбранный режим работы. Меню ApplicationLANalyser является основным средством настройки режима перехвата и содержит варианты выбора набора протоколов, фильтров, инициаторов, аварийных сигналов и т. д. Данный анализатор может работать с протоколами: NetBIOS, SMB, NCP, NCPBurst, TCP/IP, DECnet, BanyanVINES, AppleTalk, XNS, SunNFS, ISO, EGP, NIS, SNA и некоторыми другими. Из меню Application можно либо выбрать и сконфигурировать специальные тестовые комплекты приложений, либо выбрать один из заранее определенных тестовых комплектов приложений для TokenRing или Ethernet.

С помощью LANalyser могут быть определены до 9 каналов приема и до 6 каналов передачи. Канал приема – это в сущности фильтры для всей информации, которую пользователь желает получать в ходе сеанса анализа протокола. Каналы передачи позволяют сгенерировать в сети потоки данных заданной структуры.

Особенности 68X Enterprise LANMeter – серия 68XEnterpriseLANMeter включает модель 680, поддерживающую технологию TokenRing, модель 682 для сетей Ethernet и модель 685, поддерживающую как Ethernet, так и TokenRing. EnterpriseLANMeter представляет собой первое в мире портативное средство, поддерживающее протокол SNMP, что позволяет ему обнаруживать причины отказа в сети за пределами локального сегмента, к которому подключен этот прибор. Поддерживаются базы управляющей информации MIBI, MIBII и RMON.

Инструментальные средства EnterpriseLANMeter поддерживают стек протоколов TCP/IP, а также другие протоколы, используемые в сетевых операционных системах NovelNetWare, BanyanVINES, WindowsNT, WindowsforWorkgroups, Windows 95, IBMLANServer и OS/2.

LANMeter сводит к минимуму возможные отказы, вносимые новыми компонентами сети, проверяя работоспособность сетевых интерфейсных карт, кабелей, концентраторов и устройств сетевого доступа (MAU – MediaAccessUnit) перед их установкой в сеть. Он позволяет также с помощью ряда специальных тестов убедиться в правильности соединений и наличии доступа к сетевым ресурсам через локальные и корпоративные подключения.

LANMeter предоставляет пользователю удобный и интуитивно понятный интерфейс, основанный на системе меню. Графический интерфейс пользователя использует 10-строчный жидкокристаллический дисплей и индикаторы состояния на светодиодах, извещающие пользователя о наиболее общих проблемах наблюдаемых сетей. Имеется обширный файл подсказок оператору с уровневым доступом в соответствии с контекстом. Информация о состоянии сети представляется таким образом, что пользователи любой квалификации могут ее быстро понять.

11. ИЗМЕРЕНИЯ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ № 7

11.1. Сеть сигнализации № 7 в контексте измерительных технологий

Система сигнализации № 7 (SS7) в настоящий момент является единым стандартом межстанционной сигнализации телефонной сети общего пользования с функциями ISDN. Система использует принцип передачи сигнальной информации по общему каналу сигнализации (ОКС), поэтому получила еще название ОКС № 7 или просто ОКС 7. Важность этого протокола для современных телекоммуникаций выделяет в отдельный класс измерения, связанные с анализом системы сигнализации № 7.

Сеть сигнализации SS7 во многом сходна по строению с СПД. Измерения сигнализации SS7 сводятся к задачам анализа специализированного протокола передачи данных, рис. 11.1 .

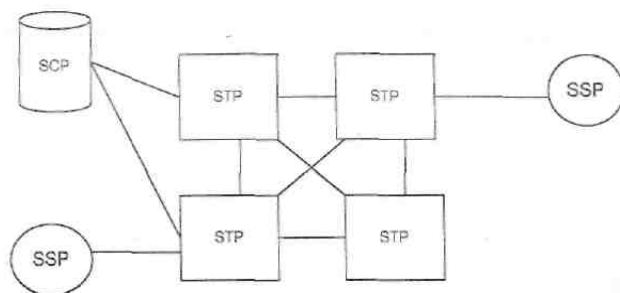


Рис. 11.1. Структура сети

Действительно, технология SS7 предусматривает создание СПД специального назначения – сети сигнализации. Измерения в этой сети сводятся к анализу протокола SS7, поскольку измерения физического и канального уровней для сети сигнализации неактуальны, в ней используются каналы вторичной сети телефонии и ISDN. Таким образом, измерения на сети SS7 аналогичны анализу протоколов СПД с учетом специфики протокола SS7.

11.2. Измерения системы сигнализации № 7

Необходимость измерений SS7. Тестирование протокола SS7 необходимо в двух случаях:

- при пуске новой цифровой АТС или цифровой зоны для полного тестирования протокола на предмет его соответствия техническим требованиям;
- при вводе нового канала сигнализации для тестирования протокола ОКС по этому каналу. Используемые в настоящее время цифровые АТС не имеют соответствующих программных средств для подобного тестирования.

Таким образом, тестирование протокола ОКС необходимо и на этапе ввода в строй АТС, и на этапе ее эксплуатации.

Общая схема включения анализатора в точке SSP. Анализаторы SS7 реализуют функции как имитации пунктов сигнализации, так и мониторинга сигнализации. Наиболее простой схемой является включение анализатора как имитатора SSP в сеть, рис. 11.2. Эта схема актуальна при введении в строй новой оконечной по сигнализации АТС на сети общего пользования и для подключения ведомственной сети к сети общего пользования, т. е. для большинства подключений. Согласно схеме, анализатор подключается к STP и имитирует оконечный пункт сигнализации SSP. Схема предусматривает проведение полного анализа всех уровней протокола по передаче/приему, а также проведение в малом объеме стрессового тестирования системы сигнализации для определения реакции всей сети на нарушения в работе SSP (нарушение алгоритма сигнального обмена, пропадание сообщения, дублирование, нарушение квитирования и т. д.).

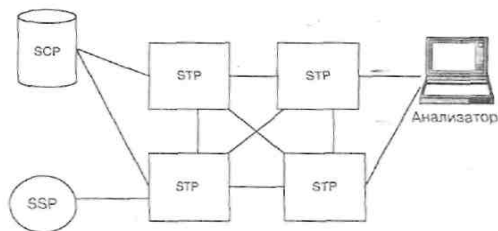


Рис. 11.2. Включение анализатора SS7 как имитатора системы SS7 и эффективности ее работы

Имитация SCP. Имитация SCP во многом аналогична имитации STP и отличается только тем, что обеспечивает имитацию всех уровней протокола. Обычно, измерения проводятся с имитацией одного пункта SCP за исключением специальных измерений ряда мобильных приложения (например, для сети сотовой связи в стандарте IS-41 существенно наличие нескольких SCP).

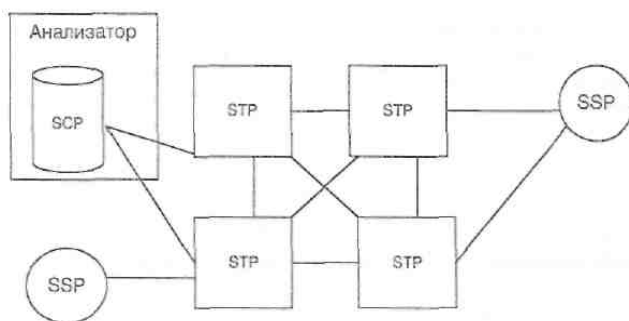


Рис. 11.3. Имитация SCP

Стрессовое тестирование работающих устройств. Помимо измерений на этапе инсталляционного тестирования существует также технология анализа уже инсталлированных устройств методами стрессового тестирования. Для этого выбирается канал сигнализации и в него включается анализатор, который обеспечивает внесение изменений в сигнальный трафик. Анализатор протокола включается в канал 7 между двумя пунктами (на рис. 11.4 – между STP и SSP).

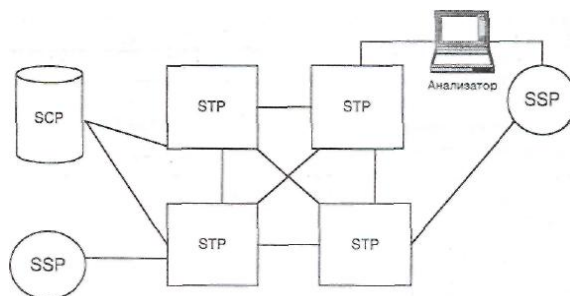


Рис. 11.4. Стрессовое тестирование SSP

Основными стрессовыми воздействиями на передаваемую в канале информацию являются: внесение ошибки в различные части передаваемых сообщений, пропадание сообщений, дублирование сообщений, внесение дополнительной задержки при передаче, систематическая замена одного сообщения протокола другим.

11.3. Анализаторы измерительной техники SS7

Опыт использования измерительной техники показывает, что анализаторы протокола SS7 должны быть универсальными и модульными. Универсальность обеспечивает максимально широкий охват возможных измерений, а модульность программного и аппаратного обеспечения снижает стоимость прибора.

Соответственно с масштабом задач тестирующие системы SS7 делятся на четыре основных класса систем: транснационального и национального мониторинга, мониторинга и отладки протокола для разработчиков систем сигнализации SS7, используемые в процессе эксплуатации для проведения комплексных измерений на сети SS7, простые тестеры с функциями анализа SS7. Простые тестеры SS7 используются для эксплуатации АТС с сигнализацией SS7. Эти тестеры просты, функциональность анализа SS7 в них невелика, как правило, они "не чувствуют" различия между международной и национальной версией SS7. Тестеры SS7 не могут быть использованы при вводе в строй новых АТС с сигнализацией SS7, но могут успешно применяться для анализа сигнализации на этапе эксплуатации, обнаружения неисправностей и т. д.

12. ИЗМЕРЕНИЯ НА СЕТЯХ АТМ

12.1. Технологии измерений на сетях АТМ

В современном рассмотрении измерений на сетях АТМ можно выделить следующие виды анализа:

- транспортной среды АТМ, включая анализ потоков ячеек, служебной информации, механизмов контроля трафика, взаимодействия с системами передачи и т. д.,
- приложений АТМ для создания сетей В-ISDN (например, взаимодействие LAN через сеть АТМ).

Пользователи АТМ заинтересованы в проведении следующих измерений:

- измерения качественных параметров приложений "из конца в конец",
- измерения на соответствие сети АТМ гарантированным параметрам,
- выполняет ли сеть функции правильной работы с трафиком.

Операторы сетей АТМ заинтересованы в проведении следующих измерений:

- параметров системы передачи заданным требованиям и нормам,
- анализ эффективности использования ресурсов сети,
- измерения, связанные с контролем трафика.

12.2. Измерения транспортной среды АТМ

Измерения сетей АТМ, проводимые операторами сетей, сводятся к измерениям параметров качества системы передачи и трафика. Все измеряемые параметры транспортной среды на основе АТМ пока обозначаются как "параметры эффективности работы сети".

Измерения параметров эффективности работы системы передачи на основе АТМ. Основными параметрами эффективности работы системы передачи на основе АТМ являются:

- параметр ошибки по ячейкам (CER) равный отношению

числа ошибочных ячеек к общему числу переданных,

- параметр потери ячеек (CLR) равный отношению числа потерянных ячеек к общему числу переданных,

- задержка передачи ячеек,

- изменение задержки передачи ячеек,

- параметр вставки ячеек (CIR).

Необходимо также учитывать, что алгоритмический джиттер, который имеет место в сетях SDH, присутствует и системах ATM, хотя природа его существенно другая. Так потеря одной ячейки в системах ATM приводит к частотному сдвигу передаваемого сигнала в 53 UI. Этот частотный сдвиг компенсируется за счет буферизации. Однако возникающий при этом джиттер может существенно влиять на параметры нагрузки.

Методы и схемы измерений параметров транспортной среды на основе ATM. Переходя к методам измерений параметров транспортной среды ATM, необходимо выделить несколько локальных задач измерений, а именно пассивный мониторинг качества и комплексный анализ качества транспортной среды.

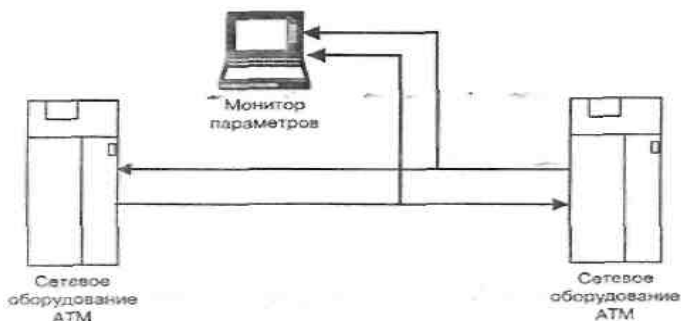


Рис. 12.1. Схема измерений пассивного мониторинга качественных параметров

Схема измерений пассивного мониторинга качественных параметров системы передачи приведена на рис. 12.1. Для проведения измерений используются мониторы качества ATM.

Ниже даны основные параметры пассивного мониторинга качества транспортной среды:

- нагрузка – измерения этого параметра сводятся к подсчету числа переданных ячеек и могут проводиться по всей линии передачи или по выбранным виртуальным каналам и виртуальному пути;

- межячеечный интервал. Этот параметр определяет время между приемом ячейки и приемом следующей ячейки.

Принцип измерения состоит в том, что анализатор, выступая как терминальное оборудование, генерирует ячейки и принимает их обратно из сети. Ниже приводятся основные параметры измерений:

- **задержка передачи ячеек (среднее значение и вариация)** – это время между передачей ячейки и ее приемом;

- **потеря/ ошибочная вставка ячейки (CLR/CIR)** – этот параметр измеряется методом подсчета переданных и принятых ячеек. В случае, если число принятых ячеек меньше числа переданных, говорят об уровне потерь ячеек (CLR), если число принятых ячеек больше количества переданных, говорят об ошибочной вставке ячеек в сети (CIR);

- **число ячеек, переданных с ошибкой (CER)** – для измерения параметра используют метод подсчета контрольных сумм в ячейках;

- **последовательности возникающих ошибок** – для проведения измерений этого параметра, а также для измерения BER, используют тестовый сигнал в виде псевдослучайной последовательности (ПСП), упакованный в полезную нагрузку ячеек.

Анализ приложений ATM, наиболее существенный для пользователей сети, обычно сводится к анализу протокола ATM. По многоуровневой и структурной сложности этот протокол значительно превосходит протокол SS7. Протокол включает в себя все уровни BOC (OSI), а именно:

- физический уровень, куда относятся физические интерфейсы современных цифровых систем передачи на основе PDH/SDH;

- уровень сходимости, определяющий процедуры загрузки ячеек ATM в каналы;

- уровень ATM, включающий в себя процедуры маршрутизации ячеек по сети ATM. Уровень адаптации ATM, обеспечи-

вающий адаптацию различных видов трафика к передаче по сети ATM;

- сервисный уровень, где происходит сопряжение ATM с различными сетями передачи данных (SMDS, Frame Relay, LAN) и В-ISDN, передачи видео в стандарте MPEG2, интерфейсы пользователей (UNI) и сетевые интерфейсы (NNI);

- промежуточный уровень представления протоколов;

- уровень сквозной поддержки приложений, где обеспечивается полное восстановление видео и аудиоканалов систем телевидения и полная имитация всех протоколов локальных сетей.

На каждом из перечисленных уровней имеются свои методы измерений, схемы включения анализатора и спецификация измеряемых параметров.

12.3. Измерительная техника для анализа ATM

В соответствии с двумя подходами к организации измерений на сетях ATM существует два класса анализаторов ATM: ориентированные на измерения транспортной среды ATM; протокола ATM. Для анализа транспортной среды ATM и проведения комплексных измерений SDH/ATM используются анализаторы SDH с расширенными функциями анализа ATM. В настоящее время большинство фирм-производителей измерительной техники уже анонсировали или создали специальные модули для анализа ATM, а также процессов загрузки и выгрузки ячеек в системы передачи SDH. Для анализа протоколов ATM используются две категории анализаторов. Для эксплуатационного анализа используются анализаторы протоколов ПД с расширенными возможностями анализа ATM.

13. ИЗМЕРЕНИЯ НА СЕТЯХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

13.1. Общая классификация измерений на сетях подвижной радиосвязи

Можно выделить несколько принципов классификации измерений на сетях подвижной радиосвязи:

- по охвату проведения измерений – узлов сети и измерения сети в целом;

- по этапности проведения измерений – на производственные, инсталляционные и эксплуатационные.

Эти принципы классификации вместе дают полную программу измерений на сетях подвижной радиосвязи. При этом группы измерений пересекаются.

В соответствии с классификацией по охвату проведения разделяются измерения узлов сети и измерения сети в целом. Измерения узлов сети включают в себя:

- измерения, связанные с оценкой работы мобильных станций, к которым относятся:

- измерения параметров усилителей,
- измерения параметров модуляции модулятора/демодулятора,
- анализ параметров радиочастотного протокола;
- измерения параметров модуляции модулятора/демодулятора анализ параметров радиочастотного протокола.

Измерения сети в целом связаны с анализом взаимодействий базовых и мобильных станций а также их взаимодействия с окружением.

Классификация по этапности проведения измерений. Можно выделить следующие этапы проведения описанных измерений:

- производственные, связанные с разработкой оборудования и его производством.

Общая схема измерений на сетях подвижной радиосвязи представлена на рис. 13.1.



Рис. 13.1. Общая схема измерений на сетях подвижной радиосвязи

К этой категории в полном объеме относятся измерения компонентов и узлов СПР;

- инсталляционные, выполняемые на этапе развертывания сети подвижной радиосвязи для анализа взаимодействия мобильных и базовых станций и их окружения;

- эксплуатационные, включающие в себя измерения в процессе работы сети, выявление неисправностей и их устранение, т. е. анализ взаимодействия и ограниченный объем измерений работы узлов.

Рассмотрим *основные группы эксплуатационных измерений*. Из схемы распространения сигнала по сети (рис. 13.2) можно выделить несколько основных групп измерений, связанных с условиями распространения сигнала и с парными взаимодействиями устройств сети:

- между мобильной станцией и базовой станцией,
- окружающей среды и мобильной станции,
- базовой станции и окружающей среды (окружением).

В случае, если сеть имеет многозональную структуру, к измерениям добавляется группа анализа взаимодействий базовых станций разных зон. В случае реализации услуги выхода в сети

общего пользования, возникает задача анализа взаимодействия сети подвижной радиосвязи с сетью общего пользования.

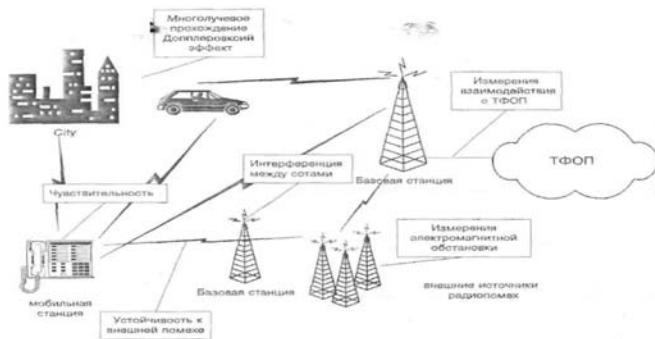


Рис. 13.2. Схема распространения сигнала по сети подвижной радиосвязи

13.2. Общие измерения на сетях подвижной радиосвязи

Исследование зон устойчивого приема/передачи. Особенностью измерений радиочастотного ресурса в СПР является необходимость зонального тестирования параметров устойчивого приема. Системы подвижной радиосвязи имеют всегда зонную структуру. Для транковых систем и УКВ-радиосвязи это одна зона, для сотовых систем радиосвязи – это несколько сот, объединенных в единую зону предоставления услуг, для беспроводного телефона – зона действия передатчика.

Измерения зоны устойчивого приема/передачи производится следующими целями:

- на этапе системной проработки перед развертыванием сети – для подготовки оптимального размещения базовых станций;
- на этапе развертывания сети и эксплуатации – для контроля мощности передатчиков базовых станций, измерения параметров качества предоставляемых услуг, подготовки эффективной модернизации сети;
- на этапе эксплуатации – для локализации причин деграда-

ции качества услуг подвижной радиосвязи (источников помех, источников несанкционированного использования ресурса и т. д.)

Для анализа границ зон устойчивого приема могут использоваться несколько различных методов. Обобщенная схема измерений границы зоны устойчивого приема/передачи представлена на рис. 13.3.

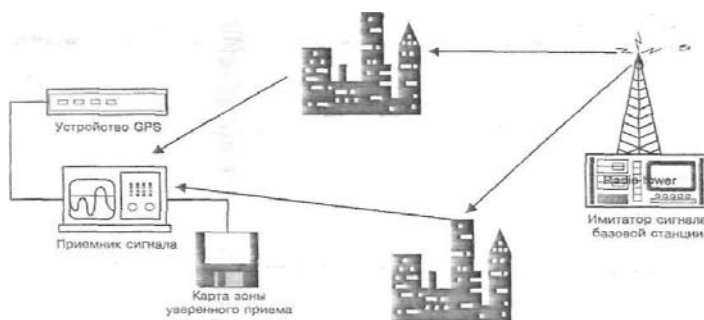


Рис. 13.3. Измерения границы зоны уверенного приема/передачи

Схема включает в себя источник сигнала базовой станции, который располагается в месте предполагаемой установки базовой станции и приемный терминал, состоящий из приемника сигнала СПР, навигационного устройства GPS, обеспечивающего точное измерение координат, и ПО карты заданного района. В качестве передатчика может использоваться имитатор сигнала базовой станции с заданными характеристиками по частоте и мощности сигнала или сама установленная базовая станция.

Состав приемника определяется исходя из специфики СПР и перечня параметров измерения. Для оценки этих параметров в качестве приемников могут успешно использоваться анализаторы спектра с функциями ЧМ-демодулятора. В отличие от сканирующих приемников анализаторы спектра обеспечивают не только измерение параметров приема, но и общий спектральный анализ в заданном районе – размещение источников шумов и интерферирующих сигналов в используемом радиочастотном ресурсе. Основным недостатком использования анализаторов спектра в качестве приемников является невозможность полной имитации протокола обмена сигнальными сообщениями, необходимой для

анализа зон уверенного приема/передачи сетей сотовой связи. Использование сканирующих приемников и анализаторов спектра в предлагаемой схеме не дает возможности анализа параметров уверенной зоны передачи сигнала, поскольку приемник в этом случае не производит полную имитацию мобильной станции.

Для анализа наиболее совершенных транковых сетей, а также аналоговых и цифровых сотовых сетей в качестве приемника используются анализаторы СПР с функциями полной имитации мобильной станции. Эти анализаторы обеспечивают полный анализ параметров приема/передачи в зависимости от географических координат, и кроме того, дают возможность оператору субъективно проанализировать качество радиосвязи на границе зоны приема/передачи.

Исследование вопросов интерференции сигналов. Влияние многолучевого распространения сигнала. Природа явления многолучевого распространения сигнала в радиочастотных системах передачи и СПР существенно различна. Это связано с тем, что в радиочастотных системах передачи условия распространения сигнала меняются сравнительно медленно, вторичные пути распространения сигнала за счет отражения от земли или за счет рефракции в атмосфере могут изменять параметры в течении нескольких часов и более. В СПР условия распространения сигнала могут меняться в течение нескольких секунд и сами параметры распространения сигнала носят статистический характер, поэтому не могут быть измерены точно, а только интегрально. Для учета влияния многолучевого распространения сигнала может быть предложено проведение комплексных измерений и имитации многолучевого распространения сигнала. При этом на местности измеряются интегральные параметры многолучевого распространения сигнала, такие как средний уровень вносимого затухания и его среднее отклонение. Затем производится имитация различных условий многолучевого распространения сигнала при помощи имитатора многолучевого прохождения. В имитатор могут быть заложены различные сценарии поведения мобильного абонента и параметры окружающей среды. Например, мобильный телефон находится без движения, а затем в течение 5 мин разгоняется до 100 км/час. Специализированная программа имитатора включает

описание отражающих объектов. В результате выдаются промежуточные значения величины эффекта Допплера, задержки и затухания. Затем делается вывод о параметрах качества мобильной связи при заданных условиях и сценарии поведения абонента.

Такая методика измерений позволяет уточнить зону стабильного приема/передачи на основе учета фактора многолучевого распространения сигнала, однако следует признать, что такая задача может быть актуальной только для крупных операторов подвижных сетей связи для тонкой настройки своих сетей. В отечественной практике операторы не производят подобных измерений, ограничиваясь установкой интуитивной поправки на многолучевое распространение сигнала. Тем не менее, в зарубежной практике такие имитационные измерения имеют место.

Анализ работы узлов систем подвижной радиосвязи. Основные элементы СПР – мобильные и базовые станции сети.

Основными компонентами базовых станций системы являются: антенна, устройство объединения радиосигналов (миксер), ретрансляторы, логические устройства управления сетью, установления соединения и маршрутизации.

Мобильная станция в эксплуатации – единое устройство и покомпонентно не измеряется.

К измеряемым параметрам базовых и мобильных станций относятся:

- измерения узлов и компонентов станции,
- измерения выходных параметров станции.

Измерения узлов и компонентов базовых и мобильных станций актуальны на этапах их разработки и ремонта. Эти измерения, а также используемая измерительная техника приведены в табл. 13.1.

Измерения выходных параметров мобильных и базовых станций подразделяются на четыре основных типа тестирования станции:

- в работающем радиоканале (In-Channel Tests),
- вне радиоканала (Out-of-Channel Tests),
- в рабочем диапазоне (In-Band Tests),
- вне рабочего диапазона (Out-of-Band Tests).

Эти измерения выполняются как для передатчика станции, так и для приемника. Для передатчика **тестирование в работающем канале** дает возможность анализа передачи информации на приемник. При этом анализируются следующие параметры:

- уровень передаваемой мощности,
- занимаемый частотный спектр (Occupied bandwidth – OBW),
- точность параметров модуляции,
- уровень паразитного излучения.

Для измерения используют анализаторы параметров СПР, измерители мощности и анализаторы параметров модуляции.

Тестирование вне рабочего канала дает возможность оценки полосы частот, занимаемой передатчиком. При этом измеряется уровень интерференции в смежном канале (Adjacent Channel Power – АСР). Для измерения используются анализаторы СПР.

Измерения узлов и компонентов базовых и мобильных станций. Измерения узлов и компонентов базовых и мобильных станций актуальны на этапах их разработки и ремонта. Эти измерения, а также используемая измерительная техника приведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1.

Основные измерения узлов и комплектующих базовых
и мобильных станций

Измерение	Используемая измерительная
Анализ усилительного тракта (оценка линейности усиления, амплитудно-частотной характеристики, параметров шумов, уровня фазовых шумов, нелинейных искажений и т.д.)	Как правило, анализаторы цепей (четырёхполюсников) - скалярных или векторных. Специальные приборы и системы для ряда измерений (например, для измерений фазо-
Анализ антенного тракта (усиление антенны, линейные характеристики, диаграмма направленности)	Скалярные и векторные анализаторы цепей, а также анализаторы комплексного сопротивления
Анализ качества работы речевого кодека	Системы измерения параметров распознавания речи (электронный рот и электронное ухо)
Анализ модулятора/демодулятора	Анализатор модуляции

Для приемника **тестирование в работающем канале** дает возможность анализа приема информации от передатчика. При этом анализируются следующие параметры:

- минимальный уровень принимаемой мощности
- точность параметров демодуляции.

Для измерения используются анализаторы СПР.

Тестирование **вне рабочего канала** дает возможность оценки эффективности фильтрации приемником внеполосных сигналов. Для измерения могут использоваться анализаторы параметров СПР с подключением внешнего генератора для создания внеполосных сигналов.

Тестирование в рабочем диапазоне и вне рабочего диапазона позволяет проанализировать работу мобильных и базовых станций в лицензированном частотном диапазоне и убедиться в отсутствии при ее работе нежелательных внеполосных сигналов.

Измерения сети в целом. Анализ парных взаимодействий мобильных и базовых станций. Измерения сети в целом связаны с анализом параметров парных взаимодействий мобильных и базовых станций. К числу таких параметров относятся:

- выходные характеристики устройств в системе.
- параметры интерференции сигналов базовых станций, измеряемые на этапе анализа зон устойчивого приема/передачи,
- параметры взаимодействия мобильных и базовых станций по радиоканалу, физический уровень.

Таким образом, из не рассмотренных вопросов парного взаимодействия остается единственный, а именно анализ взаимодействия мобильных и базовых станций по протоколу обмена в радиоканале.

Для такого анализа используются анализаторы параметров подвижных сетей радиосвязи, в которых реализованы обычно функции имитации сигнализации по радиоканалу базовых или мобильных станций системы радиосвязи. В этом случае для анализа корректности сигнального обмена базовой станции используют анализатор с имитацией мобильной станции, а для анализа работы мобильных станций – анализатор с имитацией базовой станции.

13.3. Измерения на сетях УКВ-радиосвязи

Сети УКВ-радиосвязи являются довольно простыми системами обычно радиальной топологии. В основном в таких сетях используется обычная ЧМ-модуляция, что значительно упрощает спецификацию – возможных измерений.

Измерения зоны уверенного приема/передачи для УКВ-радиосвязи сводятся к определению наибольшего удаления мобильной станции от базового ретранслятора. Эти измерения в УКВ-радиосвязи могут проводиться с успехом с использованием сканирующих приемников или анализаторов спектра с функцией демодуляции ЧМ. Анализ влияния интерференции, связанной с многолучевым распространением сигнала систем УКВ-радиосвязи обычно не производится, поскольку системы УКВ-радиосвязи являются локальными выделенными сетями, где нет особой конкуренции и борьбы за параметры качества связи. Как следствие, нет необходимости в тонкой настройке сети.

Измерения параметров базового ретранслятора и мобильных станций производятся с использованием анализаторов спектра с ЧМ-демодуляцией.

Спецификация измерений на сетях УКВ-радиосвязи включает в себя:

- определение границ зоны уверенного приема/передачи,
- анализ характеристик базовой и мобильных станций.

13.4. Измерения на транковых сетях

Измерения зоны уверенного приема/передачи для транковых сетей также как и для сетей УКВ-радиосвязи сводятся к определению наибольшего удаления мобильной станции от базового ретранслятора. Эти измерения в могут проводиться с использованием сканирующих приемников или анализаторов спектра. Однако, учитывая, что транковые системы используют цифровые методы модуляции, наилучшим образом границы зоны уверенного приема/передачи измеряются с использованием анализаторов подвижной радиосвязи.

Анализ влияния интерференции, связанной с многолучевым распространением сигнала транковых систем обычно не производится, поскольку эти системы, как и системы УКВ.

Для анализа протокола радиоканала транковых систем используются анализаторы СПР.

Спецификация измерений на транковых сетях включает в себя:

- определение границ зоны уверенного приема/передачи,
- анализ характеристик базовой и мобильных станций,
- анализ параметров цифровой модуляции,
- анализ протоколов взаимодействия базовой и мобильной станции по радиоканалу.

13.5. Измерения на сетях персонального радиовызова

Основной отличительной чертой систем персонального радиовызова является то, что в них используется односторонняя передача по симплексному каналу.

Анализ зон уверенного приема для систем персонального радиовызова осуществляется с использованием сканирующих приемников, поскольку спектральный анализ не актуален.

Параметры базовых станций систем персонального радиовызова совпадают со стандартными параметрами, для мобильных устройств актуально всего два параметра: чувствительность и селективность. Используемая ЧМ-модуляция не требует дополнительных отдельных измерений параметров модуляции. Используемые протоколы стандартов POCSAG и ERMES измеряются анализаторами подвижной радиосвязи для определения корректности работы пейджера и базовой станции в сети и их взаимодействия.

Спецификация измерений на сетях персонального радиовызова включает в себя:

- определение границ зоны уверенного приема,
- анализ характеристик базовой станции и мобильного устройства,
- анализ протоколов взаимодействия базовой станции и мобильного устройства по радиоканалу.

13.6. Измерения на сетях сотовой связи

Измерения зоны уверенного приема/передачи для сотовых сетей связи является чрезвычайно сложной группой измерений. Связано это с тем, что системы сотовой связи (ССС) имеют многозонаковую структуру. На работу СССР в этом случае будет оказывать влияние не только явление многолучевого распространения сигнала, но также и возможная интерференция между базовыми станциями. В задачах анализа протокола по радиоканалу сотовых систем обычно разделяют анализ цифровых сотовых протоколов (GSM, D-AMPS, DECT и т. д.) и аналоговых протоколов (NMT-450, AMPS и т. д.). Измерения последних производятся анализаторами параметров СССР, единых для УКВ-радиосвязи, транковых сетей и аналоговых сотовых сетей, в то же время параметры цифровых сотовых систем измеряются специализированными анализаторами.

Кроме того, существенно различаются задачи анализа радиочастотных параметров работы сети, анализ базовых и мобильных станций. В случае анализа базовых станций дополнительно с радиочастотным тестированием выполняется запись сообщений радиочастотного протокола обмена, что требует увеличения объема памяти анализатора. Для анализа мобильных станций должны использоваться высокочувствительные анализаторы, принимающие маломощные сигналы от мобильных станций. В этом случае анализатор обеспечивает полную имитацию базовой станции.

В обоих случаях выполняется следующая спецификация измерений:

- радиочастотные измерения, включая анализ спектральных характеристик сигнала и его формы, частоты и уровня, отношение сигнал/шум,
- анализ параметров модуляции: AM/FM в случае аналоговых стандартов сотовых сетей, цифровых типов модуляции (GMSK, GFSK и т. д.) – в случае цифровых стандартов,
- анализ параметров звуковой частоты, включая анализ мощности постоянного и переменного сигнала, генерацию и измерения в диапазоне звуковых частот, уровень нелинейных ис-

кажения, отношение сигнал шум по звуковой частоте, общий уровень нелинейных искажений и шума (Signal Noise And Distortion – SINAD),

- измерения, связанные с кодированием и декодированием сигналов, включая тоновый набор, DTMF и сигнализацию,
- в случае анализа сотовых сетей цифровых стандартов перечисленную спецификацию дополняет анализ каналов по параметру ошибки (BER).

Для выполнения всей перечисленной спецификации измерений обычно используют комплексные анализаторы систем подвижной радиосвязи (цифровых или аналоговых стандартов). В состав этих анализаторов входят все необходимые для организации измерений приборы (анализатор спектра, измеритель мощности, осциллограф, генератор РЧ, звуковой генератор, генераторы и анализаторы различных типов модуляции, кодер/декодер протоколов, мультиметр и т. д.). Эти анализаторы могут успешно использоваться для организации измерений не только сотовых систем радиосвязи, но и перечисленных выше типов систем подвижной связи.

13.7. Измерение взаимодействия сотовых сетей через сеть SS7

Учитывая, что работа сети в стандарте GSM требует анализа взаимодействия базовых станций с наземной инфраструктурой коммутации и управления и сетью общего пользования, возникает дополнительная задача измерений параметров наземной подсистемы GSM.

Измерения включают в себя анализ:

- физического и канального уровня каналов E1 и 64 кбит/с,
- параметров интерфейсов A_{bis} и A⁺,
- комплексный протокола SS7/MAP,
- протоколов взаимодействия с сетью общего пользования (SS7, R2 и т. д.),
- качественных параметров голосовых сообщений GSM в наземной сети, обычно выполняется прослушивание и

ВВОД/ВЫВОД ГОЛОСОВЫХ СООБЩЕНИЙ В КАНАЛЫ НАЗЕМНОЙ СЕТИ.

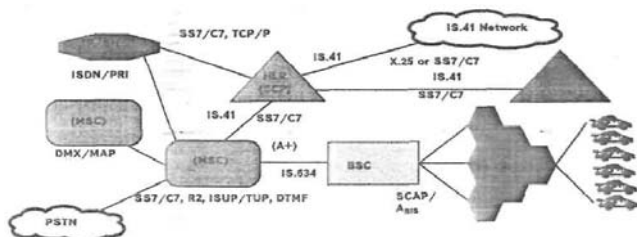


Рис. 13.4. Схема взаимодействия различных узлов цифровой сотовой связи

Часть приведенных параметров анализируется в процессе комплексных измерений на сети SS7 (SS7/MAP и протокол взаимодействия с сетью общего пользования), для анализа остальных параметров (интерфейсов и голосовых сообщений GSM), используются специальные портативные анализаторы наземных каналов GSM. В последнее время получила распространение тенденция оснащения анализаторов потока E1 с функциями анализа протоколов еще и функцией анализа параметров наземных подсистем GSM.

14. КОНЦЕПЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-КОНТРОЛЬНЫХ СИСТЕМ

14.1. Развитие технологии ИКС

ИКС в области телекоммуникации появились в последнее десятилетие и являются следствием интеграционных процессов в технологий измерений. Общей тенденции развития современной техники является интеграция. Эта тенденция охватила как развитие современных технологий телекоммуникаций, так и развитие измерительной техники.

Интеграция в области измерительных технологий идет по трем основным направлениям:

Во-первых, миниатюризация вычислительных устройств и переход к цифровым измерительным технологиям сделал возможным внутреннюю интеграцию, т. е. размещение нескольких приборов в одном корпусе, их объединение в систему и т. д.

Во-вторых, развитие интеграции измерительных и вычислительных средств привело к созданию стандартов HP-IB и VXI, которые обеспечивают простую интеграцию различных приборов и вычислительных устройств в единый комплекс для сбора и обработки информации. Появились локальные сети приборов. Дальнейшее направление с использованием глобальных сетей передачи данных (WAN) привело к появлению **измерительно-контрольных систем.**

В-третьих, с развитием интеграции вычислительных и измерительных устройств возникла возможность не только объединения приборы в комплексы, но и объединения комплексов в локальных систем управления в единую сеть управления связью (TMN).

14.2. Основные типы ИКС

Современные ИКС предназначены для анализа параметров качества сетей связи, поскольку различают первичные и вторичные сети, и операторы у этих сетей различные, ИКС существ-

венно различают операторов первичной и вторичной сетей. В результате ИКС могут быть разделены на два класса:

1. Системы для операторов первичной сети
2. Системы для операторов вторичной сети

ИКС для первичных сетей. ИКС FLEXNET компании ICT electronics представляет собой классическую ИКС для контроля первичной сети PDH. Она состоит из двух основных частей – измерительной системы и системы обработки информации. Как и большая часть ИКС, идеология этой системы основана на размещении на сети большого количества элементарных анализаторов, которые в режиме РВ производят измерения основных параметров сети. Анализаторы объединяются в СПД по протоколу TCP-IP, образуя таким образом измерительную систему. Данные от измерительной системы передаются в центр обработки информации и хранятся затем в виде базы данных. Центр обработки данных и соответствующая база данных образуют систему обработки информации.

ИКС для вторичных сетей. Этот класс систем обеспечивает анализ качества телефонной связи, что включает в себя не всю спецификацию измерения на соответствие нормам на каналы ТЧ, однако дополнительно включает измерение характеристик коммутации в сети. В этом случае производятся пороговые измерения параметров аналоговых каналов на соответствие/ несоответствие задаваемому порогу измерений.

Система NQMS служит для контроля качества телефонной связи. Принцип работы системы довольно простой: на каждом узле связи сети выделяется несколько служебных телефонов, к которым подсоединяется анализатор качества телефонной связи типа CSC-100, выполненный в виде карты ПК. Анализатор по программе из центра производит измерения параметров коммутационного поля и параметров качества соединения с другим анализатором сети. Данные о проведенных измерениях сохраняются на жестком диске и передаются в вычислительный центр сети, где обрабатываются и заносятся в общий банк данных. Анализатор CSC-100 в этом случае выступает в качестве имитатора абонента и анализирует наиболее важные параметры качества телефонной сети: время появления гудка, процент блокиро-

вок по вызовам, уровень шумов в канале, т. е. те параметры, которые интересуют абонента.

14.3. Виртуальные среды сбора и обработки данных. Виртуальные приборы

Примечательной тенденцией в области развития технологий измерений последнего десятилетия явилось создание и распространения виртуальных сред сбора и обработки информации. В мире получили широкое распространение две такие среды – HP VEE фирмы Hewlett-Packard и LabWindows фирмы National Instruments. Обе среды написаны на языке Visual Basic и ориентированы на задачи создания комплексов измерительных средств, сбора и обработки информации.

Особенностью обеих сред является возможность создания и использования виртуальных приборов вместе с реальными приборами, подключенными к компьютеру. Виртуальными приборами называются программные модули обработки данных, которые "включаются" в сеть обработки данных наравне с реальными приборами. Среда HP VEE имеет более удобный пользовательский интерфейс, расширенный математический аппарат и широкие возможности конвертации форматов данных.

Среда LabWindows имеет большее распространение в мире, все основные фирмы-производители измерительного оборудования обеспечивают интеграцию, в первую очередь, с этой средой (обычно имеются программные драйверы для управления приборами), однако LabWindows уступает среде HP VEE по уровню пользовательского сервиса. Примеры программ в средах HP VEE и LabWindows представлены на рис. 14.2 и 14.3 соответственно.

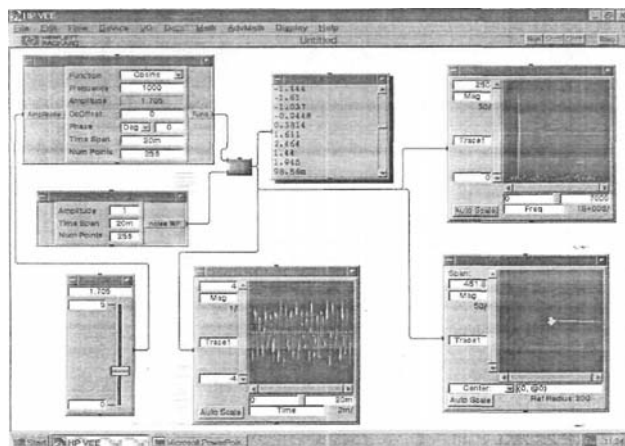


Рис. 14.2. Пример программы в среде HP VEE

На рис. 14.2 показана программа имитации и анализа сигнала без использования реальных приборов. В программе используются функциональный генератор (виртуальный) – **Function Generator**, подающий гармонический сигнал частотой 1 кГц на сумматор $a+B$, где суммируется с шумовым сигналом от генератора шумов **Noise Generator**. Результирующий сигнал с определенным отношением сигнал/шум представлен на виртуальном осциллографе **Waveform (Time)** и в виде данных в блоке **Logging AlphaNumeric** и обработан анализаторами спектра **Magnitude Spectrum** и **Magnitude vs. Phase**.

Схема организации измерений предусматривает регулирование отношения сигнал/шум за счет изменения амплитуды сигнала модулем **Real Slider**. Среда позволяет вынести основные модули **Real Slider** и анализаторы спектра на пользовательскую панель.

Структура аналогичной панели в среде LabWindows в программе для измерения температуры представлена на рис. 14.3.

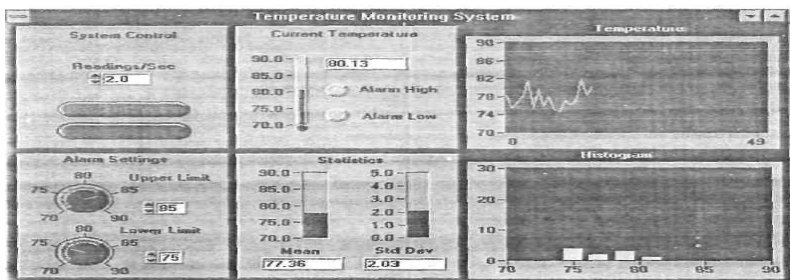


Рис.14.3. Взаимодействие автономных и встроенных измерительных средств. Интеграция измерительных комплексов в TMN

В настоящее время технический прогресс в области связи идет по пути расширенного внедрения автоматизированных систем управления. Частью этого процесса является создание в системах связи систем самодиагностики различных подсистем.

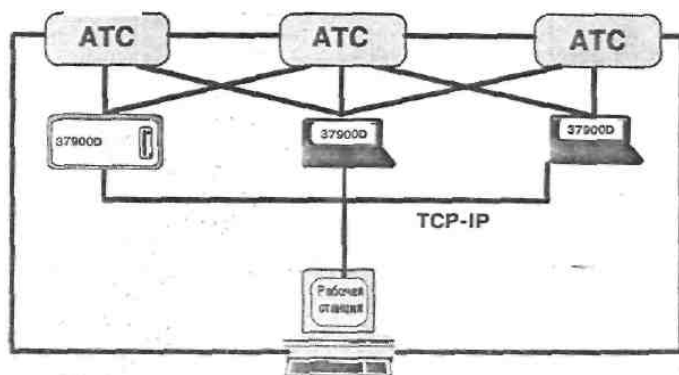


Рис. 14.4. Измерительный комплекс для мониторинга параметров SS7

Приведем несколько аргументов в пользу измерений автономными средствами (приборами). В случае если сеть ограничена оборудованием одного производителя и не имеет выхода в другие сети, нет необходимости в проведении измерений автономными средствами. Однако в реальной практике такие сети не встречаются. Встроенные средства диагностики неизменно оши-

баются, и будут ошибаться там, где встречается разнородное оборудование, нестандартные ситуации и т. д.

В современной практике телекоммуникаций речь идет не о противопоставлении автономных и встроенных измерительных средств, а об их объединении. Сформулированная не так давно общая концепция TMN предполагает создание глобальных систем диагностики и управления системами современных телекоммуникаций. В настоящее время наметилась тенденция интеграции измерительных комплексов в единые системы управления и диагностики на основе принципов TMN. Первый опыт такой интеграции был положительным. Речь идет о проекте создания национальной системы мониторинга параметров SS7 – системы Access7 на основе измерительной техники Hewlett-Packard. Участок такой системы представлен на рис. 14.4.

Таким образом, с развитием современных телекоммуникаций, актуальность использования измерительной техники не уменьшается. Наоборот, возникают интеграционные процессы, которые приведут в будущем к интеграции измерительных комплексов в системы управления TMN.

Заключение

Уровень проникновения информационных технологий во все сферы деятельности уже сейчас достаточно высок. Успехи микроэлектроники в последние два десятилетия несомненны. Даже в бытовые устройства, мобильные телефоны, электронные записные книжки сейчас встраиваются микрокомпьютеры. Тем более электронными устройствами в буквальном смысле начинено любое современное телекоммуникационное оборудование. Как следствие, возникает вполне логичное желание реализовать функции самодиагностики, автокалибровки, автоподстройки «внутри» самого телекоммуникационного оборудования.

Такие элементарные диагностические средства получили название сенсоров и в настоящее время широко внедряются в системах связи. В результате и на заре цифровизации систем связи, и в настоящее время ведется полемика: есть ли место современным диагностическим средствам виде приборов. Кроме того, сами измерительные средства в телекоммуникациях сейчас значительно эволюционировали.

Функциональность современных приборов устроена приблизительно одинаково: каждый прибор обеспечивает измерения всех параметров регламентных измерений и каких-то дополнительных показателей, которые будут ценны при эксплуатационных измерениях. Поэтому сравнение приборов на базисе функционала регламентных измерений, как это делается в большинстве обзоров и руководящих материалах, – задача тривиальная, сравнения не получается, т. к. все приборы поддерживают все параметры регламентных измерений. Различия только в дополнительной функциональности, которая проявится в процессе работы службы эксплуатации. Именно на этом поле идет соревнование идей, методов и технологий.

При анализе основных тенденций в организации систем эксплуатации, получивших развитие в конце 90-х годов и развиваемых в настоящее время, может возникнуть философский вопрос: а нужны ли вообще в XXI в. приборы? Уровень проникновения информационных технологий во все сферы деятельности уже сейчас достаточно высок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бакланов И.Г.* Технология измерений в современных телекоммуникациях. – М; Эко-Трендз, 1997. – 139 с.
2. *Бакланов И.Г.* Технология измерений в первичной сети. Ч.1. Системы E1, PDN, SDN/ Эко-Трендз, 2000. – 142 с.
3. *Бакланов И.Г.* Методы измерений в системах связи. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 196 с.
4. Контроль качества в телекоммуникационных ситемах./Под ред. *А.Б. Иванова.* Компания САЙРУС Системс, 2001. – 336 с.
5. Рекомендация G.703. Физические и электрические характеристики иерархических цифровых стыков. ITU-T.
6. Рекомендация G.704. Синхронные структуры циклов для первичного и вторичного иерархических уровней. ITU-T.
7. Рекомендация G.706. Процедуры цикловой синхронизации и циклического контроля по избыточности (CRC), относящиеся к основным структурам циклов, определенным в рекомендации G.704. ITU-T.
8. Рекомендация G.707. Скорости передачи синхронной цифровой иерархии. ITU-T.
9. Рекомендация G.821. Характеристики ошибок в международном цифровом соединении, образуемом в цифровом соединении с интеграцией служб. ITU-T.
10. Рекомендация G.826. Показатели ошибок и нормы для международных цифровых трактов, работающих на постоянной скорости передачи, равной или превышающей первичную скорость. ITU-T.
11. Рекомендация M.2100. Требования к качественным показателям при сдаче в эксплуатацию и обслуживании международных цифровых трактов, секций и систем передачи. ITU-T.
12. *Галчихин В.И., Сторожук Н.Л., Щитников В.И.* Расчет норм на показатели ошибок в действующих цифровых трактах взаимоувязанной сети связи России.// *Электросвязь*, № 4, 2002.
13. *Нетес В.А.* Еще раз об интерфейсе G.703// *Сети и системы связи*, № 6, 1999.
14. *Щитников В.И., Комягин В.С.* Фазовые дрожания в плезиохронных сетях.// *Метрология и измерительная техника в связи*, № 2, 1999.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Закономерности развития измерительных технологий....	6
1.1 Эволюция подхода к созданию комплексных измерительных решений.....	8
1.2 Измерительные технологии.....	10
1.3 Особенности измерительной технологии.....	11
2. Классификация измерительных технологий современных телекоммуникаций.....	13
2.1 Роль измерительной техники в современных телекоммуникациях.....	13
2.2 Обобщенная модель контроля и классификация измерительных технологий современных телекоммуникаций.....	14
2.3 Системное и эксплуатационное измерительное оборудование.....	15
2.4 Использование семиуровневой модели взаимодействия открытых систем.....	17
3. Технология измерений на волоконно оптических системах передачи.....	22
3.1 Общее описание технологии измерений в оптических системах передачи.....	22
3.2 Измерения на ВОЛС.....	24
3.3 Технические характеристики оптического рефлектометра.....	26
3.4 Способы применения оптических рефлектометров....	36
3.5 Перспективы развития измерительных технологий ВОСП.....	42
4. Технология измерений сред распространения сигнала. Измерения электрических кабелей.....	43
4.1 Обзор методов контроля. Методы измерения. Классификация.....	43
4.2 Основные виды и характеристики контроля.....	45
4.3 Общие тенденции в измерительных технологиях электрических кабелей.....	47
4.4 Измерения на абонентских кабельных сетях.....	51
	143

5.	Методология измерений параметров цифровых каналов. Этапы развития телефонной сети.....	53
5.1	Понятие бинарного канала и методы анализа его параметров.....	53
5.2	Методы вычисления параметров ошибок в цифровых каналах.....	54
6.	Технология радиочастотных измерений.....	57
6.1	Особенности радиочастотных измерений.....	57
6.2	Измерения радиоэфир.....	58
6.3	Измерение характеристик ретрансляторов.....	60
6.4	Измерения основных характеристик радиочастотного тракта.....	62
6.5	Комплексные измерения радиочастотных трактов.....	63
7.	Технология измерений на цифровой первичной сети PDH.....	67
7.1	Структура первичной сети, построенной на основе PDH. Общие тенденции в измерительных технологиях PDH.....	67
7.2	Измерительные технологии PDH. Анализ потока E1..	68
7.3	Измерительные технологии PDH. Анализ потоков E2, E3 И E4.....	79
8	Технология измерений на цифровой первичной сети PDH/SDH.....	82
8.1	Измерительные технологии SDH.....	82
8.2	Измерение джиттера в цифровых системах.....	86
8.3	Глазковые диаграммы (ГД).....	90
9	Измерения на сетях ISDN.....	93
9.1	Развитие технологии ISDN.....	93
9.2	Структура базового доступа 2B+D.....	93
9.3	Методы анализа протоколов базового доступа.....	98
10	Измерения на сетях передачи данных.....	102
10.1	Структура современных сетей передачи данных.....	102
10.2	Анализаторы протоколов сетей передачи данных.....	107
11	Измерения системы сигнализации №7.....	114
11.1	Сеть сигнализации №7 в контексте измерительных технологии.....	114
11.2	Измерения системы сигнализации №7.....	115

11.3	Анализаторы измерительной техники №7.....	117
12	Измерения на сетях АТМ.....	118
12.1	Технологии измерений на сетях АТМ.....	118
12.2	Измерения транспортной среды АТМ.....	118
12.3	Измерительная техника для анализа АТМ.....	121
13	Измерения на сетях подвижной радиосвязи.....	122
13.1	Общая классификация измерений на сетях подвижной радиосвязи.....	122
13.2	Общие измерения на сетях подвижной радиосвязи....	124
13.3	Измерения на сетях УКВ-радиосвязи.....	130
13.4	Измерения на транковых сетях.....	130
13.5	Измерения на сетях персонального радиовызова.....	131
13.6	Измерения на сетях сотовой связи.....	132
13.7	Измерение взаимодействия сотовых сетей через сеть SS7.....	133
14	Концепция измерительно-контрольных систем.....	135
14.1	Развитие технологии ИКС.....	135
14.2	Основные типы ИКС.....	135
14.3	Виртуальные среды сбора и обработки данных. Виртуальные приборы.....	137
	Заключение.....	141
	Библиографический список.....	142

Учебное издание

Айгуль Журсиновна Сагындикова

СПЕЦИЗМЕРЕНИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ

Учебное пособие

Нач. РО ИИЦ

З.А. Губайдуллина

Редактор

Г.М. Дюсенбаева

Компьютерная верстка

А.Б. Аришова

Подписано в печать 03.05.2013 г.

Тираж 300. Формат 60 x 84x 1/16. Бумага типогр. №1.

Уч.-изд.л. 9,1. Усл. 8,5 п.л. Заказ № 89.

Издание Казахского национального технического
университета имени К.И. Сатпаева

Информационно-издательский центр КазНТУ

г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-228-506-2



9

7 8 6 0 1 2 2 8 5 0 6 2