**РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЯ**

Конспект лекций

для  специальности  -

Радиотехника, электроника и телекоммуникации)

Алматы 2024

Составитель: к.ф.м.н- Байдельдинов У.С. Радиоизмерительные приборы и оборудования. Конспект лекций для  специальности – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы:Каз НУ, 2024 – 72 с.

 Данная разработка предназначена для – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. В конспекте лекций рассматриваются различные методы и средства измерения в радиотехнических системах проводных и беспроводных сетей связи.

Ил. 30 табл .нет, библиогр.10.

Рецензент:  Профессор А.З. Айтмагамбетов

Печатается по плану издания «Казахского национального университетим. Аль-Фараби» на 2024-2025 уч. г.

Осн. Будущий план 2024

**Введение**

Современное развитие телекоммуникационных технологий характеризуется повышенным требованием к качеству предоставляемых услуг связи, что предполагает грамотную организацию измерений на сети связи. Измерение наряду с анализом, тестированием, мониторингом и контролем являются методами контроля телекоммуникационных систем применительно к качеству обслуживания в электросвязи .

Изучение магистрантами курса «Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах» базируется на дисциплинах бакалавриата  «Теория электросвязи», «Вычислительная техника», «Передача дискретных сообщений», «Многоканальные системы передачи», «Линии связи», "Метрология, стандартизация и сертификация". Смежными дисциплинами являются: «Цифровые системы передачи», «Цифровая коммутация», «Волоконно-оптические системы передачи».

В результате изучения дисциплины «Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах» магистрант должен:

-   знать основы измерений телекоммуникационных систем, методы и средства измерений аппаратуры телекоммуникационных систем, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области техники связи, методы оценки параметров устройств и систем связи, передовые методы технического контроля и диагностики в процессе настройки и эксплуатации средств связи;

-   уметь правильно рассчитывать, анализировать и разрабатывать задачи, относящиеся к измерительным технологиям   телекоммуникационных сетей, осуществлять анализ надежности и схем диагностики   телекоммуникационных систем и средств связи;

-   иметь навыки технического контроля и диагностики в процессе  настройки и технической эксплуатации систем и устройств связи.

Основная задача дисциплины «Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах» - обучить магистрантов основам теории измерений параметров телекоммуникационных систем, а также привить им практические навыки по проведению технического контроля и диагностики и обучить методам технической эксплуатации телекоммуникационных систем и сетей связи.

Предусмотренные программой данного курса  знания являются базой для освоения специальности и формирования дипломированных специалистов направлений телекоммуникации.

**Лекция 1. Основные понятия и определения**

**Цель:** изучение единиц, методов и систем измерения, классификации данных систем.

**Единицы, системы единиц**

Комиссия по разработке единой Международной системы единиц разработала проект Международной системы единиц, который был утвержден 9-й генеральной конференцией по мерам и весам. Принятая система была названа Международная система единиц СИ (SI – System International). Специалисты исходили из того, чтобы охватить системой все области науки и техники; принять удобные для практики размеры основных единиц, уже получившие распространение; выбрать в качестве основных единиц таких величин, воспроизведение которых возможно с наибольшей точностью.

В системе СИ в качестве основных приняты  семь единиц:

Метр – единица длины, килограмм – единица массы, кельвин – единица температуры, кандела – единица сила света, ампер – единица силы тока, секунда – единица времени, моль – количество вещества.

Остальные единицы являются производными.

**Классификация измерительных устройств (ИУ)**

Все средства измерений делятся на шесть видов : меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, вспомогательные средства измерений, измерительные установки и измерительные системы. Наиболее многочисленной группой средств измерений являются измерительные приборы и преобразователи, которые обобщенно называются измерительными устройствами (ИУ). В силу большого разнообразия их классифицируют по различным признакам:

-  По используемым физическим процессам ИУ разделяют на механические, электромеханические, электронные, оптоэлектронные и т.п.

-  По физической природе измеряемой величины различают вольтметры, амперметры, термометры, манометры, уровнемеры, влагомеры и т.д.

-  По виду измеряемой величины или сигнала измерительной информации, а также по способу обработки сигнала приборы делятся на аналоговые и цифровые. Также различают приборы непрерывного и дискретного действия.

-  По структурному принципу различают измерительные устройства прямого действия (преобразования); в котором реализуется метод непосредственной оценки, измерительные устройства, работа которых основана на методе сравнения.

-  По структурным признакам ИУ также можно классифицировать по числу каналов и по временной последовательности преобразований входных сигналов. В зависимости от числа входных сигналов, несущих информацию об измеряемой величине, ИУ бывают с одним (например – вольтметр), двумя (фазометр) и более входами, т.е. соответственно одно-, двух-  и многоканальными.

-  По точности ИУ делят на образцовые, используемые для поверки других ИУ и утвержденные в качестве образцовых, и рабочие, используемые непосредственно в практических измерениях, не связанных с передачей размера единиц.

-  По частотному диапазону ИУ делят на низкочастотные (НЧ), высокочастотные (ВЧ) и сверхвысокочастотные (СВЧ), по ширине полосы частот – на широкополосные и избирательные (селективные).

-  По месту использования ИУ делят на лабораторные и производственные, которые резко отличаются по условиям эксплуатации, по техническим и метрологическим характеристикам.

**Основные принципы измерений**

**Методы измерения**

**Метод измерений** - прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Обычно метод измерений обусловлен устройством средства измерений. Различают: дифференциальный, нулевой, контактный и бесконтактный методы измерений, а также методы сравнения с мерой и метод непосредственной оценки.

Наиболее просто реализуется **метод непосредственной оценки**, заключающийся в определении величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия, например, взвешивание на циферблатных весах, определение размера детали с помощью микрометра или измерение давления пружинным манометром.

**Метод сравнения с мерой**, заключающийся в том, что измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на измерительный прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между ними, называется методом противопоставления. **Применение метода противопоставления** позволяет значительно уменьшить воздействие на результаты измерений влияющих величин, поскольку они более или менее одинаково искажают сигналы измерительной информации как в цепи преобразования измеряемой величины, так и в цепи преобразования величины, воспроизводимой мерой. Отсчетное устройство прибора сравнения реагирует на разность сигналов, вследствие чего эти искажения в некоторой степени компенсируют друг друга.

Разновидностью метода сравнения с мерой является **также нулевой метод измерения**, который состоит в том, что подбором размера воспроизводимой мерой величины или путем ее принудительного изменения эффект воздействия сравниваемых величин на прибор сравнения доводят до нуля.

При **дифференциальном методе измерения** на измерительный прибор (необязательно прибор сравнения) подается непосредственно разность измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. К разновидностям метода сравнения с мерой относится **и метод замещения**, широко применяемый в практике точных метрологических исследований. Сущность метода в том, что измеряемая величина замещается в измерительной установке некоторой известной величиной, воспроизводимой мерой. Замещение может быть полным или неполным, в зависимости от чего говорят о методе полного или неполного замещения.

Одним из общих методов измерений является **метод совпадений**, представляющий собой разновидность метода сравнения с мерой.

**Способ компенсации** постоянных и периодических погрешностей по знаку. При реализации этого способа процесс измерения строится таким образом, что постоянная систематическая погрешность входит в результат измерения один раз с одним знаком, а другой раз - с другим.

**Способ вспомогательных измерений** применяется в тех случаях, когда воздействие влияющих величин на результаты измерений вызывает большие погрешности измерений. Тогда идут на заведомое усложнение схемы измерительной установки, включая в нее элементы, воспринимающие значение влияющих величин, автоматически вычисляющие соответствующие поправки и вносящие их в полезные сигналы, которые поступают на отсчетные или регулирующие устройства.

**Бесконтактный метод измерений** - метод измерений с мерой, основанный на том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерения.

**Кодовый метод** - метод измерения дальностей в системах спутникового позиционирования.

**Контактный метод измерений** - метод измерений с мерой, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения.

**Метод отклонения –** показание используемого измерительного прибора полностью определяет результат измерения.

**Разностный метод** – измеряется только разность между неизвестной величиной и известным эталонным значением.

**Мостовой метод** – использование мостовых схем.

**Когерентные выборки.** Эта стратегия измерения дает нам возможность обрабатывать измерительный сигнал с шириной спектра F, значительно большей, чем ширина полосы В измерительной системы, при условии что сигнал является периодическим. Беря отсчеты значений  измеряемого сигнала с интервалом, немного превосходящим n периодов сигнала (n – целое число: Тn+δ), можно запомнить форму сигнала и получить верное представление о нем. При когерентных выборках частотный спектр восстановленного сигнала, представляющий собой огибающую пиковых значений, был уже полосы пропускания измерительной системы, применяемой для обработки исходного сигнала, из  которого берутся выборки. Такого рода взятие выборок  осуществляется при стробоскопических  измерениях. Так, например, в стробоскопических осциллографах с полосой пропускания 20 кГц можно воспроизводить периодические электрические сигналы с частотой до 15 ГГц.

 **Случайные выборки.** Если нас интересует только информация о величине , а не форма сигнала, выборки можно брать в произвольнее моменты времени – случайные выборки. Так можно определить среднеквадратическое значение сигнала. С широкополосным спектром. Сигнал не должен быть периодическим. При случайном взятии выборок  полоса пропускания В измерительной системы также может быть меньше ширины спектра F измеряемого сигнала.

**Мультиплексирование.** Эта стратегия при измерении позволяет одновременно (при частотном мультиплексировании) или последовательно (при временном мультиплексировании) обрабатывать  несколько сигналов. Этим методом можно воспользоваться, когда полоса В измерительной системы много больше ширины частотного спектра F измеряемых сигналов.

**Погрешность средств измерений.** Погрешность прибора характеризует отличие его показаний от истинного или действительного значения измеряемой величины. Погрешность преобразователя определяется отличием номинальной (т.е. приписываемой преобразователю) характеристики преобразования или коэффициента преобразования от их истинного значения.

 Погрешность меры характеризует отличие номинального значения меры от истинного значения воспроизводимой ею величины.

По способу выражения различают погрешности :

-       абсолютная погрешность прибора – разность между показаниями прибора xп и истинным значением измеряемой величины x :  = xп – x;

-       относительная погрешность прибора – отношение абсолютной погрешности прибора к истинному (действительному) значению измеряемой величины : = /x или в процентах = 100/x, где если x >> , то вместо x  с достаточной степенью точности можно использовать xп ;

-       приведенная погрешность прибора – отношение в процентах абсолютной погрешности прибора к нормирующему значению :  = 100/xнорм.

**Роль измерительной техники в современных телекоммуникациях**

С переходом к цифровым технологиям передачи данных с высокой пропускной способностью (SDH и АТМ), 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.

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 развития специализированного рынка измерительной техники для телекоммуникаций, который начинает развиваться столь же динамично, как и рынок самих средств связи.

**Лекция 2. Измерительные технологии**

**Цель:** изучение различных видов технологий измерений.

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.

В связи с этим возникают задачи контроля и настройки работы интеллектуальных систем, каковыми в настоящее время являются сети связи. Этот процесс идет двумя путями:

– развитие систем внутренней диагностики интеллектуальных узлов сетей;

– 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.

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.

Еще одна важная особенность современной измерительной техники для телекоммуникаций состоит в том, что с развитием цифровизации сетей связи происходит специализация измерительной техники.

Развитие цифровых систем передачи и коммутации привело в тому, что измерительная техника для телекоммуникаций стала высоко специализированной, что означает, что ее в большинстве случаев невозможно использовать в других областях человеческой деятельности. Современные измерительные приборы для телекоммуникаций, такие как анализаторы протоколов сигнализации, анализаторы цифровых систем передачи, измерительные приборы ВОЛС и т.д. составляют рынок специализированной техники.

Наконец, важным процессом, связанным с цифровизацией в области систем связи, является изменение принципов и методов проведения измерений. Методология измерений в современных телекоммуникациях расширилась, появилось новое направление измерительной технологии, ориентированное на анализ логических последовательностей команд и сообщений. В результате, современная методология измерений включает не только технологию измерений параметров сигналов, но и логический анализ алгоритмов работы интеллектуальных устройств и протокол-анализ их взаимодействия (см. рисунок 1).



Рисунок 1- Иерархия приоритетов современной связи

**Классификация измерительных технологий современных телекоммуникаций**

Современную измерительную технику для телекоммуникаций отличает узкая специализированность.

**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 мониторирование состояния всей сети. Системным оно названо потому, что современное оборудование этого класса имеет широкие возможности интеграции в измерительные комплексы и сети измерительных приборов. Системное оборудование применяется для полнофункциональных тестов в процессе сертификации, лабораторных и опытных испытаний, проверки параметров оборудования и в процессе его производства.

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

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.

Вторым 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.

Требование модернизируемости важно в силу быстрого развития технологии и принятия новых стандартов. Удобство работы является следующим по важности параметром. Имеется ряд многофункционального системного оборудования в “недружественными” интерфейсами. Использование таких приборов требует от специалиста долгого изучения прибора, что не всегда эффективно.

Стоимость для системного оборудования не является первичным критерием выбора, поскольку для приборов этого класса стоимость находится в прямой зависимости от функциональности. Портативность для этого класса оборудования не требуется. В то же время эксплуатационное оборудованиев первую очередь должно быть портативным и дешевым, затем надежным и уже после этого многофункциональным. В связи с этим системное оборудование становится постепенно портативным, тогда как эксплуатационное оборудование становится все более многофункциональным.

**Измерения в различных частях современной системы электросвязи**

**Общая классификация измерительной техники**

Рассмотрение динамики развития измерительной техники должно идти в контексте классификации измерительных технологий по использованию в различных частях системы электросвязи. Поскольку современные приборы имеют узкую специализацию по применению в различных частях системы электросвязи, такая классификация уместна.Для разработки такой классификации рассмотрим структурную схему современной цифровой системы электросвязи (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Структура системы электросвязи

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 радиоэфир или радиочастотный ресурс. Среда распространения сигнала используется для создания типовых трактов первичной сети электросвязи.

Цифровая первичная сеть может строится на основе принципов плезиохронной цифровой иерархии (PDH) или синхронной цифровой иерархии (SDH).

Типовые каналы и тракты первичной сети используются различными вторичными сетями: сетями цифровой телефонии, цифровыми сетями с интеграцией служб (ISDN), сетями на основе принципов асинхронного режима передачи (ATM), сетями передачи данных на основе использования таких протоколов как Х.25, Frame Relay и т.д., сетями 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 (см.рисунок 3).

**Первый уровень** измерений включает в себя тестирование среды распространения сигнала: кабельной и радиоэфира. Кабельное тестирование включает в себя тестирование металлических кабелей и оптоволоконных кабелей. Эти измерения могут проводится как на этапе анализа характеристик кабеля перед прокладкой, так и на уже проложенном кабеле на этапе эксплуатации для определения обрывов, участков деградации качества и т.д.

Радиочастотные измерения связаны с измерением радиорелейных и спутниковых систем передачи и контролем эфира. Как правило, эти измерения тесно связаны с измерениями на вторичных сетях радиосвязи.

**Второй уровень измерений** - это измерения цифровых трактов первичной сети.

**Третий уровень измерений** включает в себя измерения на вторичных сетях связи. Эти измерения обычно включают в себя следующие группы: измерения канального уровня, протокол-анализ работы устройств, трафиковый анализ и анализ качества предоставления услуги. Более подробно измерения на вторичных сетях будут описаны в следующем разделе.

На всех уровнях измерений используются специализированные приборы. Универсализация измерительных приборов на современном этапе развития телекоммуникаций обычно связана с объединением двух или трех групп (например, анализаторы PDH/SDH, протокол-тестеры ISDN/ОКС 7 и т.д.). Большая универсализация измерительных приборов на современном уровне сложности технологии телекоммуникаций практически невозможна.



Рисунок 3- Алгоритм изучения измерительной технологии

**Лекция 3. Обобщенная модель контроля и классификация измерительных технологий современных телекоммуникаций**

**Цель:** изучение средств измерений и анализа параметров диагностирования и контроля ТКС.

**Основные понятия и определения**

Диагностирование, контроль в сочетании с измерением, анализом и тестированием служат боле 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 том числе сигнала, с помощью специальных технических средств,  осуществляющих измерения с последующей обработкой по определенному правилу результатов этих измерений.

**Средства измерений и анализа параметров физических объектов и величин –** устройства, реализующие установление свойств физических величин и их параметров.

**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  сравнению с нормой подвергается множество объектов, находящихся под воздействием физической величины (величин) установленного размера или совокупности размеров, в том числе 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.

**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 х(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).

**Логически структурированные сигналы как многомерные матрицы их элементов. N-мерное представление структурированного сигнала**

Логически структурированные сигналы современных цифровых систем передачи, как правило имеют довольно сложную структуру и поэтому для их описания наиболее целесообразно математический аппарат N - мерных или пространственных матриц. Сущность данного подхода  заключается в разбиении  цифрового сигнала на элементарные поля информационных битов и их размещении в N-мерных пространственных матрицах. При этом число N измерений матрицы исходного сигнала определяется требуемой степенью приближения её структуры  к структуре самого сигнала.

Существует два подхода к тому, как организовать  данные в многомерный массив:

     страничная интерпретация – когда в основу берутся двухмерные массивы, считающиеся размещенными на страницах, затем организованные в трехмерные,     4-хмерные и т.д. массивы (см. рисунок 4);

     пространственная интерпретация – многомерные данные, когда рассматриваются измерения физических величин в точках трехмерного пространства (см. рисунок 5).

|  |  |
| --- | --- |
|   | Столбцы |
| Строки | b1.1 | b1.2 | b1.3 | b1.4 |
| b2.1 | b2.2 | b2.3 | b2.4 |
| b3.1 | b3.2 | b3.3 | b3.4 |
| b4.1 | b4.2 | b4.3 | b4.4 |
| b5.1 | b5.2 | b5.3 | b5.4 |
| b6.1 | b6.2 | b6.3 | b6.4 |

(6 – индекс строки, 4 – индекс столбца)

Рисунок 4- Структура 2-мерного массива размеров 6х4

Первый подход  позволяет реализовать более широкие возможности  при моделировании, например, отразить процессы  анализа протоколов взаимодействия открытых систем.

Страница 1

|  |  |
| --- | --- |
|   | Столбцы |
| Строки | b1.1.1 | b1.2.1 | b1.3.1 | b1.4.1 |
| b2.1.1 | b2.2.1 | b2.3.1 | b2.4.1 |
| b3.1.1 | b3.2.1 | b3.3.1 | b3.4.1 |
| b4.1.1 | b4.2.1 | b4.3.1 | b4.4.1 |
| b5.1.1 | b5.2.1 | b5.3.1 | b5.4.1 |
| b6.1.1 | b6.2.1 | b6.3.1 | b6.4.1 |

Страница 2

|  |  |
| --- | --- |
|   | Столбцы |
|   Строки | b1.1.2 | b1.2.2 | b1.3.2 | b1.4.2 |
| b2.1.2 | b2.2.2 | b2.3.2 | b2.4.2 |
| b3.1.2 | b3.2.2 | b3.3.2 | b3.4.2 |
| b4.1.2 | b4.2.2 | b4.3.2 | b4.4.2 |
| b5.1.2 | b5.2.2 | b5.3.2 | b5.4.2 |
| b6.1.2 | b6.2.2 | b6.3.2 | b6.4.2 |

Страница 3

|  |  |
| --- | --- |
|   | Столбцы |
|   Строки | b1.1.3 | b1.2.3 | b1.3.3 | b1.4.3 |
| b2.1.3 | b2.2.3 | b2.3.3 | b2.4.3 |
| b3.1.3 | b3.2.3 | b3.3.3 | b3.4.3 |
| b4.1.3 | b4.2.3 | b4.3.3 | b4.4.3 |
| b5.1.3 | b5.2.3 | b5.3.3 | b5.4.3 |
| b6.1.3 | b6.2.3 | b6.3.3 | b6.4.3 |

(1-ый индекс – строка, 2-ой индекс – столбец,

3-ий индекс –номер страницы)

Рисунок 5 - Структура  3-мерного массива размером 6х4х3

Таким образом, элементы матрицы можно отождествлять с соответствующими фрагментами реализации сигнала в соответствующем интервале наблюдения. Данное соотношение  можно использовать для решения различных задач, в том числе для моделирование процессов  анализа логически структурированных сигналов при их обработке в процессе взаимодействия открытых систем.

**Многомерное описание реализаций структурированных сигналов**

Моделирование протокола передачи данных. Метод математического моделирования логически структурированных сигналов на основе многомерных матриц позволяет отражать передаваемые протоколы и их структуру.

**Основные контрольно-измерительные операции.**

Процедура контроля основана на сопоставлении величины Х с получением результата  в виде соответствует/не соответствует. Контроль и измерение представляют собой  многооперационные процедуры, которые включают метрологические операции и отличаются наличием знаковой операции при контроле.

**Основные измерительные операции и средства их реализации.**

Важнейшей операцией процесса измерения является воспроизведение величин заданного размера, которая реализуется посредством меры. Данная процедура может быть представлена как преобразование кода в заданную физическую величину. Регулирование меры может осуществляться  по детерминированному или случайному закону с одновременным воспроизведением одной или многих однородных величин требуемых размеров – одноканальных или многоканальных.

Другой важнейшей операцией измерения является сравнение, заключающееся в определении отношения порядка или соотношения между размерами однородных величин вида больше – меньше или приблизительно равно. Сравнение осуществляется путем  вычитания величин, в результате чего создается разностная величина, знак которой содержит информацию о соотношении между сравниваемыми величинами.

Измерительное преобразование является важной измерительной операцией, обеспечивающей согласование характеристик сигнала, полученного в результате измерительного преобразования, с характеристиками входного сигнала при максимальном сохранении информации о входном сигнале, позволяя тем самым проводить его дальнейшую обработку.

Измерительное преобразование включает в себя:

                   изменение физического рода сигнала;

                   линейное и нелинейное согласование по размеру параметра входного сигнала с выходным сигналом – линейное и нелинейное преобразование;

                   согласование по импедансу для достижения минимального искажения исследуемого физического процесса;

                   согласование по частному и временному диапазонам.

Частным случаем измерительного преобразования является масштабирование, которое  представляет собой преобразование входного сигнала Х  в однородный выходной сигнал с размером. Пропорциональным размеру информативного параметра входного сигнала. Масштабирование часто носит название масштабного преобразования и аналитически представляется в виде

Х1 = КМПХ,

где КМП – коэффициент масштабного преобразования, который может изменяться по детерминированному КМП(t) или случайному р(КМП ,Х) законам.

Следует различать:

                   масштабный нерегулируемый одноканальный преобразователь, характеризующийся постоянным коэффициентом преобразования КМП=const и уравнением преобразования Х1 = КМПХ ;

                   масштабный нерегулируемый с пространственным разделением многоканальный преобразователь, характеризующийся наличием нескольких выходных каналов с постоянными коэффициентами преобразования

Х1=КiмпХ,     i=1,2,3,...,N;

                   масштабный регулируемый с временным разделением одноканальный преобразователь, характеризующийся изменяемым  Х1=КМПРХ;

                   масштабный регулируемый с пространственным и временным разделением многоканальный преобразователь, характеризующийся наличием нескольких выходных каналов с переменными коэффициентами преобразования КiМПР  каждого канала с уравнением преобразования                                      Х1=КiмпХ,     i=1,2,3,...,N.

**Операции счета и их реализация**

Частным случаем измерений является счет, который может выполняться как для объектов. Так и для физических величин, например битов и аналитически может быть представлен выражением

                   0 при zk = 0

        θ при  zk ≠ 0,

где zk=;

Ксч и Х1- соответственно, коэффициент преобразования и подлежит счету;

i-ое числовое значение физической величины;

Nm  и Δхk  - соответственно, числовое значение и шаг квантования меры.

Основными характеристиками счета   являются достоверность и скорость, которые реализуются в специально предназначенном для этой цели устройстве. Для осуществления счета  необходимо обнаружение  каждого объекта в отдельности  из всей совокупности распределенных в пространстве и во времени объектов.

**Операции тестирования и их реализация**

Тестирование может включать  как основные измерительные операции, так и операции равнозначности кодов. Поэтому тестирование бывает с использованием измерительных операций, тестирование с определением равнозначности кодов и тестирование, включающее оба типа операций.

Процедуру  анализа кодированных сигналов (протоколов или цифрового потока) можно формализовать, используя временное представление анализируемого сигнала и его нормы в виде:

        ,

где i=1,2,....,n   В этом случае выходная функция анализа кодированных сигналов

                                                            0      при  Х(t)=Хm(t),

                                   z     при Х(t)≠Хm(t)

принимает значение, равное 0 только при равенстве одноименных битов Х(t) и Хm(t),, т.е. при  полном совпадении, например, тестируемого протокола заданного стандарту. В противном случае результат сравнения  может быть представлен в виде некоего кода неравнозначности z, в соответствии  с которым формируется сообщение о результате анализа z  Г.

**Лекция 4. Обзор методов контроля. Методы измерения. Классификация**

**Цель:** изучение методов контроля и тестирования аппаратуры систем связи.

**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 уравновешивания**, 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.

Методы сопоставления и уравновешивания можно реализовать различными способами:

                   С многоканальной нерегулируемой мерой и операцией сравнения, выполняемой несколькими устройствами сравнения.

                   С одноканальной нерегулируемой мерой и масштабными многоканальными преобразователями.

Разновременное уравновешивание (метод замещения) основано на выполнении измерения с использованием регулируемого масштабного преобразователя и устройства сравнения в два этапа. На первом значение выходной величины масштабного преобразователя запоминается, а на втором подается изменяющийся по значению выходной сигнал регулируемой меры до тех пор, пока  он не сравняется с запомненным значением, т.е. х1 – NmΔхк=0,   где   х1=Х – Δ – запомненное значение входной величины Х, а Δ – отклонение этого значения  к моменту времени сравнения.

**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.

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.

Процедуру анализа кодированных сигналов (протоколов или цифрового потока)можно отразить, используя представления n-мерного анализируемого кода и его нормы в матричном виде.

Данные методы основаны на принципе избыточности, заключающемся в передаче  количества  информации, превышающего её содержательный объем, что нередко улучшает производительность системы связи за счет уменьшения числа  повторных установлений связи.

Для реализации процедур обнаружения и исправления ошибок используются различные методы контроля кодов (посимвольный и поблочный контроль четности,  контроль циклическим избыточным  кодом и др.). а для их коррекции – специальное формы представления информации, заключающиеся в использовании специальных кодов с исправлением ошибок, таких, как код Хемминга, код Рида-Соломана, код Боуза-Чоудхури-Хоквингема 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.

Условие равнозначности может быть установлено  путем контроля четности-нечетности кодов при обнаружении их однократного несоответствия.

**Средства контроля.** Инструменты и системы контроля имеют одно общее свойства, заключающееся в соединении информации и физического мира, требующих для исследования огромного количества инструментов. Учитывая, что точность преобразования физических величин и их параметров в необходимую нам информацию определяет используемые инструменты,  распределение и соединение последних позволяет создавать системы и средства контроля

**Анализаторы протоколов.** Протокол определяет правила последовательности процедур  и описывает процесс взаимодействия устройств передачи данных, в то время как  анализатор протоколов представляет собой прибор, позволяющий произвести тщательное исследование выполнения этих процедур с тем, чтобы установить насколько точно процессы взаимодействия следуют тем или иным протоколам, т.е. установить соответствие  абстрактных и реальных процессов.

Анализаторы протоколов (Protocolanalyzers) представляют собой программные или аппаратно-программные системы, которые ограничиваются в отличие от систем управления лишь функциями мониторинга и анализа трафика в сетях. Хороший анализатор протоколов может захватывать и декодировать пакеты большого количества протоколов, применяемых в сетях - обычно несколько десятков. Анализаторы протоколов позволяют установить некоторые логические условия для захвата отдельных пакетов и выполняют полное декодирование захваченных пакетов, то есть показывают в удобной для специалиста форме вложенность пакетов протоколов разных уровней друг в друга с расшифровкой содержания отдельных полей каждого пакета.

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 компонентов 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.

**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.

Учитывая, что в процессе эксплуатации системы из-за влияния ряда дестабилизирующих факторов качество ее функционирования снижается, эксплуатационные нормы устанавливаются менее жесткими по сравнению с установочными нормами и соответствуют удовлетворительному качеству связи.

По режиму выполнения следует различать ручной, автоматический и автоматизированный режимы, осуществляемые только тех. персоналом.

В зависимости от режима работы оборудования контроль может осуществляться с включенным оборудованием, с выключенным 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 (см. рисунок 6).

**Процедуры              Информационный процесс        Функция**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  | http://lib.aipet.kz/aies/facultet/frts/kaf_tks/23/umm/tks_6.files/image012.gif |  |  |
|  |  | http://lib.aipet.kz/aies/facultet/frts/kaf_tks/23/umm/tks_6.files/image013.gif |
|  |  |  |

Информационно-                                                                   Сетенезависимые

логические                                                                                     функции

|  |
| --- |
|  |
|  | http://lib.aipet.kz/aies/facultet/frts/kaf_tks/23/umm/tks_6.files/image016.gif |

     Общие и межсетевые

   функции

Контрольно-                                                                                  Сетезависимые

измерительные                                                              измерительные                                                                                                                                                        функции                              Физическая величина, объект или процесс

Рисунок 6 -  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.

**Лекция 5**. **Информационная модель системы измерений для телекоммуникационной компании. Параметры измерительных систем**

**Цель:** рассмотреть принципы построения корпоративной системы измерений и параметры измерительных систем.

**Базовые принципы построения корпоративной системы измерений**

                   возможности корпоративной системы измерений должны обеспечивать решения всех задач служб эксплуатации компании;

                   все объекты телекоммуникационной инфраструктуры компании (которые возможно) необходимо контролировать, тестировать, измерять их параметры;

                   технологические процессы измерений должны быть максимально автоматизированы;

                   все результаты тестирования, контроля и измерений должны сохраняться в корпоративном хранилище данных для дальнейшего анализа, обработки и принятия решений;

                   полученные результаты измерений от множества различных разнотипных измерительных средств должны быть унифицированы;

                   система измерений должна обеспечивать взаимодействие и обмен информацией с другими информационными системами компании, как для получения необходимой информации от них, так и для предоставления данных по измерениям другим системам.

Потребителями результатов измерений могут быть:

                   пользователи – персонал соответствующих служб;

                   информационные системы -внешние по отношению к системе измерений.

**Методологическая информационная модель системы измерений**

Основными сущностями данной модели являются:Службы (подразделения) компании, которые причастны к каким-либо процессам измерений. Данная сущность определяет список всех служб/подразделений, которые должны решать определенные задачи эксплуатации, и для выполнения последних им необходимо выполнять какие-либо измерительные процедуры либо выполнять обработку результатов измерений, которые исполняли другие службы или подразделения.

**Объекты измерений**

Под объектами измерений понимаются объекты телекоммуникационной инфраструктуры, которые необходимо контролировать, тестировать, измерять какие-либо параметры. Степень детализации объектов измерений определяется наличием у конкретного объекта каких-либо параметров, которые каким-либо способом возможно измерить, протестировать или проконтролировать.

**Задачи эксплуатации.** Под задачами эксплуатации понимается список задач, которые должны выполнять службы эксплуатации, и для которых необходимо проводить какие-либо измерительные процедуры либо выполнять обработку и анализ результатов измерений.

         **Методики измерений**. Для решения каждой из задач службы эксплуатации должна использоваться формализованная методика измерений, обработки и анализа результатов измерений. Данные методики должны основываться на различного рода нормативных документах, стандартах, руководящих документах компании.

**Параметры измерений**. Все параметры, которые можно измерить, протестировать либо контролировать для всех объектов телекоммуникационной инфраструктуры компании.

**Тесты.** Любая измерительная процедура заключается в выполнении какого-либо измерительного теста. Выполнение одного теста может включать измерение одного либо нескольких параметров. При этом одни и те же параметры могут входить в различные тесты. На уровне теста может проводиться диагностика состояния объекта измерений.

Характеристики тестов

Оперативность.

Оперативность характеризует тест с точки зрения быстроты получения результатов. Тесты могут иметь следующие характеристики оперативности:
- оперативный – определяет возможности получения результатов теста в режиме: сделали запрос – получили результат (режим online).
- процедурный – для проведения теста необходимо выполнить определенную технологическую процедуру (например, для тестирования сопротивления шлейфа нужно выполнить вызов абонента, а потом провести измерение сопротивления шлейфа);

- ручной – тестирование параметров можно выполнить только в ручном режиме.

**Параметры измерительных систем**

Параметры измерительных систем могут влиять на правильность результата измерения. Если один или большее число параметров отражающих эти характеристики, не соответствует требуемым (или заданным)значениям, то при измерении будут происходить ошибки.

Метрологическая характеристика средства измерений - характеристика одного из свойств средства измерений, влияющих на результат измерений или его погрешность. Основными метрологическими характеристиками являются диапазон измерений и различные составляющие погрешности средства измерений.

**Чувствительность.** Чувствительность средства измерений – свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины . Чувствительность S  линейной измерительной системы - это отношение величины выходного сигнала  y   к величине входного сигнала х    S= y/x

Различают:

- абсолютную чувствительность = отношение изменения выходного сигнала к абсолютному изменению измеряемой величины;

- относительную чувствительность = отношение изменения выходного сигнала к относительному изменению измеряемой величины. Чувствительность зависит от частоты.

**Порог чувствительности**

Порог чувствительности средства измерений - наименьшее изменение измеряемой величины, вызывающее заметное изменение выходного сигнала средства измерений. Порог чувствительности  препятствует обнаружению сколь угодно малых сигналов. При случайных флуктуациях (шумах) малый по величине входной сигнал «тонет» в этом шуме.

 Общепринятой мерой  порога чувствительности является величина входного сигнала, для которого отношение сигнал/шум равно 1. Тогда в случае шума с нормальным распределением мгновенных значений, вероятность обнаружения равна примерно 70%.

Порог чувствительности – наименьший сигнал, который  можно обнаружить с определенной степенью достоверности на фоне собственного шума измерительной системы. Шум уменьшается с уменьшением ширины полосы системы, тем самым увеличивая порог чувствительности.

**Чувствительность к форме сигнала**

Сигнал на входе измерительной системы служит носителем информации о значении физической величины, которая должна быть измерена.

**Разрешающая способность**

Разрешающая способность (разрешение) ИС – это размер шага, на который может быть настроена система, или шага, с которым на индикатор выводится результат действия системы. РС – это наименьший интервал Δх, который все еще вызывает изменение результата измерения у.  Численно РС выражается в виде R=x max/Δх .

**Нелинейность**

В измерительной системе с независящей от частоты чувствительностью  соотношение между выходным сигналом у  и входным сигналом х линейно, когда функция у=f(х) представляет собой прямую линию. Такие системы называются статическими системами. Системы с частотно зависимой чувствительностью называют динамическими системами. Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции.

**Пределы измерений. Динамический диапазон**

Пределы измерений определяются интервалом (хmin хmax), внутри которого с помощью данной системы можно измерить  нужную величину с требуемой точностью. Динамический диапазон измерительной системы равен отношению хmin /хmax. Величина хmax обычно определяется предельным значением допустимой нелинейности, которая проявляется при больших входных сигналах.

**Отклик системы**

Реакция измерительной системы на приложенное ко входу воздействие  называется откликом системы. Отклик измерительной системы должен давать верное представление о воздействии; цель измерения, состоит не только в том, чтобы определять хар-ки ИС. Когда значение измеряемых физических величин меняются со временем важно точно знать, как ИС будет отслеживать эти изменения: поведение системы в динамике должно обеспечивать верное воспроизведение измеряемой величины.

**Лекция 6. Особенности представления цифровых сигналов (ЦС). Методы представления сигналов в виде диаграмм**

**Цель:** изучение методов представления цифровых сигналов в виде диаграмм.

Отличие цифровых сигналов от аналоговых заключается в том, что параметры аналоговых сигналов меняются непрерывно, а цифровые – дискретно. Эта особенность цифровых сигналов позволяет использовать для их анализа специфические методы. В методологии ЦС широкое распространение получили специальные диаграммы, что определяется дискретной природой сигналов. При проведении измерений используются  два класса диаграмм: диаграммы физических параметров цифрового сигнала, к которым относятся глазковые диаграммы, диаграммы состояний, а также алгоритмические, к которым относятся древовидные диаграммы и различные виды диаграмм Треллиса.

Диаграммы физических параметров используются для анализа как простых бинарных цифровых сигналов, так и сложных сигналов современных цифровых телекоммуникаций – многоуровневых (сигналы линейного кодирования ISDN и др.), модулированных сигналов (в радиочастотных системах передачи и системах радиосвязи). Алгоритмические диаграммы используются для анализа сигналов дифференциальных модуляций и современных алгоритмов кодирования информаций.

**Глазковые диаграммы (ГД)**

Для анализа параметров ЦС используются глазковые диаграммы, как при проведении лабораторных измерений (системное оборудование), так и эксплуатационных. ГД являются модификацией осциллограмм, с той разницей, что используют периодическую структуру ЦС. Для построения двухуровневой глазковой диаграммы цифровой битовый поток подается на осциллограф,  а синхронизация внешней развертки производится  от битового потока с частотой  ***fb***. при построении многоуровневых диаграмм сигнал должен проходить, через многоуровневый конвертер, а синхронизация производится от символьного потока с частотой  ***fs***(см. рисунок. 7) **.** Для калибровки глазковой диаграммы сигнал часто подают в обход фильтра, ограничивающего диапазон сигнала. В этом случае возникает диаграмма в виде прямоугольника (см. рисунок  8 слева). Фильтр, ограничивающий полосу передаваемого сигнала, вносит существенные изменения в форму импульса, в результате чего возникает диаграмма в виде «стандартного глаза» (см. рисунок 8 справа «бинарный глаз»). ГД используют периодическую структуру ЦС.



Рисунок 7 - Структурная схема измерения глазковой диаграммы

Процесс формирования диаграммы цифрового бинарного сигнала без фильтрации и с фильтрацией на передаваемую полосу (см. рисунок 7) позволяет реально продемонстрировать процесс формирования ГД. Реальная осциллограмма сигнала (например двухуровневого ЦС) «разрезается» посимвольно в соответствии с тактовыми импульсами синхрогенератора, а затем ГД «складывается» из полученных кусков. В идеальном случае при отсутствии цепей фильтрации в результате такого сложения получится квадрат «квадратный глаз» (представлен на рисунке 7 внизу слева).  Но ГД реального сигнала значительно отличается от     квадрата, поскольку содержит составляющие нарастания и спада фронтов импульса ЦС, прямоугольный импульс имеет форму колокола.  В результате получается диаграмма более похожая на глаз (на рисунке 8 внизу справа)



Рисунок 8 -  Глазковая диаграмма сигналов с фильтрацией и без фильтрации

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

Пример глазковой диаграммы представлен на рисунке 9.



Рисунок  9 - Глазковая диаграмма цифрового сигнала, проходящего через фильтр с коэффициентом ограничения спектра α=0,3 (компьютерная имитация)

Трасса двухуровневого сигнала  на ГД в точках времени, соответствующим точкам отсчета,  проходит точно через нормированные значения -1,  +1. Следовательно ISI (межсимвольная интерференция) на рисунке 8 отсутствует.  В то же время различные трассы пересекаются с временной осью в разные  временные промежутки. Максимальная ширина области пересечения с временной осью определяется как пиковое фазовое дрожание или **джиттер** передачи данных Djpp . Джиттер передачи данных измеряется обычно в единицах времени или как отношение к интервалу передачи символов   Djpp/Ts . Джиттер ПД является следствием ограниченной полосы каналов.

**Диаграммы состояний.** Диаграммы состояний представляют собой диаграммы в полярных координатах с накоплением, ЦС проходит на диаграмме состояний характерные для него точки. Цифровая форма сигнала определяет точечную структуру диаграммы состояний сигнала. Для каждого типа модуляции диаграмма своя и несет информацию о параметрах тракта в целом, работе модемов, эквалайзеров и т.д.

**Алгоритмические диаграммы.** При анализе процессов кодирования и анализе дифференциальных методов модуляции, в которых передача цифровой информации осуществляется не сигналом, а сменой одного сигнала другим,  необходимо  иметь представление о динамике  изменения состояний сигнала. Для этих целей используют диаграмму Треллиса, которая  является модификацией диаграммы состояний. На ней показывается кроме состояний ЦС и траектория изменений состояний.

**Методология измерений параметров цифровых каналов**

**Понятие бинарного канала и методы анализа его параметров**

Под каналом передачи понимается комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающих передачу сигнала электросвязи в полосе частот и скоростью, характерных для данного канала. Если в канале информация передается в цифровом виде, такой канал называется цифровым каналом.

Рассмотрение методологии начнем с описания методов измерения цифровых каналов с передачей информации в простой двоичной форме (без линейного кодирования) - бинарных цифровых каналов (см.рисунок 10).

Рисунок 10 – Бинарный цифровой канал

Методология измерений бинарного канала составляет фундамент изме­рений цифровых каналов связи и имеет особенное значение.

Основное назначение бинарного цифрового канала - это передача цифровой информации в двоичной форме, т.е. в виде битов. Поэтому основные параметры качества такой цифровой передачи связаны с параметром ошибки по битам (Bit Error Rate - BER) и его производными. Измерения по параметру BER вошли в методики измерений всех первичных и вторичных сетей.

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.

При измерениях с отключением канала сигнал передается в виде тестовой последовательно­сти, которая на другом конце канала (приемник) принимается и затем проводится анализ ошибок, вносимых каналом. Для проведения измерений анализатор приемника должен обеспечивать пред­сказание структуры последовательности, т.е. требуется так называемая синхронизация тестовой последовательности.

Измерения без отключения канала часто называются мониторингом, поскольку измерения производятся в режиме работающего канала, а анализатор в этом случае подключается параллельно и осуществляет пассивный мониторинг канала.  Алгоритм организации измерений основан на применении различных типов цикловых кодов или служебной информации, передаваемой в канале. В реально работающем канале, несущем реальный трафик, нет возможности предсказания передаваемой информации, следовательно, нет возможности простого сравнения реальной последовательности битов с предсказанной последовательностью, поэтому невозможно локализовать единичную битовую ошибку.

**Лекция 7. Возникновение битовых ошибок и их влияние на параметры цифровой передачи**

**Цель:** изучить причины возникновения битовых ошибок при цифровой передаче сигнала.

**Характер битовых ошибок в цифровом канале**

В цифровых системах передачи различные воздействия на цифровой канал приводят к снижению основного качественного параметра - параметра ошибки в цифровом канале. Причины возникновения ошибок имеют аналоговую природу, так как связаны с интерференцией, затуханием в линии и различными аддитивными шумами.

**Основные источники ошибок в цифровом канале:** искажения в канале, наличие импульсных помех, аддитивный шум в канале,затухание в линии. Как видно из рисунка 11, наличие искажений в канале может быть связано как с затуханием, так и с отражением сиг­нала.



Рисунок 11 – Основные источники ошибок в цифровом канале

**Первый  источник шумов** - физически разрушенный кабель (например, разбитая пара), слишком малое поперечное сечение, большая распределенная емкость в кабеле.

**Второй источник шумов -** интерферирующие импульсы или импульсные помехи в канале.

Источниками ошибок  могут явиться силовые кабели, проложенные в непосредственной близости от линии связи, нарушение обвязки кабелей, наличие сигнализации по постоянному току.

**Третий источник шумов** - наличие аддитивных шумов различной природы.

Источниками ошибки здесь могут быть нарушения балансировки кабеля, параметра скручивания витой пары, интерференция с различными радиочастотными и СВЧ-сигналами, сигналы вызова, нарушения полярности кабеля (перепутанные жилы, короткое замыкание между жилами и т.д.) Высокий уровень шумов может привести к значительному увеличению параметра ошибки.

**Четвертый источник шумов** - затухание в кабелях и линиях передачи, причем не только высокий уровень затухания, но и его неравномерная характеристика, которая приводит к появлению субгармоник, вносящих дополнительный аддитивный шум.

**Внутренние источники ошибок в ЦСП:**

                   различные нестабильности во внутренних цепях синхронизации цифровых устройств, дрейф в системе внутренней синхронизации устройства;

                   нестабильности, связанные с измерением характеристик компонентов со временем;

                   перекрестные помехи в цепях устройств;

                   нарушения в работе эквалайзеров и в процессах, связанных с неравномерностью АЧХ;

                   повышение порога по шуму, связанное с изменением параметров модулей устройств со временем.

**Внешние источники ошибок в ЦСП**

                   перекрестные помехи в каналах передачи;

                   джиттер в системе передачи;

                   электромагнитная интерференция (от машин, флуоресцентных ламп и т.д.);

                   вариации питания устройств;

                   импульсные шумы в канале;

                   механические повреждения, воздействие вибрации, плохие контакты;

                   деградация качественных параметров среды передачи (электрического или оптического кабеля, радиочастотного канала и т.д.);

                   глобальные нарушения, связанные с разрушением канала цифровой передачи.

**Основные параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале**

1. **AS** **- availability seconds** время готовности канала (с) - вторичный параметр, равный разности между общей длительностью теста и временем неготовности канала.

2. **AS (%) - availability seconds** относительное время готовности канала - параметр, характеризующий готовность канала, выраженный в процентах. В отличие от AS, AS (%) является первичным параметром и входит в число основных параметров рекомендации G.821.

3. **ВВЕ - background block error** блок с фоновой ошибкой - блок с ошибками, не являющийся частью SES, применяется при анализе ошибок по блокам. Является важным параметром, вошедшим в рекомендацию ITU-T G.826.

5. **ЕВ - error block** число ошибочных блоков - параметр, используемый при анализе канала на наличие блоковых ошибок. Подсчитывается только во время пребывания канала в состоянии готовности.

6. **BBER - background block error rate** , коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками - отношение числа блоков с фоновыми ошибками ко всему количеству блоков в течение времени готовности канала за исключением всех блоков в течении SES. Является важным параметром, вошедшим в рекомендацию ITU-T G.826.

4. **BIT** или **BIT ERR- bit errors** число ошибочных битов - параметр, используемый при анализе канала на наличие битовых ошибок. Подсчитывается только во время пребывания канала в состоянии готовности.

7. **BER** или **RATE - bit error rate** частота битовых ошибок, коэффициент ошибок по битам -основной параметр в системах цифровой передачи, равный отношению числа битовых ошибок к общему числу бит, переданных за время проведения теста по каналу, находящемуся в состоянии готовности. При обнаружении десяти последовательных секундных интервалов, сильно пораженных ошибками (SES), анализатор переключается на подсчет времени неготовности канала. Измерения параметра BER универсальны в том смысле, что не требуют наличия цикловой и сверхцикловой структуры в измеряемом потоке, однако требуют передачи специальной тестовой последовательности и могут быть проведены только в случае полного или частичного отключения цифрового канала от полезной нагрузки.

8. **BLER - block error rate** частота блоковых ошибок, коэффициент ошибок по блокам - редко применяемый на практике параметр, равный отношению числа ошибочных блоков данных к общему числу переданных блоков. Под блоком понимается заданное количество битов. Ошибочным блоком считается блок, содержащий хотя бы один ошибочный бит. Его целесообразно измерять только в тех сетях передачи данных, где информация передается блоками фиксированного размера, а параметр BLER является важной характеристикой канала с учетом кадровой (цикловой) структуры передачи.

9. **CLKSLIP или SLIP - clock slips** число тактовых проскальзываний - параметр, характеризующийся числом синхронных управляемых проскальзываний, появившихся с момента начала теста. Проскальзыванием называется повторение или исключение группы символов в синхронной или плезиохронной последовательности двоичных символов в результате различия между скоростями считывания и записи в буферной памяти. Поскольку проскальзывание ведет к потери части информации, что в свою очередь ведет к потери цикловой синхронизации, на практике используются эластичные управляемые буферы с возможностью управления проскальзываниями. В этом случае проскальзывания называются управляемыми

10. **CRC ERR** - **CRC errors** число ошибок CRC - параметр ошибки, измеренный с использованием циклового избыточного кода (CRC), распространенный параметр определения ошибок реально работающего канала без его отключения и без передачи тестовой последовательности. Необходимым условием измерения параметра CRC является наличие механизма формирования кода в аппаратуре передачи

11. **CRC RATE - CRC errors rate** частота ошибок CRC - показывает среднюю частоту ошибок CRC.

12. **DGRM - degraded minutes** число минут деградации качества - несколько временных интервалов продолжительностью 60 с каждый, когда канал находится в состоянии готовности, но BER=10~6. Ошибки во время неготовности канала не считаются, а интервалы по 60 с в состоянии готовности канала, пораженные ошибками несколько раз, суммируются.

13. **DGRM (%) - degraded minutes** процент минут деградации качества - число минут деграда­ции качества, выраженное в процентах по отношению ко времени, прошедшему с момента начала тестирования.

14. **EFS** - **error free seconds** время, свободное от ошибок (с) - один из первичных параметров, входящих в рекомендации G.821 и М.2100/М.550. Отражает время, в течение которого сигнал был правильно синхронизирован, а ошибки отсутствовали, т.е. общее время пребывания канала в со­стоянии безошибочной работы.

15. **EFS** (%) - **error free seconds** процент времени, свободного от ошибок (с) - то же, что и предыдущий параметр, только выраженный в процентах по отношению к общему времени с мо­мента начала тестирования.

16. **ES - errors seconds** длительность поражения сигнала ошибками, количество секунд с ошибками (с) ~ параметр показывает интервал времени поражения всеми видами ошибок в канале, находящемся в состоянии готовности.

**Организация измерений с отключением канала**

Для организации измерений с отключением канала используется генератор и анализатор тестовой последовательности, подключенные к разным концам цифрового канала (см. рисунок 12). Между генератором и анализатором тестовой последовательности существует синхронизация по тестовой последовательности, т.е. процедура, в результате которой анализатор имеет возможность предсказания следующего значения каждого принимаемого бита.

В практике используются два типа тестовых последовательностей - фиксированные и псевдослучайные последовательности (ПСП, PRBS - Pseudorandom Binary Sequence).

Фиксированными последовательностями являются последовательности чередующихся повторяемых комбинаций битов.



Рисунок 12 - Генератор псевдослучайной последовательности

**Лекция 8. Методы вычисления параметров ошибок в цифровых каналах**

**Цель:** изучение методов расчетаосновных параметров при измерении цифрового бинарного канала.

Помимо технологии выбора тестовой последовательности и параметров измерений, которые могут значительно влиять на результаты измерений, рассмотрим еще один фактор, существенно влияющий на результаты измерений - алгоритм подсчета результатов.

Основными параметрами при измерении цифрового бинарного ка­нала являются BITS (количество ошибочных битов), BER (параметр ошибки по битам) и ES (количе­ство секунд, пораженных ошибками). Все остальные параметры являются производными этих трех параметров. Выше описывалась методология подсчета количества ошибочных битов. Рассмотрим теперь методы вычисления параметра BER и параметра ES.

**Методы расчета параметра BER**. Параметр BER считается основным параметром тестирования любых цифровых каналов и систем. Параметр BER является наиболее распространенной статистической характеристикой каче­ственных параметров канала. По отношению к измеряемым величинам этот параметр является вторичным и вычисляется на основании данных о количестве принимаемых ошибок в тестовой последовательности в различные периоды времени. Поэтому необходимо говорить о методах расчета параметра BER по данным о количестве ошибок.

Существует несколько алгоритмов анализа ошибок в принимаемом потоке с ПСП. На рисунке 13 представлены три основных алгоритма такого расчета.



Известно, что в процессе измерения существует две точки синхронизации измерений: начало измерения и время, при котором достигается заданный порог ошибки (на рисунке - 100 ошибок).

Рисунок 13 – Методы подсчета параметра ES

Выбор параметра ERR = 100 основан на предположении нормального распределения возникновения ошибок. В этом случае относительная погрешность измерений определяется  как:

,

где N - количество ошибок. Учитывая, что для большей части эксплуатационных измерений относительная погрешность в 10% является вполне допустимой в качестве границы интервала синхронизации может быть выбрано время ERR = 100.

Таким образом, все время измерений разбивается на два интервала: от начала измерений до точки ERR=100 и после этой точки. Соответственно различаются три метода подсчета BER.

**Методы расчета параметра ES**

Вторым наиболее часто используемым параметром (вторым по важности после BER) при анализе цифровых каналов является параметр количества секунд с ошибками (ES).

Если параметр BER определяет средний интегральный уровень качества цифровой передачи в канале, то параметр ES и, в особенности, обратный к нему параметр EFS определяет долю общего времени, в течении которого канал является свободным от ошибок, т.е. время, в течении которого оператор гарантирует бесперебойную цифровую передачу по каналу. Таким образом, этот параметр является крайне важным для операторов цифровых систем передачи, первичной и вторичных сетей.

По отношению к измеряемому параметру - количеству принятых ошибочных битов, параметр ES так же, как и параметр BER является вторичным. Метод его подсчета тесно связан с определениями, даваемыми этому параметру в европейской (одобренной ITU-T) и американской практике.

Как видно из рисунка 13, применение двух описанных методов к реальной. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Преимуществом асинхронного метода измерения является простота его реализации в конкретных приборах. Преимуществом метода синхронного подсчета является его инвариантность относительно выбора времени начала измерения, что приводит к следующим важным следствиям:

                   результаты, измеренные разными приборами одновременно на одном канале точно совпадают;

                   результаты, полученные при измерениях в различных частях цифрового канала, точно совпадают при условии, что канал не вносит дополнительных ошибок;

                   результаты, полученные методом синхронного подсчета, более отражают смысл измерения ES как общего времени негарантированной цифровой передачи, и могут использоваться операторами для гибкого регулирования тарифной политики и т.д.

**Методология измерений без отключения канала**

Для проведения измерений без отключения цифрового канала используются алгоритмы анализа избыточного циклового кода. Алгоритм такого анализа представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Алгоритм использования избыточного цифрового кода

Информационный поток, передаваемый затем по цифровому каналу, разбивается на несколько блоков данных фиксированного размера. Для каждого блока данных выполняется операция деления последовательности битов на полином заданного вида (в зависимости от типа кода). В результате деления образуется остаток, который передается вместе с блоком данных в составе цикла (кадра) в канале. Процедура деления потока данных на блоки и передача их с рассчитанным остатком от деления приводит к необходимости использования в аппаратуре передачи цикловой структуры. Таким образом, измерения параметров ошибки без отключения канала возможны только для систем передачи с цикловой структурой. Остаток от деления передается в составе цикла в виде контрольной суммы. На приемной стороне делаются аналогичные вычисления остатка от деления. Результат расчета сравнивается с переданной контрольной суммой. В случае расхождения результатов делается вывод о наличии битовой ошибки в блоке.

Главным преимуществом методики измерения без отключения канала является возможность измерения на реально работающем канале, несущем рабочий трафик. Именно такие алгоритмы измерений используются во встроенных системах самодиагностики современных цифровых систем передачи и во вторичных сетях передачи данных. В зависимости от типа цикловой структуры используются различные типы цикловых кодов.

**Объективность измеренных результатов**

**Проблема выбора времени проведения измерения**

Помимо алгоритма подсчета параметров ошибок в цифровом канале на результаты измерений может оказывать существенное влияние время проведения измерений, причем как длительность этого времени, так и выбор времени проведения тестов по отношению к загруженности трафиком сети.

Проблемы, связанные с выбором параметров длительности проведения тестов, связаны с необходимостью объективации результатов измерений.

**Влияние времени проведения измерения**

При проведении измерений полученные результаты могут существенно варьироваться по времени суток, что связано с влиянием трафика в системе передачи. Результаты, измеренные в часы неиспользуемой сети, сильно отличаются от результатов, измеренных в периоды пиковой нагрузки. Для объективности используются методы долговременного анализа в течение суток. Это единственный корректный способ объективности результатов, поэтому он является основой для разработки методологии измерений цифровых каналов. В результате основные рекомендации, связанные с методологией измерения параметров цифрового канала, включают обязательные требования долговременных измерений.

В реальной практике долговременные измерения выполняются только для проведения приемосдаточных испытаний систем передачи. Для устранения проблем и эксплуатационного тестирования обычно выполняются кратковременные измерения, в этом случае объективация результатов выполняется методом оценки с использованием коэффициента достоверности. При этом точное значение параметра BER остается неизвестным, а имеются лишь оценочные значения.

Сформулируем основные положения, используемые современной методологией нормирования цифровых каналов.

                   В основе нормирования лежит использование гипотетических моделей эталонных соединений в современных сетях.

                   Для каждой такой модели формулируются основные параметры в соответствии с категориями качества канала, параметрами готовности и типами трафика, передаваемыми в канале.

                   Параметры реального цифрового канала рассчитываются на основании параметров эталонного соединения методом линейной аппроксимации.

**Лекция 9.** **Методология измерения джиттера в ЦСП**

**Цель:** изучение причин возникновения фазовых дрожаний и методов их измерений.

Джиттером или фазовым дрожанием называется явление фазовой  модуляции принимаемого сигнала (аналогового и цифрового).

Джиттер - вариации частоты принимаемого сигнала.

Основные параметры джиттера – частота и амплитуда.

**Различают два типа изменений частоты:**

     быстрые колебания частоты -  **джиттер** (фазовое дрожание);

     медленные колебания частоты  - **вандер.**

Разделение девиации частоты на джиттер и вандер связаны с тем, что эти два параметра возникают вследствие разных причин и по-разному влияют на параметры качества цифровой передачи.

Единицы измерения джиттера – единицы времени  - микросекунды.

Приведенные единичные интервалы -  Unit Interval – UI.

Единичный интервал – время, необходимое для передачи одного бита информации при заданной скорости передачи.

**Влияние джиттера на параметры качества сигналов ТКС**

При передаче оцифрованного аналогового сигнала наличие джиттера приводит к тому, что восстановленный сигнал становится неравномерно дискретизированным, а это может привести  к значительным нарушениям  в структуре аналогового сигнала, особенно на системы с ЧР и аналоговые каналы сетей IDN.Джиттер вызывается амплитудным и фазовым шумом, как внутреннего, так и внешнего происхождения. Джиттер сигнала имеет разные характеристики в зависимости от его причин и источников. Джиттер разделяют на две основные категории: случайный (random jitter – RJ) и регулярный (deterministic jitter – DJ).

**Регулярный джиттер**

Системный (регулярный) джиттер обусловлен процессами в системном оборудовании при мультиплексировании и регенерации.

Его влияние предсказуемо, носит аддитивный характер и компенсируется регенераторами и мультиплексорами. Зависит от характеристик цифровой системы.Возникает при неправильной работе эквалайзера или нарушениях в настройке цепей          восстановления данных.

**Источники системного джиттера:**

     перекрестные помехи от излучаемых или передаваемых сигналов;

     влияние дисперсии при распространении сигнала;

     рассогласование сопротивлений.

**Случайный джиттер.** Обусловлен шумовыми процессами, происходящими во всех полупроводниках и компонентах.

Характеризуется статистическими величинами: средним значением и среднеквадратическим отклонением.

**Источниками случайного джиттера являются:**

     тепловой шум (thermal noise) - связан с потоком электронов в проводниках и растет с увеличением полосы пропускания, температуры и теплового сопротивления;

     дробовый шум (shot noise) - шум электронов и дырок в полупроводниках, который увеличивается в зависимости от тока смещения и измеряемой полосы частот;

     шум мерцания (flicker noise) – шум, спектр которого обратно пропорционален частоте, т.н. розовый шум;

     электромагнитные воздействия и интерференция  с внешними источниками сигнала (шум, отражения, перекрестные помехи, интерференция с цепями питания и др.).

**Общий джиттер.** Общий джиттер сигнала состоит из детерминированной и случайной компонент. Детерминированная компонента подсчитывается путем сложения максимальных величин задержек и опережений, вносимых всеми источниками детерминированного (регулярного) джиттера. Случайная компонента вычисляется определением функции Гаусса, характеризующей случайный джиттер, и оценкой ее среднего значения и среднеквадратического отклонения.

**Джиттер стаффинга.** В технологии PDH принята методика выравнивания входящих в мультиплексор потоков за счет вставки битов (методика битового стаффинга), которая производится в определенные промежутки времени считывания информации из эластичного буфера.

Для того, чтобы процесс битового стаффинга мог работать, информация, поступающая  в приемный эластичный буфер, принимается со скоростью, меньше скорости передачи.

**Основные принципы битового стаффинга:**

     скорость считывания из приемного эластичного буфера должна быть больше скорости записи в буфер;

     вставка битов (вставка битов) должна производиться в заранее установленные интервалы времени для обеспечения  эффективного удаления стаффинговых битов.

**Методы измерения джиттера**

Джиттер можно измерить разными способами. Самый простой и интуитивно понятный — оценка **по глаз-диаграмме**. Глаз-диаграмма цифрового сигнала с малым джиттером имеет близкую к симметричной форму с плавными переходами и характеризуется практически полностью открытым «глазом», позволяющим точно идентифицировать биты данных. Если точка стробирования сигнала совпадает с центром «глаза», где сигнал достигает своего максимума или минимума, то вероятность возникновения битовой ошибки близка к нулю. В то же время присутствие на глаз-диаграмме множества отдельных фронтов и спадов говорит о наличии существенного джиттера, зависящего от данных, а ее размытость и малая открытость являются   признаком значительного случайного джиттера.

Способ оценки результирующего джиттера (Total Jitter, TJ) — его нормализованная гистограмма, которая представляет собой зависимость коэффициента битовых ошибок BER от положения точки стробирования на единичном временном интервале UI. Точке стробирования, находящейся в середине единичного интервала, где UI=0.5 соответствует практически безошибочная передача (см. рисунок 15). По мере смещения этой точки, что указывает на увеличение джиттера, величина BER возрастает. Кривую зависимости BER от амплитуды джиттера называют U-образной кривой (bathtub curve). В соответствии с общепринятым соглашением джиттер не должен приводить к битовым ошибкам с коэффициентом больше 10-12. На U-образной кривой этой величине BER отвечает диапазон джиттера + 0,2 UI.



Рисунок 15 – Нормализованная гистограмма джиттера

**Анализ BER по гистограмме**

****

Рисунок 16 – График зависимости частоты ошибок по битам (BER) от положения пробной точки на единичном интервале (UI)

Чем дальше находится левая сторона кривой от правой стороны при определенном BER, тем больше запас устойчивости к джиттеру у разработанной системы. Соответственно, чем ближе становятся края, тем меньше запас устойчивости (см. рисунок 16).

Спектральные способы измерения джиттера представляют собой очень тонкий и точный инструмент, который как нельзя лучше подходит для оценки джиттера разрабатываемых приборов и поиска сложных повреждений в цифровом оборудовании в лабораторных условиях.

Для измерения джиттера необходимы генератор тестовых последовательностей и анализатор джиттера. В качестве измерителя могут выступать осциллограф, спектрометр и анализатор битовых ошибок. Генераторы, используемые при тестировании, должны обеспечивать генерацию псевдослучайных последовательностей с минимальным собственным джиттером (Intrinsic Jitter, IJ).

При анализе джиттера ширина диапазона частот должна в 1,8 раза превышать максимальную скорость передачи битов для последовательного сигнала без возврата к нулю. Поскольку DSO работают в диапазоне до 6 ГГц, они могут измерять джиттер на скоростях до 3,2 Гбит/с.

**Тестеры битовых ошибок (BERT)**. В качестве анализаторов джиттера используются также тестеры битовых ошибок (BERT). Конфигурации современных BERT позволяют регулировать положение момента стробирования и уровень принятия решения. Эти возможности необходимы для построения точечных глаз-диаграмм и диаграмм iso-BER. При помощи тестеров BER можно создать U-образную кривую и ее интерполяцию (что ускоряет построение), а также разделять случайный и детерминированный джиттеры.

**Схема измерения джиттера.** Простейшая схема измерения джиттера представляет собой схему фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с выходным фазовым компаратором. У фильтра нижних частот (ФНЧ) полоса пропускания очень узкая, и поэтому схема ФАПЧ, основным элементом которой является управляемый напряжением генератор ГУН, не реагирует на кратковременные фазовые дрожания сигнала тактовой частоты (см. рисунок 17)



Рисунок 17  - Схема измерения джиттера

.

**Счетчик скачков фазы.** При измерении джиттера часто фиксируются так называемые скачки фазы (phase hit), появляющиеся при превышении джиттером заданного порога (+ «пик-пик»). Подобные события записываются с помощью счетчика. Измерение скачков фазы дает пользователю более полное представление о работе его линии.

Максимально допустимый джиттер (Maximum Tolerable Jitter, MTJ) представляет собой максимальную величину джиттера, которая не вызывает появления ошибок или аварийных сигналов. На вход измеряемого объекта от генератора джиттера подается цифровой сигнал, модулированный синусоидальным джиттером. Амплитуда джиттера увеличивается ступенчато до появления в приемнике ошибок или срабатывания аварийной сигнализации.

**Измерение передаточной функции джиттера JTF**

Под JTF понимают отношение выходного и входного джиттера цифрового устройства или системы, т. е. модуль JTF фактически представляет собой амплитудно-частотную характеристику джиттера соответствующей системы.

На вход тестируемого устройства подаются сигналы различных частот с джиттером постоянной амплитуды, а величина джиттера измеряется на выходе устройства.

**Лекция 10. Эксплуатация и технология измерения систем первичного потока E1**

**Цель:** изучение особенностей измерений и контроля систем Е1.

Контроль каналов Е1 представляется очень важным как при проведении пусконаладочных  работ, так и при эксплуатации оборудования ЦСП. В этом случае  контроль включает такие методы, как  измерение ошибок,, анализ цикловой и сверхцикловой структуры сигнала, а также тестирование канала путем генерирования тестовых последовательностей.

**Классификация измерений на Е1:**

**Физический уровень**

Измерение в линии связи частоты сигнала и ее вариаций, а также анализ типа и алгоритма  линейного кодирования, параметров цифрового импульса и, определяя тем самым  весь комплекс параметров, регламентируемых ITU –TG.703 на физический интерфейс 2 Мбит/с.

**Канальный уровень**

Анализ структуры цикла, а также измерения ошибок цикловой синхронизации и битовых ошибок, которые определяют структуру цикла (ITU –TG.704, G.706), качества передачи и предоставление этих каналов, соответственно.

**Сетевой уровень**

Анализ битов Е, при использовании процедуры CRC, позволяет выявить глобальные аварии типа потери сигнала на входе.

Мультиплексоры и регенераторы являются предметом измерений на потоке Е1 как представляющие наибольшее значение для целей эксплуатации.

**Схемы измерений систем передачи при мультиплексировании и демультиплексировании**

            

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 18 - Схема измерения при мультиплексировании | Рисунок 19 -  Схема измерения при  демультиплексировании  |

Анализатор (тестер) должен генерировать тестовые сигналы в аналоговой (синусоидальной) и цифровой (ПСП, фиксированные последовательности) формах со скоростью n х 64 кбит/с, 2048 кбит/с.

При анализе процедуры мультиплексирования (см.рисунок 18) проводится диагностика сигналов неисправности: подсчитывается количество сигналов неисправности цикловой структуры (EFAS), ошибок по CRC (ECRC) и сигналов блоковой ошибки на удаленном конце (REBE), измеряются параметры ошибок – количество битовых ошибок (ЕВIT), блоковых ошибок (ЕВLОС) и коэффициента ошибок ВЕR.

При проведении измерений необходимо правильно выбрать способ синхронизации прибора: от внутреннего генератора, принимаемого информационного потока, внешнего синхросигнала, вырабатываемого эталонным генератором.

Если процедура мультиплексирования не вносит ошибок и система передачи не генерирует в составе потока Е1 сообщений о неисправностях, то она работает корректно, в противном случае необходимо проводить дополнительные измерения для поиска причины ее неисправности.

Анализ работы систем передачи можно проводить путем стрессового тестирования. Для этого анализатор имитирует различные варианты внешних неисправностей, и делается анализ устойчивости работы системы передачи в нестандартных ситуациях. Например, при вводе в систему передачи ПСП сигналов с заданными величинами дрожания или дрейфа фазы можно найти предел устойчивой работы синхронизации системы передачи. Информации о “запасе прочности аппаратуры” в паспортных данных на системы передачи нет.

**Процедура демультиплекcирования.** Методы анализа процедур демультиплексирования во многом аналогичны описанным выше. Меняются только направления передачи и приема информации (см. рисунок 19).

Как и в случае измерений процедуры мультиплексирования, к анализатору Е1 выдвигаются дополнительные требования, теперь уже приема ПСП последовательностей по каналам передачи данных и приема и анализа параметров канала ТЧ.

Основным отличием измерений систем передачи при демультиплексировании является устанавливаемый режим синхронизации анализатора Е1: анализатор должен синхронизироваться от внутреннего или внешнего источника синхронизации. Тестируемая система передачи должна синхронизироваться от генерируемого анализатором потока Е1.

Так же, как и в случае тестирования систем передачи в режиме мультиплексирования, если в процессе демультиплексирования не вносятся битовые или кодовые ошибки и нет сигналов о неисправностях на стороне пользователя, система передачи работает нормально. В противном случае необходимо анализировать причину сбоя в оборудовании демультиплексирования.

Анализатор можно использовать для следующих методов стрессового тестирования систем передачи :

– вставки битовой, кодовой или блоковой ошибки – в этом случае можно проанализировать формирование сигнала “Ошибка СRС-4” – Е-битов – в принимаемом от системы передачи сигнале Е1, а также оценить работу световой индикации системы передачи;

– использования в ряде случаев генерации сигнала неисправности RЕВЕ;

– вставки ошибки СRС-4 (ЕСRС) для анализа генерации Е-битов и сигналов о неисправностях;

– имитации большого затухания в передаваемом сигнале (имитация длинной линии) и измерении параметра ошибки (ВЕR) в принимаемом сигнале, позволяющем оценить функции системы передачи как регенератора цифрового потока;

– имитации проскальзываний и рассинхронизации входящего цифрового потока, для этого анализатор должен быть засинхронизирован от системы передачи, затем вносится частотный сдвиг в передаваемый сигнал и анализируется влияние проскальзываний на параметры передачи цифрового потока Е1 (появление ошибок в форме последовательностей, срыв цикловой и сверхцикловой синхронизации и т. д.), а также на параметры аналогового сигнала (появление выбросов сигнала в виде щелчков);

– имитации ошибки цикловой и сверхцикловой структур входящего потока и последующего анализа параметров восстановления цикловой синхронизации системой передачи (время восстановления цикловой синхронизации, количество ошибок в процессе ресинхронизации, количество секунд неготовности канала вследствие сбоя цикловой синхронизации и т. д.);

– генерации различных сигналов о неисправностях, используемых в ИКМ при мультиплексировании и демультиплексировании.

**Параллельный анализ процедур мультиплексирования /демультиплексирования**

Помимо описанных выше методов отдельного анализа процедур мультиплексирования и демультиплексирования существуют методы параллельного анализа параметров обеих процедур.



Рисунок 20 - Схемы тестирования систем передачи с применением шлейфов: а – по каналам ТЧ, ПД; б – по потоку Е1

Схема на рисунке 20,а предлагает следующую процедуру анализа системы передачи. Анализатор Е1 подключается к системе передачи по схеме с отключением канала. При этом по одному или нескольким аналоговым каналам системы передачи организуется шлейф. Затем производится полный анализ потока Е1.

Схема на рисунке  20,б предусматривает организацию шлейфа по потоку Е1. В этом случае производится анализ сигналов каналов ТЧ и ОЦК.

**Анализ работы аналого-цифрового оборудования**

Наличие аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей в мультиплексорах определяет необходимость измерения их характеристик.

Известно, что качество преобразования аналогового сигнала в ИКМ форму определяется операциями дискретизации по времени, квантованием по уровню и кодированием.

В реальных условиях на выходе канала имеют место суммарные искажения, включающие шум квантования, шум перегрузки и обычные нелинейные искажения, которые определяются как групповым, так и индивидуальным оборудованием.

Мерой этих искажений является отношение мощности сигнала на выходе канала к мощности продуктов искажений. Указанное отношение нормируется рекомендацией МСЭ-Т G.712. Так как наиболее специфичным среди перечисленных видов искажений является шум квантования, это отношение называется отношением сигнал/шум квантования (ОСШК).

Для измерения ОСШК на вход канала подается измерительный сигнал (ИС) определенного уровня. При этом на выходе канала возникает сигнал, содержащий ИС и продукты искажений. С помощью фильтрации выделяются продукты искажений и определяется отношение мощности ИС на выходе канала к мощности продуктов искажений.

В соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.712 в динамическом диапазоне уровней измерительных сигналов ОСШК может быть измерено с использованием двух типов ИС: псевдошумового либо гармонического. В современных приборах наиболее распространено применение псевдошумового ИС, позволяющего получить в широком диапазоне уровней малые колебания значений ОСШК.

Измерение ОСШК с помощью псевдошумового ИС. Применение псевдошумового (в отличие от шумового) ИС позволяет легко получить необходимую стабильность его параметров.

**Анализ работы регенераторов.** На длинных линиях с большим затуханием требуется восстановление и усиление цифровых сигналов. Эту функцию выполняют регенераторы. Анализ работы регенераторов включает в себя измерение коэффициента усиления сигнала, параметров импульсов, параметров битовых, кодовых ошибок, ошибок CRC, нарушения цикловой структуры сигнала, устойчивости работы при фазовых искажениях входных сигналов и т. д.

**Измерение параметров физического уровня Е1.** Измерение скорости передачи цифрового сигнала может производиться путем измерения с помощью частотомера:

тактовой частоты сигнала на отдельном выходе стыка;

на выходе цифрового канала или тракта при подаче на вход измерительного сигнала в виде потока единиц.

Схема измерения приведена на рисунке 21. В генераторе должна быть предусмотрена регулировка расстройки частоты в пределах, соответствующих данному стыку. В зависимости от кода испытываемого стыка измеренное значение частоты должно быть равно или кратно номинальному значению тактовой частоты для данного стыка. Проверяют, укладывается ли в допуск измеренное значение частоты сигнала.



Рисунок  21 - Схема для измерения скорости цифрового сигнала

Измерение параметров формы импульсов цифрового сигнала на выходе стыка можно производить с помощью осциллографа.

**Измерение параметров канального уровня.** На канальном уровне производятся измерение параметров битовых, кодовых, блоковых ошибок, в том числе ошибок CRC; диагностика цикловой и сверхцикловой структуры потока Е1; измерение параметров аналоговых сигналов, переданных методами ИКМ; тестирование систем передачи на устойчивость к фазовому дрожанию линейного сигнала.

**Измерение параметров сетевого уровня.** На сетевом уровне обеспечивается управление первичной сетью путем обмена между системами передачи сигналами о неисправностях в оборудовании и зафиксированными путем неразрушающего контроля ошибками в принимаемом сигнале. Эта информация накапливается и используется в узлах управления сетью. Целью измерений сетевого уровня Е1 является проверка правильности генерации и передачи сигналов об ошибках и неисправностях с контролем в ключевых узлах сети.

**Лекция 11. Измерительные технологии SDH, PDH. Состав эксплуатационных измерений SDH**

**Цель:** изучение технологий измерения SDH, PDH.

Цифровая первичная сеть строится на основе принципов плезиохронной цифровой иерархии, PDH или синхронной цифровой иерархии SDH. Состоит из узлов мультиплексирования, исполняющих  роль преобразователей между каналами  различных  уровней иерархий стандартной пропускной способностью, регенераторов, восстанавливающих цифровой поток на протяженных трактах, цифровых кроссов (коммутация каналов и трактов первичной сети).

**Организация измерений SDH**

Все системы передачи SDH оснащаются  системами мониторинга состояния и системами удаленной диагностики и управления, поэтому необходимость в мониторинге систем SDH в магистральном канале отсутствует.

Поэтому эксплуатационные измерения необходимо  выполнять в точках сопряжения колец SDH разных фирм-производителей или разных операторов, т.е. на коммутаторах DXC . Поэтому эксплуатационное решение необходимо привязывать к реальным точкам мониторинга. В качестве примера на рисунке 22 представлена схема сети SDH уровня STM-16 и STM-4.

Технологический подход показывает, что измерения целесообразно производить на коммутаторе между оборудованием двух фирм производителей для поиска причин взаимного несопряжения и ухудшения качества.

Тип интерфейса доступа к системе – гнезда мониторинга на оборудовании

 **Схема сети SDH уровня STM-16 STM-4**



Рисунок 22 - Схема сети SDH уровня STM-16 STM-4

Первый уровень измерительных технологий—это тестирование среды распространения сигнала.

Второй уровень измерительных технологий — это измерения цифровых трактов первичных сетей PDH и SDH.

Третий уровень измерительных технологий — измерения на вторичных сетях связи, включающие в себя измерения канального уровня, протокол-анализ работы устройств, измерение трафика и анализ качества предоставления услуг связи.

Важным вопросом при измерениях в системах SDH является вопрос об измерениях джигтера. Джиттер в системе передачи по оптическому сигналу отсутствует, поскольку все линейные устройства в системе SDH проектируются с подавлением джиттера. Джиттер может возникать на выходе из системы SDH, т.е. на уровне потоков PDH, загружаемых в нее. Обычно используется поток Е1, поэтому контроль джиттера осуществляется на уровне Е1. ­ последнее время получила распространение практика использования специальных микросхем для подавления джиттера. Эта практика устраняет наличие джиттера даже на уровне PDH.

**Тестирование сетей SDH внешними анализаторами** - актуальная задача на этапе их создания, пуска и эксплуатации.

Важные участи измерений:

                   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 анализа работы сети SDH характерно несколько видов измерений: измерения мультиплексорного оборудования; измерения каналов цифровых систем передачи; эксплуатационный мониторинг параметров работы сети.

**Измерение мультиплексорного оборудования**

Основным элементом сети SDH является мультиплексор ввода-вывода ADM, выполняющий следующие основные функции:

                   создание виртуальных контейнеров с нагрузкой PDH;

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

                   мультиплексирование-демультиплексирование потоков STM-M в поток STM-N (N > М), компенсация возможностей рассинхронизации входящих потоков. Эти функции определяют три основные группы тестов мультиплексоров SDH.

**Измерение анализатором**

В простейших тестах анализатор измеряет полученные на выходе ADM джиттер и BER. Внося в канал SDH ошибку передачи, можно проанализировать работу системы контроля SDH и индикации ADM. Внося джиттер, можно определить уровень компенсации вносимого джиттера мультиплексором. Имитацией процессов рассинхронизации в сети измеряется джиттер и BER на выходе ADM.

**Анализ каналов SDH**

После тестирования мультиплексоров проводится тестирование сети SDH в целом, а именно: 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.

**Мониторинг сети SDH** осуществляется в комплексе с мониторингом PDH. Такой мониторинг включает в себя сбор основных параметров цифровых потоков согласно рекомендациям ITU-T G.821, М.2100.При этом анализатор подключается к сети SDH через оптические разветвители и не оказывает влияния на ее работу.

**Джиттер в сетях SDH и PDH**

Следует учитывать принципиально разную природу появления джиттера в сетях PDH и SDH. В сетях PDH фазовое дрожание сигала (джиттер) возникает из-за некорректной работы аппаратуры передачи или вследствие особенностей среды распространения сигнала. Таким образом, джиттер в сетях PDH имеет физическую природу.

 **Особенности  измерения джиттера в сетях SDH и PDH**

Импульсная структура джиттера в сетях SDH определяет особенности его измерения. На сетях PDH может использоваться метод измерений джиттера с накоплением данных и анализом среднего значения параметра. Применение этого метода к измерениям джиттера в системах SDH не дает эффекта, поскольку в этом случае всплеск джиттера оказывается нефиксируемым.

**Возможности измерения:**

                   одновременное проведение двух сеансов измерения коэффициента битовых ошибок (BERT) ;

                   анализ показателей ошибок и аварийных сигналов во времени с представлением в виде гистограмм;

                   возможность выбора типа загрузки и размещения от STM-64c до VC12, включая E4/E3/E2/E1;

                   измерение времени распространения сигналов для всех скоростей передачи, анализ прерываний в обслуживании;

                   измерение уровня и частоты линейного сигнала, в том числе оптического;

                   анализ и настройка байтов заголовков SDH, генерация последовательностей байтов, измерение BERT в каналах DCC;

                   мониторинг движений указателей SDH, генерация испытательных последовательностей указателей;

                   измерение временных характеристик APS (автоматическое переключение на резерв) в системах SDH;

                   анализ импульсов сигналов PDH на соответствие стандартным маскам для скоростей 2 и 34 Мбит/с.

**Тестирование с прекращением связи**

                   Генерация аварийных сигналов и ввод ошибок в передаваемый сигнал.

                   Проведение долговременных измерений в процессе ввода сети в эксплуатацию.

                   Измерения показателей ошибок в соответствии с рекомендациями M.21xx.

                   Измерения APS.

**Тестирование без прекращения связи**

**Возможности тестирования без прекращения связи**

                   Сканирование компонентных потоков.

                   Измерение коэффициента битовых ошибок и анализ показателей ошибок.

                   Мониторинг байтов заголовков.

                   Анализ прерываний в обслуживании.

**Основные схемы подключения анализаторов**

Существуют три основных схемы подключения анализаторов к цифровому каналу: с отключением канала, высокоомное подключение без отключения канала; режим «через себя».

**Режим с отключением канала.** Анализатор цифрового потока имитирует оконечное линейное оборудование ЛО передачи-приема. Такая схема используется для проведения всей спецификации измерений физического и канального уровней на этапе развертывания сети.

**Режим высокоомного подключения.** Анализатор цифрового потока подключается высокоомно к каналу без нарушения обмена цифровыми потоками. Такая схема обеспечивает полный анализ обмена, применяется для проведения стрессового тестирования на этапе эксплуатации сети.

**Режим “через себя”.** 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 используется на этапе развертывания, эксплуатации сети и в случае проведения аварийных измерений.

**Измерение каналов цифровых систем передачи**

Наиболее простым способом измерений является измерение по схеме “точка-точка”. Для измерения необходимы два анализатора потока Е1, включенные по схеме с отключением канала, один в качестве генератора тестовой последовательности, другой—анализатора параметров цифрового канала. Генератор тестовой последовательности посылает в сеть по заданному каналу поток Е1. Этот поток проходит через первичную сеть и поступает на анализатор-приемник. Синхронизация тестовой последовательности обеспечивает проведение измерений физического и канального уровня.

**Метод высокоомного подключения анализаторов к измеряемому каналу.** Этот метод позволяет не допустить воздействия на работающие цифровые каналы. Анализ потоков Е2, ЕЗ и Е4. Потоки Е2, ЕЗ и Е4, в отличие от El, не имеют сверхцикловой структуры, а мультиплексорное оборудование PDH не выполняет функции аналого-цифрового преобразования.

**Стрессовое тестирование.** При проведении стрессового тестирования задаются следующие параметры воздействия: внесение битовой и цикловой ошибки; имитация низкого качества канала из-за высокого процента ошибок во входящем сигнал; имитация нарушений в цикловой структуре входящего сигнала; внесение сдвига по частоте входящего сигнала; внесение джиттера; внесение ослабления цифрового сигнала по уровню.

**При выполнении измерений анализируют следующие параметры отклика:**

     работу световой индикации мультиплексора;

     его самодиагностирования;

     входных сигналов индикации неисправностей;

     выходной параметр ошибки (BER);

     последовательности ошибок (SES);

     джиттер на выходе;

     амплитуду передаваемого сигнала.

**Анализ параметров отклика при стрессовом тестировании**

Для анализа работы мультиплексора в условиях высокого входного джиттера вносят джиггер и измеряют выходной параметр BER. Для анализа работы мультиплексора в сети с нарушениями цепей синхронизации вносят сдвиг по частоте и измеряют частоту передаваемого мультиплексором сигнала, BER, джиггер, неравномерность возникновения ошибок (SES) и т. д. В результате анализа мультиплексорного оборудования определяется его соответствие техническим условиям, действующим нормам, а также потенциальный резерв на устойчивость к внешним воздействиям.

**Лекция 12 Общие принципы измерений абонентских кабельных систем. Основные параметры абонентских кабельных систем**

**Цель:** изучение параметров и принципов измерений абонентских кабельных систем.

**Использование металлических кабелей в современных системах связи**

Классические кабельные системы на основе металлического  (электрического) кабеля можно разделить на три группы:

     линейно-кабельные сооружения;

     металлический кабель для xDSL;

     структурированные кабельные системы (СКС).

Обслуживание и эксплуатация  этих сооружений  ведется специальными подразделениями операторов.

**Классификация  измерений кабельных линий**

     Приемо-сдаточные измерения.

     Периодические (профилактические, регламентные).

     Измерения, определяющие характер и место повреждения.

     Измерения  по проверке качества  ремонтных работ.

**Классификация  технологий измерений по методикам измерений**

1          **Группы параметров, измеряемые переменным током** – собственное затухание сети, затухание несогласованности, защищенность сети на дальнем конце, емкостная связь и асимметрия, параметры волнового сопротивления.

2          **Группы параметров, измеряемые постоянным током** (параметры сопротивления – сопротивление изоляции, омическая асимметрия сети, электрическая прочность изоляции).

**Эксплуатация «классических» линейно-кабельных систем**

Основными направлениями  измерений металлического кабеля являются следующие группы:

     Определение места повреждения средствами  удаленной диагностики.

     Трассо-поиск – определение места повреждения кабеля на местности.

     Определение параметров кабеля.

     Прозвонка кабеля при его коммутации.

**Определение места повреждения средствами удаленной диагностики**

Ориентировочное определение места повреждения (рефлектометр, мостовые методы измерения).

Кабельный анализатор TelScout TS2000.

**Определение места неисправности на местности**

1 Трассо-поисковый прибор (ПОИСК-210Д2) – для обнаружения залегания кабелей связи или силовых кабелей. Включает в себя  генератор одночастоноготного сигнала и приемника сигнала.

2  Металлоискатель – КОРНЕТ 7250.

3  Маркероискатель – Metromark.

4  Течеискатель – БГТИ.

**Поиск повреждений в магистральных кабелях связи (см. рисунок 24)**



Рисунок 24 – Определение места неисправности в кабелях связи

**Эксплуатационные измерения кабелей «последней мили»**

Сети доступа и зоновые сети в  построены преимущественно на металлических кабелях связи. В связи с повышением требований к бесперебойности и качеству предоставления услуг как со стороны операторов связи, так и со стороны абонентов особое значение приобретает использование передовых средств измерения параметров электросвязи (СИЭ). В последнее время на рынке появился ряд новых и усовершенствованных приборов - особенно в сегменте, предназначенном для оценки линии при передаче информации по технологиям xDSL и Ethernet.

**Классификация СИЭ и тенденции развития**

СИЭ для металлических кабелей связи можно условно разделить на три группы по виду измеряемых параметров:

                   приборы для измерения первичных (физических) параметров кабеля и определения расстояния до места повреждения преимущественно мостовыми методами;

                   приборы для определения расстояния до места повреждения методом рефлектометра;

                   приборы для измерения вторичных параметров кабеля и оценки кабеля на возможность передачи цифровой информации при организации сетей абонентского доступа или Ethernet (они могут иметь также оптические интерфейсы).

**Универсальные приборы** предназначены для оценки: возможности соединения по соответствующей сети или на ее участке; максимально допустимой скорости передачи цифровой информации на линии.Универсальные приборы имеют дополнительные режимы (или дополнительные встроенные модули) для измерения как вторичных, так и первичных параметров кабеля, что позволяет не только отобрать подходящие пары, но и устранить причину непрохождения цифровой информации.

**Приборы специально предназначенные для технологий xDSL и Ethernet, можно условно разделить на две подгруппы:**

В первую подгруппу входят приборы для оценки линии передачи цифровых сигналов xDSL по соотношению сигнал/шум или при наличии в приборе модема по совокупному действию на него всех мешающих факторов. Оценка качества кабеля производится в диапазонах частот, зависящих от применяемого вида технологии xDSL (АDSL, НDSL, VDSL, SНDSL и др.).

Во второй подгруппе - приборы для оценки состояния линии на уровне услуги: то есть для установления факта соединения с другим концом линии, определения параметров передачи пакетов информации иногда для трассировки маршрута, позволяющей определить сегмент сети, вызывающий задержку.

**Основные виды измерений параметров абонентской линии (см.рисунок 25)**



Рисунок 25 – Основные виды измерений параметров абонентских линий

**Обнаружение дефекта сопротивления изоляции мостовым методом**

**Рефлектометрия**

Основные параметры:

       Скорость распространения импульса рефлектометра (VOP).

       Ширина импульса рефлектометра.

       Уровень сигнала рефлектометра.

       Согласование с тестируемой линией.

       Цифровая фильтрация.

**Тональное тестирование**

Диапазоны тестирования:

     Голосовой: от 300 Гц до 3.4 кГц.

     Широкий: от 200 до 2 МГц .

**Измерительная техника для «последней мили»**

     Измерители базовых параметров линии.

     Мосты, рефлектометры.

     Анализаторы ТЧ.

     Измерители физических параметров линии + анализаторы ТЧ – универсальные анализаторы xDSL.

     Эмуляторы модемов xDSL.

**Тестеры, предназначенные для проверки качества кабельной проводки сетей LAN (Ethernet)**

Они не измеряют физические параметры кабеля, но позволяют выявить пары с обрывами, короткими замыканиями, перепутываниями жил различного рода, найти соответствующую пару на дальнем конце. Часто эти тестеры определяют расстояние до места неисправности, а некоторые - возможность соединения, имитируют трафик и определяют качественные показатели передачи (статистика сети).

**СИЭ для измерения первичных параметров кабеля и определения места повреждения в кабеле**

Эти приборы реализуются на отдельных или совмещенных в одном приборе измерительных устройствах: цифровом мультиметре (DMM), основанном на мостовых методах, и рефлектометре во временной области (TDR), основанном на измерении задержки отраженного импульса относительно передаваемого в кабель импульса.

Типичный DMM позволяет измерять первичные параметры: омическое сопротивление, рабочую емкость, переменное и постоянное напряжение в кабеле, сопротивление изоляции и температуру кабеля, кроме того, обычно имеет режимы для определения мест повреждения изоляции и жил, таких как: утечка, обрыв, простая и двойная разбитость пар (скрутка жил различных пар).

**Рефлектометр во временной области (TDR)**

Типичный TDR предназначен для наблюдения участка кабеля и определения места повреждения кабеля, включая: обрыв провода, короткое замыкание проводов, попадание влаги, повреждение оболочки, плохие спайки проводов, изгибы, разбитость пар и восстановление пар, отводы, емкостные схемы, пупиновские катушки, вставку кабеля и множество других повреждений. Принцип работы таких рефлектометров основан на посылке в кабель прямоугольного зондирующего импульса и наблюдении задержанного эхо-сигнала, отраженного от неоднородности волнового сопротивления. Основными информативными результатами являются форма эхо-сигнала и его задержка. По величине задержки можно найти расстояние до дефекта. Сама задержка определяется как время от начала зондирующего импульса до начала эхо-сигнала.

Это универсальный современный прибор (с отображением результатов в цифровой и графической форме) для измерений характеристик аналоговых групповых и линейных трактов, каналов тональной частоты и металлических кабелей в диапазоне частот от 0,1 до 4096 кГц, позволяющий производить выполнение с помощью гармонического, двухчастотного, многочастотного или псевдослучайного измерительного сигнала следующие измерения абонентских кабелей: измерения частотной характеристики остаточного затухания, переходного затухания (защищенности от переходов), затухания асимметрии, импеданса нагрузки, электрического сопротивления, электрической емкости; рефлектометрические измерения (защищенности от отражений, задержки отраженного импульса, расстояния до неоднородностей); анализ спектра сигналов и шумов в кабеле; анализ случайных событий (превышений установленного порога уровня максимального шума).

**Лекция 13. Технологии измерений в ВОСП**

**Цель:** изучение особенностей измерений в ВОСП.

**Измерения проводимые на волоконно-оптических линиях связи**

Типовая схема волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) представлена на рисунке 26.



Рисунок  26 -  Типовая схема волоконно-оптической системы передачи

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, оптический приемник сигнала, система передачи, принимающая электрический сигнал и аппаратура сопряжения, обеспечивающая преобразование электрического сигнала в оптический. Наиболее существенными для измерений в ВОСП являются параметры оптического волокна, точки соединения с аппаратурой передачи/приема и регенерации, места сопряжения различных кабелей и сварочные соединения, а также возможные неоднородности в кабелях, которые обычно служат основной причиной деградации качества связи.

В анализе оптоволоконных кабелей и узлов существенно различаются две категории задач: **промышленный и эксплуатационный анализ.**

**Промышленный анализ**

При промышленном анализе измеряются узлы и параметры кабелей перед укладкой. Измерения этого класса проводятся 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).

Промышленный анализ кабелей включает измерения следующих параметров:

                   погонное затухание в оптическом волокне;

                   полоса пропускания и дисперсии;

                   длина волны отсечки;

                   профиль показателя преломления;

                   числовая апертура;

                   диаметр модового поля;

                   геометрические и механические характеристики оптоволоконного кабеля;

                   энергетический потенциал и чувствительность фотоприемного устройства;

                   уровни оптической мощности устройств.

Эти измерения, требующие высокой точности и автоматизации, выполняются **системным измерительным оборудованием.**

**Эксплуатационный анализ**

Включает в себя измерения в процессе прокладки кабеля и на этапе эксплуатации. При прокладке кабелей необходимы пошаговые измерения участков кабелей, характеристик участков сварок и сопряжения кабельных сетей, а также измерения развернутой кабельной сети на этапе приемосдаточных испытаний и паспортизации кабельного хозяйства и ВОСП. При этом измеряют затухание, вносимое сростками кабелей, затухание оптических волокон, а также уровни мощности оптического излучения на выходах передающих и входах приемных оптоэлектронных модулей.

Затухание оптических волокон измеряется в обоих направлениях передачи на участках регенерации, что позволяет учесть различия значений измеряемых величин, обусловленные неоднородностями, и выбрать оптимальный вариант использования волокон кабеля.

**Эксплуатационные измерения**

Эксплуатационные измерения делятся на профилактические, аварийные и контрольные. Аварийные измерения включают в себя быструю локализацию точек деградации качества кабельной сети. Профилактические и контрольные измерения могут выполняться с помощью специально встроенных в аппаратуру линейного тракта контрольно-измерительных устройств.

Спецификация эксплуатационных измерений кабелей включает:

                   измерение уровней оптической мощности;

                   измерение переходного затухания;

                   определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля;

                   стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП.

**Измерения потерь в волоконно-оптических линиях связи**

Измерения потерь проводятся для оценки качества ВОЛС. В большинстве случаев потери излучения (а не дисперсия) являются основным фактором, ограничивающим длину ретрансляционного участка линии связи.

Полные потери α, вносимые линией связи длиной L, складываются из потерь в строительных длинах оптического кабеля qBLст, потерь в сварных соединениях волокон и волокон αсв и потерь в разъемных соединениях пигтейлов на концах линии αр (см. рисунок 27) .



Рисунок 27 -  Схема распределения потерь в ретрансляционном участке линии

**Измерительная техника для эксплуатационных измерений ВОСП**

Для анализа волоконно-оптической среды передачи применяются:

                   оптические измерители мощности;

                   стабилизированные источники сигнала;

                   визуальные дефектоскопы;

                   измерители потерь в оптической линии;

                   перестраиваемые оптические аттенюаторы;

                   оптические рефлектометры;

                   анализаторы возвратных потерь;

                   переговорные устройства;

                   кабельные идентификаторы;

                   микроскопы.

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

**Оптические рефлектометры**

Оптические рефлектометры (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR) являются наиболее полнофункциональным прибором 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. Рефлектометры действуют по принципу радара: в линию посылается импульс малой длительности, который распространяется по оптическому кабелю в соответствии с релеевским рассеянием и френелевским отражением на неоднородностях в оптическом кабеле (дефекты материала, сварки, соединители и т.д.). Управляющий процессор обеспечивает согласованную работу лазерного диода и электронного осциллографа, создавая возможность наблюдения потока обратного рассеяния полностью или по частям. Для ввода импульсов в волокно используются направленный ответвитель и оптический соединитель. Поток обратного рассеяния через оптический соединитель и направленный ответвитель поступает на высокочувствительный фотоприемник, где преобразуется в электрическое напряжение. Это напряжение подается на вход Y электронного осциллографа, вызывая соответствующее мощности потока обратного рассеяния отклонение луча осциллографа. Ось X осциллографа градуируется в единицах расстояния, а ось Y - в децибелах.

Оптическая схема типичного импульсного рефлектометра приведена на рисунке 28.



Рисунок  28 -  Оптическая схема типичного импульсного рефлектометра

Работа прибора основана на измерении мощности светового сигнала, рассеянного различными участками волоконно-оптической линии.

Световые импульсы относительно большой мощности от встроенного в импульсный оптический рефлектометр источника вводятся в волокно, а высокочувствительный приемник измеряет временную зависимость мощности светового сигнала, возвращающегося из тестируемого волокна обратно в рефлектометр.

**Работа оптических рефлектометров.**

Главной целью измерений, проводимых с использованием оптических рефлектометров, является определение импульсной характеристики тестируемого волокна. Типичная рефлектограмма импульсного рефлектометра приведена на рисунке 29



Рисунок  29 - Типичная рефлектограмма оптического рефлектометра

Вертикальная шкала определяет уровень рассеянного (отраженного) сигнала в логарифмических  единицах. Горизонтальная  ось соответствует расстоянию от рефлектометра до тестируемой области волокна.

 В волоконных световодах рассеяние на частицах примеси может быть уменьшено практически до нуля, но рассеяние на «вмороженных» неоднородностях принципиально уменьшить нельзя, именно они определяют минимальную величину потерь на рассеяние.

**RFTS – Системы мониторинга ВОЛС**

Одним из основных эксплуатационных факторов, позволяющих прогнозировать ухудшение характеристик оптических волокон и обеспечивать требуемый уровень надежности ВОЛС, является непрерывный мониторинг ОК ВОЛС. При этом системы мониторинга ОК ВОЛС должны предусматриваться уже на этапе планирования и проектирования современных цифровых сетей связи.

Такие системы - системы дистанционного тестирования волокон RFTS (Remote Fiber Test System) - в настоящее время выпускаются рядом зарубежных компаний. Однако для практического применения подобных систем при построении больших протяженных сетей связи требуется серьезный сравнительный анализ возможностей различных систем RFTS и изучение проблемы их интеграции с системами информационной поддержки и управления такими сетями.

**Архитектура RFTS**

Все системы RFTS, как правило, строятся по одной и той же схеме При этом выделяют следующие функциональные элементы и устройства:

                   аппаратную часть;

                   систему управления;

                   а также интегрированные элементы: геоинформационную систему (ГИС), привязки топологии сети к карте местности;

                   базы данных ОК, оборудования сети, критериев и результатов тестирования ОК ВОЛС и сети в целом, и другие внешние базы данных.

**Функции системы RFTS**

Важнейшей функцией системы RFTS является то, что она постоянно автоматически ведет сбор и статистический анализ результатов тестирования оптических волокон сети. Статистический анализ с использованием корреляционных, многофакторных методов и др. методов дает возможность обнаруживать и прогнозировать неполадки волокна задолго до того, как они приведут к серьезным проблемам в сети.

Система RFTS значительно повышает безопасность сети - любое несанкционированное подключение к волокну неизбежно приводит к дополнительным потерям в оптическом канале, а значит, будет обнаружено и зафиксировано системой в реальном масштабе времени.

Другое не менее важное качество системы RFTS – графическое представление информации о состоянии сети. На центральном сервере системы установлена профессиональная ГИС, которая содержит точную электронную карту цифровой сети на местности. Также на карту выводится полная информация о неисправностях волокон в ОК, включая их точное физическое местоположение.

**Лекция 14. Измерения в различных системах передачи**

**Цель:** изучение особенностей измерений в радиочастотных системах и АТС.

**Радиочастотные системы передачи. Основные технические решения**

К радиочастотным СП относятся все средства связи, использующие в качестве среды передачи  радиоэфир. РЧ СП включают в себя два типа:

а) радиорелейные системы передачи  (РРЛ);

б) спутниковые системы передачи (ССС).

 Измерения для обоих технологий практически одинаковы, но имеются некоторые различия, обусловленные диапазонами измерений и условиями распространения сигнала.

**Эксплуатация радиочастотных систем передачи**

РЧ измерения входят составной частью в комплекс измерений на первичной сети. В технологию РЧ измерений включаются измерения параметров цифровых трактов СП, так как они связаны  с анализом цифровой первичной сети. Основу РЧ измерений составляют измерения радиоэфира, которые связаны с анализом электромагнитной обстановки во всем спектре, используемом СП. Особенно важно измерения по оценке эффективности использования радиоэфира.

**Анализ РЧ систем**

Анализ работы  узловых РЧ устройств – ретрансляторов – является существенной частью проведения  РЧ измерений. После анализа ретрансляторов производится анализ РЧ трактов систем передачи в целом. Для ССС сюда будут относиться  измерения каналов  передачи.

**Группы технических решений для РРЛ**

При формировании технических решений для эксплуатации РРЛ, необходимо учитывать специфику развертывания и эксплуатации последних. Радиорелейные системы передачи представляют собой очень широкий класс оборудования, предлагаемый различными компаниями-производителями. Гибкость РРЛ заключается в следующих параметрах:

                   частотный диапазон;

                   уровень иерархии формируемого канала.

**Спектральный контроль радиочастотного ресурса**

РРЛ настроена на определенный рабочий диапазон, который теоретически должен быть свободен от посторонних сигналов.  В случае их возникновения для РРЛ это означает появление шумов в рабочем диапазоне, что должно влиять негативно на работу системы. Поэтому наблюдение за спектром в рабочей полосе частот позволяет:

                   выявить радиочастотные сигналы, интерферирующие с рабочими сигналами РРЛ;

                   определить влияние РРЛ за пределами рабочего диапазона;

                   по анализу рабочего сигнала РРЛ проверить правильность настройки последней на рабочий диапазон.

Для проведения измерений анализатор спектра может быть подключен к тракту ПЧ, тракту РЧ или через тестовую антенну непосредственно поставлен для измерения мощности поля в заданной точке. Также эффективно оказывается включать анализатор в тестовые гнезда трактов ПЧ или РЧ на оборудовании и проводить измерения непосредственно в реально работающей системе.

**Измерения частоты и мощности сигнала РЧ**

­Вторым важным типом измерений являются измерения таких параметров РЧ-сигнала как частота его несущей и мощность. Эти измерения дублируют спектральный анализ, однако если спектральный анализ позволяет измерять относительную мощность, прямые измерения мощности позволяют измерять абсолютную величину передаваемой/принимаемой мощности сигнала. В то же время недостатком прямых измерений мощности и частоты передаваемого/принимаемого сигнала является то, что такими методами невозможно в полной мере оценить всю картину загруженности рабочего диапазона. Оценить эту картину можно, проходя измерительным прибором по диапазону и делая соответствующие измерения.

**Комплексные измерения тракта РРЛ**

При эксплуатации РРЛ существует группа специфических измерений, по результатам которых можно точно настраивать параметры системы передачи и рассматривать влияние тех или иных факторов на качество формируемого канала первичной сети.

В качестве таких измерений можно привести:

                   измерения тракта РРЛ в целом и его параметров: АЧХ, ГЗ, отношения сигнал/шум, DADE и т.д.;

                   измерения компонентов тракта РРЛ (модемов, антенного тракта, усилительного тракта, конвертерных цепей по линии вверх и вниз и т.д.)

Тракт РРЛ

Рисунок 30 - Принципы измерения параметров

Метод измерения всех перечисленных параметров достаточно прост (см. рисунок 30). Для измерений используются два прибора, подключаемые с разных сторон измеряемого тракта. Генератор на передающей стороне обеспечивает генерацию тестового сигнала (им может быть сканирующий, гармонический или композитный сигнал сложной структуры). На приемной стороне устанавливается тестовый приемник, в роли которого обычно выступает анализатор спектра со специальным программным обеспечением. Тестовый приемник принимает из канала сигнал, обеспечивает его обработку и отображение измеряемых величин в скалярной или векторной форме.

**Измерения участков радиочастотного тракта**

В случае выявления несоответствия параметров «прозрачности» РЧ-канала заявленным для нормальной эксплуатации РРЛ возникает необходимость «пошагового» измерения параметров РЧ-тракта. Для этой цели оператор рассматривает РЧ-тракт уже не как единый канал, а как составную РЧ-систему передачи, в состав которой входят различные компоненты (гетеродины, фильтры, конвертеры по линии вверх и вниз, модуляторы, демодуляторы, кодеры, антенные системы и т.д.).

В состав тракта входят следующие компоненты: кодер, модулятор, фильтр ПЧ, конвертор по линии вверх, фильтр РЧ, антенное устройство, ретранслятор и среда распространения сигнала, фильтр РЧ приемника, кон­вертер по линии вниз, фильтр ПЧ, демодулятор и декодер. «Пошаговые» измерения радиочастотных трактов включают в себя не только анализ параметров аппаратуры тракта, но и параметров прохождения рабочего сигнала по нему. Рассматривая эти параметры, можно выделить соответствующие им группы измерений участков радиочастотного тракта:

1)       контроль возможных нарушений работы модемов приводит к необходимости измерений параметров модуляции;

2)       учет возможной нелинейности в усилительных элементах приводит к необходимости контроля усилителей и измерения характеристик усиления этих элементов;

3)       определение вероятности межсимвольной интерференции требует анализа фильтров ПЧ и РЧ.

**Измерения на цифровых АТС**

Все измерения, проводимые на цифровых АТС, можно разделить на три основные группы:

                   тестирование аналоговых абонентских линий и окончаний;

                   тестирование цифровых абонентских окончаний;

                   тестирование цифровых потоков МСС и доступа.

**Измерения на аналоговых АТС**

Основные измерения, проводимые на аналоговых АТС, можно разделить на следующие группы: тестирование абонентских линий и окончаний; тестирование СЛ (каналов ТЧ и сигнализации); тестирование биллинговых систем АТСК и оборудования АПУС.

**Тестирование абонентских линий и окончаний**

Этот вид измерений является наиболее общим для всех видов коммутаторов. При тестировании медных абонентских линий требуется измерение как первичных, так и вторичных параметров медной пары. Для стандартной аналоговой телефонии достаточным будет измерений шлейфа, балансировки, емкости пары и затухания ее в полосе частот от 300 Гц до 3,4 кГц.

**Тестирование цифровых абонентских окончаний**

Этот вид тестирования необходим при обслуживании ЦАТС, применяющих ISDN-коммутацию, а также УПАТС, подключенных по цифровым стыкам ISDN PRI/BRI. Существует широкая номенклатура приборов, с помощью которых проводится подобное тестирование на различных уровнях:

     базового доступа (ISDN BRI): IBT-5, IBT-100, IBT-300 (Acterna), Aurora (Trend Communications), SunSet ISDN (Sunrise Telecom);

     первичного доступа (ISDN PRI): IBT-200/300, 8630/8631 (Acterna), Any Test E1 (LinkBit), Aurora (Trend Communications), SunSet ISDN (Sunrise Telecom).

**Тестирование цифровых потоков МСС и доступа**

Это один из самых распространенных видов тестирования ЦАТС всех уровней. При анализе цифровых потоков проверяются стыки Е1 на двух уровнях: физическом и канальном. На физическом уровне измеряются такие параметры, как: структура и состояние потока, синхронизация, коэффициент ошибок, джиттер, физические параметры стыка (по уровню и маске импульса). На канальном уровне проверяется правильность прохождения сигналов взаимодействия различных коммутационных систем между собой. Для этого необходимо производить декодирование команд протоколов взаимодействия сетевых элементов.

**Измерительное оборудование для цифрового телевидения**

Анализаторы качества декомпрессированного изображения:

PQA300 Tektronix – Прибор позволяет заменить группу наблюдателей, т.к производит оценку качества изображения практически также как человеческий глаз. Обеспечивает быстрые, точные измерения: PQR, PSNR, представление результатов данных в табличной форме; прибор представляет  измерительную систему для анализа качества ТВ изображения. Анализирует качество картинок в режиме повторяемых объективных измерений, что напрямую дублирует субъективное человеческое восприятие.

**Анализаторы транспортного потока**

**Серия MTS400 Tektronix** -  Отладчик/Анализатор  компрессированного цифрового видео,  который представляет новейшую технологию CaptureVuTM,  фиксирующую и анализирующую системные события в реальном времени, для устранения чередующихся и сложных проблем, пропускаемых  обычными анализаторами.

Позволяет быстро выделять и устранять аппаратные и системные неисправности. Мультиплексор/демультиплексор  позволяет создавать и модифицировать испытательные потоки. Возможность быстрого и глубокого анализа выбранных элементов транспортных потоков, для подтверждения их функциональности и соответствия стандартам

Прибор обеспечивает анализы потоков IPTV в реальном времени и документирование результатов

**Анализаторы параметров модуляции и анализаторы частотного спектра**

MTM400 Tektronix с радиочастотными интерфейсами QAM, QPSK, COFDM.

Основная задача: мониторинг транспортных потоков MPEG, поддерживает RF мониторинг и проверку практически всех существующих в мире типов радиочастотных модуляций для систем цифрового телевидения.

**Система мониторинга CATV+**

Система обеспечивает централизованный контроль аналоговых и цифровых сигналов телевидения в ключевых точках системы распределения видеосигналов сети.

**Функциональность системы**

Диагностика аналоговых и цифровых систем передачи видеосигнала.

Система CATV+ обеспечивает измерения аналоговых и цифровых систем передачи телевизионного сигнала.

 **Лекция 15. Эксплуатация  глобальных сетей передачи данных (WAN)**

**Цель:** изучение особенностей измерений  глобальных сетей передачи данных (WAN).

**Глобальные сети передачи данных и их эксплуатация**

Сети пе­редачи данных разделяются на локальные (LAN) и глобальные (WAN). Рассматривая современные технологии формирования сетей передачи данных, можно указать, что наиболее доминирует технология Frame Relay, после которой идет технология ATM.

**Комплексное решение по эксплуатации сетей передачи данных**

Технология измерений в сетях передачи данных включает три уровня тестирования: анализ интер­фейса, анализ канала передачи данных и анализ протоколов. Часто функции измерений разных уров­ней интегрированы в одном измерительном приборе, однако, задачи измерений, принципы их органи­зации и методы интерпретации результатов для каждого уровня свои.

**Измерения на интерфейсах**

Анализ интерфейсов сетей передачи данных представляет собой удобную эксплуатационную проце­дуру для поиска неисправностей на физическом уровне. Очень часто проблемы в сетях передачи данных связаны с неправильным функционированием интерфейсов, в которых используются различные служебные сигналы: квитирования, синхронизации и т.д. При анализе интерфейса могут быть найдены проблемы, связанные с поляризацией кабелей, а также проанализированы режимы работы DTE и DCE. Опыт пока­зывает, что наибольшее количество проблем, имеющих место в современных сетях передачи данных - это проблемы с неправильной распайкой интерфейсов ПД. Поэтому анализ интерфейсов в последнее время стал чрезвычайно актуальным для операторов сетей передачи данных. Для проведения измерений используются анализаторы интерфейсов, получившие в практике название «интерфейсных коробок».

**Анализ качества каналов**

На канальном уровне диагностируется основной параметр цифровых каналов - параметр ошибки (BER) ­ качестве основной методологии измерений здесь выступает рекомендация G.821. Анализаторы канального уровня представляют собой различные приборы, выступающие в качестве генератора и анализатора псевдослучайной последовательности (ПСП).

Анализаторы могут быть как простыми, поддерживающими один или несколько интерфейсов, так и сложными и даже совмещенными с анализаторами ИКМ.

Часто многофункциональные анализаторы BER имеют в сво­ем составе индикаторы интерфейсных сигналов, позволяющие диагностировать точку подключения, что является залогом успешных измерений.

**Анализ протоколов в сетях передачи данных**

Третьим уровнем измерений и эксплуатации является анализ протоколов с целью поиска и устране­ния логических противоречий при взаимодействии различных устройств. Отечественные связисты редко сталкивается с проблемой, требующей анализа протоколов. К таким проблемам могут быть отнесены:

                   Логические нарушения взаимодействия в точках стыка разнородного оборудования.

                   Нарушения в работе приложений. Обычно они связаны с логическими противоречиями в точках подключения оконечного оборудования к сети.

**Состав комплексного решения**

Из всего перечисленного выше следует, что целесообразно разделить комплексное решение на две основных части - комплекты для инсталляции и эксплуатации сетей передачи данных и комплект для анализа протоколов. Первая часть включает в себя несколько вариантов различной стоимости и соста­ва, вторая часть состоит из одного пакета с полной функциональностью.

**Типы анализаторов**

Анализатор J2300D позволяет анализировать все основные коммуникационные протоколы WAN от 50 bps до 2 Mbps: Frame Relay, ISDN, X.25, HDLC, SDLC, SNA, асинхронный РРР и инкапсулированные LAN протоколы, работающие в глобальной сети. ­се основные WAN интерфейсы, такие как RS 232/V.24, RS449/ 422/423, V.10/V.11 и V.35, уже встроены в платформу.

Особенностью анализатора является сочетание возможности измерений параметров интерфейсов с мощным декодированием протоколов.

Декодированные сообщения представлены в трех окнах: отдельно простая трасса протокола, де­тализированная трасса с широкими возможностями фильтрации и шестнадцатиричное представление данных.

Анализатор каналов передачи данных LYNX является удобным портативным прибором, необходимым при обслуживании систем современной цифровой телефонии и передачи данных.

Анализатор обеспечивает тестирование основных интерфейсов передачи данных и анализ по параметру ошибки (BER) каналов передачи.

**Статистическая обработка и экспертная система**

Дополнительно анализатор обеспечивает сбор и обработку статистической информации, которая позволяет оценить производительность сети передачи данных, наличие в ней неисправностей и их сово­купное влияние на работоспособность и надежность сети. Встроенная экспертная система позволяет провести сканирование сети на предмет наличия в ней неисправностей и анализ причин их возникновения.

Анализ телекоммуникационных протоколов и анализ LAN.

Подвижные модули добавляют функции для тестирования ISDN BRI и PRI, DS-1/E1, DS-3/E3, OS-3c/ STM-1. Модули, подстыковываемые снизу также добавляют способности для работы с Ethernet, switched Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, FDDI, token-ring LAN.

**Анализатор ATM**

Анализатор обеспечивает полный протокол-анализ трафика ATM, различные схе­мы инкапсуляции и декапсуляции трафика локальных и глобальных сетей,  обеспечивает точность временных меток трасс до 10~7 с, что позволяет эффективно ис­пользовать его для анализа сетей ATM вплоть до скорости STM-1 - скорость, наиболее часто используе­мая на уровне приложений современных телекоммуникаций. Семейство анализаторов Беркут (BERcut) представляет собой универсальное решение для эксплуатации современных гибридных сетей связи на уровне доступа.

**Концепция семейства анализаторов**

Решение задачи контроля современных сетей доступа в условиях мультитехнологической системы NGN может быть выполнено двумя разными способами. Может быть реализована стратегия универсального прибора, обеспечивающего измерения в самых разных технологиях. Семейство Беркут решает проблему выбора стратегии, поскольку включает в себя универсальную платформу BERcut-MMT и семейство специализированных анализаторов BERcut-E1, BERcut-ADSL, BERcut-GE1/2, BERcut-CATV1/2 и BERcut-SDH.

Для специализированных задач (например, диагностика сегмента ADSL) оператор может использовать специализированный прибор BERcut, обеспечивая дешевое и эффективное решение специализированными средствами. Для конвергентных сетей можно использовать универсальный прибор BERcut-MMT, который обеспечит функциональность и многомодульный режим работы.

**Специализированные анализаторы для традиционных сетей:**

     BERcut-E1 – наиболее распространенная модель семейства, обеспечивающая всесторонний анализ потоков Е1;

     BERcut-SDH – обеспечивает все функции тестирования традиционных сетей PDH и SDH на скоростях Е1, Е2, Е3, Е4, STM-1, STM-4 и STM-16.

**Специализированные анализаторы для сетей NGN:**

     BERcut-ADSL – анализатор сетей ADSL/ADSL2/ReADSL/ADSL2+;

     BERcut-GE1 – однопортовый анализатор Ethernet/Gigabit Ethernet;

     BERcut-GE2 – двухпортовый анализатор Ethernet/Gigabit Ethernet;

     BERcut-CATV1 – анализатор сетей кабельного телевидения, по которым предоставляются услуги Интернет, Triple Play и IPTV;

     BERcut-CATV2 – анализатор сетей цифрового кабельного телевидения DOCSIS, по которым предоставляются услуги Интернет, Triple Play и IPTV;

     BERcut-SDH – анализатор сетей Metro-SDH, по которым передается трафик Ethernet и Triple Play;

     BERcut-EP – анализатор пользовательских сетей Ethernet и систем доступа PON.

Все анализаторы этой группы оснащены функциями контроля уровня IP, Ethernet, L2/L3/L4 и L7, включая контроль Triple Play, FTP, Web, IPTV, VoIP. Кроме того, для диагностики домовых сетей все анализаторы имеют опции WiFi.

**Конвергенция в сетях доступа**

Все приборы семейства Беркут имеют общую методологию измерений на уровнях IP, Ethernet и обеспечивают единую метрику параметров качества современных услуг NGN: Web, FTP, IPTV и VoIP. В результате в конвергентных сетях, где имеются сегменты сетей ADSL и Gigabit Ethernet, оказывается возможным сравнивать результаты измерений и проводить диагностику сквозного соединения.

**Конвергенция транспорта и доступа**

Кроме того, анализаторы семейства Беркут поддерживают возможности по тестированию конвергентных сетей транспорт-доступ. Специальное ПО на абонентских анализаторах BERcut-MMT позволяет дистанционно управлять анализатором SmartBits, формируя определенный профиль трафика и генерируя его на тестируемое абонентское окончание, где подключен BERcut. Принимая тестовый поток от SmartBits, BERcut-MMT выполняет измерения по линии «вниз» для любого интерфейса подключения (ADSL, Ethernet, GE и пр.). Производительность анализатора SmartBits позволяет использовать более 100 анализаторов BERcut на один транспортный анализатор SmartBits.

За счет разработанного алгоритма анализа оказывается возможным решить проблему контроля параметров качества (QoS) уровней L2/L3/L4 и L7 с «одного конца».

Использование единой метрики параметров качества в анализаторе SmartBits и анализаторе BERcut позволяет сравнивать параметры качества на уровне транспорта и на уровне доступа, тем самым формируя единую систему эксплуатации транспорта и доступа.

**Многоуровневое решение**

Для формирования многоуровневой системы эксплуатации семейство Беркут включается в единую систему технических решений, объединенную единой методологией тестирования, едиными параметрами измерения и единой метрикой анализа.

На уровне транспорта используются анализаторы SmartBits и системы мониторинга EtherNID.

На уровне конвергентных сетей транспорта и доступа используются универсальные анализаторы BERcut-MMT.

На уровне абонентских сетей используются специализированные анализаторы семейства BERcut.

**Интеграция анализаторов в автоматизированные системы эксплуатации**

Все приборы семейства могут использоваться в трех режимах:

     отдельный прибор;

     терминал для сбора и первичной обработки данных в системе паспортизации OSS

     удаленный модуль системы мониторинга.

За счет объединения принципов распределенных и централизованных систем эксплуатации анализаторы BERcut могут использоваться в сетях с разным уровнем автоматизации служб эксплуатации – от традиционных сетей, до современных концепций OSS.

 В анализаторах BERcut было предложено использовать удаленного программное обеспечение унифицированного типа, которое позволяет:

 1 Выполнять операции с поливариантными методиками и метриками

 2 Настраивать индивидуальные отчеты об измерениях и формировать локальные и распределенные базы данных технического учета и технического аудита

 3 Удаленно настраивать прибор через сеть TCP/IP, получая от него данные в режиме реального времени

 4 Быстро и эффективно управлять комплектацией приборов

 Наличие ПО удаленного доступа нового поколения позволяет интегрировать анализаторы BERcut в любые информационно-технические системы управления. Тем самым на основе семейства может быть построена концепция автоматизированной системы эксплуатации (АСОТЭ).

**Список литературы**

1.  Бакланов И.Г. Технология измерений в современных телекоммуникациях. -М. : ЭКО-Трендз, 2001. -  139 с.

2.  Бакланов И.Г. Технология измерений первичной сети. Часть  1.Системы Е1,PDH, SDH.- М.: ЭКО-Трендз, 2002.-  142 с.

3.   Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи. – М.: ЭКО-Трендз, 1999. -196 с.

4.   Бакланов И.Г. ISDN и FRAME RELAY: технология и практика измерений. - М.: ЭКО-Трендз, 2002. - 187 с.

5.   Клаасен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркет, 2000. - 352 с.

6.  Иванов А.Б. Волоконная оптика:  компоненты, системы передачи, измерения - М . : Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001.-460 с.

7.   Контроль качества в телекоммуникационных системах / Под ред. Иванова А.Б.- М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. -336 с.

8.       Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Уч. Для вузов. -2-е изд., перераб. И доп. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004.–204 с.

9.       Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Основы метрологии. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003- 157 с.

10.        Самоделкина С.В., Клочковская Л.П. Методы и средства измерения в телекоммуникационных системах Методические указания к выполнению расчетно-графических работ для магистрантов  специальности 6М071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АИЭС, 2010 - 27 с.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| Введение | 3 |
| Лекция 1. Основные понятия и определения | 4 |
| Лекция 2. Измерительные технологии | 8 |
| Лекция 3. Обобщенная модель контроля и классификация измерительных технологий современных телекоммуникаций | 13 |
| Лекция 4. Обзор методов контроля. Методы измерения. Классификация. | 18 |
| Лекция 5. Информационная модель системы измерений для телекоммуникационной компании. Параметры измерительных систем | 22 |
| Лекция 6. Особенности представления цифровых сигналов (ЦС).Методы представления сигналов в виде диаграмм | 25 |
| Лекция 7. Возникновение битовых ошибок и их влияние на параметры цифровой передачи | 29 |
| Лекция 8. Методы вычисления параметров ошибок в цифровых каналах | 34 |
| Лекция 9. Методология измерения джиттера в ЦСП | 37 |
| Лекция 10. Эксплуатация и технология измерения систем первичного потока E1 | 42 |
| Лекция 11. Измерительные технологии SDH, PDH. Состав эксплуатационных измерений SDH | 46 |
| Лекция 12 .Общие принципы измерений абонентских кабельных систем. Основные параметры абонентских кабельных систем | 51 |
| Лекция 13. Технологии измерений в ВОСП | 56 |
| Лекция 14. Измерения в различных системах передачи | 61 |
| Лекция 15. Эксплуатация  глобальных сетей передачи данных (WAN) | 65 |
| Список литературы | 70 |