ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ

Содержание

1. Закономерности развития измерительных технологий

1.1 Современная НТР в области телекоммуникаций. Понятие измерительной технологии

1.2 Динамика развития технологии на рынке

1.3 Социально-психологические процессы, связанные с развитием технологии на рынке

1.4 Повышение роли измерительной техники с развитием технологий телекоммуникаций

2. Системное и эксплуатационное измерительное оборудование

3. Методология измерений

4. Основная задача методологии измерений. Особенности методологии измерений сигналов систем связи

5. Основные параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале

6. Тестовые последовательности

1. Закономерности развития измерительных технологий

1.1 Современная НТР в области телекоммуникаций. Понятие измерительной технологии

Современное развитие информационных и телекоммуникационных технологий можно охарактеризовать как научно-техническую революцию (НТР). НТР в области телекоммуникаций связана с широкомасштабным внедрением микропроцессорной техники и переходом к цифровым методам коммутации и передачи.

Необходимо учесть, что специфика современной НТР состоит в том, что это - технологическая революция. Понятие технологии выходит на первый план и требует нового подхода к анализу и описанию явлений, связанных с развитием современных средств связи. Применительно к описанию методов измерений в современных сетях связи этот подход означает введение нового ключевого определения - измерительной технологии - для описания и классификации методов измерений. Измерительная технология или технология измерений в дальнейшем будет означать совокупность методов, подходов к организации измерений и интерпретации результатов, конкретных методик, а также измерительных средств (приборов и средств контроля), необходимая для качественного обслуживания соответствующего направления развития технологии средств связи. Как видно из определения, измерительная технология тесно связана с соответствующей технологией телекоммуникаций.

Чем обусловлена необходимость введения понятия измерительной технологии как основного понятия для описания и классификации современных методов эксплуатационных измерений на сетях связи? Тому есть несколько причин.

Во-первых, технологический характер современной НТР, характерной чертой которой является настолько высокая скорость смены технологий, что она не позволяет большей части связного сообщества осознать все новые нюансы технологии в полной мере. Действительно, понимание специалистами в области связи современных технологий телекоммуникаций значительно отстает от развития самих технологий. Отставание проявляется в отсутствии учебно-справочных материалов, малом количестве профессионалов в технологии, пока невысоким уровнем статей в научно-технической прессе. Необходимо отметить, что такое отставание не является сугубо характерным для нашей страны, оно отмечается даже в самых развитых в области телекоммуникаций странах. Временные рамки существования и смены технологий на рынке уменьшаются, в результате становится невозможным рассматривать методологию измерений как стационарный процесс, необходимо включить в рассмотрение фактор времени. В результате появляется необходимость не просто рассматривать технологию измерений, но и рассматривать динамику ее развития на рынке.

Во-вторых, современное развитие измерительной техники идет по пути ее высокой специализации. Развитие современной измерительной техники для телекоммуникаций привело к появлению рынка специализированной техники, предназначенной для обслуживания и эксплуатации систем связи. В результате смены технологий рынок специальной измерительной техники меняется очень динамично, возникает задача ее классификации, решить которую без технологического подхода невозможно.

В-третьих, в последнее время растет технологичность современного оборудования, более половины средств мирового телекоммуникационного рынка отводятся на развитие программных средств. Программное обеспечение в современных устройствах телекоммуникаций обновляется в среднем раз в два года, радикально изменяя структуру и возможности современных телекоммуникационных систем. Технологичность в области измерительной техники связана с появлением и развитием целого класса измерительных приборов - анализаторов протоколов и логического взаимодействия интеллектуальных устройств. Этот класс измерительной техники не рассматривается современной метрологией, тем не менее он имеет высокую эксплуатационную значимость. Включить в общее рассмотрение этот класс техники возможно, только рассматривая вопросы по организации эксплуатационных измерений в комплексе. Переход к рассмотрению комплексных решений требует введения понятия измерительной технологии.

На основании всего перечисленного выше технологический подход к описанию эксплуатационных измерений на сетях связи является оправданным. Этот подход положен в основу настоящей книги, посвященной вопросам эксплуатационных измерений на сетях связи. В результате рассмотрена динамика развития измерительных технологий, построена классификация современных технологий измерений, для каждой технологии приводятся конкретные подходы к организации измерений и интерпретации результатов, даются описания измерительных средств, представленных на современном мировом рынке.

Предлагаемый подход является в отечественной практике новым, и автор надеется, что такой метод описания будет наиболее понятен для специалистов в области эксплуатации современных систем связи.

Предлагаемая глава посвящена технологическому подходу к описанию процессов, имеющих место в современных телекоммуникациях.

Для начала описания важными можно считать следующие несколько вопросов, ответы на которые сразу дают фундамент для понимания динамики развития новых технологий.

* Как технологии сменяют друг друга?
* Как развивается технология на рынке?
* Какие социально-психологические процессы сопутствуют развитию технологии на рынке?

Рассмотрение данных аспектов в условиях отечественного рынка особенно важно для связного сообщества. Рыночные отношения уже основательно вторглись в область телекоммуникаций, однако до конца не нашли отражение в менталитете специалистов. До последнего времени даже в статьях экономической направленности командно-административное (директивное) видение развития рынка явно преобладает над видением развития как непрерывного диалога поставщиков и заказчиков оборудования и услуг.

Рассмотрение упомянутых выше вопросов важно тем более, что неправильные на них ответы приводят и будут приводить к существенным ошибкам стратегического планирования, в том числе и в области измерительной техники.

Ниже мы постараемся дать ответы на перечисленные вопросы и сделать по возможности выводы, касающиеся текущего положения дел в связи и будущих перспектив. Сразу необходимо оговориться, что предлагаемый материал является результатом аналитических выводов автора, которые могут быть оспорены.

1.2 Динамика развития технологии на рынке

Рассматривать процессы развития технологий в виде "волн" было бы слишком упрощенно. Чтобы иметь полное представление о том, что несет с собой новая технология, и для всестороннего анализа ее развития, необходимо также рассмотреть социально-экономические процессы, которые сопровождают прохождение "волны".

В качестве иллюстрации на рис.1.2 представлена динамика развития во времени технологии на рынке и соответствующее поведение ряда важных параметров, сопровождающих этот процесс. Эти параметры определяют возможность использования технологии в телекоммуникациях. К ним относятся параметр стоимости технических решений, средний уровень знаний связного сообщества о технологии, а также надежность технических решений.

Как видно из графиков, представленных на рис. 1.2, в начале развития технологии стоимость технических решений чрезвычайно высока. Здесь участвует не только стоимость нового высокотехнологичного оборудования, но и затраты, необходимые для проведения необходимых доработок (по закону Мерфи устройство скорее всего сразу не заработает), проведения "полевых" испытаний нового технического решения, дополнительных доработок устройств для сопряжения с существующей сетью. Поэтому на ранних стадиях стоимость внедрения технологии крайне высока. Затем, по мере накопления опыта внедрения технологии и решения вопросов внутренней и внешней интеграции устройств, стоимость начинает падать и доходит до оптимального стабилизированного уровня. После того, как технология становится устаревшей и постепенно начинает уходить с рынка, стоимость технических решений увеличивается. Само оборудование дорожает до уровня антиквариата. С рынка исчезают запасные части и компоненты устройств, что значительно увеличивает стоимость эксплуатации технологии.

Время

Рис. 1.2. Динамика развития технологии на рынке

Средний уровень знаний связного сообщества включает в себя знания как пользователей (заказчиков) оборудования, так и знания поставщиков. Поставщики получают новые знания о технологии первыми, но и это требует определенного времени. В начале развития технологии на рынке знаний о ней практически нет. Существенно, что начало графика стоимости опережает начало графика уровня знаний, сперва технология приходит на рынок, а уже потом появляются реальные практические знания о ней. По мере накопления опыта, появления литературы, написанной профессионалами, уровень знаний о технологии увеличивается, достигая необходимого максимума. Затем происходит снижение уровня знаний о технологии, когда она становится устаревшей. Это связано с тем, что часть специалистов по технологии переквалифицируются на новую технологию, а другие - уходят на пенсию. В конце концов технология становится достоянием политехнических музеев, где практические знания о ней хранят только историки.

Интересна закономерность развития надежности технических решений с использованием технологии. График надежности технических решений отстает от графиков стоимости и уровня знаний. Новая технология в руках неквалифицированных пользователей не может быть основой надежной работы системы связи. По мере развития самой технологии и стабилизации опыта ее использования надежность технических решений повышается, достигая стабилизации. Дальнейшее повышение надежности в период старения технологии связано с известным статистическим процессом "что сломалось, то уже сломалось, а что работает, то и будет продолжать работать" даже при отсутствии запасных частей.

Помимо объективных тенденций, связанных с развитием технологии на рынке, на него оказывают существенное влияние социально-психологические процессы, идущие в связном сообществе. Новая технология представляет собой сумму новых знаний, которые должны быть восприняты и внедрены связным сообществом, специалистами, операторами, поставщиками и заказчиками. Процесс принятия новых знаний является социально-психологическим процессом и требует отдельного рассмотрения, что мы и сделаем ниже. Для этого зная процессы, сопровождающие развитие технологии, можно условно разделить ее "жизненный цикл" на четыре периода и рассмотреть социально-психологические процессы в связном сообществе, характерные для каждого периода.

1.3 Социально-психологические процессы, связанные с развитием технологии на рынке

Этап 1 - процесс становления технологии на рынке. Новые технические решения только появились на рынке. Они очень дороги. Ни потенциальные заказчики, ни поставщики оборудования в полной мере не представляют всех нюансов и обучаются в процессе работы. Первые решения работают нестабильно и требуют доработки в "полевых" условиях. Единственный актив состоит в том, что они обещают в будущем существенные преимущества. Основывать свои технические решения на новой технологии этого этапа развития - значить ставить на заведомо неконкурентоспособное решение, дорогое, непонятное и ненадежное. Позволить такое себе могут только крупные операторы в опытных зонах внедрения. Другие операторы, поставив на новую технологию, рискуют банкротством. Внедрение технологии на этом этапе ее развития представляет собой благотворительный взнос ради будущего технологии связи. Есть существенный риск, что закупленное оборудование, будучи новым и опытным, не даст возможности в будущем пользоваться всеми преимуществами новой технологии.

Рассмотрим теперь социально-психологические факторы понимания технологии связным сообществом. Этап характеризуется становлением технологии на рынке. Законы рынка требуют от фирм-поставщиков направить все свои усилия на рекламу новой технологии. О ней говорят как о новом прорыве, всячески описывая ее преимущества и замалчивая целесообразность текущего внедрения. Ей посвящены новые обзоры, проблемные статьи, рапорты о новых внедрениях и их результатах (обычно в мажорных тонах). В результате возникает иллюзия единственно верного пути - внедрить технологию у себя, т.е. основания для слепого оптимизма. "Отсутствие реальных практических знаний о технологии, проблемах, с ней связанных и путях их решения, приводит к идеализации технологии. Рождается миф о ее великом потенциале и решении всех проблем. Поддавшиеся на искушение финансируют развитие новых технологий.

В качестве примера можно рассмотреть современное состояние с технологией ATM на отечественном и мировом рынке. Критический анализ тех статей, которые посвящены этой технологии, покажет, что статей практической направленности почти нет, в основном это реклама новых приложений ATM. В то же время ATM в настоящее время является самой цитируемой технологией. Однако в современной практике системного проектирования приложения, в которых ATM оказалась бы единственным возможным вариантом решения, встречаются редко.

Нисколько не умаляя необходимости внедрения ATM на рынке России, хотелось бы еще раз указать, что такое внедрение является опытным. В этой связи включение концепции ATM в федеральную программу развития связи является правильным решением, решение о создании нескольких опытных зон внедрения ATM (еще лучше, если это будут затем зоны коммерческого использования) - решение безусловно прогрессивное. В то же время ориентация на технологию ATM как основу построения сетей некоторых ведомственных операторов - решение спорное.

Этап II - стабилизация технологии на рынке. В начале этого этапа появляется "прозрение заблуждающихся", характеризующееся полемикой в технической прессе, настолько ли эффективна новая технология, и действительно ли она необходима на рынке. Такого рода вопросы - закономерный процесс перехода от первичной эйфории к конструктивному обсуждению на основе первого опыта. Обсуждение очень важно, поскольку раскрывает все основные и дополнительные нюансы технологии, она становится знакомой, известной, в широком смысле отработанной на рынке. На этом этапе можно порекомендовать ее использование большинством операторов, что в конце концов и происходит. В результате новая технология становится модной в хорошем смысле этого слова, она становится парадигмой и используется большинством операторов. Конец этого периода характеризуется отношением здорового энтузиазма к внедрению новой хорошо знакомой технологии. Решения становятся надежными, знания о технологии постепенно наполняют учебные пособия и становятся классическими. Полемика в прессе умолкает - технология заняла свое достойное место.

В качестве примеров на российском рынке можно указать технологию ISDN, которая только что миновала этап полемики о ее необходимости, но еще не достигла этапа здорового энтузиазма. Существенно, что последние статьи по этой технологии носят явно практический характер. Вторым примером можно назвать технологию Frame Relay. Ее развитие в полной мере должно начаться с широким внедрением ISDN, используемой Frame Relay в качестве транспортной среды.

Очень показательным примером является технология SDH, которая стала современной парадигмой построения цифровой первичной сети. На пороге этого этапа стоит технология ATM.

Этапы III-IV - зрелость и старость технологии. Как правило, оба этапа характеризуются полным молчанием относительно технологии в технической прессе. В этом нет необходимости. Технология известна, она вошла в учебники и пособия. Появились хорошие инструкции по эксплуатации, имеется широкий штат специалистов с большим опытом обслуживания технических средств. Сами технические средства включены в программы ВУЗов. Изредка появляются статьи, в которых рассказывается об упущенных в ходе обсуждения на этапе II нюансах и скрытых резервах технологии, но в целом обсуждение технологии исчезает до исчезновения самой технологии.

В качестве примеров технологий этапа III могут быть указаны модемная передача данных (за исключением новых типов протоколов), PDH, квазиэлектронные АТС.

В качестве примеров технологии этапа IV - аналоговые системы передачи, координатные и декадно-шаговые АТС.

1.4 Повышение роли измерительной техники с развитием технологий телекоммуникаций

Теперь от рассмотрения технологии телекоммуникаций перейдем к рассмотрению движущих сил и динамики технологий измерений.

Процесс совершенствования измерительных технологий тесно связан с общей тенденцией усложнения высоких технологий в процессе их развития во второй половине XX века. Основными тенденциями развития являются: миниатюризация, экономичность и, как следствие, усложнение.

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

Учитывая, что развитие средств связи идет очень динамично, разработка систем самодиагностики и их отработка несколько отстают от развития самих средств связи. Таким образом, применение независимых от оборудования систем контроля в ряде случаев является единственно корректным решением. В результате 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. Таким образом, основной движущей силой развития измерительных технологий является усложнение современных систем связи.

Распространенное мнение о том, что цифровые системы связи лучше, надежнее и поэтому требуют в меньшей степени обслуживания на этапе эксплуатации, не верно. Действительно, верно, что цифровые технологии обеспечивают лучшее качество связи, меньшие эксплуатационные затраты, лучший контроль за ресурсом сети. Верно также, что хорошо отлаженная, "ухоженная" цифровая сеть требует в меньшей степени обслуживания. Однако также верно, что "неухоженная" цифровая сеть деградирует гораздо быстрее аналоговой и требует при восстановлении гораздо больших затрат. Это - объективная плата за сложность технологии цифровой передачи. Цифровым те-лекоммуникациям'свойственен так называемый "пороговый эффект деградации", когда ухудшение параметров не приводит долгое время к ухудшению качества связи. При достижении определенного порога параметры качества изменяются скачкообразно. Обычно в этом случае довольно сложно выделить сразу причину нарушения связи, поскольку причиной является накопленные в течении длительного времени отклонения от нормы нескольких параметров.

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

Эта роль измерительной техники является новой в практике отечественной связи. До сих пор измерительная техника служила для контроля работы сети и соответствия ее узлов отечественным стандартам. В этом случае имелись четкие рекомендации по методологии измерений на сетях связи, т.е. указания на прибор, методику измерений и параметры измерений. В современной ситуации процесс стандартизации технологии значительно отстает от развития самих технологий. Четких рекомендаций по использованию измерительной техники и эксплуатационной методологии нет и в ближайшем будущем не предвидится. Измерительная техника, применяемая современными операторами, используется не только для проверки на соответствие стандартам (в первую очередь международным), но и для изучения процессов, протекающих в сети. Это позволяет операторам быстро осваивать новые технологии на международном уровне, что является необходимым условием дальнейшей успешной работы.

Еще одна важная особенность современной измерительной техники для телекоммуникаций состоит в том, что с развитием цифровизации сетей связи происходит упомянутая выше специализация измерительной техники. Еще 15-20 лет назад для обслуживания аналоговых сетей связи применялась общеизмерительная техника (генераторы, осциллографы, частотомеры и т.д.) или ее модификации с учетом параметров систем связи. Развитие цифровых систем передачи и коммутации привело в тому, что измерительная техника для телекоммуникаций стала высоко специализированной. Это 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 др., составляют рынок специализированной техники, который до последнего времени не рассматривался ни в технической, ни в экономической литературе. Автор надеется, что настоящая книга станет первым шагом к такому рассмотрению.

Необходимо сразу оговорить, что предметом книги является рассмотрение современной цифровой сети связи. В отечественной практике пока 50-60% сетей аналоговые. Однако технология измерений таких сетей хорошо известна, закреплена стандартами и практическим опытом обслуживающего персонала, в то время как уровень знаний о технологии измерений на цифровой сети пока невелик и практически не всегда подкреплен. Поэтому предметом настоящей книги является описание технологий измерений в цифровых системах связи, под структурой системы электросвязи будет пониматься структура цифровой системы связи и т.д. И хотя для достижения общности можно было бы рассмотреть отдельно технологию измерений на аналоговых системах передачи и коммутации, автор считает это излишним, поскольку основной интерес у современных специалистов вызывает технология измерений именно в цифровых системах, где не до конца разработаны методики и нет четкого понимания задач и методов измерений.

2. Системное и эксплуатационное измерительное оборудование

Всю измерительную технику современных телекоммуникаций можно условно разделить на два основных класса: системное и эксплуатационное измерительное оборудование.

Как показано ниже, 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 последующий мониторинг состояния всей сети. Системным оно названо потому, что современное оборудование этого класса имеет широкие возможности интеграции в измерительные комплексы, сети измерительных приборов и входить в качестве подсистем в автоматизированные системы управления связью (Telecommunications Management Networks - TMN).

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

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

Требования к измерительному оборудованию

Системное оборудование Эксплуатационное оборудование

функциональность тестов • портативность

возможность интеграции в системы • стоимость

быстрота и легкость модернизации • надежь

удобство эксплуатации • удобство эксплуатации

надежность • функциональность тестов

стоимость портативность

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 или тестируемого устройства.

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

Следует сразу отметить, что предлагаемая классификация измерительного оборудования является условной, учитывая общую тенденцию к миниатюризации в современной электронной промышленности. В связи с этим системное оборудование становится постепенно портативным, тогда как эксплуатационное оборудование становится все более многофункциональным.

Тем не менее разделение оборудования на системное и эксплуатационное полезно при сравнении оборудования различных производителей.

3. Методология измерений

В философском смысле методология - это учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности человека. Необходимость использования в настоящей книге понятия "методология" обусловлена тем, что в отечественной литературе нет понятия, определяющего общие подходы и внутреннюю логику проведения измерений. Использовать для этой цели понятия "метод", "технология" и "методика" не совсем корректно. Поэтому в дальнейшем для описания "внутренней технологии" эксплуатационных измерений будем пользоваться понятием "методология", как наиболее подходящим для этой цели.

4. Основная задача методологии измерений. Особенности методологии измерений сигналов систем связи

Основной задачей методологии измерений в современной технике является разработка методик измерения физических величин, связанных с работой технических средств. Наука XX века убедительно показала, что техническими средствами невозможно без ошибок определить значение теоретической величины. Так при проектировании технических средств в основу расчета закладываются теоретические величины, которые на практике могут быть измерены только в некотором приближении. Поэтому в ряде случаев экспериментальные данные служат для оценки параметра теоретической величины. Лучше всего это видно на следующем примере.

Пример 4.1. Для проектирования работы цифровых систем передачи необходимо учитывать влияние ошибок, возникающих по тем или иным причинам в системе. Основным параметром расчета здесь выступает вероятность возникновения ошибки p(t), которая является функцией времени и зависит от ряда факторов и значений параметров, связанных с различным влиянием на систему. Примерами такого влияния может служить интерференция сигналов в радиочастотных системах передачи, алгоритмический джиггер в системах SDH и т.д.

В зависимости от природы влияния на систему, характер функции p(t) может существенно отличаться для различных систем. Для проектирования необходим расчет функции вероятности в зависимости от параметров внешнего влияния на систему для определения качественных параметров работы проектируемой системы, определения ее устойчивости к внешним условиям и т.д. Проверить результаты расчетов можно только путем проведения эксперимента или путем измерений на опытном образце. Однако теоретическая величина - функция вероятности возникновения ошибки в системе - не может быть измерена. Вместо нее измеряется параметр ошибки по битам - BER, который может быть представлен как:

nr,n BITSerr

ВЕК = , где BITSerr ~ количество битов, пораженных ошибками,

BITS

a BITS - общее количество переданных битов. Эта величина связана с функцией вероятности возникновения ошибки отношением:

представляет собой математическое ожидание функции вероятности. По

значению математического ожидания функция вероятности может быть восстановлена лишь с определенной степенью достоверности.

В описанном примере для того, чтобы на основании результатов можно было бы восстановить функцию вероятности без ошибок, необходимо было бы проводить измерение ВЕЯ в течении бесконечно большого интервала измерений, что практически невозможно. Таким образом, полученное значение всегда оказывается неким приближением теоретического и зависит от условий измерения, которые определяются методологией измерений, ориентированной на минимизацию ошибки оценки теоретической величины.

В нашем примере основными параметрами измерения ВЕЯ выступают: алгоритм проведения измерений, интервал времени измерения и выбор тестовой последовательности для измерения. Значения этих параметров зависят от предполагаемого характера функции р(0 и должны определяться в ходе разработки методики измерений.

Знание методологии измерений не является обязательным для проведения эксплуатационных измерений при обслуживании современных систем связи, которые и составляют предмет настоящей книги. Тем не менее включение этого материала в книгу по технологии измерений необходимо хотя бы потому, что всегда остаются такие вопросы, как: "Когда я измеряю ВЕЯ, что же я действительно измеряю, как я это измеряю и не ошибаюсь ли я при измерении?" Для ответа на эти вопросы необходимо знать основы методологии измерений. Неправильно выбранная методология может привести к ошибке измерений, неправильной трактовке результатов и т.д. Поэтому даже самые общие сведения о методологии могут быть чрезвычайно полезны при организации эксплуатационных измерений.

Автор постарается не перегружать данный раздел математическими выкладками, которые могут быть найдены в специальной литературе по методологии. Цель данного раздела - показать основные методы измерений, которые затем будут встречаться в книге, выделить подходы к разработке методик измерений, нашедших отражение в международных стандартах. Тема методологии охватывает вторую часть книги и главы 4-7. Основной упор в материале делается на описание методологии эксплуатационных измерений цифровых каналов (гл. 6). Специфика цифровых сигналов и возможность их представления в виде диаграммы описана в гл. 5, это рассмотрение полезно, поскольку в дальнейшем приведенные диаграммы будут широко использоваться в материале книги, так что необходимо описание алгоритмов их построения. Широкий интерес к измерениям джиггера у отечественных специалистов привел к необходимости выделить методологию измерений джиггера в отдельную главу - гл. 7. Дополнительно, некоторые специальные вопросы методологии измерений параметров цифровых радиочастотных систем передачи рассматриваются в гл. 10. Представляется нецелесообразным отделять методологию измерений радиочастотных сред передачи от реальных практических методик эксплуатационных измерений.

Следует отметить, что основным предметом настоящего раздела является "внутренняя технология" измерений, а не конкретные методы эксплуатационных измерений. Читатели, ориентированные на изучение технологии эксплуатационных измерений при обслуживании сетей связи, могут без ущерба пропустить этот материал, используя его при необходимости как справочный.

5. Основные параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале

Как уже отмечалось выше, технология измерений параметров бинарного цифрового канала является фундаментом для измерений любых цифровых каналов, в связи с чем практически все параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале, будут встречаться в технологии измерений цифровых каналов первичной и вторичных цифровых сетей.

Прежде чем рассматривать технологию измерений параметров бинарного цифрового канала, необходимо определить эти параметры. Ниже приведены основные параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале, которые описаны в соответствии с сокращениями, используемыми в меню большинства приборов. В основном это параметры, используемые для анализа характеристик бинарного канала согласно рекомендациям ITU-T G.821, G.826 и M.2100.

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

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. Его можно интерпретировать как вероятностную меру качества предоставляемого пользователю канала.

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.

BIT или BIT ERR- bit errors число ошибочных битов - параметр, используемый при анализе канала на наличие битовых ошибок, является числителем в выражении для расчета BER. Битовые ошибки подсчитываются только во время пребывания канала в состоянии готовности.

ЕВ - error block число ошибочных блоков - параметр, используемый при анализе канала на наличие блоковых ошибок, является числителем в выражении для расчета BLER. Блоковые ошибки подсчитываются только во время пребывания канала в состоянии готовности.

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.

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. При этом измерение BER прерывается до восстановления работоспособности канала. Таким образом, управляемые проскальзывания, связанные с потерей одного или нескольких циклов информации, практически не влияют на значение BER. 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.

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. Обычно значение параметра BLER больше (хуже), чем параметра BER. 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.

Например, для сетей ATM принята кадровая структура передачи в виде кадров длины 53 бита. Ошибочный кадр уничтожается (дискартируется). В этом случае можно считать кадр ATM как блок длиною в 53 бита, а эквивалентом BLER будет параметр ошибки по кадрам CER (Cell Error Rate). В другом примере в качестве эквивалента блока может выступать сверхцикл ИКМ, а эквивалентом BLER будет ошибка по CRC.

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. В наибольшей степени параметр CLKSLIP связан с параметром неготовности канала (UAS). Сопоставление CLKSLIP и UAS позволяет выявить причину неготовности канала, в частности, связана ли она с нарушением синхронизации. Значение параметра CLKSLIP зависит от размера имитируемого прибором буфера, который может быть от 1 бита до нескольких килобайтов.

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. Встроенные средства самодиагностики современных большей части цифровых систем передачи используют именно этот механизм. Таким образом, при измерении параметра CRC можно не только оценить частоту ошибок, но и проверить работу системы самодиагностики.

При использования CRC часто возникает вопрос о необходимости измерения одновременно с ним и параметра BER. Здесь необходимо учитывать две особенности применения CRC. Во-первых, каждая ошибка CRC не обязательно связана с ошибкой одного бита информации. Несколько битовых ошибок в одном сверхцикле могут дать только одну ошибку CRC для блока. Во-вторых, несколько битовых ошибок могут компенсировать друг друга и не войти в суммарную оценку CRC. Таким образом, при использовании CRC можно говорить не об истинном уровне ошибок в канале, а только об оценке их величины. Тем не менее, CRC является удобным методом контроля ошибок при проведении сервисного наблюдения за работающим каналом, когда практически невозможно измерить реальные параметры битовых ошибок.

CRC RATE - CRC errors rate частота ошибок CRC - показывает среднюю частоту ошибок CRC. По описанным выше причинам бывает лишь частично коррелирован с параметром BER.

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.

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

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.

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.

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. ES связан с другими параметрами простым соотношением: AS = ES + EFS.

ES (%) - errors seconds процент поражения сигнала ошибками - параметр связан с EFS (%) соотношением: ES (%) + EFS (%) = AS (%).

ESR - error seconds rate коэффициент ошибок по секундам с ошибками - параметр, практически равный ES (%).

LOSS - loss of signal seconds длительность потери сигнала (с) - параметр характеризует интервал времени, в течение которого сигнал был потерян.

PATL - pattern loss количество потерь тестовой последовательности - параметр, характеризующийся числом потерь тестовой последовательности, появившихся с момента начала теста.

PATLS - pattern loss seconds продолжительность времени потери тестовой последовательности - общее время потери тестовой последовательности с момента начала теста.

SES - severally errors seconds продолжительность многократного поражения ошибками, количество секунд, пораженных ошибками (с) - SES - интервал времени, измеряемый в секундах, пораженный ошибками несколько раз. В это время частота битовых ошибок составляет BER>10-3. Подсчет SES производится только во время готовности канала. Из определения видно, что SES -составная часть параметра ES. Вторая интерпретация параметра SES связана с измерениями по блоковым ошибкам, тогда SES определяется как односекундный интервал времени, содержащий более 30% блоков с ошибками. Можно сказать, что во время подсчета параметра SES качество канала чрезвычайно плохое. Поэтому параметр SES является очень важным и входит в перечень обязательных к измерению параметров ИКМ рекомендаций G.821 и М.2100/М.550.

SES (%) - severally errors seconds относительная продолжительность многократного поражения ошибками - тот же параметр, выраженный в процентах.

SESR - severally error seconds rate коэффициент ошибок по секундам, пораженным ошибками - параметр, практически равный SES (%).

SLIP или CLKSLIP - clock slips число тактовых проскальзываний - параметр, характеризующийся числом синхронных управляемых проскальзываний, появившихся с момента начала теста. В наибольшей степени этот параметр связан с параметром неготовности канала (UAS). Сопоставление CLKSLIP и UAS позволяет выявить причину неготовности канала, в частности, связана ли она с нарушением синхронизации. Значение параметра CLKSLIP зависит от размера имитируемого прибором буфера, который может быть от 1 бита до нескольких килобайтов.

SLIPS или CLKSLIPS - clock slips seconds продолжительность тактовых проскальзываний -параметр характеризуется общим временем с наличием синхронных управляемых проскальзываний.

UAS - unavailability seconds время неготовности канала (с) - время неготовности канала начинает отсчитываться с момента обнаружения 10 последовательных интервалов SES и увеличивается после каждых следующих 10 последовательных интервалов SES. Счет UAS обычно начинается также с момента потери цикловой синхронизации или сигнала. Этот параметр связан со всеми предыдущими параметрами и определяет стабильность работы цифрового канала.

UAS (%) - unavailability seconds относительное время неготовности канала - предыдущий параметр, выраженный в процентах.

6. Тестовые последовательности

Для организации измерений с отключением канала используется генератор и анализатор тестовой последовательности, подключенные к разным концам цифрового канала. 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. В качестве примера рассмотрим альтернативную фиксированную последовательность типа 1010, в которой после каждого 0 идет 1.

Процедура синхронизации тестовой последовательности в этом случае может быть чрезвычайно проста: анализатор заранее запрограммирован на ожидание альтернативной последовательности, при приеме 1 он предсказывает появление в качестве следующего бита 0, и в случае приема 1 делается вывод о битовой ошибке. Реальная процедура синхронизации несколько сложнее, поскольку требуется проверка, не является ли первый принятый бит ошибочным. Для этого производится проверка правильной синхронизации в течении нескольких последовательных групп битов (блоков), при этом сама процедура синхронизации аналогична. Такая процедура синхронизации представляет собой процедуру без указания на начало цикла.

Вторым способом синхронизации фиксированной тестовой последовательности является процедура с указанием начала цикла, согласно которой начало цикла задается специальным битом или последовательностью битов (ниже называемым битом f).

В практике могут использоваться обе процедуры синхронизации тестовой последовательности. В последнее время производители склоняются к максимально широкому внедрению процедуры с указанием начала цикла, поскольку в этом случае синхронизация тестовой последовательности осуществляется в течении нескольких циклов - порядка 8-16 переданных битов. Исключение составляют постоянные фиксированные последовательности 0000 и 1111, где процедура с указанием начала цикла не имеет смысла.

В современной практике используются следующие фиксированные тестовые последовательности:

1111 - все единицы. Фиксированная последовательность единиц, которая используется обычно для расширенного и стрессового тестирования канала. Например, если последовательность послана в неструктурированном потоке Е1, то это будет понято как сигнал неисправности (AIS).'

1010 - альтернативная. Фиксированная последорательность из чередующихся нулей и единиц. Последовательность может передаваться без указания или с указанием начала цикла - f 0101 0101.

ОООО - все нули. Фиксированная последовательность нулей, используемая обычно для расширенного и стрессового тестирования канала.

FOX. Фиксированная последовательность FOX используется в приложениях передачи данных. Перевод последовательности в ASCII является предложением "Quick brown fox.". Синхронизация последовательности осуществляется правильным переводом предложения. Ниже приведена последовательность:

2А, 12, А2, 04, 8А, АА, 92, С2, D2, 04, 42, 4А, F2, ЕА, 72, 04, 62, F2, 1А, 04, 52, АА, В2, OA, СА, 04, F2, 6А, А2, 4А, 04, 2А, 12, А2, 04, 32, 82, 5А, 9А, 04, 22, F2, Е2, 04, 8С, 4С, СС, 2С, AC, 6С, ЕС, 1С, 9С, ОС, ВО, 50

1-3 - одна единица на три бита. Промышленный стандарт 1 в 3-х используется для расширенного и стрессового тестирования канала. Последовательность передается с указанием на начало цикла: f 010

1-4 - одна единица на три бита. Промышленный стандарт 1 в 4-х используется для расширенного и стрессового тестирования канала. Последовательность передается с указанием на начало цикла: f 0100

1-8 - одна единица на восемь битов. Промышленный стандарт 1 в 8-ми используется для расширенного и стрессового тестирования канала. Последовательность передается с указанием на начало цикла: f 0100 0000

3-24 - три единицы на 24 бита. Промышленный стандарт 3 в 24-х используется для расширенного и стрессового тестирования канала. Последовательность передается с указанием на начало цикла: f 0100 0100 0000 0000 0000 0100

Кроме перечисленных стандартных фиксированных последовательностей, могут использоваться произвольные слова и предложения. Процедура синхронизации и анализа битовых ошибок может быть организована на основе указания на начало цикла или на основе проверки правильности перевода слов и предложений. Вторая процедура наиболее часто используется в практике.

Использование фиксированных последовательностей в последнее время рекомендовано главным образом для стрессового тестирования аппаратуры кодирования/декодирования. Поэтому наиболее часто используются тестовые последовательности со множеством нулей. Как известно, при передаче двоичной последовательности наличие последовательности из нескольких нулей равносильно отсутствию сигнала (0 обычно передается сигналом нулевой амплитуды). В результате генерации последовательностей со множеством нулей можно проанализировать работу канала в случае естественного пропадания сигнала.

# Литература

1. Шквір В.Д. Інформаційні системи і технології в обліку. Львів, 2009 р.
2. Маслов В.П. Інформаційні системи і технології в економіці: Навчальний посібник – Київ: ”Слово”, 2007 р.
3. Карпенко С.Г., Попов В.В. Інформаційні системи і технології. Київ: МАУП, 2004 р.
4. Основы теории цепей: Методические указания к курсовой работе для студентов – заочников специальности 23.01 “Радиотехника”/ Сост. Коваль Ю.А., Праги О.В. – Харьков: ХИРЭ, 2001. – 63 с.
5. Зернов Н.В., Карпов В.Г. “Теория электрических цепей”. Издание 2-е, перераб. и доп., Л.,”Энергия”,19872.
6. Основы радиоэлектроники – Справочник - Х – 2005 г.