

## Введение. Стратегия и тактика контроля цифровых сетей

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- эксплуатация: обнаружение повреждений, локализация и определение их характера, реконфигурация сети, оптимизация работы сети, измерение качественных показателей.

В книге уделяется внимание как вопросам проведения приёмо-сдаточных и типовых испытаний оборудования, линейных испытаний, так и измерениям в процессе ремонта и профилактики, мониторингу телекоммуникационных сетей и входящих в них линий и комплексов оборудования.

Этап эксплуатации характеризуется наиболее широкой номенклатурой типов измерений. К ним, в первую очередь, относятся:

- обнаружение и локализация дефектов и аномалий как отдельных участков сети, так и работающих на них носителей и устройств обработки сигналов, определение времени готовности и времени неготовности соответствующих элементов сети;
- измерения параметров стыковых и линейных цифровых сигналов с остановкой и без остановки связи;
- мониторинг оборудования мультиплексирования, а также линейных трактов на каждом фрагменте сети;
- определение запаса помехозащищённости регенераторов цифровых сигналов;
- проверка систем дистанционного контроля цифровых трактов и линий, например, при помощи ввода в групповой сигнал калиброванных ошибок;
- контроль качества цифровых и аналоговых каналов как на сетях доступа, так и на транспортных сетях;
- контроль процессов формирования, передачи и приёма сигналов аварии.

Перечисленные виды измерений принято делить на две основные категории: измерения с остановкой и без остановки связи.

Измерения без остановки связи (мониторинг) включают в себя контроль ошибок, контроль правильности структурирования группового сигнала, контроль первичных параметров цифровых сигналов. Измерения проводятся в условиях штатных режимов работы систем передачи. При этом не предъявляются повышенные требования к точности измерений. Результаты измерений могут несколько варьироваться при многократных повторениях процедур измерения.

Измерения с остановкой связи, которые производятся с использованием стандартных испытательных сигналов, обеспечивают достаточно высокую точность и повторяемость результатов, позволяют моделировать различные производственные ситуации. В этом случае можно производить точное побитное сравнение передаваемого и принимаемого сигналов и, тем самым, наиболее эффективно обнаруживать и подсчитывать ошибки.

Определение термина «ошибка» требует уточнения. Иногда говорят «сбой», хотя это не вполне корректно: понятие «сбой» шире, чем «ошибка» и включает в себя, например, нарушения работы синхронизации. Исходя из методов определения наличия ошибки в транслируемом сигнале, можно разделить обнаруживаемые в цифровом потоке ошибки на такие категории, как

битовые (или бинарные), цикловые или кодовые ошибки. Более подробно характер упомянутых ошибок и методы их обнаружения рассматриваются в соответствующих разделах.

Несомненно, самым предпочтительным вариантом организации контроля качества передачи является вариант, базирующийся на обнаружении и подсчёте битовых ошибок. Его реализация возможна только в режиме измерений с остановкой связи. Однако в этом случае передача группового цифрового сигнала по контролируемому тракту или линии делается невозможной. Необходимо тем или иным способом имитировать этот сигнал. Для этого в состав измерительных комплексов включаются генераторы испытательных сигналов. Испытательный сигнал должен обладать теми же первичными параметрами, т. е. скоростью передачи (тактовой частотой), амплитудой и формой импульсов, алгоритмом формирования, что и групповой сигнал данной системы передачи. Должны быть сохранены и статистические характеристики сигнала, т. е. соотношение количества символов «1» и «0». Этот вопрос также подробно рассматривается в следующих разделах.

Кроме того, в существующей практике широко применяются методы контроля, использующие свойства циклической структуры группового сигнала (CRC), а также методы, использующие специальные контрольные биты или целые комбинации символов цифрового сигнала.

При организации контроля ЦСП, как правило, используются все упомянутые выше методы обнаружения ошибок. Конкретные решения диктуются категорией сети, типом аппаратуры и её местом в цифровой иерархии.

Для реализации процедур контроля и измерений, в зависимости от конкретных условий, требуются как простые портативные контрольно-измерительные приборы с минимальным временем подготовки к работе, так и сложные дорогостоящие универсальные измерительные комплексы.

Вместе с тем, следует помнить, что перечисленные выше процедуры позволяют ответить только на один вопрос: соответствуют или не соответствуют параметры передаваемых сигналов установленным нормам и правильно или неправильно функционируют сервисные подсистемы. Однако необходимо не только установить факт падения качественных показателей передачи, но и выявить его причины. Данная задача решается использованием ещё двух категорий процедур измерения:

- измерения показателей качества сред передачи: металлических и оптических кабелей и радиолиний, производимые как на этапе строительства, так и в процессе проведения ремонтно-профилактических работ на действующих линиях;
- стендовая проверка аппаратуры, позволяющая обнаружить дефекты аппаратуры, в том числе комплектующих изделий, функциональных узлов и межузловое монтажа. Стендовая проверка является неотъемлемой частью процесса калибровки и регулировки оборудования на стадиях её производства и ремонта.

На этапе стендовых испытаний необходимо организовать проверку параметров аппаратуры на соответствие нормативной документации и техниче-

ким условиям. Для решения этой задачи необходимо использовать специализированные комплексы оборудования, в состав которых помимо типовых контрольно-измерительных приборов должно входить оборудование, имитирующее реальные условия эксплуатации проверяемого узла (тип и затухание соединительной линии, вид и уровни действующих на вход узла помех, параметры электропитания, климатические и механические факторы).

В процессе организации контроля приходится совмещать противоречивые требования высоких качественных показателей контрольно-измерительной аппаратуры и, в то же время, её низкой себестоимости, выбором оптимальной методики и соответствующих технических средств контроля.

Следует также учитывать, что стоимость современных процедур контроля и моделирования основных параметров сети включает в себя как стоимость контрольно-измерительного оборудования и затраты на его эксплуатацию, так и немалые расходы на разработку программного обеспечения.

Для различных категорий сетей, ступеней иерархии и абонентов существуют различные нормы качественных показателей. Соответственно, как процедуры контроля, так и необходимые для этого контрольно-измерительные приборы выбираются в соответствии с местом, занимаемым линией, узлом или абонентским оборудованием в сети связи.

Системы управления сетями реагируют на неисправности только после того, когда они произошли. Однако для обеспечения эффективного функционирования сети и предупреждения возможных нарушений работы входящих в её состав линий, каналов и трактов необходимо обеспечить такие процедуры измерений, которые позволили бы определить тенденции изменения их состояния. Другими словами, необходимо уметь прогнозировать возможные неисправности. В этом случае даже значительные затраты на организацию контроля можно считать оправданными.

Достаточно эффективным является постоянный мониторинг системных параметров при помощи встроенных в аппаратуру устройств, особенно если сеть имеет большое количество соединений. Процедуры измерений отдельными приборами могут быть эффективными только для одного или двух интерфейсов одновременно. Такие измерения являются более гибкими, но не позволяют оценить общее состояние системы. Преимущественно они необходимы на этапе пуско-наладочных работ, устранения повреждений при возникновении каких-либо нестандартных ситуаций, а также при контроле цифровых абонентских окончаний.

Использовать упомянутые процедуры измерения необходимо также потому, что фирмы-производители не могут предусмотреть все возможные неисправности аппаратуры, особенно выходы из строя отдельных комплектующих элементов. Мониторинг сети чаще всего не может выявить подобные ситуации, указывая только на общий характер неисправности и локализуя крупные функциональные узлы сети. Аргументом использования автономно действующих контрольно-измерительных приборов является то, что при выходе из строя аппаратуры выходят из строя и встроенные устройства контроля, в результате чего локализация повреждений делается невозможной.

Проблему обеспечения эффективного контроля сети нельзя решить простым сбором информации об авариях и коэффициенте ошибок на центральном пункте, пренебрегая другими факторами качества. Поэтому при разработке комплекса оборудования цифровых сетей желательно обеспечить оптимальное сочетание интегрированных с сетевым оборудованием устройств мониторинга и автономно работающих контрольно-измерительных приборов.

Многочисленные задачи и вытекающее из этого разнообразие методик измерений реализуются широкой номенклатурой контрольно-измерительных приборов.

Конечно, если иметь универсальный многофункциональный прибор, способный контролировать сигналы всех ступеней ПЦИ и СЦИ, то одним прибором можно осуществлять весь требуемый для контроля работы большого узла комплекс процедур измерений. Однако этому препятствует высокая стоимость подобных приборов. И, разумеется, нет никакой возможности контролировать таким прибором качество пуско-наладочных и ремонтных работ непосредственно на НРП или на других линейных сооружениях.

Для оперативной проверки работы станционного каналообразующего оборудования или линейного регенератора выгоднее использовать простой и недорогой прибор. Поэтому стабильным и, скорее всего, постоянно возрастающим спросом будут пользоваться приборы контроля первичных цифровых потоков. Различными фирмами в России и за рубежом выпускаются многочисленные приборы для контроля аппаратуры цифрового каналообразования первичного цифрового потока Е1, а также соответствующих линейных трактов.

И ещё одна проблема, мимо которой, наверное, не следует проходить. Это — термины и определения, с которыми нам придётся сталкиваться в дальнейшей нашей работе. Тем более что зачастую неумеренное увлечение англоязычными оборотами и просто небрежность переводчиков зарубежной литературы, проспектов и технической документации резко увеличило число терминов, дублирующих друг друга, а иногда и необоснованно заменяющих уже устоявшиеся в нашей практике.

Книга во многом базируется на ранее изданных книгах: Власов И.И., Птичников М.М. Измерения в цифровых сетях связи. 2-е издание, исправленное и дополненное. М.: Постмаркет, 2005; Власов И.И., Новиков Э.В., Птичников М.М., Сторожук Н.Л. Цифровые сети связи. Кабельные и волоконно-оптические линии. М.: Фазис 2008; ряде публикаций авторов в отраслевых технических журналах, а также на их собственном многолетнем опыте работы в отрасли связи.

Авторы и редакция выражают благодарность организациям и специалистам отрасли, оказавшим помощь в написании книги, в первую очередь компании «Вилком Холдинг», а также Technical Trainer компании Avaya University М.Е. Липкину и директору Санкт-Петербургского филиала компании «Винарком» Н.Л. Сторожуку.