

ТЕСТИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ – ЭТО ФУНДАМЕНТАЛЬНО НОВЫЙ НАБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИНЦИПОВ

Рассказывает вице-президент компании Keysight Technologies, генеральный менеджер подразделения электронного тестирования З.Гросс



Сегодня очень много говорят о беспроводных технологиях, сетях 5G, Интернете вещей, Больших данных. Но в основе всего этого лежат волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Технологии ВОЛС развиваются постоянно, уже стали обыденными сети 100GB Ethernet, вскоре можно ожидать сети со скоростями до 400 Гбит/с на одной несущей, не за горами ВОЛС с терабитной пропускной способностью. Но разработка и производство решений для таких сетей невозможны без контрольно-измерительного оборудования. И если само телекоммуникационное оборудование ВОЛС уже поражает воображение, какими же характеристиками должны обладать измерительные системы, с помощью которых оно создается? С этим вопросом мы обратились к Зигфриду Гроссу (Siegfried Gross), вице-президенту компании Keysight Technologies, генеральному менеджеру подразделения электронного тестирования и управляющему директору Keysight Technologies в Германии.

Господин Гросс, мир вступает в эру новых технологий беспроводной связи – 5G. Но беспроводный сегмент сетей 5G – это лишь вершина айсберга, в основе которого – высокоскоростные волоконно-оптические линии связи. И трафик в транспортных сетях растет даже быстрее, чем в беспроводном сегменте. Каков ответ Keysight на этот супервызов?

Можно назвать много аспектов на этом широком поле деятельности, инициированном новым трендом – 5G. Однако основная фундаментальная проблема, которую я вижу, связана с тем, что облачные технологии получают все большее и большее развитие. Набирает силу тенденция переноса в облака различных вычислительных задач, к ним подключается все больше устройств. В результате мы ежегодно наблюдаем огромный рост трафика через опорные сети. Соответственно растет и запрос на увеличение полосы пропускания сетей. Но прибыль операторов сетей увеличивается далеко не столь стремительно. И это понятно – все мы рады новым возможностям связи, но не хотим тратить на них больше денег.

Чтобы оставаться прибыльными, операторы должны наращивать пропускную способность уже существующих сетей, не инвестируя огромные средства в строительство новых ВОЛС. Что означает необходимость разработки и внедрения новых технологий, способных повысить полосу пропускания в уже проложенных оптических кабелях, без существенных инвестиций. И это одна из основных причин, почему сегодня все стремятся повысить агрегатную скорость в линиях связи, говорят о технологиях 100 и даже 400 Гбит/с на одной несущей.

Однако повышать пропускную способность можно двумя путями – увеличивая как символьную скорость, так и информационную емкость каждого символа. Сегодня мы говорим о символьных скоростях до 64 Гбод. И это предел для современных технологий, прежде всего – в части электронной обработки. Действительно, чтобы манипулировать такими потоками данных, нужны сверхбыстродействующие электронные средства цифровой обработки. Более того, на подобных частотах возникают эффекты, характерные для СВЧ-устройств. В результате для создания систем обработки нужны не только

особые схемотехнические решения, но и особые конструкционные материалы и технологии. Это сложно и очень дорого. Поэтому сегодня усилия исследователей в основном смещены на увеличение информационной емкости модуляционного символа.

Путь к этому один – применение все более сложных методов модуляции сигнала. Это концепция не нова, она пришла из беспроводной связи, где развивается уже не один десяток лет. Однако в ВОЛС долгое время основным видом модуляции был метод On-Off Keying – "включено-выключено" (1 бит на символ). Но сегодня в волоконных линиях все активнее применяются сигнальные конструкции, где информацию несут значения и фазы, и амплитуды. Прежде всего, это означает технологию когерентной передачи и приема данных – совершенно новую для оптических сетей. Благодаря ей можно поднять скорость передачи на одной несущей до 400 Гбит/с и даже выше. Это фундаментальный тренд в транспортных телекоммуникационных сетях.

Что этот тренд означает для Keysight?

Естественно, Keysight Technologies, как компания, работающая в области контроля и измерений, должна создавать оборудование, возможности которого по крайней мере на порядок превосходят технические параметры тестируемых систем. Поэтому мы должны интегрировать в наших продуктах намного больше различных технологий, чем производитель конечных систем. А в некоторых случаях даже создавать собственные, уникальные технологии. В частности, это одна из основных причин, почему мы содержим в Санта-Розе собственное производство интегральных схем на основе InP и InGaAs. Мы сами их разрабатываем и изготавливаем, поскольку на рынке невозможно найти подобных устройств с нужными нам характеристиками. Но именно такие решения позволяют создавать продукцию с необходимыми заказчиком параметрами – по полосе пропускания, частотам, скорости обработки и т.п.

Кроме того, важное преимущество Keysight – огромный накопленный опыт. И мы используем его для реализации различных междисциплинарных инноваций. В частности, к ним относятся наработки в области беспроводной связи, которые пришли сегодня в волоконно-оптические коммуникации. Мы

используем имеющиеся у нас знания, программные и аппаратные решения в области беспроводных систем для трансфера этих технологий в оптический сегмент.

Так, наш первый анализатор оптической модуляции был построен на основе серийного Hi-End осциллографа (Ininiium Z-серии), специально разработанного когерентного детектора на нашей элементной базе, а также программы Vector Signal Analyser (VSA), изначально созданной для анализа СВЧ-сигналов. Эта система впервые позволила строить диаграммы сигнальных созвездий, измерять величину модуля вектора ошибок (error vector magnitude – EVM) и т.д. Это было совершенно новым решением, поскольку до сих пор в мире оптической связи оперировали такими понятиями, как коэффициент битовых ошибок (BER), величина открытия глазка на глазковых диаграммах, аналоговыми параметрами сигнала и т.п. Но не диаграммами сигнальных созвездий и их характеристиками – а это фундаментально новый набор измерительных принципов.

Поэтому, помимо собственно измерительных систем, новые тенденции в мире ВОЛС означают для нас и требования вести с потребителями и образовательную деятельность – ведь меняется сама идеология измерений,

например, глазковая диаграмма не является больше достаточным инструментом анализа бюджета оптической линии, других показателей качества в области оптических сетей в целом. Более того, мы очень тесно работаем со стандартизирующими организациями, влияя на стандарты методов измерений. Это позволит создать новый метрологический фундамент для всей индустрии волоконно-оптической связи, которого пока нет.

Какое оборудование для измерений на высокоскоростных оптических сетях предлагает сегодня Keysight?

Прежде всего, это анализаторы оптической модуляции. Мы представили на рынок два прибора. Первый из них – измерительный комплекс N4391A (рис.1), ориентированный на исследовательские задачи. Это четырехканальная система (по две квадратурных составляющих на каждую из двух оптических поляризаций сигнала), позволяющая работать с потоками до 66 Гбод при истинной аналоговой полосе 33 ГГц в каждом из четырех каналов. Оптический приемник рассчитан на диапазон длин волн 1528–1630 нм. Для отображения и анализа сигналов в системе используется осциллограф Z-серии семейства Ininiium. Он обеспечивает скорость выборки по каждому из четырех каналов до 80 Гвыб/с, позволяет анализировать структуру сигналов при скоростях потока до 400 Гбит/с (264 Гбит/с при модуляции QPSK, 512 Гбит/с – при 16-QAM). Система способна определять хроматическую и поляризационную дисперсию в канале, измерять величину вектора ошибок, не требует внешней синхронизации. Для декодирования потоков данных могут использоваться как заданные пользователями, так и стандартные алгоритмы обработки из программных библиотек Keysight.

Также мы создали интегрированную систему для производственных и эксплуатационных задач – комбинированный анализатор оптической модуляции N4392A (рис.2). Он позволяет работать с потоками до 46 Гбод, обеспечивая частоту дискретизации до 63 Гвыб/с и аналоговую ширину полосы приемника 23 ГГц. Этого достаточно для анализа сетей с пропускной способностью до 100 Гбит/с.

Кроме того, недавно мы представили генератор сигналов произвольной формы M8195A

Рис.1. Исследовательский анализатор оптической модуляции N4391A





Рис.2.
Комбинированный анализатор оптической модуляции N4392A

(рис.3) в форм-факторе AXIe, ориентированный на задачи измерений в оптических сетях. Этот четырехканальный прибор обеспечивает генерацию сигнальных последовательностей с частотой до 65 Гвыб/с при 8-разрядном разрешении и мгновенной полосе аналогового сигнала 25 ГГц. В совокупности с программой для формирования модуляции оптических сигналов 81195A такой генератор представляет собой мощный инструмент для анализа оптических систем передачи. Он позволяет генерировать квадратурные I- и Q-сигналы со скоростью 32 Гбод по каждому из двух поляризационных каналов (т.е. полностью моделирует квадратурную модуляцию с двойной поляризацией). В формируемые сигналы можно вносить различные искажения и помехи, фазовый шум, имитировать межсимвольную интерференцию и т.п. Таким образом, можно определить, насколько прекрасна разработанная вами сеть в неидеальных условиях.

Если говорить о тенденциях, то совсем недавно едва ли не основным методом расширения полосы передачи была четырехпозиционная амплитудно-импульсная модуляция PAM-4. Сегодня этот вид модуляции уже не актуален, ему на смену приходит

16-позиционная фазово-амплитудная модуляция 16-QAM. Но мы должны смотреть в будущее, быть готовыми к более сложным видам сигнальных конструкций, к более высоким символьным скоростям. Поэтому мы создаем все более производительные приборы. Например, недавно представили новый генератор сигналов произвольной формы M8196A (рис.4) с частотой до 92 Гвыб/с. Этот быстрейший в мире генератор такого рода позволяет существенно расширить полосу сигнала. Прибор выполнен в формате AXIe и способен генерировать тестовые потоки данных со скоростями до 64 Гбод (по двум каналам). Такой инструмент можно использовать для тестирования сетей передачи данных со скоростями от 100 Гбит/с до 1 Тбит/с.

Вы отметили, что в основе решений для высокоскоростных измерений лежат именно аппаратные наработки. Однако Keysight провозгласила курс на превращение в "программно-ориентированную" компанию. Означает ли новый курс, что компания меньше внимания будет уделять созданию аппаратуры?

Ни в коей мере. Действительно, стратегически мы намерены уделять большее, чем до этого, внимание программным средствам. Но мы никогда не перестанем развивать аппаратуру, поскольку она – в основе всех наших решений. Если вы не можете детектировать и измерять сигналы с такими скоростями и точностью, которые требуют современные технологии, никакое программное обеспечение не поможет.

Но и чисто аппаратные решения сегодня также перестают быть эффективными. Сама по себе аппаратура измеряет базовые характеристики сигналов, но не позволяет производить полный анализ, который обеспечивает ПО. Ведь у пользователей все меньше и меньше времени создавать собственные прикладные программы для обработки результатов первичных измерений, они требуют от нас законченных решений, включая инструментарий для полного анализа

Рис.3. Генератор сигналов произвольной формы M8195A



систем, имитации различных событий, генерации тестовых последовательностей и т.п. Поэтому мы делаем все больше и больше законченных решений, и в них велика доля программных продуктов.

Как переход к новой стратегии отразился на внутренней структуре самой компании?

Мы реорганизуем и внутреннюю структуру компании так, чтобы она в большей мере соответствовала структуре рынка, а не техническим направлениям. Создается группа решений для телекоммуникаций, группа промышленных решений, группа сервисных решений и т.д. Смысл этой реорганизации – в еще большей мере ориентироваться на задачи пользователей, именно они находятся сегодня в фокусе нашего внимания. Мы стремимся понять, какие инновации нужны заказчикам, и создаем требуемые законченные решения, интегрируя различные устройства и программы. Это больше, чем просто продукты, это их комбинации, объединенные программным обеспечением. В результате компания становится более ориентированной на комплексные решения.



Но, повторюсь, мы продолжаем развивать аппаратуру, полупроводниковые технологии, поскольку это фундамент всей нашей деятельности. Я поясню, как работает инновационный мотор Keysight Technologies. В основе всего – исследовательский центр Keysight Labs, преемник знаменитых HP Laboratories. Здесь разрабатываются основы инноваций, прорывные технологии, новые концепции измерений. Благодаря этим работам нам и удастся всегда соответствовать требованиям новых тенденций. Следующий уровень – технологическое подразделение Keysight Technologies Operations, которое создает уникальные интегральные схемы и модули для обработки и преобразования сигналов, которые невозможно купить на рынке. Именно эти решения обуславливают возможности нашей аппаратуры. А над всей этой структурой

Рис.4. Генератор сигналов произвольной формы M8196A в AXIe-шасси M9502A

располагаются подразделения, занимающиеся разработкой финальных устройств – анализаторов оптической модуляции, генераторов и т.п. Таким образом, в основе всех решений Keysight – трехуровневый инновационный процесс: Keysight Labs для прорывных технологий, полупроводниковое производство Keysight Technologies Operations для уникальных ИС и предприятия, которые создают продукты для конечных пользователей. Все эти три стадии должны работать одновременно. Ведь если сегодня сэкономить на инвестициях в прорывные технологии, вы не будете соответствовать требованиям рынка через 10 лет. А если вы не будете спешить на рынок с новыми решениями, то не сможете удовлетворить ожидания заказчиков уже сейчас.

На решение каких базовых задач в области высокоскоростных систем связи будут направлены усилия специалистов компании в ближайшие 10 лет?

Сегодня базовые механизмы увеличения пропускной способности уже известны. И улучшения будут происходить эволюционно, шаг за шагом – по крайней мере в оптических сетях. Возможности для расширения полосы пропускания практически безграничны – это и рост базовой скорости, и усложнение схем модуляции, и увеличение числа несущих в волокне, и новые модели мультиплексирования оптических сигналов... И края поля инноваций пока не видно.

Мы говорили в основном об измерениях на волоконно-оптических сетях. Это важная часть телекоммуникаций. Но если вернуться к началу беседы, технологии 5G предоставят полосы пропускания, которые в 10 и даже в 100 раз шире современных. Они позволяют реализовать любые задачи, которые мы можем сегодня представить. Но вся передача трафика, до базовых станций и облачных серверов, происходит по оптическим каналам. Поэтому сети агрегации, опорные и транспортные сети должны развиваться вместе с беспроводным сегментом. Технологии 5G невозможны без баланса беспроводного сегмента и оптических сетей. Более того, поскольку многие вычислительные задачи сегодня переносятся из терминального и даже сетевого оборудования в облака, необходимо не забывать и о росте вычислительной мощности

компьютеров в центрах обработки данных (ЦОД). Все эти сегменты должны оптимизироваться одновременно. Поэтому, полагаю, бессмысленно заниматься улучшением отдельных элементов глобальной телекоммуникационной системы – только всех вместе.

Кроме того, важнейшая задача, которую необходимо решать при развитии телекоммуникационных сетей – это снижение энергопотребления. Все высокоскоростные коммуникационные системы сегодня потребляют огромный объем электроэнергии, и если не предпринимать специальных мер, это может стать ограничением развития телекоммуникаций, особенно для сегмента ЦОД. Поэтому чем дальше, тем больше усилий специалисты будут направлять на создание интеллектуальных систем управления, новых архитектурных решений для оборудования, новых концепций построения серверных ферм – и все это для снижения потребляемой мощности.

В целом же, в будущем мы увидим все более и более интегрированный мир, мир соединенных решений. И это – очередной глобальный вызов для всех, в том числе и для нашей компании. Маленький пример – часы, которые могут измерять пульс. Сами по себе такие часы – это просто датчик. Но если вы свяжете его с больницей, а больница будет предоставлять услугу дистанционного мониторинга состояния сердечной деятельности больных людей, это будет совсем другой продукт. И для производителя встает вопрос, что делать – датчики, программное обеспечение для их интеграции или комплексную систему в целом? Аналогичный вопрос встает перед любой компанией, занимающейся контролем и измерениями – какие тестовые системы мы хотим делать? И какие системы ждут от нас заказчики? Мы видим ответ в интегрированных, комплексных решениях, охватывающих все уровни измерений. Если говорить о телекоммуникационных сетях – от физического уровня до протоколов передачи данных. В основе всего, конечно, остаются физические измерения. А программные средства позволяют создавать законченный продукт, нужный конкретным заказчикам. В реализации этой концепции – наше будущее.

Спасибо за интересный рассказ!

С.З.Гроссом беседовал И.Шахнович