

## НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИСПЫТАНИЯХ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСИВЕРОВ



Г.Ле Чеминант

С увеличением скорости передачи волоконно-оптических систем связи рабочие характеристики оптического канала связи все больше ограничивают эффективность системы. Для компенсации ухудшения характеристик канала в приемниках предусмотрена функция коррекции сигнала. Но при этом возникает нетривиальная задача тестирования трансивера. Если приемник может корректировать искаженный сигнал, то как определить, правильно ли функционирует передатчик? Насколько можно увеличивать расстояние между передатчиком и приемником, прежде чем приемник уже не сможет корректировать искаженный сигнал? Традиционно эффективность передатчика оценивалась путем анализа соответствия глазковой диафрагмы маске, определения уровня шума и мощности, потребляемой при модуляции. Эти показатели по-прежнему остаются важными. Но сегодня с целью определения, "насколько сигнал передатчика пригоден для корректировки", проводятся новые измерения, в том числе и дополнительные испытания приемника, позволяющие выявить, насколько "плох" может быть сигнал, все еще поддающийся корректировке.

Раньше проверка работы цифровых систем связи была достаточно простой операцией. Вся сеть развертывалась одной компанией, которая ею и владела. Если сеть работала, исчерпывающей проверки ее компонентов не требовалось. Но сегодня, в эпоху оптических сетей, которые выполняются на компонентах, выпускаемых многими производителями, проверка достоверности данных, приводимых поставщиками, должна подтвердить соответствие техническим требованиям системы всех входящих в нее компонентов, независимо от их поставщика.

Основные элементы оптической системы связи – передатчик, канал передачи (оптическое волокно) и приемник. Если передатчик объединен с приемником (с помощью оптоволоконна), а частота битовых ошибок (Bit-Error Ratio – BER)

не отвечает требуемому значению, возникает вопрос: Чья это вина? Передатчика или приемника? Возможно, они оба неисправны. Низкое качество приемника может быть компенсировано высокими характеристиками передатчика (и наоборот). При проектировании стандартной системы связи (Ethernet, оптоволоконной и т.п.) технические условия на компоненты задаются так, чтобы сбалансировать отношение стоимость–рабочие характеристики элементов на обоих концах оптоволоконна. Технические условия задаются так, чтобы приемник мог работать с передатчиком с наихудшими допустимыми параметрами, и, с другой стороны, чтобы сигнал передатчика был достаточно высокого качества, с тем чтобы его мог обработать приемник с наихудшими допустимыми характеристиками.

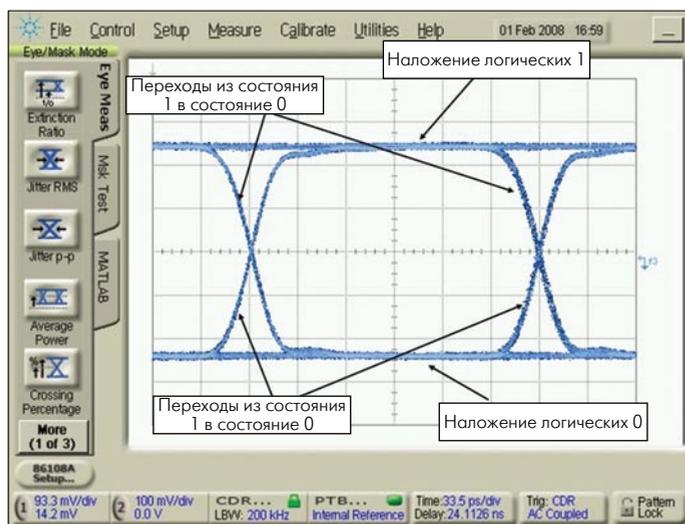
При задании технических условий на передатчик важно представлять, насколько хороши (или, возможно, плохи) приемник и оптический канал передачи данных, и, наоборот, при задании технических условий на приемник – насколько хорош (или плох) передатчик. В качестве исходных данных при проведении итеративного процесса составления технических условий (или стандарта) можно использовать рабочие характеристики системы предыдущего поколения. При подготовке нового стандарта, вероятно, будут учитываться параметры компонентов, разработка которых еще не завершена, поскольку новая система по производительности должна существенно превосходить систему предшествующего поколения. Это вызывает некоторые затруднения, так как производители компонентов, как правило, не заинтересованы в крупных затратах на создание новых устройств до полного утверждения стандарта и соответствующих технических условий на компоненты. В результате процесс разработки системы может оказаться достаточно длительным и кропотливым.

Тем не менее, передатчик должен работать с признанными годными приемниками и оптическими каналами с самыми низкими параметрами. Если для получения требуемого значения BER мощность приемника может быть минимальной, то ее значение принимают для задания минимальной выходной мощности передатчика. Если приемник допускает определен-

ный уровень джиттера сигнала, то его значение используется для задания максимально допустимого джиттера, вносимого передатчиком. В цифровой системе связи приемник логически оценивает каждый входящий разряд, поэтому следует задавать и форму сигнала передатчика.

Ряд оптических систем связи предоставляют хороший пример стратегии испытания передатчика. Основные требования, предъявляемые к передатчику, основаны на необходимости обеспечения широкого разделения между логическими "1" и "0" при приеме данных. Кроме того, значения времени переходов между логическими уровнями "1" и "0" должны быть согласованы (низкий джиттер). Это гарантирует малую вероятность ошибок при принятии решений.

Обычный метод оценки формы сигнала передатчика – глазковая диаграмма. В ней все комбинации данных накладываются друг на друга по общей временной оси обычно с интервалом в два периода бита. При хорошем амплитудном

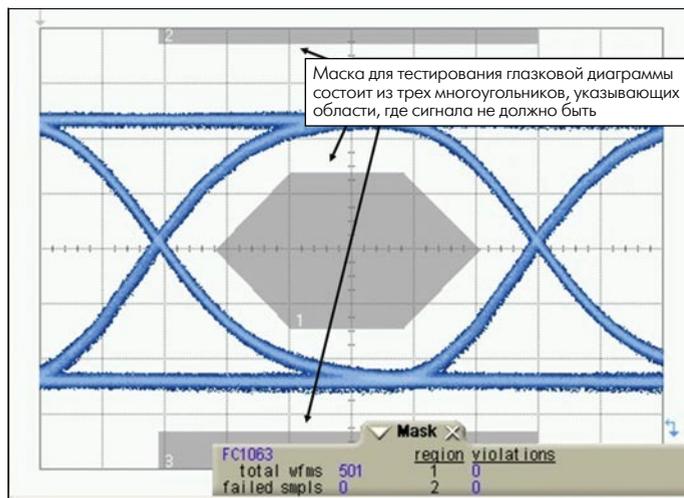


**Рис. 1. Глазковая диаграмма служит хорошим индикатором качества передатчика**

разделении и низком джиттере глазковая диаграмма открыта (рис.1).

Для определения качества передачи данных не нужно проводить несколько измерений, достаточно одного теста. Открытость глазковой диаграммы можно проверить, проведя ее тестирование на соответствие маске. Набор масок представляет собой несколько многоугольников, размещаемых в глазковой диаграмме и вокруг нее и задающих участки, где сигнала быть не должно. "Хороший" сигнал никогда не пересечет границы маски и пройдет испытания, "плохой" сигнал пересечет или вторгнется в маску и будет признан неадекватным (рис.2).

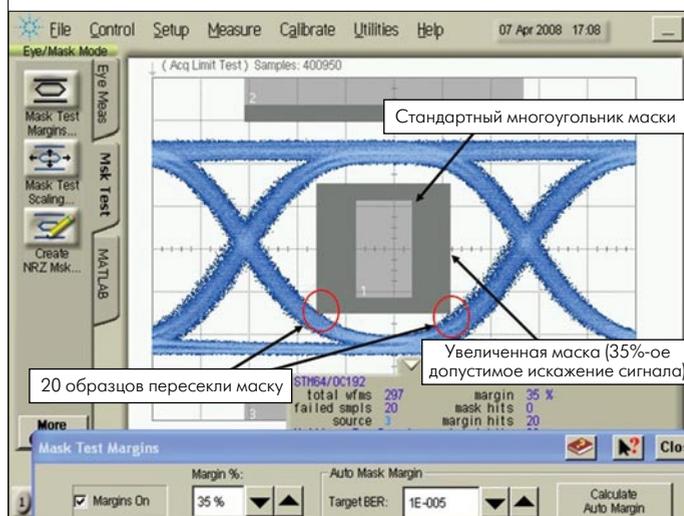
Попадание образцов сигналов в область маски фиксируется осциллографом. Согласно большинству промышленных стандартов, передаваемый сигнал считается неприемлемым, если любые образцы формы волны нарушают границы маски. Это приводит к появлению интересной проблемы при тести-



**Рис. 2. Маски располагаются в глазковой диаграмме для быстрой проверки ее "открытости"**

ровании глазковой диаграммы на соответствие маске. С увеличением числа образцов формы волны, очевидно, возрастает точность оценки рабочих характеристик передатчика. Однако такие характеристики каждой глазковой диаграммы, как амплитуда (шум) и время (джиттер), произвольны. И по мере увеличения объема данных, используемых для установления соответствия глазковой диаграммы маске, вероятность нарушения границ маски возрастает. Теоретически при достаточном для анализа количестве образцов формы волны практически любой передатчик не пройдет тестирование на соответствие маске. Вероятность нарушения границ маски может быть очень небольшой, но тестирование не принимает во внимание вероятность. Это – испытания всех образцов формы волны битов на соответствие или несоответствие какому-либо из них, т.е. это – испытание годен/не годен. В результате возникает вопрос: сколько образцов нужно проверять, чтобы установить годность оптической системы связи?

Как минимум, число образцов формы волны битов должно быть достаточным для того, чтобы осциллограф мог совме-



**Рис. 3. Исходные размеры маски автоматически увеличены для проверки допустимого уровня "попаданий"**

тить маску с формой волны. Как правило, достаточно небольшого числа образцов. Насколько больше потребуется данных? Если интервал (запас) между образцами формы волны и маской достаточно большой, очевидно, что набор большего числа данных мало повлияет на результат тестирования. Проблема возникает, когда прибор с трудом проходит испытание на соответствие маске. Набор большого числа данных приведет к несоответствию требованиям, заданным маской.

В некоторых современных стандартах, таких как IEEE 802.3 ah (стандарт Ethernet первой мили) и IEEE 802.3 aq (стандарт линий связи на основе многомодового оптоволоконного низкого качества, скорость передачи которых составляет 10 Гбит/с), эта проблема учитывается, и возможность несоответствия маске допускается. Правда, разрешается лишь очень небольшое число попаданий образцов за границы маски (один не прошедший тест образец из каждых 20 тыс. проверяемых образцов). Это позволяет набирать большое число образцов формы волны, что, возможно, обеспечивает более точное тестирование без увеличения вероятности неудачи. Небольшой процент "неудачных" образцов допускают и другие новые стандарты (см. сайт [http://ieee802.org/3/ba/public/mar08/dawe\\_01\\_0308.pdf](http://ieee802.org/3/ba/public/mar08/dawe_01_0308.pdf)).

Это приводит к появлению модифицированного варианта классического тестирования на соответствие маске. Тест с использованием маски глазка выполняется, как обычно, но при задании определенного числа образцов выполняется второй этап тестирования. Чтобы установить, насколько могут быть расширены размеры маски, до того как число попаданий образцов формы волны в нее не превысит допустимую стандартом долю, проводится автоматическое тестирование границ маски. На рис.3 показано увеличение размеров маски до 20 "попаданий" (между точками пересечения глазка, с которым совмещена маска, было проверено 400 тыс. образцов). Размер маски значительно увеличился по сравнению со стандартным, что свидетельствует о высоком качестве

передачика.

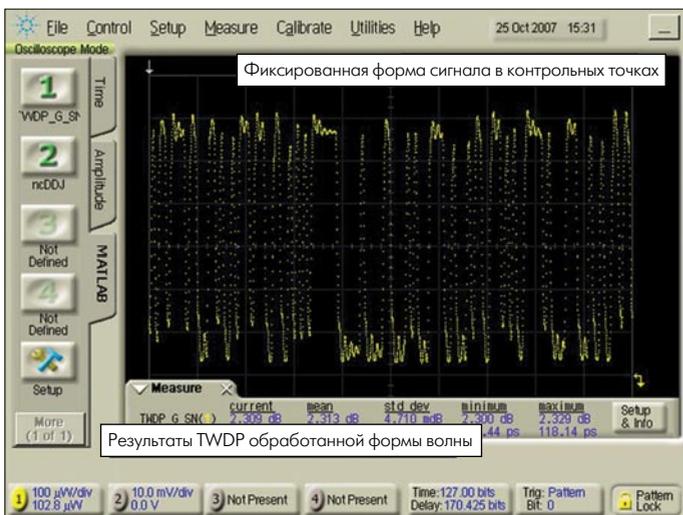
Недавно выпущенный стандарт IEEE 802.3 aq был разработан для систем передачи сигналов со скоростью 10 Гбит/с по каналам, характеристики которых определяются в основном дисперсией. Модальная дисперсия прогонов многомодового оптоволоконного протяженностью 200–300 м может полностью закрыть получаемый глазок.

Для решения проблемы большой дисперсии сигнала потребуется перспективная связанная техника. Компенсировать искажения сигнала, вызванные каналом, смогут схемы коррекции, используемые в приемниках. Однако это усложняет определение характеристик приемлемого передатчика. Результаты тестирования на соответствие требованиям маски могут оказаться бессмысленными, если глазок на выходе канала оказывается закрытым независимо от качества сигнала, поступающего в канал.

Если сигнал передатчика после прохождения участка линии связи с наихудшими ожидаемыми параметрами можно скорректировать, пригоден новый метод тестирования, предусмотренный стандартом IEEE 802.3 aq (т.е. для скорости передачи 10 Гбит/с по FDDI оптоволоконному – волокну с распределенным интерфейсом передачи данных). Форма волны сигнала фиксируется и пропускается через виртуальную модель канала, имитирующую реальное оптоволоконно. Затем сигнал обрабатывает виртуальный эквалайзер конечной длины. Качество скорректированного сигнала сравнивается с качеством сигнала, обработанного идеальным эквалайзером. Виртуальный приемник усложнен за счет средств линейной компенсации и компенсации с решающей обратной связью, а также вследствие наличия нескольких отводов для сигналов.

Несмотря на сложность моделей виртуальных канала и приемника, процедура испытаний может быть выполнена осциллографом. Вместо длинной глазковой диаграммы фиксируется форма сигнала в контрольных точках. Хороший пример – 511-бит образ с не менее чем семью образцами формы волны для каждого бита. Зафиксированная форма волны обрабатывается записанной на плату последовательностью программ MatLab скрипта, которые моделируют оптоволоконный канал и приемник. Выход скрипта представляет собой выраженное в децибелах значение потери мощности, которое для подтверждения соответствия техническим условиям можно сравнивать со значениями, заданными стандартом IEEE. Это испытание известно как проверка искажения формы волны передатчика вследствие дисперсии (Transmitter Waveform Dispersion Penalty – TWDP). Пример фиксированной формы волны сигнала и результат испытаний с последующей обработкой приведены на рис.4.

Как указывалось ранее, приемлемая частота битовых ошибок приемника должна быть получена для сигнала передатчика наихудшего качества. Основной процесс тестирования заключается в умышленном искажении сигнала до уровня



**Рис.4. Автоматическое измерение искажения формы волны сигнала передатчика, вызванные дисперсией**

.....

ня сигнала передатчика наихудшего качества и подтверждении того, что значение частоты битовых ошибок не выходит за пределы, установленные стандартом. Частота битовых ошибок измеряется непосредственно. Получить искаженный сигнал также не трудно. Однако получить точно искаженный сигнал бывает непросто. Если сигнал искажен незначительно, приемник плохого качества может быть признан годным. Если сигнал сильно искажен, хороший приемник может быть признан негодным. В современных системах тестирования на частоту битовых ошибок для получения калиброванного уровня искажения используется генератор образов. Преднамеренно искаженный сигнал обычно называется "напряженным" сигналом. Напряженный сигнал характеризуется временным дрожанием, ограниченной полосой пропускания (межсимвольная интерференция) и затуханием.

---

В заключение следует отметить, что развитие методов тестирования трансиверов позволяет учитывать изменения архитектуры и рабочих характеристик системы. С увеличением скорости передачи данных базовые испытания на соответствие глазковой диаграммы маске остаются жизнеспособны. Однако в недавно принятые стандарты внесены существенные изменения, которые становятся все популярнее и, вероятно, войдут и в последующие стандарты. Кроме того, все чаще проводятся и испытания приемника с использованием "напряженных" сигналов.