

## ЭКРАНИРОВАННЫЙ ИЛИ НЕЭКРАНИРОВАННЫЙ КАБЕЛЬ –

### что лучше для центров обработки данных?

А.Флатман

В предлагаемой статье доктор Алан Флатман сравнивает применение экранированных и неэкранированных кабелей в центрах обработки данных (ЦОД) с эксплуатационной, коммерческой и стратегической точек зрения. Основное внимание уделено технологии 10G Ethernet как ключевой для современных ЦОД и вопросам построения кабельных систем для надежной работы решений 10G Ethernet.

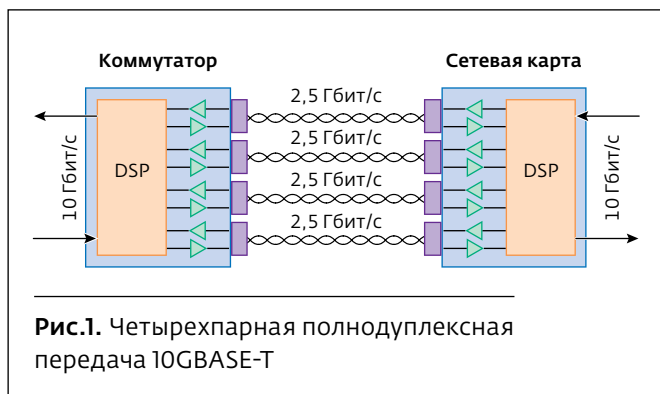
Немаловажно, что А.Флатман – независимый консультант с более чем 30-летним опытом в области электроники и компьютерной индустрии. Он занимается анализом сетевых технологий и стратегий с 1980 года. В 1993 году создал в Великобритании консалтинговую компанию LAN Technologies, среди клиентов которой большинство – конечные пользователи США, стран Европы и Азии, а также широкий спектр производителей кабелей и других сетевых продуктов. А.Флатман представляет Великобританию при разработке международных кабельных стандартов и обеспечивает живое взаимодействие с комитетом IEEE 802 как их офицер связи. Алан Флатман – Chartered Engineer и Fellow крупнейшей международной организации Institution of Engineering & Technology (IET).

Экранировать или не экранировать? Вот вопрос, который в течение многих лет был ключевым и обсуждался в профессиональном сообществе, к которому я принадлежал как инженер. Хотя в прошлом я и был апологетом кабелей на основе неэкранированных витых пар (UTP), но теперь убежден, что экранированный кабель – наилучший путь для сетей со скоростями более 1 Гбит/с, особенно в таких задачах, как построение высокоскоростных сетей связи крупных вычислительных кластеров, что характерно для центров обработки данных. К этому заключению я пришел после участия в работах по развертыванию сетей 10GBASE-T (10 Гбит/с Ethernet) и объясню почему.

#### Надежность 10GBASE-T

В технологии 10GBASE-T используются кабель на основе четырех витых пар. Такие кабели категории Cat 6A или Cat 7 обеспечивают дальность работы до 100 м. По каждой витой паре данные передаются со скоростью 2,5 Гбит/с, что обеспечивает суммарную скорость 10 Гбит/с (рис.1).

В отдельно взятом кабеле в каждой витой паре возникают перекрестные помехи на ближнем и дальнем конце (NEXT, FEXT), наведенные со стороны других витых пар, а также возвратные потери (эхо-сигнал). Все они в значительной степени компенсируются посредством технологии цифровой обработки сигналов (DSP).



Это возможно, поскольку DSP-процессор подключен ко всем витым парам кабеля, а внутренние помехи – коррелированные с сигналами в витых парах.

В сети 10GBASE-T в каждой паре используется 16-уровневая амплитудно-импульсная модуляция PAM16\*, причем символьная скорость составляет 800 Мсимволов/с. Соответственно, необходимая ширина спектра полосы сигналов – 400 МГц. В такой сети возникает гораздо больше перекрестных помех от смежных кабелей (межкабельных помех), чем в случае технологии 1000BASE-T, где ширина рабочей полосы – лишь 80 МГц. Более того, внешние наводки невозможно компенсировать, поскольку DSP не имеет данных о внешних помехах (источники которых – другие кабели).

Применяемая в технологии 10GBASE-T 16-уровневая амплитудно-импульсная модуляция PAM16 гораздо более чувствительна к уровню аддитивного шума, чем пятиуровневая

\* Точнее, в 10GBASE-T используется манипуляция DSQ128 (“двойной квадрат”), предусматривающая формирование двумерных символов посредством конкатенации двух последовательных символов PAM16 по специальному закону.

модуляция PAM-5 в 1000BASE-T и трехуровневая (MLT-3) в 100BASE-TX (рис.2). Как видно из рис.2, сигналы 10GBASE-T ослабляются в наибольшей степени, поскольку передача происходит на более высокой частоте (дискретность уровней падает примерно до 1 мВ в 100-м кабеле).

Один из наиболее значимых факторов, влияющих на устойчивость канала передачи, – системный шум. Он включает в себя внутренний шум, связанный с искажениями в кабеле, и внешний шум – наводки от силовых кабелей, других кабелей передачи данных и от активного оборудования. Внутренний шум можно подавить посредством цифровой обработки. Внешний же шум – некоррелированный и не может быть выделен и удален, это следует принимать во внимание при разработке систем передачи.

Устойчивость канала определяется такими параметрами, как статистическая частота ошибок (Bit Error Rate) и виды отказов. Последние иллюстрирует рис.3, сравнивая поведение различных систем Ethernet BASE-T, когда кабельный канал связи перестает соответствовать требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС). Все системы обеспечивают максимальную пропускную способность, когда подключены к кабелям, соответствующим требованиям ЭМС. Однако их поведение становится различным по мере того как возрастает несоответствие кабельной системы. Пропускная способность 10BASE-T плавно уменьшается и в конечном итоге падает до нуля. Поврежденные пакеты обнаруживаются и повторно отправляются под управлением программного обеспечения верхнего уровня, что приводит к замедлению работы сети. Пропускная способность системы 100BASE-T будет снижаться быстрее, но все же она обладает значительным запасом устойчивости.

Обе эти системы используют простую технику передачи, надежность которой во многом определяется затуханием в кабеле, внутренними перекрестными помехами и возвратными потерями (эхо-сигналами).

Я называю интервал между состоянием кабельной системы, соответствующей всем требованиям, и состоянием, когда наступает предельный отказ, "сумеречной зоной". В системах 1000BASE-T и 10GBASE-T используется сложная техника передачи и цифровой обработки. Обе эти технологии обладают ограниченным запасом устойчивости, и надежность канала в большой мере определяется внешними шумами, как правило - межкабельными помехами. Поэтому "сумеречная зона" для систем 1000BASE-T и 10GBASE-T относительно мала и характер отказов более катастрофичен. Однако полный отказ может наступить только если кабельная система в минимальной мере соответствует требованиям ЭМС или когда есть сомнения в ее правильной квалификации на соответствие требуемой категории. Оба этих условия связаны с применением неэкранированного кабеля.

## ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОКЛАДКА

Для планирования и установки кабельных систем разработан международный стандарт ISO/IEC 14763-2. Этот документ содержит детальную информацию, связанную с процедурами прокладки и тестирования всех видов кабелей, включая высокопроизводительные экранированные и неэкранированные кабели, типы которых специфицированы в таких стандартах, как

ISO/IEC 11801 для коммерческих офисных систем и ISO/IEC 24764 для ЦОД. Стандарт ISO/IEC 14763-2 вобрал в себя лучшие решения и наработки различных промышленных групп, таких как BICSI, TIA, IEC и CENELEC. Ожидается, что он станет исчерпывающим глобальным справочником для всех практических аспектов планирования и установки кабельных систем. ISO/IEC 14763-2 содержит детальные требования по заземлению, разнесению информационных и силовых кабелей, квалификационным испытаниям, в том числе на защищенность от межкабельных наводок.

Наибольший опыт заземления кабеля накоплен в континентальной Европе, где применение экранированных кабелей стало нормой уже много лет назад. Отсутствие практики заземления кабельных экранов отмечалось как отрицательный момент в "про-UTP" регионах, таких как США, но теперь это уже не так. Там системы заземления в современных ЦОД великолепны, а заземление кабельных экранов выполнено просто и безопасно.

Требования по разнесению информационных и силовых кабелей в последнее время претерпели изменения вследствие ряда глубоких исследований. Дистанция разнесения будет зависеть от типа используемых информационных кабелей и от несущей конструкции кабельной системы (например, пластиковый или металлический кабельный желоб, наличие или отсутствие разделительных элементов и т.д.). В целом, дистанция разнесения для экранированных кабелей STP, таких как кабели категории Cat 7/7<sub>A</sub>, составляет приблизительно 10%

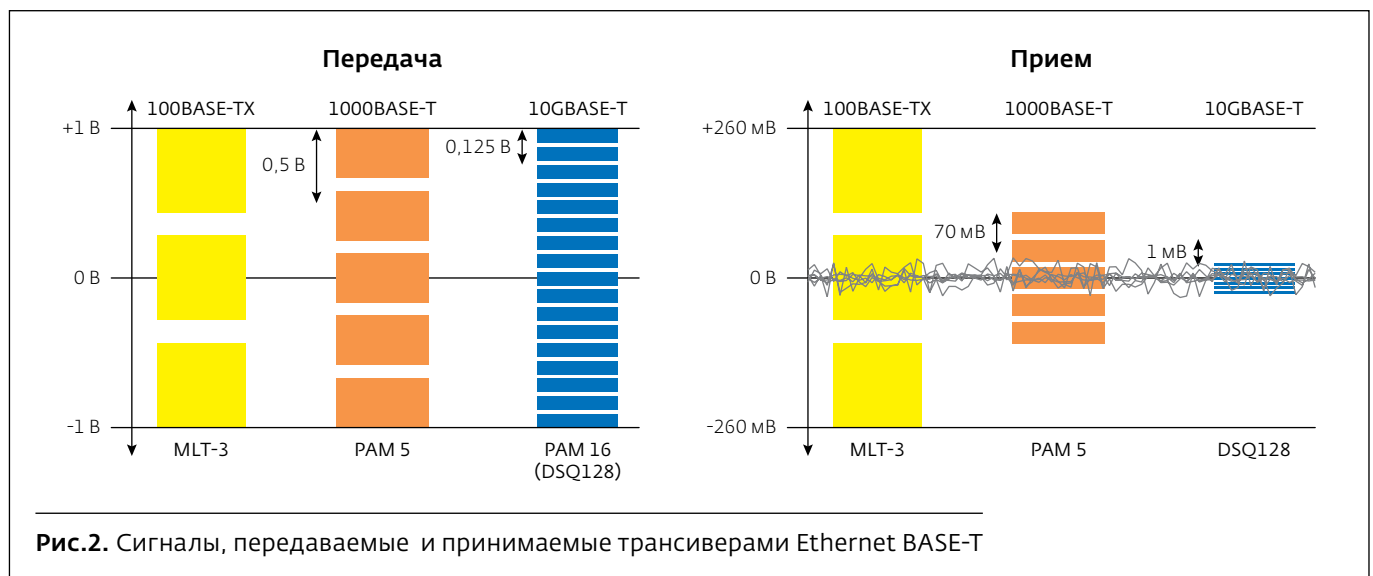
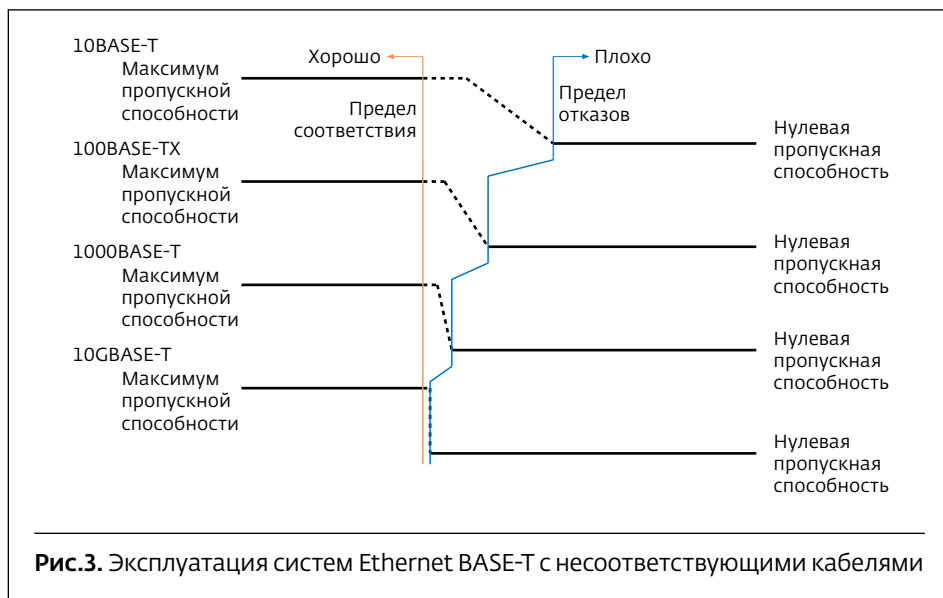


Рис.2. Сигналы, передаваемые и принимаемые трансиверами Ethernet BASE-T

от аналогичной дистанции для неэкранированных кабелей.

Тестирование межкабельных помех – это сложный процесс. Чтобы точно измерить межкабельную помеху, необходимо для каждого кабеля в пучке провести измерения между его окончанием и окончаниями всех других кабелей. Итоговый результат вычисляется как корень из суммы квадратов измеренных значений. Таким образом, если в кабельной сети соседствует много кабелей (в одном жгуте,

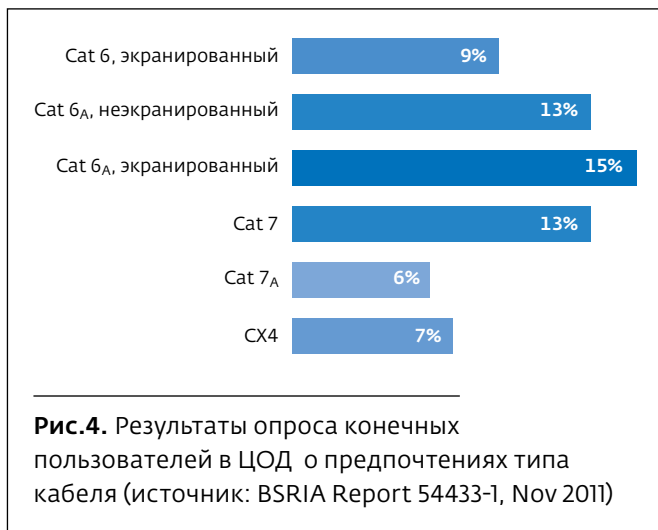
в зоне коммутации и др.), число необходимых измерений (каждый по отношению ко всем другим) становится весьма большим, что делает такой сценарий измерений малореальным. Сэкономить время и деньги позволяют тестовые измерения отдельных образцов, однако очевидно, что такой подход недостаточно точен. Поэтому в стандарте ISO/IEC 11801 указано, что тестирование на межкабельные наводки необязательно, если кабели обладают хорошей электромагнитной совместимостью. Для этого введен параметр "затухание излучения" (coupling attenuation), определяемый как отношение введенной в кабель мощности к излученной мощности (в дБ). В частности, в стандарте отмечено: "Если затухание излучения на 10 дБ лучше, чем указано в стандарте, то межкабельные помехи для каналов класса E<sub>A</sub> и F могут считаться "соответствующими требованиям благодаря конструкции". Если затухание излучения на 25 дБ лучше, чем указано в стандарте, то межкабельные



помехи каналов класса F<sub>A</sub> могут считаться "соответствующими требованиям благодаря конструкции".

"Соответствие требованиям благодаря конструкции" означает, что межкабельные помехи не требуется измерять, т.е. их уровень заведомо не превышает определенного порога благодаря конструкции кабеля. Большинство кабелей, экранированных фольгой или металлической оплеткой, таких как кабели Cat 7/7<sub>A</sub>, превосходят эти требования с комфортным запасом. Таким образом, отпадает необходимость в тестировании межкабельных помех, что существенно экономит время и деньги.

Защищенность от межкабельных помех UTP-кабелей предыдущих поколений (вплоть до Cat 6) была невелика, особенно между парами с одинаковым шагом скрутки. Решить эту проблему были призваны UTP-кабели категории Cat 6<sub>A</sub>, где используется переменный шаг скрутки, а также увеличена толщина внешней оболочки.



Пока поставщики кабеля трубили об этих улучшениях как о большом прорыве в кабельной технологии, выявился ряд недостатков. Межкабельные помехи для Cat 6<sub>A</sub> специфицированы, но эти спецификации нельзя использовать, если одновременно применяются кабели Cat 6<sub>A</sub> и UTP-кабели других типов. Этот вопрос качественно рассмотрен в документе TIA TSB-190. Кроме того, поскольку нет стандарта на конструкцию кабелей Cat 6<sub>A</sub>, и у каждого производителя она своя, возникают существенные вариации в межкабельных помехах при использовании кабелей Cat 6<sub>A</sub> разных производителей. Следует обратить внимание и на межкабельные помехи в патчкордах, поскольку они обычно располагаются очень плотно. Таким образом, менеджменту патчкордов нужно уделять огромное внимание – причем после каждой реконфигурации межкабельные помехи изменяются. Все эти проблемы существенно упрощаются при использовании экранированных кабелей.

Экранированные кабели некогда критиковали за их большой диаметр, механическую жесткость и высокую цену по сравнению с неэкранированными кабелями. Но сегодня, если их сравнивать с UTP-кабелями категории Cat 6<sub>A</sub>, внешний диаметр которых доходит до 9 мм, большинство экранированных кабелей категории Cat 6<sub>A</sub>/7/7<sub>A</sub> тоньше при аналогичной цене.

### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Возможность достижения высоких скоростей передачи по кабелям на основе витых пар уже тщательно изучена. Исследования показали что достижима передача со скоростями 40 и даже

100 Гбит/с на расстояния свыше 50–100 м по экранированным кабелям, таким как кабели категории Cat 7/7<sub>A</sub>. По общему мнению, неэкранированные кабели не следует применять для каналов со скоростями свыше 10 Гбит/с. А уже в этом году мы ожидаем новые проекты IEEE на основе 40GBASE-T.

В 2011 году ассоциация BSRIA (Building Services Research and Information Association) провела опрос конечных пользователей в ЦОД об их предпочтениях в применении кабелей. Он охватывал 335 респондентов в США, Китае, Индии, Германии, Франции и в Великобритании. Опрошенные назвали такие ключевые факторы выбора типа кабеля, как надежность, безопасность и гибкость. Исследование показало, что только 13% респондентов планируют для приложений 10 Гбит/с (10G) использовать неэкранированные кабельные системы (рис.4). Остальные предполагают применять именно экранированные кабели различных типов. Это демонстрирует явную тенденцию использования экранированных кабелей в ЦОД.

Большинство производителей кабеля предлагают как экранированную, так и неэкранированную кабельную продукцию для поддержки 10G-приложений. Многие оставляют выбор на откуп потребителям, однако очевидно, что именно экранированные кабели – это наименее рискованное решение.

### КРАТКИЕ ИТОГИ

Основные достоинства экранированных кабелей для 10G-систем – более низкая стоимость владения и снижение эксплуатационных рисков, причем последнее весьма значимо для систем ЦОД. В пределах рассматриваемых скоростей передачи такие кабели не требуют полевых испытаний на стойкость к межкабельным помехам и не нужно беспокоиться о ЭМС с уже предложенными кабелями. Кроме того, эти кабели обладают существенным резервом, позволяющим использовать их в системах со скоростями до 40 Гбит/с, поэтому экранированные кабели останутся актуальными для разработчиков еще по крайней мере для следующего поколения систем передачи данных. Таким образом, экранированные кабели – предпочтительное решение для создания высокоскоростных медных каналов передачи информации. Продукты 10GBASE-T наконец запущены, и ожидается быстрый рост их применения в ЦОД. ■

