

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ СТАНДАРТА FAST ETHERNET 100BASE-TX

М. А. Булаев,
МО РФ

К. Ю. Бурлаков,
ООО «Прима Эксперт»

К. В. Демин,
ЦФТИ МО РФ

В. Г. Капустин,
ЦФТИ МО РФ

А. В. Овчаров,
ФГУП «Ситуационно-кризисный
центр» Минатома России

В. В. Сак,
ЦФТИ МО РФ

Настоящая и последующая статьи посвящены методическому подходу, применяемому при расчете показателей защищенности локальных вычислительных сетей (ЛВС), оборудование которых функционирует на основе технологии Fast Ethernet в стандарте 100BASE-TX.

В первой статье представлен анализ принципов логического преобразования информативного сигнала в сетевых адаптерах стандарта 100BASE-TX. Там же описывается аналоговая модель, которая позволила получить параметры сигналов на выходе из сетевого адаптера.

Во второй статье представлены полученные по известным параметрам сигналов их модельные спектры, приведен подход к решению проблем расчета энергии одного двоичного разряда и отношения сигнал-шум, определения параметров оптимального приемника трехуровневых сигналов и корректировки отношения сигнал-шум для его сравнения с существующими нормами, полученными для двухуровневых сигналов.

Полученные результаты позволяют говорить о разработанной методике расчета параметров защищенности ЛВС, функционирующих на основе технологии Fast Ethernet.

Характерной тенденцией развития современных вычислительных сетей является требование обеспечения все большей скорости передачи данных. В настоящее время при обработке больших потоков информации широкое применение находят локальные вычислительные сети, построенные на базе технологии Fast Ethernet. Характеристики сигналов, используемых в этой технологии для передачи информации по каналам связи, имеют ряд особенностей, которые должны учитываться при оценке защищенности вычислительных сетей, построенных на ее основе.

Технология Fast Ethernet является расширением стандарта IEEE 802.3, который обычно называется стандартом Ethernet. Стандарт Fast Ethernet определен как дополнение к стандарту 802.3 и вносит изменения в первые 20 статей, а также добавляет к оригиналу 10 новых статей, тем самым технология Fast Ethernet является более быстрой реализацией классической технологии Ethernet. Ее основными достоинствами являются [1–3]:

- увеличение пропускной способности сегментов сети до 100 Мб/с;
- сохранение метода случайного доступа CSMA/CD;

- звездообразная топология сети;
- поддержка традиционных сред передачи данных – витой пары (категория 3 и выше) и оптоволоконного кабеля.

Основные изменения, которые были внесены в новую реализацию стандарта, затрагивают физический уровень (в терминах семиуровневой модели OSI – см. рис. 1) для обеспечения передачи данных на больших скоростях. Для обеспечения передачи данных в разных физических средах разработаны разные варианты физического уровня, отличающиеся не только типом кабеля и электрическими параметрами импульсов, как в технологии Ethernet, но и способом кодирования сигналов и количеством используемых в кабеле проводников, что привело к более сложной структуре физического уровня Fast Ethernet, чем классический Ethernet.

Структура и функции физического уровня стандарта 100BASE-TX

Физический уровень (Physical layer device, далее – PHY) выполняет следующие функции:

- передача данных;
- прием данных;

- определение наличия связи между портом повторителя и узлом (Link Status);
- определение коллизий (Collision Sense);
- определение затянувшейся передачи (Jabber) – узел передает дольше, чем предусмотрено протоколом;
- определение режима работы (Autonegotiation), такими как: полнодуплексный 100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-TX, полнодуплексный 10BASE-T, 10BASE-T.

Физический уровень стандарта 100BASE-TX включает в себя следующие функциональные узлы и блоки:

- PCS – подуровень физического кодирования PCS;
- PMA – подуровень физического присоединения;
- PMD – подуровень зависимости от физической среды;
- AUTONEG – подуровень автопереговоров о скорости передачи.

Подуровень PCS связывает МП с подуровнем PMA. PCS принимает полубайты данных от МП, декодирует их с использованием схемы кодирования 4В/5В и передает полученные пятибитовые символы PMA. Аналогичным образом происходит преобразование данных при приеме от PMA.

Подуровень PMA осуществляет связь между подуровнем PSC и интерфейсом MDI. Он обеспечивает передачу данных в физической среде на расстояния до 100 метров, а также обеспечивает контроль несущей PMA и целостность канала.

Блок-диаграмма передатчика сигналов стандарта 100Base-TX, реализованная в микросхеме DP83843 [3], представлена на рис. 2.

Узлы блок-диаграммы передатчиков выполняют нижеперечисленные функции.

1. **Логический кодер 4В/5В** – осуществляет избыточное кодирование входного сигнала: представление каждых 4-х битов данных, переданных от MAC-подуровня, 5-ю битами.

При использовании пяти битов для кодирования шестнадцати исходных 4-битовых комбинаций можно построить такую таблицу кодирования, в которой любой ис-

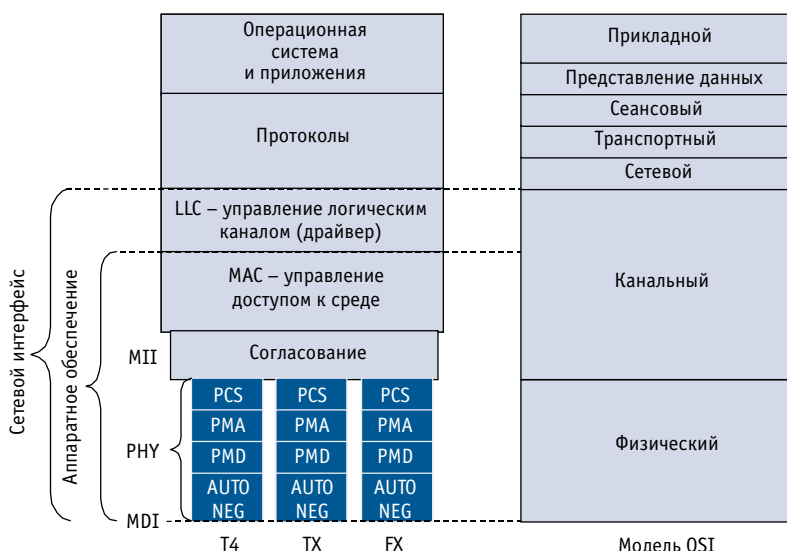


Рис. 1. Структурная схема элементов технологии Fast Ethernet

ходный 4-битовый код представляется 5-битовым кодом с чередующимися нулями и единицами. Символы кода 4В/5В длиной 5 битов гарантируют, что при любом их сочетании на линии не могут встретиться более 3-х нулей подряд. Тем самым обеспечивается синхронизация приемника с передатчиком.

Так как из 32 возможных комбинаций 5-битовых порций для кодирования порций исходных данных нужно только 16, то остальные 16 комбинаций в коде 4В/5В используются в служебных целях.

Наличие служебных символов позволило использовать в спецификациях FX/TX схему непрерывного обмена сигналами между передатчиком и приемником и при свободном состоянии среды, что отличает их от спецификации 10Base-T, когда незанятое состояние среды обозначается полным отсутствием в ней импульсов информации.

Для обозначения незанятого состояния среды используется служебный символ Idle (11111), который постоянно циркулирует между передатчиком и приемником, поддерживая их синхронизм и в периодах между передачами информации, а также позволяя контролировать физическое состояние линии. Сигнал Idle не подвергается обработке кодером 4В/5В.

Существование запрещенных комбинаций символов позволяет

отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с протоколом РНУ TX.

2. **Скремблер** – принимает 5-битовые порции данных от подуровня PCS, выполняющего кодирование 4В/5В, и преобразует их перед передачей на подуровень MLT-3 таким образом, чтобы обеспечить максимально равномерное распре-

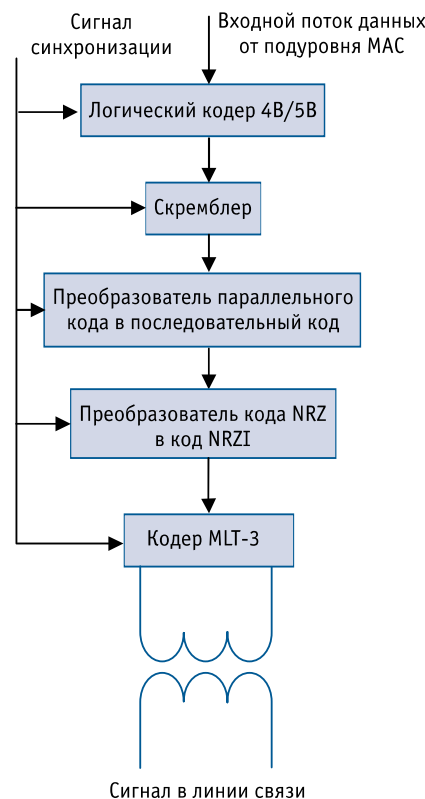


Рис. 2.1. Блок-диаграмма передатчика сигналов стандарта 100BASE-TX

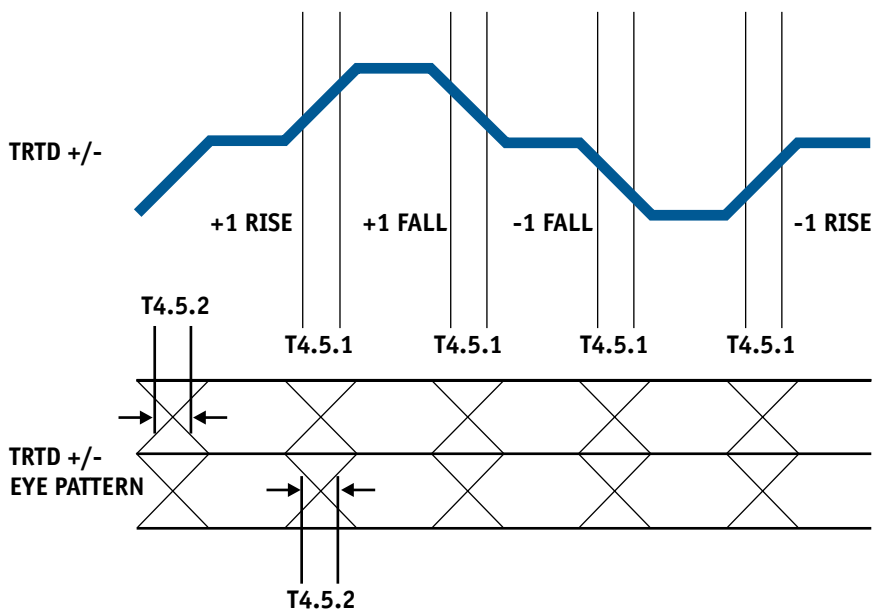


Рис. 3. Временная диаграмма информационного сигнала на выходе из сетевого адаптера в кабельную линию

деление энергии сигнала в пределах занимаемой им полосы частот. Применение скремблера является вынужденной мерой, позволяющей существенно снизить электромагнитные излучения в физической среде и оборудовании. При отсутствии скремблера излучение превышает предельно допустимые уровни, определенные Европейской директивой по электромагнитной совместимости (European EMC Directive 89/336/ЕЕС).

Логическое кодирование с использованием скремблера (далее скремблирование) представляет собой побитовое наложение с использованием операции **исключающее или (XOR)** псевдослучайного битового потока на битовый информационный поток. В качестве генератора псевдослучайного битового потока чисел используется

11-разрядный сдвиговый регистр с обратными связями с 9-го и 11-го разрядов в соответствии со следующим соотношением [5]:

$$X[n] = X[n-11] + X[n-9] \pmod{2}.$$

Обратная связь в модели обусловлена зависимостью состояния сдвигового регистра на текущем такте от его состояния на предыдущем.

Проведение модельного эксперимента позволило выяснить, что сдвиговый регистр генерирует псевдослучайную последовательность с интервалом повторения, равным $2^{11} - 1 = 2047$ импульсов, что дает временной период 2047τ , где τ – длительность одного импульса.

В результате скремблирования спектральный уровень излучаемого электромагнитного поля от оборудования и линии связи уменьшается на 20 дБ, но при этом час-

тотный диапазон спектра довольно существенно увеличивается (его нижняя граница расположена в диапазоне единиц-десятков килогерц, а верхняя – доходит до 1 ГГц).

3. Преобразователи кодов (последовательного в параллельный NRZ в NRZI) подготавливают скремблированный поток битов к MLT-кодированию.

4. Кодер MLT-3 обеспечивает формирование информационного сигнала для передачи в канал связи. Основные правила формирования MLT-сигнала:

- для передачи данных используется три уровня MLT-сигнала: 0, +1, -1; изменение уровня сигнала происходит последовательно, с учетом предыдущего перехода;
- информационной единице соответствует переход с одного уровня MLT-сигнала на другой:
 - уровень сигнала переходит в 0, если предыдущий уровень соответствовал +1 или -1;
 - уровень сигнала переходит в +1, если предыдущий уровень соответствовал 0 и последнее изменение произошло от уровня -1 к уровню 0;
 - уровень сигнала переходит в -1, если предыдущий уровень соответствовал 0 и последнее изменение произошло от уровня +1 к уровню 0;
- при передаче информационных нулей MLT-сигнал не меняется;
- информационные переходы происходят на границе битов.

Таким образом, алгоритм преобразования содержит обратную связь, при которой состояние уровня сигнала на текущем такте зависит от последнего произошедшего изменения сигнала от уровня -1 или +1 к 0 (немарковский процесс).

Проведение модельного эксперимента показало, что на выходе модели MLT-3 образуется периодическая последовательность с периодом от 8188 до 81 880 импульсов в зависимости от исходной периодической битовой последовательности на входе кодера 4B/5B.

Зависимость периода полученных последовательностей от их состава определяется тем, что по своему принципу действия обратная связь в кодере MLT-3 зависит от не-

Таблица.

Параметр	Минимальное	Типичное	Максимальное	Единица измерений
Время изменения сигнала от уровня 10% до уровня 90%	3	4	6	нс
Интервал дрожания фронта			1,4	нс
Время задержки сигнала при передаче		7		нс
Возможная асимметрия между фронтом и спадом импульса			0,5	нс

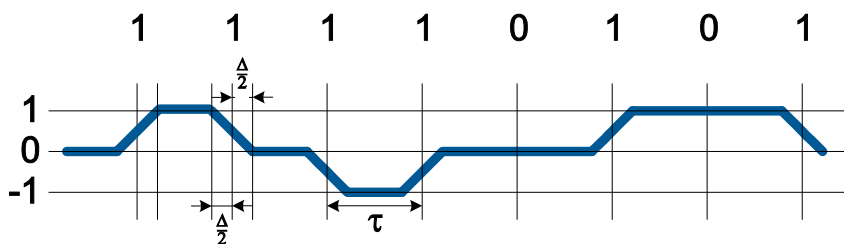


Рис. 4. Структура сигнала кода MLT-3 с учетом трапецеидальной формы импульсов

однородности состава входной последовательности. Наименьшая длина периода выходной последовательности (8188 импульсов каждый длительностью $\tau = 8$ нс, что дает период $T = 65,50$ мкс), а следовательно, максимальная частота повторения сигнала ($\nu_0 = 15,3$ кГц) соответствует сигналу Idle.

Временные характеристики информационного сигнала

Временная диаграмма информационного сигнала в кабельной линии представлена на рис. 3.

Временные параметры информационного сигнала, приведенные в [4], представлены в таблице 1.

Таким образом, импульсы кода MLT-3 с достаточно высокой точностью имеют симметричную во времени трапецеидальную форму. Их структура изображена на рис. 4.

Будем считать, что фронт и спад импульсов имеют одинаковую длительность Δ ; длительность импульсов положительного и отрицательного уровня потенциала равна $\tau + \Delta$, время длительности уровня нулевого потенциала («нулевого» импульса кода MLT-3) $\tau - \Delta$. Обозначив значение времени, за которое происходит нарастание амплитуды импульса от 10 % до 90 % ее максимальной величины, как Δ' и считая нарастание фронта (спад) импульса линейным, получим, что время нарастания амплитуды от 0 до 100 % (спада от 100 % до 0) $\Delta = 1,25\Delta'$. Для типового значения Δ' из таблицы, величина Δ равна 5 нс, а ее разброс для различных сетевых адаптеров возможен от 3,75 до 7,5 нс.

Величина τ длительности импульса сигнала кода MLT-3 согласно структуры, изображенной на рис. 4, определяется из осциллограмм,

приведенных в [2 и 4]. Явных указаний на эту длительность в доступных документах нет. Осциллограмма формы импульсов изображена на рис. 5 [2]. Другим косвенным указанием на значение τ является осциллограмма спектра сигнала в кабельной линии (см. рис. 6 [4]). Как показано в [6], первое нулевое значение в огибающей спектра информативного сигнала в кабельной линии соответствует величине $1/\tau$. Поскольку указанное значение равно 125 МГц, то и это указывает, что величина $\tau = 8$ нс.

Заключение

В линии связи ЛВС типа Fast Ethernet информативный сигнал представляет собой периодическую последовательность кодовых посылок, образующуюся путем ряда преобразований исходного сигнала. На протяжении достаточно большого по длительности периода (по сравнению с длительностью отдельного импульса) характер сигналов похож на псевдослучайную последовательность, что достигается скремблированием.

Электрический сигнал в витой паре кабеля связи ЛВС (сигнал кода MLT-3) представляет собой трехуровневую биполярную последовательность импульсов трапецеидальной формы с параметрами:

- напряжение сигнала (пик-пик) — ± 1 В;
- ток сигнала — ± 10 мА (волновое сопротивление линии 100 Ом);
- минимальная длительность импульса кодовой посылки — 8 нс;
- длительность фронта (спада) импульсов 3,75–7,5 нс.

Информационный сигнал (код) в линии связи относится к последовательным одноуровневым потенциальным сигналам (кодам). ■

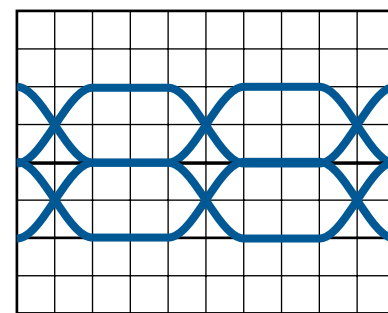


Рис. 5. Осциллограмма MLT-сигнала на выходе сетевого адаптера

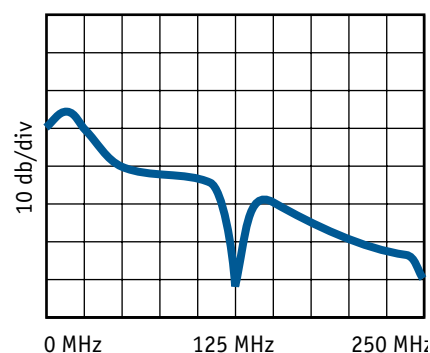


Рис. 6. Спектральная характеристика информационного сигнала кода MLT-3 в кабельной линии

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаем Куин, Ричард Рассел, *Fast Ethernet*, Киев: BHV, 1998.
2. *Twister High Speed Networking Transceiver Device*. National Semiconductor Application Note DP83223, www.national.com, 1997.
3. *BVJE Phyter*. National Semiconductor Application Note DP83843, www.national.com, 1999.
4. *10/100 Mb/s Integrated PCI Ethernet Media Access Controller and Physical Layer (MacPhyter)*. National Semiconductor Application Note DP83815, www.national.com, 2000.
5. 82559ER. *Fast Ethernet PCI Controller*. Networking Silicon. Intel Corp., ftp://download.intel.com/design/network/datashts/71468202.pdf, 2001.
6. Булаков К. Ю., Демин К. В., Сак В. В., Шакиров М. З. *Определение отношения сигнал/ шум для побочных электромагнитных излучений от локальных вычислительных сетей типа Fast Ethernet // Защита информации. Конфидент, № 4–5, 2002, с. 44.*