



Вячеслав Виноградов

## Системное развитие быстродействующих коммутруемых сетей Ethernet

Данный обзор прослеживает тенденции развития Ethernet-технологии в области промышленной автоматизации. Рассматриваются особенности решений на базе этой технологии для промышленных сетей, измерительных приборных систем, систем реального времени. Описаны интерфейсы и спецификации 10-Gigabit Ethernet и представлена перспективная технология 100-Gigabit Ethernet.

### СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ETHERNET

Традиционно сеть Ethernet используется для сопряжения и связи персональных компьютеров (ПК) и рабочих станций, но в классическом виде с разделяемой средой связи она не удовлетворяет требованиям систем реального времени и многих систем управления, так как имеет непредсказуемые задержки и даже не гарантирует доставку сообщений. Первые сети обеспечивали скорость передачи 10 Мбит/с. Потом появился Fast Ethernet и обеспечил быструю связь со скоростью 100 Мбит/с, благодаря чему получил широкое распространение во многих применениях, включая приборные системы измерений, системы промышленной автоматизации, распределённые системы управления, бортовые системы и др.

В настоящее время основными стандартами для создания промышленных сетей являются Fast Ethernet и другие стандарты, построенные на его основе, в первую очередь – PROFINET (IEC 61158). В таких сетях обеспечивается скорость передачи данных до 100 Мбит/с. Однако всё активнее применяются гигабитные промышленные

сети, выпускается соответствующее сетевое оборудование, способное функционировать в условиях температурных колебаний, вибраций, электромагнитных излучений и т.п. Коммутруемые сети Ethernet с гигабитными скоростями стали стандартными в 2006 году, и многие процессорные модули уже имеют встроенный интерфейс (или несколько интерфейсов) Gigabit Ethernet как обязательное унифицированное средство сопряжения с внешними устройствами.

Классическая звездообразная топология офисных сетей обычно формируется вокруг серверов в центральном здании. Промышленные сети распределяют по технологическим помещениям, зачастую находящимся в разных зданиях или на значительном удалении; при этом к ним предъявляются повышенные требования по надёжности и времени восстановления. Звездообразная топология промышленных сетей позволяет кратковременно отключать отдельные сегменты, например для профилактики, но здесь постоянно присутствует риск отказа в центральном узле сети. Общая протяжённость кабелей в топологии «звезда» значительно возрастает (особенно если технологический процесс «вытянут в длину»), так как прихо-

дится прокладывать связи от центра ко всем распределённым узлам. Это приводит к дополнительному увеличению стоимости и повышенному риску электромагнитных наводок в неэкранированных витых парах. Риск электромагнитных наводок в линиях связи устраняют применением оптоволокна. Как правило, его прокладывают в коробах вдоль кабелей электропитания со средними и низкими номиналами напряжения. Однако, говоря о возможности устранения некоторых проблем, следует помнить, что в звездообразной топологии могут проявиться и другие проблемы, например проблема «вещательного шторма», создающего нерабочий режим в сети.

На основе Ethernet, используя сетевое оборудование для промышленных применений, на предприятиях создают интегрированные сети, объединяющие технологические системы и системы управления. Это выдвигает новые требования к ширине полосы частот, резервированию, протоколам. Важное место среди сетевого оборудования занимают коммутаторы. Коммутаторы для промышленных сетей по своему исполнению соответствуют жёстким условиям эксплуатации. Как правило, они изготавливаются в вариантах для установ-

ки на монтажную рейку, размещения в специальном шкафу или монтажа в приборном корпусе. Выбор коммутатора зависит от условий и особенностей его применения. Важнейшие характеристики коммутатора — тип и количество портов. Тип портов определяется принятым протоколом и средой передачи (витая пара — IEEE 802.3ab, оптоволокно — IEEE 802.3az). Характерным примером коммутаторов для гигабитных промышленных сетей являются модульные управляемые коммутаторы серий MICE и Power MICE (рис. 1) компании Hirschmann. Они монтируются на DIN-рейку и позволяют создавать гибкую и надёжную (резервирование по схеме «кольцо») сетевую структуру; ими поддерживается функция автоконфигурирования, в течение всего нескольких секунд формируется и запоминается таблица маршрутизации объёмом до 4000 адресов. Другим интересным изделием этой же компании является управляемый коммутатор MACH1000 (рис. 2). Он устанавливается в шкафах и стойках (высота корпуса всего 1U, безвентиляторное исполнение). Отвечающий стандарту IEC 61850 коммутатор чрезвычайно устойчив к электрическим разрядам и магнитным полям, сильным вибрациям, конденсату и температурным перепадам (диапазон рабочих температур от  $-40$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ), поэтому может использоваться в локальных сетях электропоездов, подвижных составов, объектов энергетики и т.п. Широкий ассортимент коммутаторов для промышленных сетей Gigabit Ethernet имеется у фирмы Advantech в серии EK1 (рис. 3): это изделия в прочном металлическом корпусе, предназначенные для крепления на DIN-рейку, имеющие дублированный вход питания, эффективную защиту портов от статического электричества и множество других полезных свойств. Большинство представленных в примерах и аналогичных им по назначению коммутаторов имеют 2 порта Gigabit Ethernet в сочетании с гораздо большим количеством портов Fast Ethernet (например, у EK1-7656C — 16, у MACH1000 — 26), что отражает наиболее распространённую конфигурацию современных промышленных сетей. Диагностика и настройка управляемых комму-

таторов возможна через Web-серверы.

Передача по витой паре че-



Рис. 1. Модульные управляемые коммутаторы MICE и Power MICE для промышленных сетей

рез порт 1000Base-T поддерживает также автоматическую нисходящую установку скорости 100 или 10 Мбит/с для подключения оконечных устройств в соответствии с их возможностями. Для передачи данных по гигабитному сегменту с витой парой на расстояние до 100 м требуется кабель с 4 парами проводов, удовлетворяющий требованиям каналов связи, как минимум, 5-й категории; при более высоких требованиях применяются кабели 6-й категории. Для передачи по оптоволокну на расстоянии до 550 м используют многомодовый кабель (1000Base-SX), а для больших расстояний (20 км) — одномодовый кабель (1000Base-LX).

По мере развития промышленных сетей совершенствовались способы повышения их надёжности. Метод группового преобразования предполагал группирование и дублирование каналов связи: все кабели не укладываются в один и тот же короб по одному и тому же маршруту, а группируются по частям (например, по северной и по южной частям здания). На следующем этапе стали резервировать сетевые коммутаторы и конечные терминальные узлы. Однако наиболее эффективным является метод резервирования отдельных каналов в кольцевых структурах промышленных сетей. Управляемые промышленные коммутаторы обеспечивают время переключения на резервные каналы порядка десятка-сотен миллисекунд. В резервируемых сетях с диагностикой сопряжение осуществляются на втором уровне модели взаимодействия по методу RSTP («быстрый протокол связующего дерева», IEEE 802.1w). Каналы резервирования могут быть

созданы и на третьем уровне по протоколу VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol, стандарт IETF RFC-2338).

На смену относительно медленным протоколам связующего дерева (STP и RSTP, время восстановления соответственно порядка 30 с и 1 с) пришла отказоустойчивая кольцевая топология HIPER-Ring (рис. 4). Она была разработана одним из лидеров в области промышленных сетей — компанией Hirschmann как решение по созданию резервированной сетевой инфраструктуры без дублирования линий связи. Это решение предполагает построение не полностью замкнутых кольцевых связей в сети Ethernet и обеспечивает обнаружение сбоя в канале с восстановлением без потерь в течение 200-300 мс за счёт создания обходных путей связи. Сейчас стремятся снизить время восстановления сети до 50 мс. Такая топология сети из 1000 узлов была применена при автоматизации аэропорта в г. Дрездене. Пять зданий были связаны гигабитной сетью Ethernet. Вместо связующего дерева здесь применили HIPER-Ring с двойным резервированием в кольце, что обеспечило среднее время восстановления 0,5 с. Примечательно, что в этом проекте было также выполнено дублирование блоков питания.

Среди примеров резервирования в структурах промышленных сетей Ethernet известны и другие решения, например избыточные кольцевые сети Turbo Ring и двойные дублирующие сети.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ PROFINET

Вариант сети Industrial Ethernet для систем автоматизации, стандартизованный как PROFINET, был разработан компанией Siemens с целью унификации полевых сетей (Fieldbus) для построения систем, работающих в реальном времени со скоростью связи до 100 Мбит/с в жёстких промышленных условиях эксплуатации.

Спецификация стандарта предусматривает взаимодействие PROFINET с другими сетями (PROFIBUS, Interbus, DeviceNet и т.д.) с помощью шлюзов.

Для конфигурирования и диагностики сети применяются протоколы IP, TCP, UDP.



Рис. 2. Защищённый управляемый коммутатор MACH1000

Средой передачи могут быть медные провода и оптоволокно. Возможно применение в сети PROFINET разных топологий (линейной, кольцевой, «звезда», «дерево»). В линейной сети коммутатор устанавливают ближе к приборам или даже встраивают вместе с процессором в устройство. Для каждого устройства выделяется свой коммутатор для управления конвейерными передачами. Кольцевая топология, используемая для повышения надёжности, может включать две сети со встречным направлением передачи. Коммутаторы могут быть соединены радиально или по произвольной топологии.

Особенности кабельной связи в промышленных сетях PROFINET связаны с жёсткими условиями эксплуатации оборудования. В сети PROFINET используются экранированные витые медные пары проводов длиной до 100 м и с характеристическим сопротивлением 100 Ом (100Base-TX), со свойствами не хуже тех, что соответствуют категории 5 и классу D (ISO/IEC 11801).

Каждое удалённое устройство подключают через активный компонент, образуя узел в сети. Соединители для применения вне шкафов оборудования создают на основе промышленного варианта RJ-4 в жёстком корпусе с защёлкивающимся креплением. В полевых условиях для подключения оборудования связи применяют 4-контактные соединители типа M12 (IEC 60947-5-2, IEC 61076-2-101).

Для разных приложений стандарт PROFINET определяет три уровня производительности: PROFINET NRT, PROFINET RT, PROFINET IRT. PROFINET NRT с временем цикла более 100 мс не поддерживает режим реального времени и предназначен в основном для автоматизации отдельных технологических процессов. PROFINET RT используется в случаях с более высокими требованиями к времени цикла (более 10 мс), например в системах автоматизации предприятия. Самым высоким требованиям по производительности отвечает PROFINET IRT (время цикла менее 1 мс), основной областью его применения является управление комплексными приводными системами.

### **ETHERNET ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИБОРНЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ**

На основе стандарта Ethernet разработан новый отраслевой стандарт LXI (2004 г.). Спецификация LXI предна-



**Рис. 3. Промышленный 18-портовый управляемый коммутатор EKI-7656C для сетей Gigabit Ethernet**

значена для измерительных систем и призвана заменить прежний приборный байтовый интерфейс с разделяемой средой связи. Сети приборов на основе архитектуры LXI предложил консорциум производителей контрольно-измерительных систем, одним из главных инициаторов выступила компания Agilent Technologies. Широкое использование преимуществ сетевых протоколов в последовательной сети небольшого количества приборов позволяет отказаться от аппаратных секций и перейти к прямому подключению компактных приборов с интерфейсом LXI к портам коммутаторов и маршрутизаторов или использовать адаптеры для связи с существующими стандартными приборными системами. Стандарт LXI охватывает физические требования, протоколы, интерфейсы и запуск процессов в сети. Различают 3 класса LXI-приборов: А, В, С. Класс С является базовым, приборы этого класса обладают функциями обнаружения и конфигурации сети, имеют Web-интерфейс и соответствуют физическим требованиям стандарта. Приборы класса В имеют дополнительные возможности запуска по локальной сети и поддержки синхронизации. Класс А удовлетворяет требованиям классов С и В с дополнением в виде аппаратной шины синхронизации с низкой задержкой передачи (эта шина обеспечивает максимально возможную скорость отклика на событие запуска).

Физический уровень интерфейса LXI создан для обеспечения гибкости связи приборов в сети. Он позволяет соединять настольные приборы по передней панели, настенные приборы и встраиваемые модули без передней панели. В отличие от существующих уст-

роЙств типа PXI/VXI устройства с таким сопряжением могут иметь любые размеры и приобретают самодостаточность. Каждое устройство имеет источник питания, систему запуска, защиту и интерфейс. В случае применения источников постоянного тока напряжение питания источника должно быть 48 В. Разъёмы подключения сигналов находятся на передней панели, а интерфейс сети, вход питания и шина запуска — на задней. Стандартом допускаются версии сети 10 и 100 Мбит/с, но рекомендуется сеть Gigabit Ethernet с автоматическим выбором скорости передачи и с автоматическим распознаванием полярности кабеля сети. Каждый прибор в сети должен иметь постоянный сетевой MAC-адрес и IP-адрес с возможностью динамической конфигурации в сети по протоколу DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).

Устройства должны легко идентифицироваться в сети с помощью протокола сетевого обследования VXI-11. Как минимум, приборы должны отправлять свой идентификатор при получении команды «IDN». Предусмотрены 2 режима связи LXI-приборов: программный (с драйверами IVI) и интерактивный (с Web-браузером). В программном режиме приоритеты поддерживают драйверы IVI (IVI-COM, IVI-C). Драйвер IVI-COM предусматривает применение языков программирования, а драйвер IVI-C — языка на базе ANSI C в среде, например, LabWindows CVI. В интерактивном режиме приборы используют Web-страничку в формате HTML, которую можно просматривать с помощью любого браузера. Страничка должна включать номер модели и серийный номер прибора, описание прибора и его производителя, версию стандарта LXI, MAC-адрес и IP-адрес устройства, номер версии программной прошивки или программного обеспечения и синхронизацию по спецификации IEEE 1588. С помощью информации на страничке пользователь может настраивать конфигурацию устройства в сети и имя хост-компьютера, а также получить описание прибора. Кроме того, рекомендуется предусмотреть возможность проверки состояния прибора и наличия ошибок.

Приборы класса В должны иметь режим синхронизации по стандарту IEEE 1588, который поддерживается встроенными часами и ПЛИС, позволяющей сообщениям миновать стек протоколов TCP/IP. Устройства устанавливают еди-

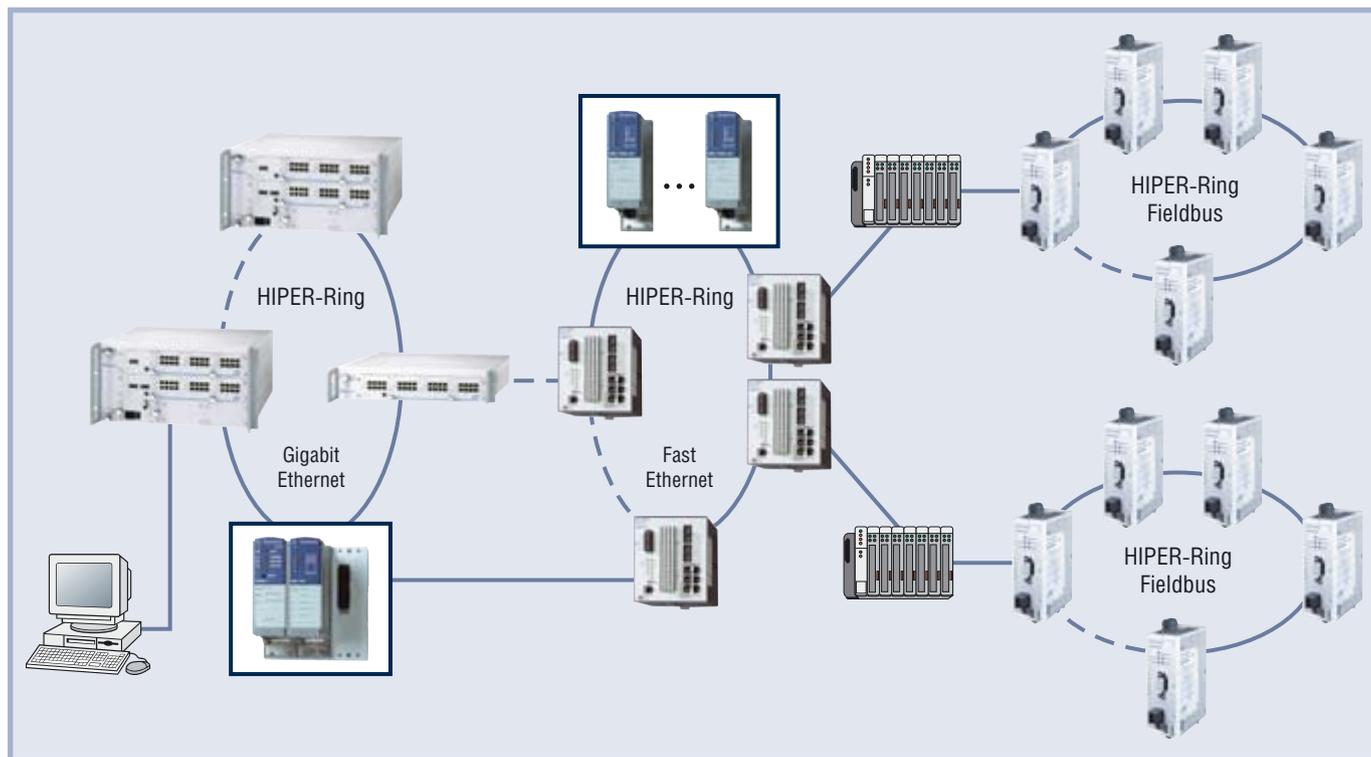


Рис. 4. Пример комбинированной сети из нескольких колец Hiper-Ring

ное время по самому точному генератору в сети. Точность установки времени допускает джиттер менее 100 нс. Устройства могут передавать информацию и данные о времени без использования компьютера, занятого задачами обработки данных в реальном времени. Дополнительная шина в устройствах класса А может соединять устройства по схеме последовательной цепи или «звезды» (или их комбинации).

### Классическая сеть Ethernet для систем реального времени

Изначальный для сетей Ethernet протокол множественного доступа к среде передачи с обнаружением коллизий CSMA/CD – недетерминированный и поэтому не пригоден для систем реального времени. Решение данной проблемы сводится к применению современной коммутируемой среды связи или к использованию специальных методов, например метода создания сети с одним ведущим устройством. С помощью протоколов TCP/IP и новых системных решений на основе коммутаторов и маршрутизаторов получены определённые результаты применения этих сетей для задач управления технологическими процессами и предприятиями.

Применительно к модели взаимодействия открытых систем OSI Ethernet охватывает её первые два

уровня и не касается третьего уровня, на котором находится прокол TCP/IP. Хабы работают на первом физическом уровне, коммутаторы – на втором, а маршрутизаторы – на третьем. Коммутаторы могут интерпретировать сигналы на первых двух уровнях, что отражается в таблице MAC-адресов. Если адрес отсутствует, то коммутатор посылает его всем портам. Если устройство не подключено (удалено), то его вход исключается из базы данных. Тип подключения (MDI/MDIX) определяется автоматически.

Системы реального времени на основе Ethernet создают посредством реализации специальных методов, используя, исходя из соображений стоимости и быстродействия, различные варианты среды связи. Один из методов создания систем реального времени вместо протокола CDMA/CD применяет переключаемые интервалы времени, распределяющие передачи пакетов и сообщений в последовательной сети. Однако при таком методе недостаточно рационально используется полоса частот. Другой метод основан на построении упрощённого варианта сети только с одним ведущим контроллером при большом количестве ведомых устройств без использования коммутируемой среды. Распределённая система управления на основе такой сети использует метод интеракций одного ведущего со многими ведомыми устройствами.

Примером сети Ethernet с одним ведущим устройством может выступить EtherCat (IEC/PAS 62407, поддерживается альянсом из более чем 600 компаний, среди которых ABB, Advantech, Beckhoff, Hilscher, Honeywell, Philips, VIPA, Weidmüller и др.). Эта сеть предполагает стандартные интерфейсы Ethernet в распределённых устройствах с модулями сбора данных и управления. Все устройства сети соединяются в последовательную кольцевую структуру. Ведущий контроллер управляет распределёнными узлами. Отдельный распределённый узел может считывать данные из АЦП в то время, когда другой фрейм с данными проходит через него в кольцевой сети. Считанные данные вставляются в проходящий поток битов. Последний в кольцевой цепи ведомый узел возвращает все обработанные сообщения ведущему контроллеру для сбора и обработки данных в ПК.

Всё же основное направление в решении проблемы реального времени – это развитие коммутируемой среды связи. Коммутаторы и маршрутизаторы быстрой связи используют двухточечные каналы для передачи адресуемых IP-пакетов, при этом на основе таблиц маршрутизации определяют наилучший маршрут в сети. Сложные функции маршрутизаторов реализуются программно, поэтому они более совершенны по сравнению с коммутаторами, но медленнее. Новые маршрутизирующие

коммутаторы объединяют преимущества обоих типов устройств по быстродействию и гибкости сетевой связи.

Важными составляющими в решении проблемы являются переход на оптические каналы связи, организация взаимодействия технологий IP и MPLS, использование транспортных возможностей сетей VDM и SDN нового поколения. Ну и, конечно, от Ethernet ожидается дальнейшее увеличение быстродействия.

## РАЗВИТИЕ ГИГАБИТНЫХ СЕТЕЙ

### 10-Gigabit Ethernet

Развитием гигабитной сети Ethernet является сеть 10-Gigabit Ethernet (10000Base-, 10GBase-, или сокращённо 10GE) со скоростью 10 Гбит/с, первоначально определённая в виде предварительных рекомендаций IEEE 802.ae, которые вошли в стандарт IEEE 802.3-2005. Скорость возросла в 10 раз по сравнению с полудуплексным вариантом Gigabit Ethernet (GE) и в 100 раз в сравнении с Fast Ethernet.

Новая версия включает только дуплексный режим передачи, исключив полудуплексный и монополюсный. Этот стандарт поддерживает не только LAN, но и WAN, то есть обеспечивает инкапсуляцию пакетов Ethernet в иерархию виртуальных контейнеров сетей SONET/SDH STS-192c/STM-64c. Для этого наряду с постоянными межкадровыми интервалами IFG дополнительно ввели переменные пробелы IFS. Кроме того, добавили биты в преамбулу пакетов. Для согласования средней скорости MAC-подуровня со скоростью передачи фреймов данных SONET/SDH STS-192c/STM-64c расширили минимальные пробелы. Предусмотрены следующие интерфейсы:

XGMII – рекомендуемый интерфейс на физическом уровне для использования оборудования DTE со скоростью 10 Гбит/с;

XAUI – рекомендуемый интерфейс для расширения соединений MAC-подуровня с физическим уровнем;

XSBI – интерфейс на 16 разрядов для реализации сервисного интерфейса PMA для спецификаций 10GBase-R и 10GBase-W на физическом уровне.

Новая спецификация определила побитовую, побайтовую и покадровую передачу, но возможны и другие формы передачи. Интерфейс XGMII ориентирован на формат с шириной потока данных в 4 байта. Для управления

данными (MDIO/MDC) используют одноразрядные передачи. Сервисный интерфейс ориентирован на 16-разрядные передачи. Интерфейс MDI использует побитовую последовательную передачу с мультиплексированием WDM четырёх несущих длин волн для версии 10GBase-LX или передачи других типов, определяемых PMD. Расширитель, работающий с низковольтными сигналами, обеспечивает независимые пути приёма-передачи данных по 32 разряда (4 потока по 8 бит) с кодированием 8В/10В.

Существуют три версии спецификации стандарта для 10GE.

- **10GBase-X** определяет четырёхпоточные передачи (формат 4 по 4 бита) по медным парам проводов или по оптическому кабелю (10GBase-LX4) на 4 длинах волн (lane) с шагом 13,4 нм во втором окне прозрачности (1300 нм) с кодированием потоков 8В/10В, с поддержкой на всех уровнях интерфейса (MAC, RS, XGMII, XGXS, XAUI, PCS, PMA, PMD). Последовательный поток данных MAC-подуровня делится на 4 потока (lane 0-3 подуровня RS) по одному байту, к каждому из которых добавляется 1 бит управления. Кодер перекодирует данные по алгоритму 8В/10В (подуровень PCS), формируя 4 группы 10-битовых последовательностей (подуровень PMA), принимаемых в PMD и через MDI передающихся на модуляторы четырёх несущих.

- **10GBase-R** определяет передачи по оптическому каналу связи в трёх окнах прозрачности: 850 нм (S), 1300 нм (L) и 1550 нм (E) – для соответствующих спецификаций 10GBase-SR, -LR, -ER. Здесь группы 10-разрядных последовательностей на подуровне XGXS декодируются, объединяются в группы по 66 битов и кодируются по алгоритму 64В/66В (64 бита данных плюс 2 бита синхронизации). Данные затем скремблируются, разбиваются на 16-разрядные блоки (интерфейс XSBI в PMA), передаются на подуровень LAN PMD и через интерфейс MDI поступают на модулятор оптической несущей. При приёме сигналов этот процесс выполняется в обратном порядке.

- **10GBase-W** определяет передачи по оптическому волокну в трёх окнах прозрачности по спецификациям 10GBase-SW, -LW, -EW. Здесь потоки кодируются по алгоритму 64В/66В

для их инкапсулирования во фреймы SONET/SDN. Затем формируется заголовок фреймов (подуровень WIS) и выполняется дополнительное скремблирование. В результате поток адаптируется к скорости передачи SONET/SDN.

Среда оптической связи соединяет интерфейсы MDI. Симметричная модель оптической связи включает канал связи и оптические соединители. Тракт передачи и приёма данных спецификации 10GBase-X представлен реализацией 10GBase-LX4. Канал связи использует мультиплексирование WDM с разделением длин волн на 4 потока (полосы) данных. Модулированные оптические несущие мультиплексируются ( $4 \times 3,125 = 12,5$  Гбит/с) на выходе MDI. На выходе оптического кабеля принимаемые 4 потока оптических сигналов контролируются, а затем демultipлексируются и синхронизируются на приёмнике MDI. Тракт передачи спецификаций 10GBase-R/W представлен шестью реализациями: 10GBase-SR/SW, -LR/LW, -ER/EW – это одноканальная связь без мультиплексирования.

Надо отметить, что стремление сблизить технологии пассивной оптической сети (PON) и Ethernet уже привело к ряду интересных решений, например к созданию ориентированной на Gigabit Ethernet технологии EPON с увеличенным до 20 км расстоянием и мультисервисным обслуживанием. «С прицелом» на 10-Gigabit Ethernet создана рабочая группа 10GEPON для разработки стандарта гигабитной сети с числом разветвлений до 32 и дальностью до 20 км в виде двух конфигураций: симметричной (10GE + 10GE) и несимметричной (GE + 10GE). Ну и, конечно же, большие надежды во многих областях применения связаны с созданием и внедрением коммутируемых структур последовательного типа на основе гигабитных сетей.

### Перспективные сети 100-Gigabit Ethernet

Перспективы создания 100-гигабитной сети Ethernet (100GE) впервые обсуждались на пленарном заседании Группы по изучению быстрых систем при комитете IEEE 802.3 в 2006 году. Особенности новой технологии определяются следующими требованиями: обеспечить сверхбыструю только дуплексную связь; сохранить на уровне сервиса форматы кадров Ethernet 802.3,

включая минимальный и максимальный размеры; обеспечить дальность передачи 10 км по одномодовому волокну и 100 м по многомодовому волокну; поддерживать скорость передачи 100 Гбит/с. Эта технология предполагает применение как в локальных, так и в глобальных сетях. Рассматриваются вопросы создания интерфейсов 100GE для передачи данных по транспортным сетям WDM и CDWM, использования многопротокольной коммутации по меткам (MPLS) вместе с технологией 100GE для организации больших сетей, а также разработки метода GPF-инкапсуляции кадров для передачи по сетям SDH/WDM.

Предполагается использовать сверхбыстрый 100-Gigabit Ethernet в многопроцессорных системах высокой производительности самого различного назначения. Другой важной областью

применения 100GE является создание распределённых систем с радиусом до 10 км.

Создание окончательной спецификации стандарта 100-Gigabit Ethernet ожидается к 2010 году.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Ethernet по праву считается самой популярной в настоящее время технологией локальных сетей. Она имеет широчайший спектр применений, в том числе в системах АСУ ТП, управления производством, предприятиями, распределёнными объектами, и даже адаптируется к решению задач реального времени, а также начинает применяться в региональных и глобальных сетях. Огромный практический опыт, сформировавшийся в ходе эксплуатации Ethernet в различных областях применений, позволил «отшлифовать»

эту технологию, обеспечить высокую степень надёжности при относительно низкой стоимости оборудования.

Оставляя неизменными формат и размер фреймов, технология Ethernet постоянно развивается и совершенствуется, прежде всего, в направлении повышения скорости передачи данных. Появляются и стандартизируются её специализированные модификации, ориентированные на более узкие области применения.

Новое поколение промышленных систем управления начинает переходить на гигабитные сети Ethernet, всё шире используются кольцевые топологии или многокольцевые структуры, обеспечивая высокую надёжность сетевых решений. В недалёкой перспективе – создание широкополосных коммутируемых промышленных сетей 10-Gigabit Ethernet. ●