

# Ethernet в ближайшем будущем

Майк ДЖОНС (Mike JONES)  
Перевод: Злата КАЛЮЖНАЯ\*

**С недавнего времени Ethernet официально добавлен в список сетей, применяемых в автомобильном транспорте, к ним относятся CAN, LIN, FlexRay и MOST. Но почему Ethernet вошел в этот список и для каких специфических применений? И, что еще более важно, соответствует ли Ethernet тем требованиям, которые предъявляются к автомобильным бортовым сетям?**

## Введение

Ethernet в настоящий момент — это преобладающая технология в локальных сетях, и она подходит как для сетей промышленных предприятий, так и для офисных и бытовых сетей. Ethernet — это простая, надежная технология с открытым стандартом. А благодаря объемам продаж на офисном рынке стоимость реализации технологии Ethernet невелика.

Изначально Ethernet применялся в системах встроенной диагностики (On-board Diagnostics, OBD). Теперь OBD по Ethernet используются и для диагностики, и для загрузки программного обеспечения (ПО) во внутреннюю оперативную память, и для записи информации на жесткие диски. Принятие Ethernet в качестве автомобильной сети ускорится с введением стандартизированного интерфейса IP-диагностики, описанного в ISO13400.

Подключение стандартного Ethernet-кабеля CAT5 к порту OBD позволит сервисным центрам проводить тестирование с помощью обычного ноутбука или же для этого можно будет использовать внутреннюю сеть предприятия. А это значительно сократит усилия при проведении диагностики транспортного средства. Загрузка новых версий ПО будет происходить гораздо быстрее благодаря увеличению скорости сети до 100 Мбит/с или же до 1000 Мбит/с.

Применение Ethernet на портах OBD позволяет автомобилю иметь доступ к «Всемирной паутине». К примеру, порт можно легко подключить к беспроводному модулю, и это позволит проводить удаленную диагностику или загружать навигационные карты, видео. А новый стандарт реального времени — Ethernet AVB (Audio-Video Bridging) — даст возможность получить высокоэффективные развлекательно-информационные сетевые решения.

## Тепловые и EMC-характеристики

Известно, что сети Ethernet, работающие в аппаратуре управления производственны-

ми процессами, имеют достаточно высокую производительность. Высокие температуры, сильные вибрации, высокий уровень радиации EMC, пыльная или влажная окружающая среда типичны для таких применений. Повышение температуры выше стандартных +85 °C не вызовет перегрева Ethernet-устройств благодаря их низкому энергопотреблению. Например, однопортовый Fast Ethernet Ethernet 10/100BaseT/TX трансивер — KSZ8041NL AM, выполненный по стандарту AECQ-100, потребляет всего 175 мВт. Он заключен в термически защищенный корпус MLF (5×5 мм). Отметим, что в семействе KSZ8041NL есть вариант, соответствующий военной спецификации, который работает при температуре окружающей среды до +125 °C.

KSZ8041NL AM имеет стандартный интерфейс MII для связи с MAC-контроллером. Или интерфейс RMII (сокращенный интерфейс).

Особенности:

- Режимы управления питанием.
- Наличие выхода на 50 МГц для MAC.
- Напряжение питания: 3,3 В.
- Встроенный стабилизатор для питания ядра.
- Улучшенная защита от ESD.

Дополнительные возможности:

- Автоматическое переключение MDI/MDI-X.
- Аппаратный блок диагностики состояния кабеля LinkMD.

Трансиверы выпускаются в корпусе 32-MLF, температурный диапазон — от -40 до +85 °C.

В соответствии с повышенными требованиями к устройствам для промышленного и автомобильного рынков новейшие микросхемы для Ethernet уже сегодня выпускаются со значительно улучшенными характеристиками по ESD (Electrostatic Discharge, электростатический разряд). Это значительное изменение по сравнению с изначальным, офисным применением, где проблема ESD не считалась серьезной. К примеру, в трансиверах серии KSZ8041 и в контроллерах KSZ8851 компании Micrel обеспечена защита от ESD >6 кВ, что соответствует тесту по HBM (Human Body

Model, модель человеческого тела). Стартовые наборы для этих микросхем показали даже лучшие результаты: они обеспечивают защиту от контактных разрядов >16,5 кВ без необходимости применения каких бы то ни было внешних устройств защиты от перенапряжений. Столь высокий уровень защиты превосходит требования по электромагнитной совместимости главного автомобильного стандарта BMW GS 95002.

## Кабели и разъемы

В настоящее время не существует стандарта разъемов и кабелей для автомобильного Ethernet. Ethernet-разъем RJ45 и кабель CAT5 доказали свою высокую надежность и остаются чрезвычайно популярными во многих областях, включая и промышленную.

Вероятно, в первое время в автомобилях будут применяться уже существующие разъемы и кабели, причем у каждого производителя свои. Ethernet PHY (трансиверы) можно применять с этими разъемами и кабелями без существенного ухудшения характеристик. Стандартный кабель CAN имеет характеристики, сходные с неэкранированной витой парой CAT5. Тестирование показало, что можно в течение длительного периода времени передавать данные по Ethernet без ошибок и по CAN-кабелю длиной до 100 м. Основное отличие между ними — кабель для CAN лишь частично стандартизован и не обеспечивает контролируемого импеданса, и для него не определен шаг скрутки кабеля. Как следствие, нельзя гарантировать достоверность передачи данных, и именно поэтому кабель CAN не подходит для передачи данных на высоких скоростях. CAN-кабель сейчас используется в основном для встроенной диагностики по Ethernet и обновления ПО.

Кабели, предназначенные для передачи данных на высоких скоростях, такие как LVDS, USB и Ethernet в автомобильном применении, — это кабели Leoni, например витая пара Dascar 503. Это экранированный кабель с контролируемым импедансом в 100 Ом, он

\* Переводчик добавил в статью описание микросхем, предназначенных для применения в автомобильной промышленности.

подходит для работы до 1 Гбит/с, а его характеристики ближе скорее к CAT6, чем к CAT5. На самом деле это не совсем витая пара, это четыре провода, скрученные по Stern-Vierer («звезда с четырьмя проводами»).

Чтобы повысить надежность, применяются технологии, которые выходят за пределы, определенные стандартами Ethernet, например технология диагностики кабеля LinkMD компании Micrel. Диагностика кабеля с помощью LinkMD осуществляется путем измерения коэффициента отражения (Time Domain Reflectometry, TDR), при этом каждая витая пара анализируется на:

- разрыв цепи;
- короткое замыкание;
- несоответствие импеданса.

Существует альтернатива медному кабелю — пластиковое оптоволокно (Plastic Optical Fiber, POF). Производители автомобилей уже хорошо знакомы с этой физической средой передачи, поскольку обычно именно она применяется в сетях MOST. Та же технология, которая используется в MOST (включая новый MOST-150), — 1-мм LED POF — может применяться для передачи данных по Fast Ethernet со скоростью до 100 Мбит/с на расстояние до 100 м. Пластиковое оптоволокно чрезвычайно надежно, мало весит и, как любая оптика, невосприимчиво к электромагнитному шуму.

## Энергопотребление

Энергопотребление автомобильной электроники становится все более критичным и значимым фактором для экономии топлива. Чтобы успешно разработать проект с малым потреблением мощности по Ethernet, сначала нам будет важно понять, где эта мощность рассеивается. В любом Ethernet-устройстве основное рассеивание мощности происходит на трансивере (PHY).

Обычно трансиверы — это простые драйверы, которые работают в непрерывном «нагруженном» режиме. Мощность рассеивается как внутри микросхемы PHY, так и снаружи — в трансформаторе. На рис. 1 показано рассеивание мощности в цепях Ethernet PHY для режима Current-Mode.

В технической документации на микросхемы, работающие по Ethernet, обычно публикуют только текущее потребление тока —  $I_{phy}$ . Для того чтобы вычислить полное потребление тока в схеме, необходимо учесть (как это было сказано выше) рассеивание мощности и в трансформаторе. Чтобы учесть ток в трансформаторе ( $I_{trans}$ ), разработчик должен добавить примерно 40 мА для 100Base-TX или 70 мА для PHY 10Base-T.

Таким образом, мощность, рассеиваемая вне PHY, довольно существенна и, как правило, составляет приблизительно 30–50% полного потребления тока схемы PHY.

Новое поколение микросхем, выпускаемых фирмой Micrel, — KSZ8021/31/51 — представляет собой семейство Fast Ethernet PHY-драйверов, в которых применена смешанная аналогово-цифровая архитектура вместе с запатентованной улучшенной DSP-обработкой. Все это позволило получить самое низкое в отрасли энергопотребление. Таким образом, сама микросхема в целом имеет уровень расхода энергии подобно другим микросхемам ведущих изготовителей Ethernet PHY — менее 50 мА. Однако в этом случае не происходит потери энергии во внешнем трансформаторе, так как драйвер работает в режиме драйвера напряжения, а не в режиме драйвера тока.

Следовательно, по сравнению с микросхемами конкурентов, достигается сохранение 50% расхода электроэнергии по сравнению с полным расходом энергии схемы. Проект расположения компонентов на PCB также упрощается, снижаются и другие аппаратные затраты, поскольку в микросхеме KSZ8021/31/51 терминация уже встроена (рис. 2).

Трансиверы серии KSZ8051, соответствующие автомобильному стандарту AECQ-100, уже доступны для заказа.

Чтобы далее исследовать, как же сократить расход энергии, необходимо понимать, как работает линия связи Ethernet.

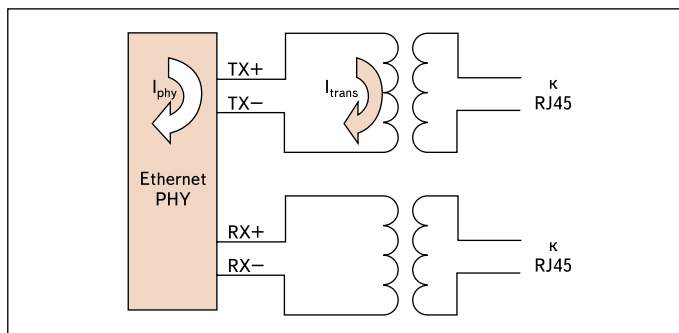


Рис. 1. Рассеивание мощности в цепях Ethernet PHY для режима Current-Mode

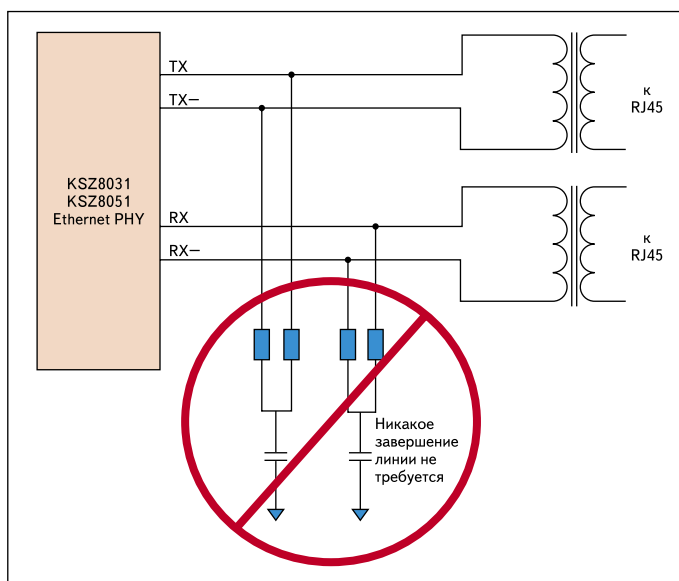


Рис. 2. В микросхемах PHY KSZ8021/31/51 терминирование линии встроено, поэтому нет необходимости в применении дополнительных компонентов

Если мы проведем анализ сетевого трафика, то обнаружим долго длящиеся тихие периоды, которые чередуются с относительно кратковременными «вспышками» трафика. В течение этих тихих периодов можно ожидать, что расход энергии Ethernet будет снижен, но оказывается, что это происходит не всегда. Оба стандарта связи — и 1000Base-TX, и 100Base-TX — разрабатывались так, чтобы абоненты, подключенные к одной линии передачи, непрерывно «синхронизировались» друг с другом. Чтобы это согласование выполнялось и в то время, когда данные не передаются, PHY автоматически отправляет в линию символы IDLE (11111, или код 5B) так, как показано на рис. 3.

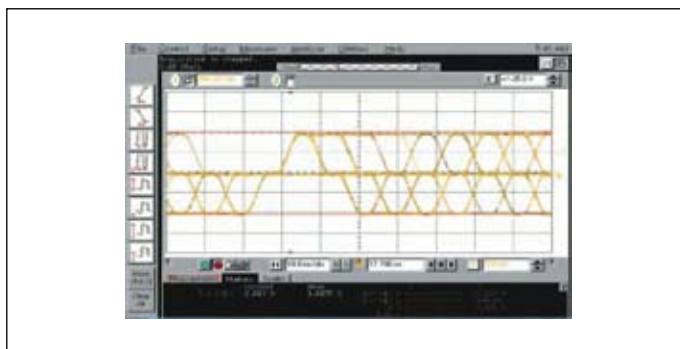


Рис. 3. Паттерн сигнала 100Base-TX в состоянии IDLE

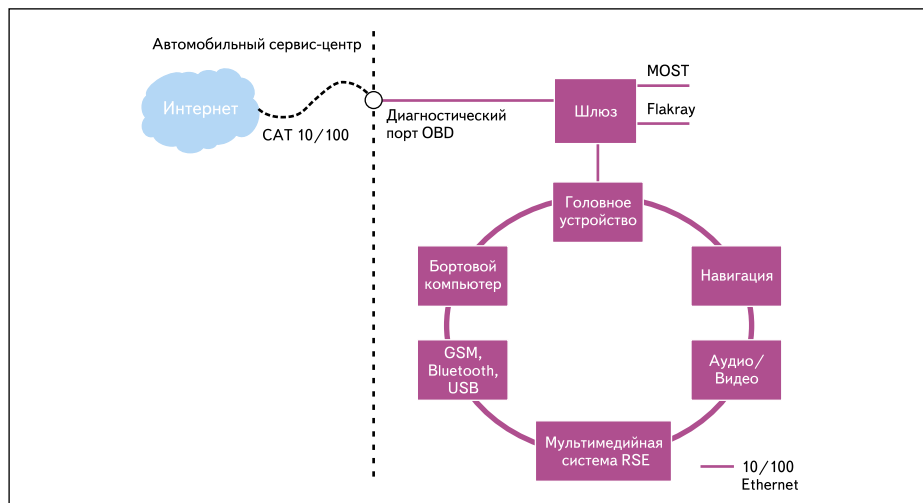


Рис. 4. Изображение сети Ethernet с топологией «кольцо»

В автомобиле сети Ethernet скорее всего будут иметь смешанную топологию «кольца» и «звезды». На рис. 4 показан вариант реализации автомобильной Ethernet-сети.

Каждый физический интерфейс можно независимо реализовать как с помощью медного кабеля, так и с помощью оптоволоконка. Как показано на рис. 4, центральный блок межсетевых интерфейсов соединяется с портом OBD и другими автомобильными сетями, такими как MOST или FlexRay. Блок межсетевых интерфейсов будет подключен к главному блоку, и уже он будет соединяться со всеми бортовыми системами — навигацией, бортовым компьютером и мультимедийной системой RSE (Rear Seat Entertainment) — по топологии «кольца» и «звезды».

### Управление Ethernet с топологией «кольцо»

В отличие от сетей MOST, в сетях Ethernet обычно запрещается применять топологию «кольца». Любые петли в сети Ethernet приведут к дублированию пакетов, а это будет способствовать ухудшению полосы пропускания и уменьшению эффективности сети. Чтобы управлять «кольцом», как правило, используются протоколы типа spanning tree (STP), которые «ломают» одну из связей, если будет обнаружена ошибка связи, и восстанавливают ее, если ошибка произойдет в другом месте в «кольце».

Отметим, что такие автомобильные коммутаторы, как 3-портовый KSZ8873MLL или 5-портовый KSZ8895MLU компании Micrel, имеют уникальные характеристики, которые позволяют применять топологию истинного «кольца» в сетях Ethernet без необходимости в управлении, используя фильтрацию пакетов по MAC-адресу отправителя.

Сегодня такие аппаратные возможности коммутаторов, как «изучение» и «пересылка пакетов», обычно бывают уже реализованы. Коммутатор «изучит» и затем будет хранить входной MAC-адрес отправителя пакета, он свяжет его с соответствующим портом в таблице «пересылка пакетов». Порт будет принимать решение о пересылке пакета после того, как сравнит MAC-адрес получателя. Если не удастся найти совпадение, то пакет будет отправлен на все выходные порты, кроме порта, на который изначально был доставлен этот пакет. В соответствии с этим механизмом MAC-адрес отправителя всегда будет только изучаться и никогда не будет использоваться в принятии решения о пересылке пакета. Фильтрация по MAC-адресу отправителя позволит отбрасывать пакеты по их MAC-адресу отправителя (вместо MAC-адреса получателя). Теперь коммутатор может обнаружить и отбросить любой пакет, который приходит с MAC-адреса отправителя, соответствующий собственному MAC-адресу процессора. Как следствие, пакеты всегда удаляются из «кольца» после одного цикла. На рис. 5 показано, как это может работать.

Поэтому в течение любого периода, когда данные по сети не передаются, передатчик в РНУ все еще работает, так же, как и при передаче данных, и поэтому он потребляет примерно такое же количество мощности. IEEE, осознав неэффективность расхода энергии в этих схемах, сформировала экспертную группу, задача которой — уменьшить расход энергии в течение периодов малого использования линии (время простоя). Эта экспертная группа (IEEE 802.3az), также известная как Energy Efficient Ethernet («Энергосберегающий Ethernet»), разработала метод LPI (Low Power Idle, режим низкой мощности в неактивном состоянии). Он позволяет отключать те части РНУ, которые не нужны в режиме неактивного состояния, но так, чтобы при этом целостность работы линии сохранялась.

Известно, что если Ethernet-трансивер не работает в активном режиме, то его программно или аппаратно можно перевести в режим отключения мощности. Однако даже в состоянии низкого потребления мощности он по-прежнему будет потреблять порядка нескольких мА, что для автомобильного применения недопустимо.

Потребление тока в автомобиле может быть уменьшено и по выходному току передатчика. В спецификации IEEE 802.3 гарантирована работа на расстояние не менее 100 м на кабель класса CAT5. Как следствие, мощность для выходного каскада РНУ задается для работы на такую длину кабеля, и выходной каскад тратит на это максимальную мощность, независимо от фактической длины подключенного к нему кабеля. В автомобильных бортовых сетях нет необходимости использовать кабели длиной 100 м, там применяются кабели гораздо меньшей длины. Соответственно, можно уменьшить мощность передатчика РНУ. Так, для передатчика, работающего по 100Base-TX, можно уменьшить уровень сигнала на 50% от стандартной амплитуды сигнала в  $\pm 1$  В и при этом производить передачу данных без ошибок.

Выходной ток передатчика в микросхемах для Ethernet, производимых фирмой Micrel, можно регулировать. Его можно задавать программно при записи кодового слова в регистры управления или изменяя рекомендуемое сопротивление, которое подключается между входом REXT и «землей». Выходной ток передатчика изменится обратно пропорционально подключенному сопротивлению. Этот метод приводит к наиболее существенным результатам: сокращается энергопотребление и уменьшаются излучаемые электромагнитные помехи.

### Топология — «кольцо» или «звезда»?

Традиционно в сетях Ethernet применяется топология «звезда», где многопортовый коммутатор с помощью отдельных линий подключен к остальным узлам сети. Однако промышленные сети обычно построены по топологии «кольцо», которая позволяет упростить прокладку кабелей. Уменьшение количества применяемых кабелей дает сразу несколько преимуществ, которые весьма существенны для автомобильной промышленности.

Основной стандартный блок в сетях с топологией «кольцо» — это 3-портовый коммутатор, например KSZ8873MLL AM, соответствующий автомобильному стандарту AECQ-100. Этот коммутатор предназначен для работы по витой паре.

Особенности новых коммутаторов:

- низкое энергопотребление;
- режимы управления питанием;
- возможность работы с мобильными процессорами;
- улучшенная система обработки QoS (включая IPv6);
- малогабаритные корпуса.

В микросхемы серии KSZ8873 также дополнительно встроены LDO для питания ядра.

Коммутаторы выпускаются в корпусе 64-LQFP, температурный диапазон — от  $-40$  до  $+85$  °C.

Коммутатор № 1 получает широковещательный пакет на порт № 3 (процессор) с адресом отправителя № 1. Пакет будет пересылаться по всему «кольцу» до тех пор, пока не вернется на коммутатор № 1. Коммутатор № 1 отбросит этот пакет, используя функцию фильтрации по MAC-адресу отправителя.

### Ethernet контроллер-коммутатор

KSZ8842-PMBL AM — это двухканальный Ethernet контроллер-коммутатор. В состав KSZ8842 входят следующие узлы:

- два малопотребляющих 10/100 приемопередатчика;
- два блока MAC;
- канал прямого доступа к памяти (DMA);
- высокоскоростной, неблокирующий коммутатор;
- внутрикристалльная память для таблицы обработки адресов — 1 кбайт;
- внутрикристалльная память для буферов кадров данных;
- интерфейс с процессором, разрядностью 8/16/32 бит, поддерживающий синхронные и асинхронные операции.

KSZ8842 может быть сконфигурирован как коммутатор (switch) или как репитер с низким временем ожидания ( $\leq 310$  нс) для встроенных или промышленных Ethernet-устройств.

Со стороны интерфейса Ethernet KSZ8842 имеет полный набор стандартных функций. Кроме того, KSZ8842 обладает расширенным набором возможностей, который включает в себя:

- работу в виртуальной сети на основе тега или порта — tag/port-based VLAN;
- поддержку режима QoS;
- счетчики событий, основанные на информации (MIB);

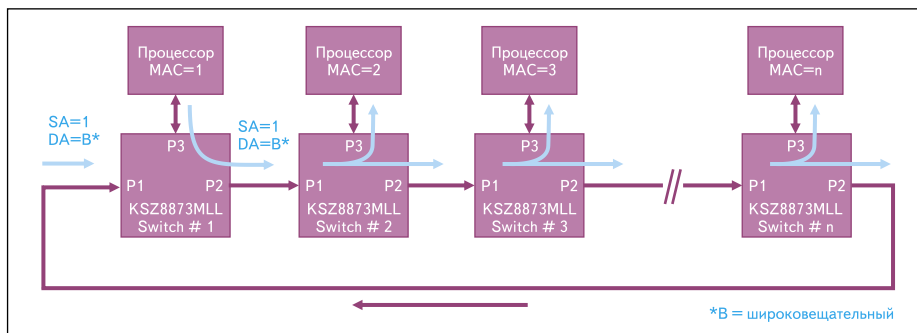


Рис. 5. Пример реализации сети Ethernet с топологией «кольца»

- интерфейс управления/данных от центрального процессора, чтобы эффективно обрабатывать адреса для приложений Fast Ethernet.

Микросхемы выпускаются в корпусе 100-GA, температурный диапазон — от  $-40$  до  $+85$  °C.

### Будущее

Неоспоримый успех Ethernet в области промышленной автоматизации доказал надежность и качество этой технологии в экстремальных условиях. Ethernet — это сочетание промышленной надежности и потребительских технологий, которые сейчас стремительно развиваются, а потому Ethernet — это прекрасная основа для реализации физического уровня и в автомобильной промышленности (таблица).

В целом нет ничего сложного в технологии Ethernet. Она проста, проверена и открыта — это основные причины для ее успеха. Стоимость — критический фактор на любом рынке, а Ethernet последовательно демонстрирует самую низкую стоимость в любой области своего применения.

Таблица. Компоненты Micrel, соответствующие автомобильной спецификации

KSZ8041NL AM	1-портовый трансивер физического уровня Fast Ethernet
KSZ8893MQL AM	3-портовый управляемый коммутатор с MII/RMII Fast Ethernet
KSZ8873MLL AM	Улучшенный 3-портовый управляемый коммутатор Fast Ethernet с MII
KSZ8842-PMBL AM	3-портовый управляемый коммутатор Fast Ethernet с PCI
KSZ8895MLU	Улучшенный 5-портовый управляемый коммутатор Fast Ethernet

Сегодня Ethernet уже применяется в автомобилях, чтобы с помощью стандартного IP-интерфейса загружать ПО и обеспечивать диагностику. Следующий шаг для Ethernet — сформировать основу для нового поколения автомобильных мультимедийных сетей, которые будут нести «живой» трафик. Новые стандарты типа IEEE 802.3AVB (Audio-Video Bridging), которые первоначально были разработаны для цифровой домашней сети, теперь приспособляются для поддержки тех же самых сервисов реального времени в автомобиле. Конечная цель состоит в том, чтобы заменить все автомобильные шины на одну общую — Ethernet. ■