

Компоненты компании NXP для автомобильных сетей Ethernet BroadR-Reach

Компания NXP давно является одним из лидеров, выпускающих передовые продукты для сектора автомобильной электроники. Портфолио компании содержит дискретные полупроводниковые компоненты, силовые приборы, датчики, интерфейсные схемы, специализированные контроллеры. NXP имеет 15-летний опыт разработки изделий для применения в автомобильных бортовых сетях. Недавняя разработка базовых компонентов для автомобильных бортовых сетей Ethernet-стандарта BroadR-Reach позволяет создавать эффективные решения и способствует широкому внедрению этой технологии передачи данных и в других секторах.

Александр САМАРИН

Использование в бортовых автомобильных сетях передачи данных технологии Ethernet в дополнение к имеющимся стандартным сетям типа CAN или FlexRay позволяет легко интегрировать в автомобиль многофункциональные системы, которые обеспечивают безопасность и комфорт как для водителя, так и для пассажиров. К подобным решениям относятся развлекательная система, которая обеспечивает трансляцию видеоконтента для пассажиров заднего сиденья, навигационная система, система помощи водителю при парковке и при движении по маршруту. В последнее время системы помощи водителю при парковке находят более широкое применение и уже стали обязательной опцией для автомобилей представительского класса (рис. 1). Автомобильные системы кругового обзора 360° Bird-View формируют панорамное изображение на экране водительского дисплея, принимая видеoinформацию от четырех видеокамер, размещенных по всем сторонам автомобиля. Сегодня они применяются в основном для оказания помощи при парковке. В будущем камеры смогут заменить зеркала заднего и бокового вида, а интеллект видеосистемы позволит реализовать такие функ-

ции, как предупреждение о выезде за пределы полосы движения, распознавание дорожных знаков, обнаружение и классификация объектов и т. д.

Для того чтобы переслать сведения об окружающей обстановке от IP-камер к видеопроцессору, а также передать видео и звук на дисплей, вмонтированные в спинки сидений, требуется высокоскоростная шина. Использование пакетной передачи и сети Ethernet позволяет значительно упростить и удешевить реализацию кабельных сетей для таких информационных систем. Решающим преимуществом применения Ethernet для автомобильных сетей является то, что Ethernet — общепризнанный стандарт. Это намного упрощает модификацию существующего программного обеспечения и приложений для автомобильных систем. Ethernet является наилучшим вариантом для широкополосных автомобильных сетей, а технология BroadR-Reach максимально соответствует потребностям данного сегмента рынка. Двухпроводная технология Broadcom BroadR-Reach Ethernet уже внедрена, например, в новом BMW X5.

В первых реализациях Ethernet в автомобильных сетях присутствовала стандарт-

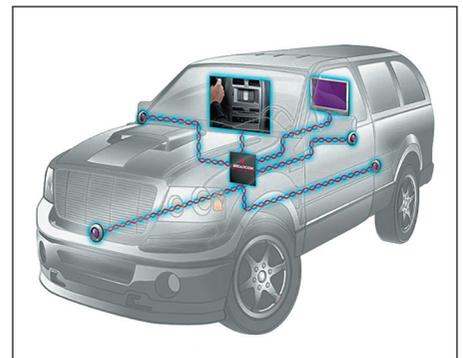


Рис. 1. Пример реализации топологии автомобильной сети BroadR-Reach Ethernet для передачи данных панорамных IP-видеокамер и мониторов

ная технология 100 Мбит/с и компоненты, предназначенные для промышленного сектора и отличающиеся повышенной надежностью и широким диапазоном рабочих температур.

Для упрощения и удешевления внедрения Ethernet в автомобильный сектор компания Broadcom Corporation предложила новый стандарт — BroadR-Reach Ethernet. Это стандарт для физического уровня Ethernet, раз-

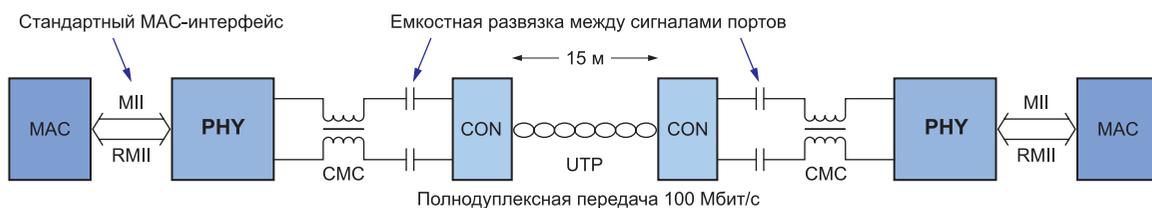


Рис. 2. В технологии BroadR-Reach Ethernet сохранен стандартный MAC-уровень, изменения затронули лишь физический уровень, который реализован на базе одной пары проводов

работанный для применений в сети передачи данных автомобиля. Технология BroadR-Reach обеспечивает одновременный доступ нескольких устройств к внутренней информационной сети при подключении через неэкранированный кабель с одной витой парой проводов. Основные преимущества для автомобильных производителей, интегрирующих стандарт BroadR-Reach Ethernet, — уменьшение цены кабельной сети и снижение ее веса.

Основные отличия технологии передачи данных BroadR-Reach Ethernet от стандартного Ethernet:

- для передачи данных используется всего одна витая пара и полнодуплексный режим с полосой 100 Мбит/с;
- вместо трансформаторной развязки в цепи передачи данных используется более простая и дешевая емкостная развязка.

Структура трансивера BroadR-Reach Ethernet отличается от структуры стандартного Ethernet-трансивера только реализацией физического уровня PHY (рис. 2). По интерфейсу MII поддерживается полная совместимость со стандартным Ethernet.

Применение новых методов модуляции PAM-3 и кодирования обеспечивает высокий уровень помехоустойчивости канала передачи при высокой скорости, а также пониженный уровень ЭМИ. Последний фактор очень важен, поскольку спектр излучения от кабельной проводной сети с полосой 100 Мбит/с как раз попадает на УКВ-диапазон, прием в котором будет значительно затруднен при высоком уровне помех. Специалистам Broadcom Corporation удалось решить эту проблему и снизить ЭМИ до такого уровня, что теперь можно обойтись без экранирования витой пары.

Наличие емкостной развязки позволяет реализовать удаленное питание блоков систем (камер, мониторов) по той же витой паре (Power over BroadR-Reach Ethernet). Это позволит подключать видеокamеры и другие элементы, не прокладывая отдельный силовой провод, что еще больше сокращает число необходимых кабелей (а значит, и суммарный вес проводки) в автомобиле. Питание подается со стороны головной части (процессорного блока).

Стандартизация BroadR-Reach

Для стандартизации и продвижения стандарта BroadR-Reach Ethernet при инициативе компании NXP в 2011 году была создана рабочая группа OPEN (One-Pair Ether-Net) Alliance SIG, представляющая интересы таких компаний, как BMW, Broadcom, Freescale, Harman, Hyundai, NXP и STMicroelectronics (рис. 3). Цель альянса — внедрение BroadR-Reach в качестве открытого стандарта для автомобильных сетей Ethernet. Группа SIG альянса OPEN занимается разработкой отраслевых требований, направленных на повы-



Рис. 3. Товарные знаки компаний — участников альянса OPEN

шению безопасности и комфорта, совершенствование информационно-развлекательных бортовых систем, а также на упрощение сетей и снижение затрат на прокладку кабелей. В настоящее время к альянсу присоединились свыше 140 членов.

Ключевые компоненты для технологии BroadR-Reach Ethernet

Для реализации технологии BroadR-Reach Ethernet бортовой автомобильной сети требуются новые компоненты, оптимизированные для жестких условий применения в автомобилях, в первую очередь микросхемы трансиверов и Ethernet-коммутаторы. Кроме того, необходимо и создание протоколов физического уровня (первые варианты были разработаны в BroadR-Reach-технологии). Компания NXP получила у Broadcom лицензию на технологию BroadR-Reach и приступила к проектированию ключевых компонентов для ее реализации.

Особенности применения сети Ethernet в автомобиле

Все используемые компоненты сети — кабель, интерфейсные и силовые коннекторы, а также микросхемы трансиверов и коммутатора — должны обеспечивать высокий уровень надежности при работе в широком температурном диапазоне (−40...+105 °С), выдерживать тряску, вибрацию, удары, которые могут возникнуть при движении транспортного средства.

Кроме того, компоненты могут подвергаться воздействию агрессивных жидкостей и газов (выхлопные газы, дорожные реагенты) и работать в условиях повышенной влажности. Важным фактором является и помехоустойчивость системы передачи

данных к излучениям другого работающего электронного оборудования автомобиля, хотя кабельная сеть и сами компоненты не должны создавать помехи, приводящие к сбоям такого оборудования. И наконец, компоненты системы, прежде всего кабельная сеть, должны иметь как можно меньший вес и стоимость. Ожидается, что типовая протяженность автомобильных Ethernet-сетей составит около 5 м, однако некоторые сети могут иметь расширение до 15 м.

Решения NXP для технологии BroadR-Reach Ethernet

Компания NXP стала первым производителем полупроводниковых решений для автомобилей, лицензировавшим технологию Broadcom BroadR-Reach для ее использования при разработке интерфейса Ethernet физического уровня (PHY). Создание совместно с TTTech интегрального коммутатора Ethernet является следующим шагом в применении данной технологии. По условиям соглашения, TTTech предоставила IP-ядро, а NXP реализовала его в коммутаторе Ethernet с интегрированным интерфейсом физического уровня. Микросхема стала первым коммутатором Ethernet, поддерживающим три класса трафика, включая стандартный трафик Ethernet для диагностики и обновления встроенного программного обеспечения электронных блоков управления (ECU), асинхронный трафик с ограничением скорости потока для аудио- и видеопотоков и данных с датчиков и синхронный трафик для управления в реальном времени и передачи данных отказоустойчивых систем. Применение коммутатора позволит создавать унифицированные бортовые сети, направляя информационные потоки критических и некритических приложений по одним и тем же каналам.

Трансивер TJA1100 для сетей автомобильного Ethernet BroadR-Reach

Микросхема TJA1100 представляет собой Ethernet PHY-трансивер, полностью совместимый со спецификациями OPEN Alliance BroadR-Reach и оптимизированный для применения в автомобилях. Трансивер обеспечивает скорости передачи и приема 100 Мбит/с при использовании с одной неэкранированной витой парой (UTP), гарантированная дальность связи — 15 м. Параметры трансивера оптимизированы для применения в таких автомобильных приложениях, как IP-камеры, системы помощи водителю, а также для образования магистральных участков сетей. Трансивер TJA1100 обеспечивает наименьшую стоимость системы передачи данных для новых поколений электронных блоков управления в автомобилях (electronic control units ECU) и IP-видеокамер для систем расширенной помощи водителю (Advanced Driver Assistance System — ADAS). Микросхема соответствует требованиям AEC-Q100 Grade 1, корпус имеет компактные размеры при размещении на печатной плате, низкое потребление и минимальное число навесных дополнительных пассивных компонентов (рис. 4).

Особенности:

- передатчик оптимизирован для интерфейса с емкостной развязкой при работе с неэкранированной витой парой;
- используется расширенное PAM-3 кодирование импульсов с низким ЭМИ;
- адаптивный эквалайзер приемника позволяет работать уверенно с кабелями длиной до 15 м;
- сниженная мощность потребления за счет оптимального конфигурирования передатчика (настройки амплитуды сигнала под реальную длину кабеля);
- спящий режим PHY для сокращения потребляемой мощности;
- спящий режим с малым энергопотреблением с поддержкой локального «просыпания»;
- «умный» режим удаленного управления спящим режимом через шину данных;
- мониторинг падения напряжения питания с активацией безопасного режима трансивера при аварии напряжения;
- оптимизированный режим драйверов интерфейсов Media Independent Interface (MII) и Reduced MII (RMII) для уменьшения уровня ЭМИ;

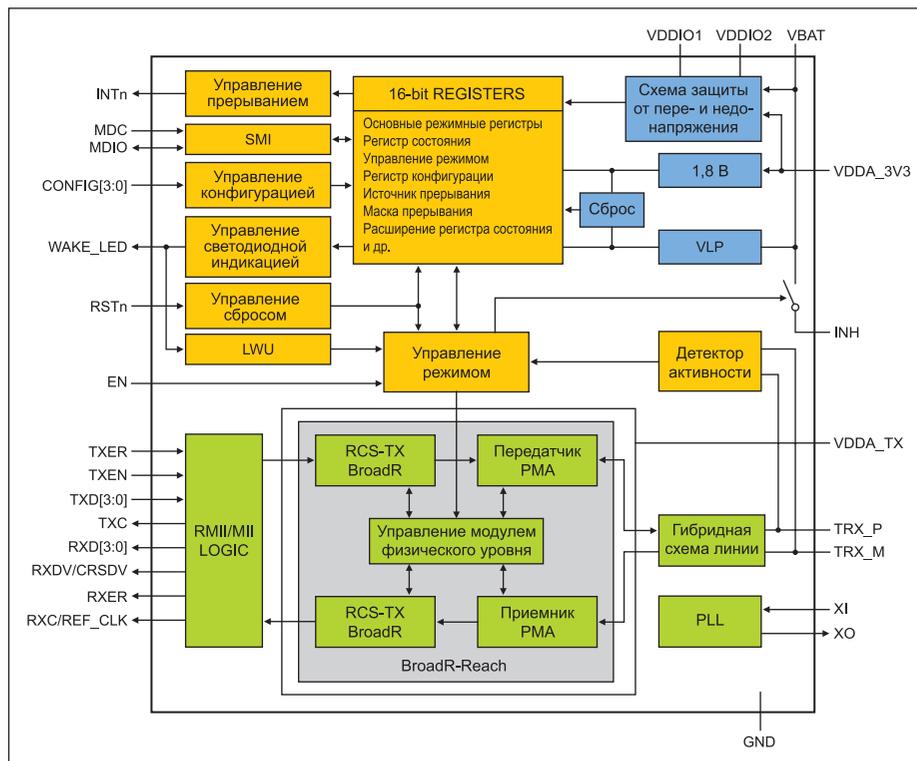


Рис. 4. Структура микросхемы трансивера TJA1100

- диагностика неисправности кабельного соединения (короткое замыкание или обрыв);
 - компактный корпус HVQFN-36;
 - габариты корпуса: 6×6×0,85 мм;
 - выводы интерфейса MDI имеют ESD-защиту на уровне 6 кВ HBM и 6 кВ IEC61000-4-2;
 - выводы интерфейса MDI имеют защиту от пробоя при сверхтоках, протекающих в соседних с автомобильной системами;
 - рабочий температурный диапазон: -40...+125 °C;
 - соответствие квалификационным требованиям надежности для автомобильных электронных компонентов стандарта AEC-Q100.
- Дополнительные возможности:
- интерфейсы MII и RMII полностью совместимы со стандартными интерфейсами обычного Ethernet;
 - реализован топологический режим обратного подключения для MII при параллельном соединении двух PHY-трансиверов;
 - питание: -3,3 В (встроенный 1,8-В LDO-стабилизатор напряжения);
 - встроенные выравнивающие резисторы для согласования с UTP-кабелем;

- встроенный буфер кадров на 16 кбайт;
- внутренний, внешний и удаленный обратные тестовые шлейфы (loopback) для режимов диагностики прохождения данных;
- выводы соединения с витой парой (шина) имеют защиту от короткого замыкания и от пробоя при контактах с шинами аккумуляторной сети автомобиля (включая фильтр common mode choke и 100-нФ конденсаторы развязки);
- светодиодная индикация линка для диагностики сети.

В целом структура трансивера идентична структуре трансивера стандартного порта Ethernet. Отличительный компонент в структуре — блок BroadR-Reach, который обеспечивает управление физическим уровнем: прием и передачу данных. В схеме гибрида (Front-End Hybrid) производится разделение данных приемника и передатчика.

На рис. 5 показана схема соединений портов сети BroadR-Reach Ethernet на базе трансивера TJA1100.

На рис. 6 показана схема согласования выходов трансивера с кабельной линией и защита линейных входов/выходов микросхемы.

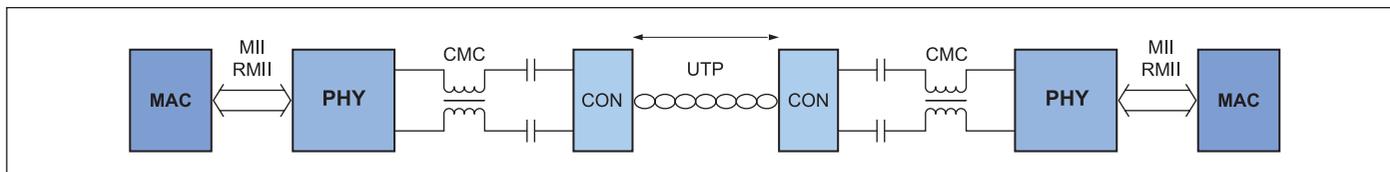
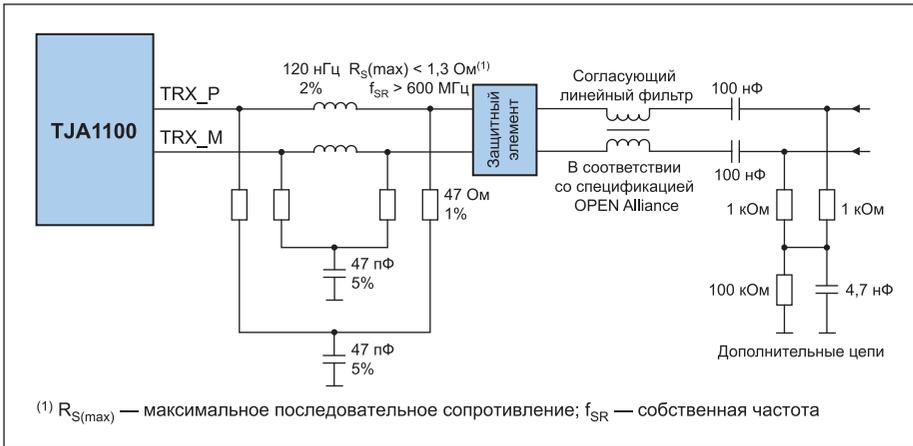


Рис. 5. Схема соединений (физический уровень) автомобильной сети Ethernet на базе трансиверов TJA1100



(1) $R_{S(max)}$ — максимальное последовательное сопротивление; f_{SR} — собственная частота

Рис. 6. Схема согласования с кабельной линией и защита линейных входов/выходов трансивера TJA1100

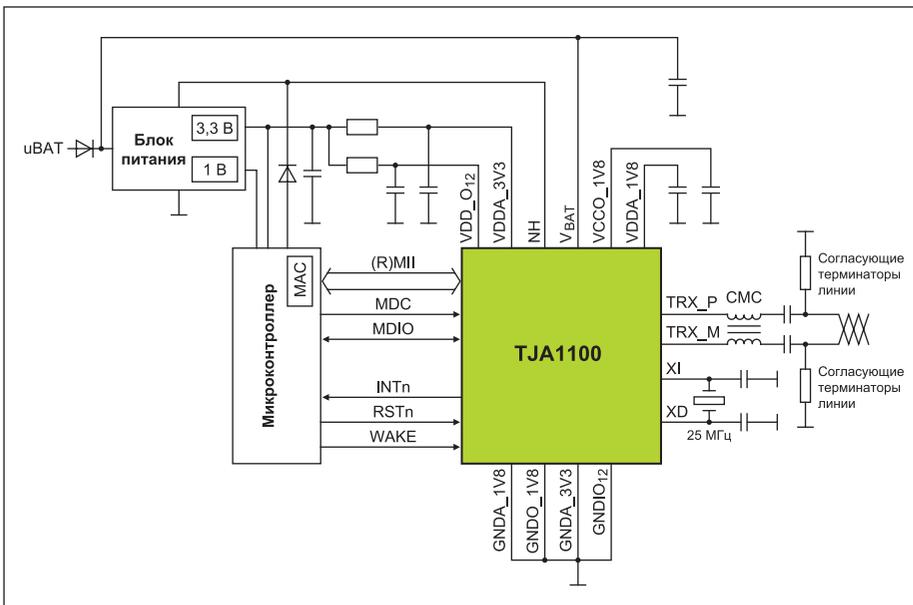


Рис. 7. Схема использования микросхемы трансивера TJA1100

Области применения:

- IP-камеры (для автомобильных систем парковки bird's-eye views — синтезированное с нескольких камер изображение вида автомобиля сверху в окружающей обстановке);
- компьютерные системы помощи водителю (Advanced Driver Assistant Systems ADAS);
- магистраль системы передачи данных;
- цифровая видеосистема HD-качества.

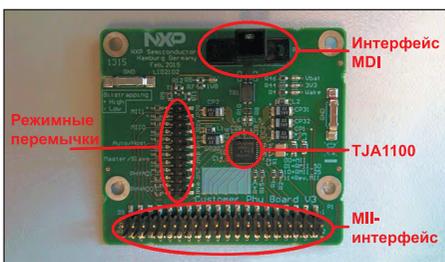


Рис. 8. Общий вид отладочной платы с трансивером TJA1100

Физический уровень применительно к автомобильным стандартам:

- температурный диапазон: $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- емкостная развязка и использование одной витой пары в кабеле UTP (длина до 15 м);

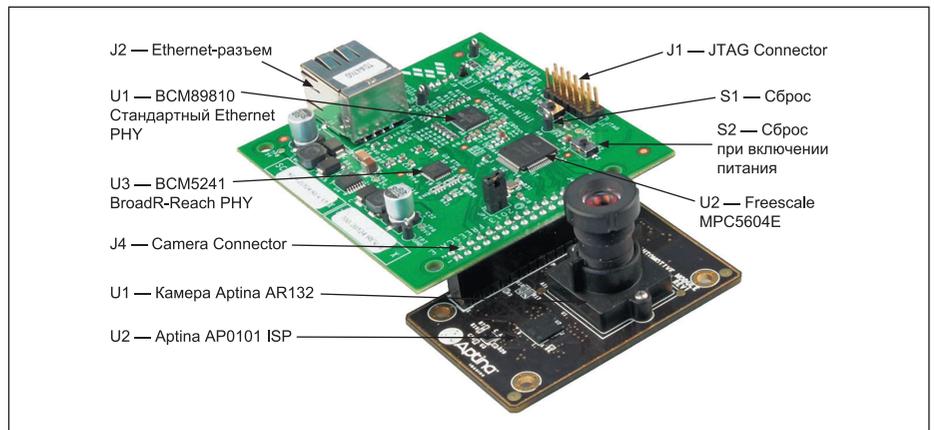


Рис. 9. Qorivva MPC5604EKIT — отладочный набор для работы с видеокамерой

- MDI-выводы с ESD-защитой по классу $\pm 6\text{ кВ}$ (HBM, IEC61000-4-2) и защитой от коротких импульсов по ISO 7637;
- низкий уровень ЭМИ благодаря использованию в трансивере модуляции сигналов PAM-3;
- МП и RMII с EMC-оптимизацией параметров драйвера;
- интегрированный 1,8-В LDO-стабилизатор напряжения, позволяющий использовать для питания микросхемы всего один источник питания 3,3 В;
- компактный корпус HVQFN36;
- совместимость с AEC-Q100;
- встроенная диагностика и защита от зависания;
- защита от перегрева;
- обнаружение неисправности кабеля (обрыв и короткие замыкания);
- плавная защита при перенапряжениях питания и переход в защитный режим функционирования;
- встроенные проверочные шлейфы: внутренний, внешний и удаленный (remote loopback mode);
- предусмотрен вывод для экстренного режима выключения (emergency shutdowns);
- диагностика наличия связи (Link) со светодиодной индикацией.

На рис. 7 показана схема включения микросхемы трансивера TJA1100 с удаленным управлением спящим режимом.

Отладочная плата трансивера TJA1100

Для упрощения отладки и сокращения сроков разработки прикладных интерфейсов BroadR-Reach Ethernet компания NXP предлагает специалистам готовую отладочную плату на базе трансивера TJA1100. С помощью простых коммутаций компактный модуль может быть легко и просто интегрирован в проектируемую систему передачи (рис. 8).

Отладочный набор Qorivva MPC5604EKIT

Отладочный набор разработан подразделением Freescale компании NXP и обеспечивает

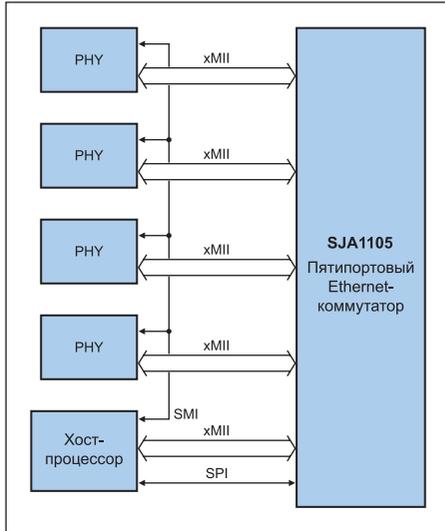


Рис. 10. Блок-схема интерфейсов коммутатора

сопряжение встроенной видеокамеры с портом BroadR-Reach Ethernet PHY. Применение готового набора MPC5604EKIT может сократить цикл разработки пользовательской системы на базе технологий BroadR-Reach Ethernet (рис. 9).

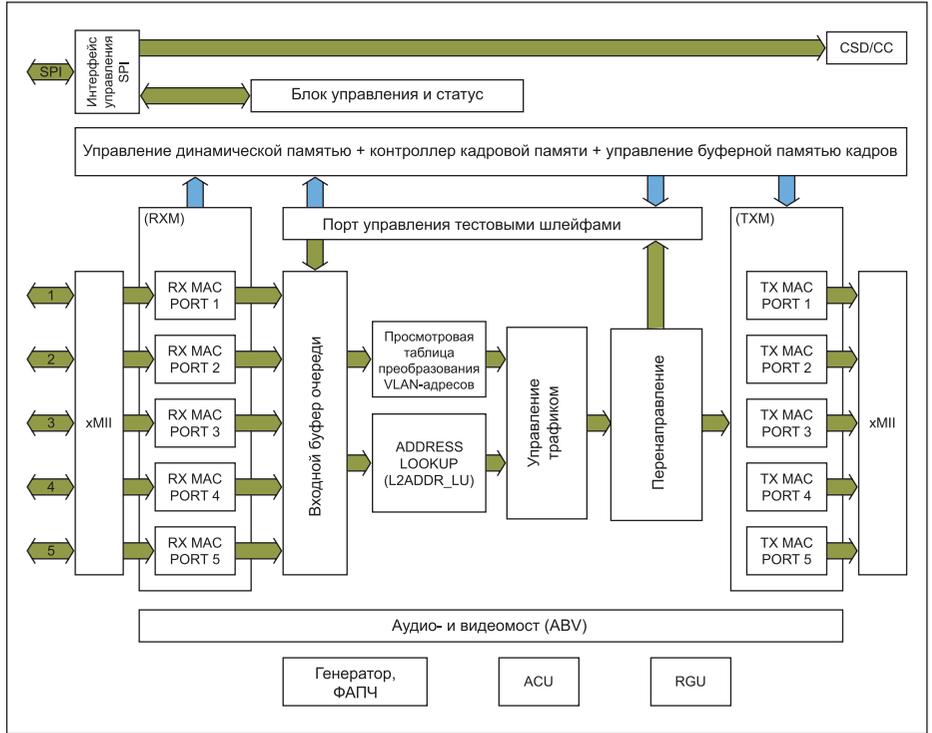
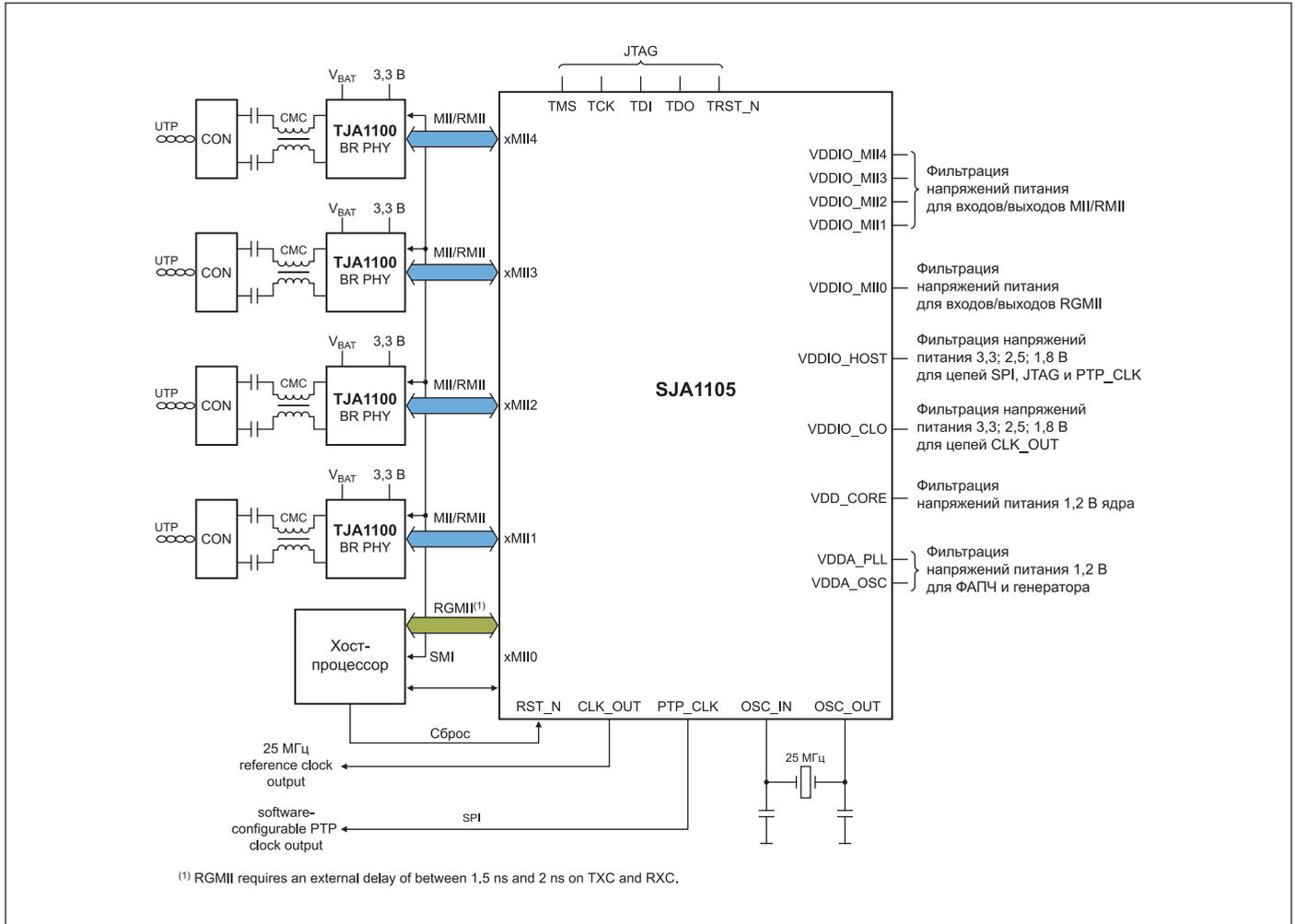


Рис. 11. Блок-схема микросхемы коммутатора SJA1105



(1) RGMII requires an external delay of between 1.5 ns and 2 ns on TXC and RXC.

Рис. 12. Схема реализации модуля коммутатора на базе микросхем SJA1105 и трансиверов TJA1100

SJA1105 — 5-портовый коммутатор для автомобильных сетей Ethernet

Разработка коммутатора Ethernet для бортовых систем автомобилей проводилась совместно с компанией TTTech.

Микросхема коммутатора поддерживает технологию BroadR-Reach Ethernet PHY, продвигаемую членами OPEN Alliance. Коммутатор специально спроектирован для рынка автомобильной электроники, однако его можно использовать и в других областях, где востребована повышенная надежность и устойчивость к внешним воздействиям. Прежде всего, в промышленной электронике.

Основные характеристики коммутатора:

- 5-портовая архитектура;
- каждый порт может быть индивидуально сконфигурирован под MII- или RGMII-режим и на скорости передачи 10 или

100 Мбит/с, а в режиме RGMII — на скорости 10, 100 или 1000 Мбит/с;

- конфигурируемое напряжение для уровней интерфейса I/O;
- компактный корпус: LFBGA159 (12×12 мм);
- автомобильное исполнение по рабочему температурному диапазону $-40 \dots +105 \text{ }^\circ\text{C}$;
- соответствие требованиям стандарта надежности AEC-Q100.

Характеристики режимов коммутации Ethernet:

- полная совместимость со стандартом IEEE 802.3;
- длина буферной памяти 128 кбайт для кадров;
- таблица 1024 MAC-адресов;
- поддержка статического и динамического режима обучения адресам;
- работа с кадрами до 2 кбайт;
- поддержка IEEE 802.1Q;

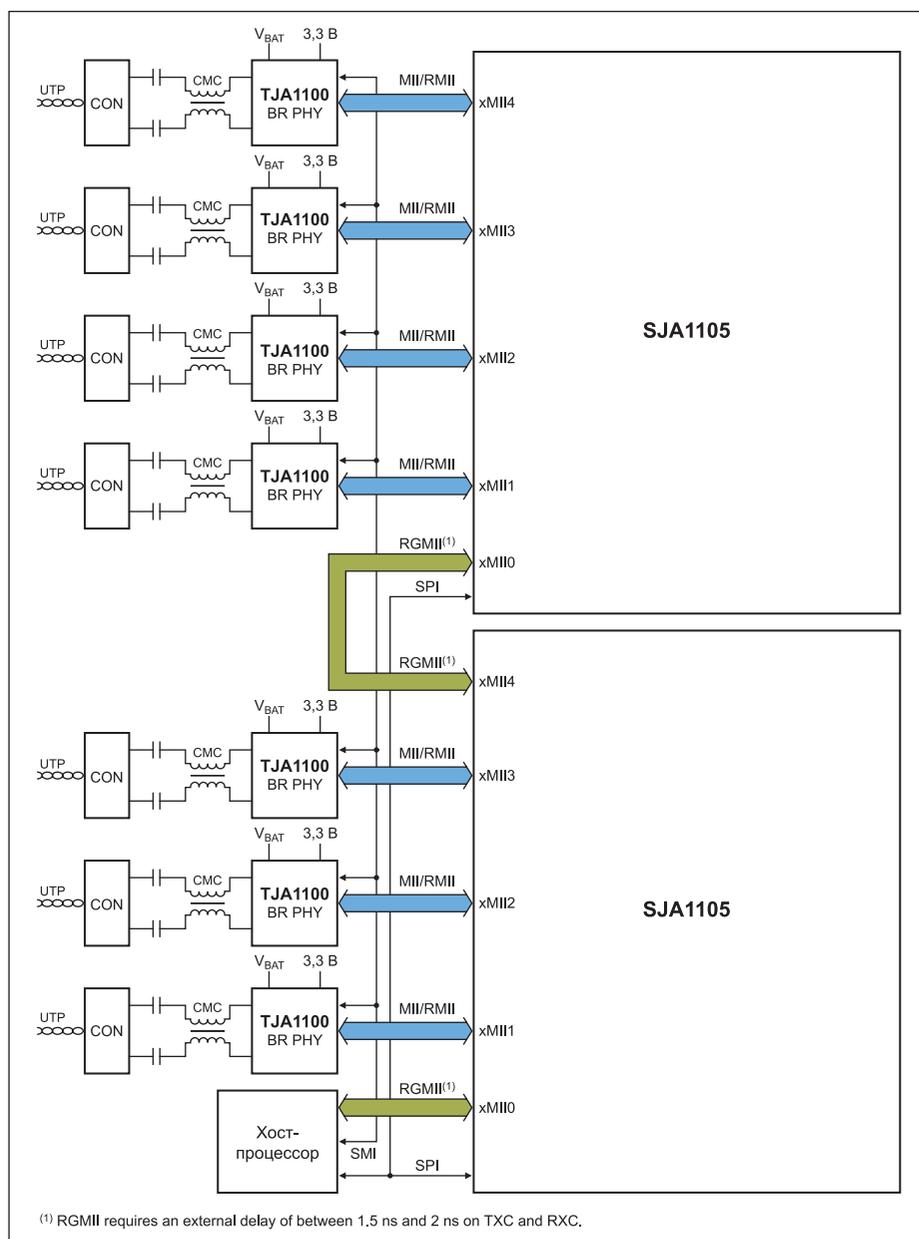


Рис. 13. Схема каскадирования микросхем коммутатора SJA1105 для расширения числа портов до восьми штук

- 4096 VLANs;
- режим входящих tagging/untagging на каждый VLAN;
- поддержка QoS по IEEE 802.1Q;
- широковещательный трафик;
- повтор кадров, работа с тегами трафика;
- зеркальное отображение кадров для расширенной диагностики;
- аппаратная поддержка IEEE 802.1AS IEEE 802.1Qav трафика AVB;
- установка временных меток входящих и исходящих кадров в каждом порту;
- поддержка трафиков AVB SR Class A, Class B и Class C;
- аппаратная поддержка IEEE 1588v2 one-step sync forwarding;
- поддержка режима IEEE 802.1X, отмена режима address learning;
- защита от широковещательного шторма в канале;
- ведение статистики потерянных кадров и загрузки буфера.

Микросхема коммутатора связана через интерфейсы (рис. 10) xMII с трансиверами портов, а также с хост-процессором. Через управляющий порт SPI производится конфигурирование коммутатора и мониторинг состояния режимов и портов.

Через интерфейс SMI осуществляется управление настройками трансиверов портов Ethernet.

На рис. 11 показана блок-схема микросхемы коммутатора SJA1105.

На рис. 12 приведена схема реализации модуля коммутатора на базе микросхем SJA1105 и трансиверов TJA1100.

На рис. 13 представлена схема каскадирования микросхем SJA1105 для расширения числа портов до восьми штук.

Особенности кабельной сети BroadR-Reach Ethernet

Производители утверждают, что использование BroadR-Reach Ethernet позволит уменьшить стоимость проводной сети на 80%, а вес кабельных соединений на 30%. Однако если реализовывать ключевое преимущество — питание подключаемых Ethernet-устройств через витую пару, то потребуются увеличение сечения проводов, а это приведет к повышению стоимости и веса кабельной сети.

Компания Leoni Dasa разработала кабели, оптимизированные для BroadR-Reach Ethernet, с сечением жил 0,13–0,35 мм², без экранирования и с экранированием витых пар (рис. 14).

Большое сечение позволяет уменьшить омические потери на проводах при питании Ethernet-устройств (камер, дисплеев) от источника, расположенного на стороне коммутатора.

Несмотря на то, что технология BroadR-Reach Ethernet позволяет обеспечивать duplexную передачу и по неэкранированной

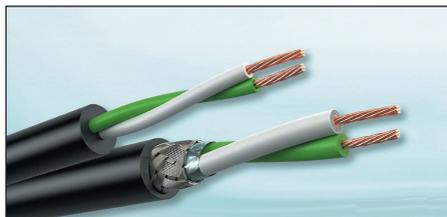


Рис. 14. Кабели витой пары в экране и без, предназначенные для использования в автомобильных сетях BroadR-Reach Ethernet

витой паре, использование экранированных кабелей в любом случае создает лучший уровень защиты от ЭМИ и внешних помех. Стоимость кабельных соединений сопоставима со стоимостью других компонентов. Поэтому более существенным является повышение надежности работы сети, а не уменьшение на несколько процентов стоимости кабельной сети. Защитная оболочка кабеля гарантирует надежность при высоком уровне вибраций, высокой влажности, в широком диапазоне рабочих температур, вплоть до +125 и даже до +150 °С. Использование материалов CuAg, CuMn, CuSn обеспечивает малое сопротивление. Кабель обладает и малой проходной емкостью, что обеспечивает большую полосу пропускания для передачи данных. На рис. 14 показан общий вид кабелей Leoni Dacar, предназначенных для сетей BroadR-Reach Ethernet.

Пока не разработан стандарт коннекторов для сетей BroadR-Reach. В качестве базового коннектора рекомендуется применять соединители фирмы Molex серии Mini50, специально предназначенные для работы в жестких условиях эксплуатации — при наличии тряски, вибраций, в широком диапазоне рабочих температур, в условиях высокой влажности и агрессивных сред.

Коннекторы Molex Mini50

Коннекторы предназначены для широкого применения в автомобильной электронике — подключение видеокамер, датчиков, управление кондиционером, аудиосистемами, режимными переключателями, а также для подсоединения портов BroadR-Reach

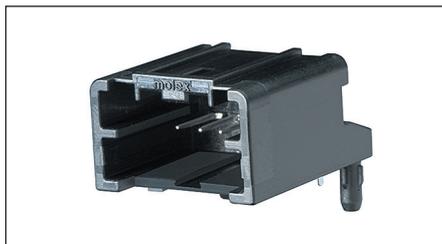


Рис. 15. Общий вид вилки коннектора Molex Mini50 для установки на плату

Ethernet (рис. 15). Диапазон рабочих температур –40...+105 °С. Рабочие токи для разных модификаций находятся в пределах 4–16 А на контакт.

Заключение

Процесс развития внутренних сетей автомобилей набирает обороты. Активное внедрение новых технологий сетевых информационных и управляющих интерфейсов обеспечивает повышение комфорта и безопасность автомобильного транспорта. Ethernet уверенно осваивает все новые сектора приложений за счет малой цены реализации и наличия готовых решений, уже успешно использованных в других отраслях.

Разработка NXP серийных ключевых компонентов позволит уже в ближайшее время проводить массовое внедрение Ethernet в автомобили различных классов.

Это поможет расширить сферу использования, создавать множество параллельных применений для промышленных сетей, а также для медицинских целей.

Технология однопарного варианта Ethernet продолжает развиваться в сторону повышения скорости передачи до 1 Гбит/с. В июне 2013 года IEEE создал группу IEEE 802.3bp Reduced Twisted Pair Gigabit Ethernet (RTPGE) для разработки однопарного варианта технологии Gigabit Ethernet. Планируемая максимальная дальность составляет 15 м, это более чем достаточно для автомобильных систем, в которых обычно расстояние между крайними точками не превышает 3,5 м. Выход на гигабитный уровень позволит обеспечить передачу видео высокого разрешения, в том числе и без специального сжатия. ■

Потенциал применения технологии BroadR-Reach

- **Традиционные сектора рынка:**
 - промышленная автоматизация;
 - автоматизация производства;
 - обработка материалов, производство автомобилей, грузоперевозки;
 - автоматизация производства, в том числе в нефтегазовой, химической индустрии, производстве продуктов питания и т. п.;
 - автоматизация отраслей энергетики;
 - генерация энергии;
 - передача и распределение энергии;
 - автоматизация зданий;
 - климат-контроль;
 - системы пожарной безопасности.
- **Новые рынки:**
 - авионика;
 - проводные системы связи;
 - пассажирский транспорт.
- **Железнодорожный транспорт:**
 - управление составом;
 - системы управления трафиком железнодорожного транспорта.
- **Медицина:**
 - системы получения и передачи изображений пациента, управление системами жизнеобеспечения пациента.

Литература

1. SJA1105 5-port automotive Ethernet switch. Product data sheet NXP // NXP Semiconductors. 1–7 November 2016.
2. TJA1100 OPEN Alliance BroadR-Reach PHY for Automotive Ethernet. Product data sheet NXP // NXP Semiconductors. 2–21 July 2016.
3. TR1329 TJA1100 Customer Evaluation Board. User Guide. User Manual // NXP Semiconductors. 1–12 January 2016.
4. Qorivva MPC5604EKIT: Development Kit Enabling Video Over Ethernet with Qorivva MPC5604E MCU. Quick Start Guide. NXP. www.nxp.com
5. Автомобильный Ethernet: комплексный подход к следующему поколению сетевого стандарта для автотранспорта // Control Engineering Россия. 2013. № 1.
6. OPEN Alliance BroadR-Reach Physical Layer Transceiver Specification for Automotive Applications, V3.2. 24 June 2014.