

Применение устройств гальванической развязки цифрового сигнала iCoupler® в интерфейсах RS-232, RS-485 и CAN

Scott WAYNE
Перевод: Алексей ВЛАСЕНКО
alexey.vlasenko@analog.com.ru

В самых различных устройствах, например, промышленных системах управления, источниках питания, линиях связи, данные между компьютерами передаются по различным интерфейсам, таким как RS-232, RS-485, CAN и др. Каждое из соединяемых устройств обычно имеет свой собственный блок питания, и они зачастую находятся на большом расстоянии друг от друга. Поэтому обычно в таких случаях требуется гальваническая развязка, которая выполняет функции изоляции общих («земляных») цепей соединяемых устройств. Кроме этого, гальваническая развязка осуществляет защиту всей системы от высоковольтных переходных процессов, способствует уменьшению помех и искажений сигналов.

Методы изоляции

Трансформаторы, развязывающие конденсаторы, оптопары и, теперь, устройства гальванической развязки цифровых сигналов iCouplers — вот основные средства, позволяющие блокировать протекание тока от одного устройства к другому, и при этом обеспечить передачу информации (рис. 1). Изоляция применяется для защиты от больших токов или напряжений, вызванных высоковольтными помехами и возникающих при наличии объединенных цепей заземления. Такие замкнутые петли могут присутствовать в любой системе, где имеется несколько заземлений. Заземления в различных частях системы, связанных длинным кабелем, будут иметь различный потенциал, поэтому по соединительному кабелю будет проходить ток. В отсутствие изоляции этот ток может создать дополнительные шумы, ухудшить качество канала или даже вывести из строя компоненты системы.

Токи, наводимые в длинных кабелях в условиях промышленности, например, при включении и выключении мощных электромоторов, при электростатических разрядах или при разрядах молнии, могут вызывать быстрые изменения потенциала заземления, величиной в сотни или тысячи вольт. При этом на информационный сигнал, передаваемый по каналу, накладывается высоковольтный импульс. При отсутствии изоляции этот высоковольтный импульс может нарушить передачу сигнала или вывести систему из строя. Подключение всех устройств, связанных общим интерфейсом, к одному заземлению сможет защитить систему от таких разрушающих воздействий, а изоляция устройств друг от друга позволяет избавиться от замкнутых «петлевых» заземлений.

Чтобы полностью защитить систему от помех, все линии сигналов и питания должны быть изолированы. Для изоляции линии питания применяются DC/DC преобразователи с гальванической развязкой, а для развязки

линий передачи данных можно использовать, например, цифровые изоляторы iCoupler.

Технология iCoupler

Изоляторы iCoupler (рис. 2) — это устройства гальванической развязки на основе трансформаторов, выполненных на кристалле кремния; эти трансформаторы играют ту же роль, что и пара светодиод/фотодиод в оптроне. Планарный трансформатор изготовлен в ходе технологического процесса КМОП на этапе металлизации и имеет еще один дополнительный слой осажденного золота. Одну «обмотку» трансформатора от другой изолирует слой электрически прочного синтетического полимера — полиимида. Эти две «обмотки» подключены к быстродействующим КМОП-схемам, которые обеспечивают интерфейс между трансформатором и внешними сигналами. Микроэлектронная технология дает возможность с минимальными затратами осуществить интеграцию нескольких каналов цифровой изоляции и других электронных схем в одном корпусе. Устройства iCoupler не имеют таких присущих оптопарам недостатков, как неопределенный коэффициент передачи тока, нелинейная передаточная функция и дрейф (температурный и временной); кроме того, устройство iCoupler позволяет уменьшить энергопотребление на 90% и для его работы не требуется внешних драйверов и дискретных компонентов.

Электрическая схема, подключенная к первичной «обмотке» трансформатора, преобразует переходы входного сигнала в импульсы длительностью 1 нс, которые подаются

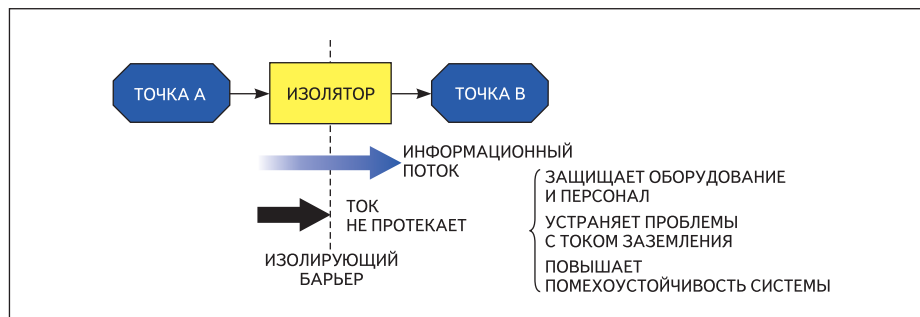


Рис. 1. Гальваническая изоляция позволяет передавать информацию, но препятствует протеканию тока

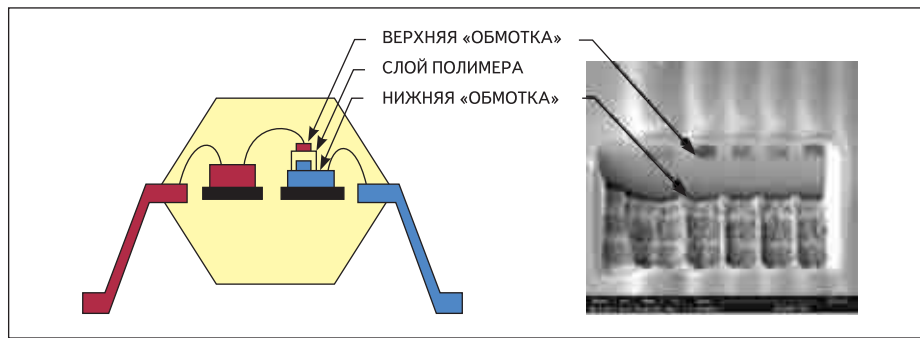


Рис. 2. Устройство и поперечное сечение изолятора iCoupler

на трансформатор. Схема, подключенная ко вторичной «обмотке», принимает эти импульсы и восстанавливает входной сигнал, как показано на рис. 3. Схема обновления сигнала (refresh) на входной стороне обеспечивает корректность выходного сигнала, даже если входной сигнал не меняет свое состояние. Это важно в ситуации включения питания, а также при передаче данных с низкой скоростью или при передаче постоянного сигнала.

Так как назначение устройства iCoupler заключается в изоляции входа от выхода, входная и выходная схемы располагаются на различных кристаллах. Собственно трансформатор может быть расположен или на одном из этих кристаллов, или на третьем кристалле, как показано на рис. 4. Все кристаллы располагаются в стандартном пластиковом корпусе, в котором выпускаются многие современные микросхемы.

Особенностью многоканальных устройств iCoupler является наличие в одном корпусе каналов и на передачу, и на прием. Сами трансформаторы могут передавать сигнал в любую сторону, а направление определяется схемами, подключенными к трансформатору. Поэтому многоканальные изоляторы поставляются в нескольких конфигурациях и отличаются различными сочетаниями направлений передачи.

Последовательные интерфейсы

Стандарты RS-232 (EIA232) и RS-485 (EIA/TIA485) определяют только физический уровень линии, предоставляя определе-

ние протокола на усмотрение разработчика или других стандартов. Однако стандарт CAN определяет как физический уровень, так и протокол передачи данных.

RS-232

RS-232 — это один из наиболее популярных последовательных интерфейсов, впервые описанный в 1962 году и предназначенный для обмена данными между компьютером и модемом. Этот стандарт и сейчас широко применяется для межсистемной коммуникации. Простота, гибкость и длинная история успешного применения данного интерфейса являются залогом его популярности. Стандарт разработан для соединения двух устройств и обеспечивает полнодуплексную связь посредством двух несбалансированных линий, по которым передается сигнал относительно «земли».

Скорость передачи данных — до 115 кбит/с. Максимальная длина соединительного кабеля на практике не превышает 16 метров — ограничение определяется величиной максимальной емкости нагрузки 2500 пФ и импедансом нагрузки 3–7 кОм. Стандарт RS-232 определяет уровни сигналов драйвера передатчика $-5 \dots -15$ В для логической единицы и $+5 \dots +15$ В для логического нуля, и уровни для приемника: $-3 \dots -15$ В — логическая единица, $+3 \dots +15$ — логический ноль. Напряжение между -3 В и $+3$ В соответствует неопределенному уровню. Большой размах напряжений и широкий диапазон неопределенных сигналов обуславливают высокую степень устойчивости к помехам и позволяет передавать достоверный сигнал через длинный кабель.

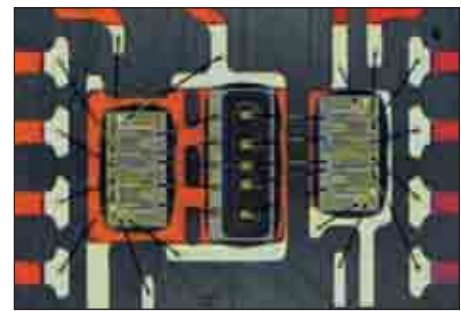


Рис. 4. Конструкция четырехканального изолятора ADuM140x

Спецификация RS-232 определяет расположение выводов в 25-контактном разъеме D-SUB, в котором предусмотрено 20 сигнальных линий, однако более популярен 9-контактный разъем D-SUB, имеющий 8 сигнальных линий (рис. 5). По одной линии в каждом направлении используется для передачи данных; остальные линии предназначены для управления транспортом. В простейшем варианте необходимо всего три линии: Tx — линия передаваемых данных, Rx — линия принимаемых данных, и «земля» (GND). В 25-выводном разъеме предусмотрена еще и линия «защитной земли». Она обычно подключена к «земле» источника питания или к шасси устройства и не должна соединяться с сигнальной «землей» или подключаться к другому устройству.

Стандарт RS-232 предполагает деление оборудования на две категории: DCE (data communications equipment, оборудование, обменивающееся данными) и DTE (data terminal equipment, оконечное оборудование). Эти определения — наследие тех времен, когда стандарт предназначался для соединения компьютера и модема; в наше время эти термины просто определяют то, какие линии задействованы в качестве входов и выходов.

Цифровые изоляторы iCoupler не могут работать в режиме RS-232, поэтому они не могут быть просто подключены между приемопередатчиком и кабелем; но вместо этого их можно включить между приемопередатчиком RS-232 и самим устройством. Со стороны устройства приемопередатчик RS-232 обычно подключается к универсаль-

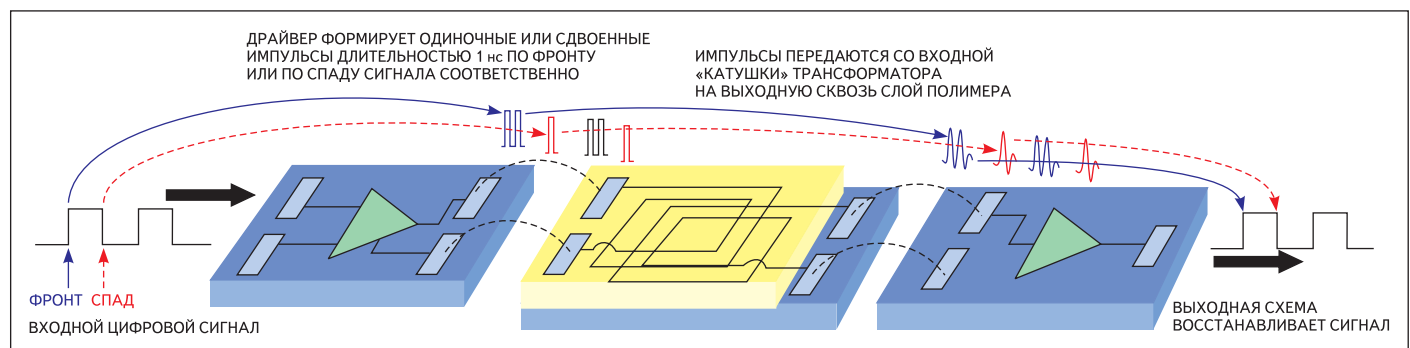


Рис. 3. Функциональная схема устройства iCoupler

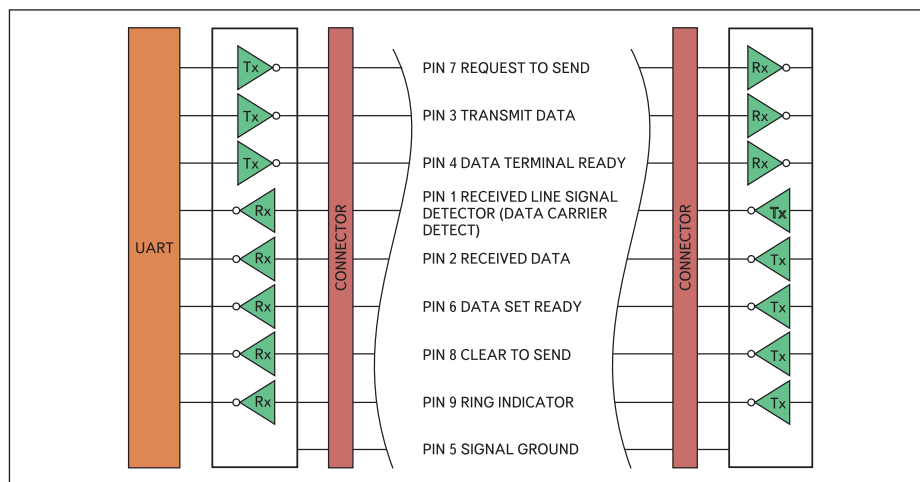


Рис. 5. Восьмисигнальная конфигурация сети RS-232

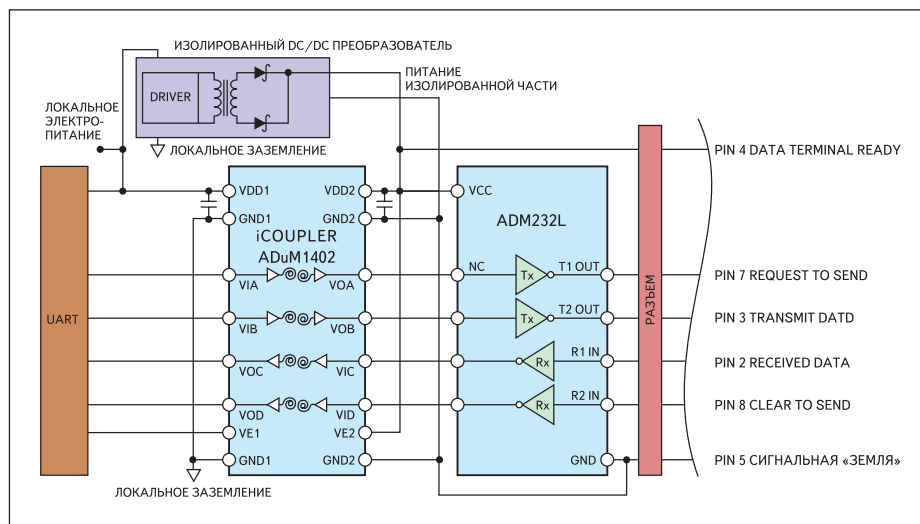


Рис. 6. Пятисигнальная конфигурация сети RS-232 (показана часть DTE)

ному асинхронному приемопередатчику (UART) или к процессору, где действуют 3-вольтовые или 5-вольтовые логические уровни. Так как входные и выходные схемы прибора iCoupler электрически изолированы друг от друга, такой изолятор может быть помещен между интерфейсом UART и приемопередатчиком RS-232 в качестве простого решения проблемы гальванической развязки. Для завершения схемы развязки необходим еще DC/DC преобразователь, питающий изолированную часть iCoupler, и приемопередатчик RS-232. Применяв iCoupler типа ADuM1402, приемопередатчик ADM232L и гальванически развязанный источник питания, мы получим простое и недорогое решение проблемы гальванической развязки интерфейса RS-232 (рис. 6).

RS-485

Этот стандарт предполагает подключение до 32 пар передатчиков/приемников. Гибкость и возможность работы с кабелем длиной до 1200 м сделали этот стандарт популярным в самых различных областях, особенно в промышленных системах. Интерфейсы SCSI

и PROFIBUS также частично используют стандарт RS-485.

Достижимая длина линии зависит от требований к скорости передачи данных, возможны сочетания скорость передачи/длина от 200 кбит/с при длине 1200 м до 12 Мбит/с при длине кабеля 100 м. Стандарт RS-485 предусматривает передачу дифференциального

сигнала по симметричной двухпроводной линии. Приемник линии определяет логический уровень, сравнивая эти два сигнала между собой. Разница в 200 мВ воспринимается как достоверный логический уровень. Дифференциальный драйвер передатчика обеспечивает ток по двум линиям. Это дает высокую устойчивость линии к помехам по сравнению с однополярной схемой передачи, которая используется в интерфейсе RS 232.

Функция разрешения (enable) драйвера линии RS-485 позволяет переводить драйвер в высокоимпедансное состояние, позволяя работать нескольким устройствам на одной линии. Полдуплексная двухпроводная конфигурация интерфейса RS-485 показана на рис. 7. Каждый узел на линии содержит приемник и драйвер, все драйверы и приемники используют одну и ту же дифференциальную сигнальную пару линий. Хотя такое решение позволяет упростить систему и снизить ее стоимость, тот факт, что все драйверы работают с одной линией, снижает пропускную способность и надежность канала.

Четырехпроводная полнодуплексная конфигурация, в которой один из узлов является ведущим (master), а все остальные — ведомыми (slave), несколько сложнее, но она позволяет значительно повысить скорость обмена данными.

Так как интерфейс RS-485 обычно применяется для связи нескольких устройств, требуется изоляция между шиной и каждым подключенным к ней устройством. Как и в случае интерфейса RS-232, цифровые изоляторы сами по себе не могут обеспечить требования стандарта RS-485, поэтому невозможно просто включить цифровой изолятор в разрыв линии RS-485 между передатчиком и кабелем. Вместо этого гальваническая развязка может быть осуществлена между приемопередатчиком RS-485 и локальным устройством. Со стороны системы приемопередатчик обычно подключается к локальной шине или к процессору. Помещение изолятора iCoupler между процессором и приемопередатчиком является простым способом

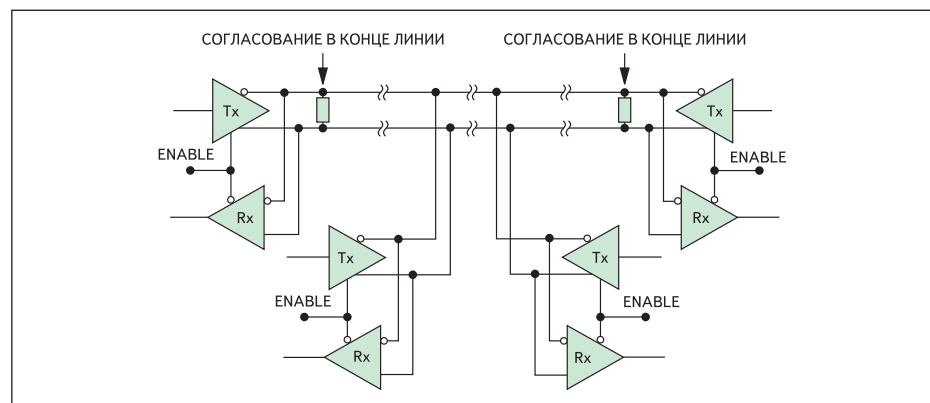


Рис. 7. Двухпроводная полдуплексная сеть RS-485

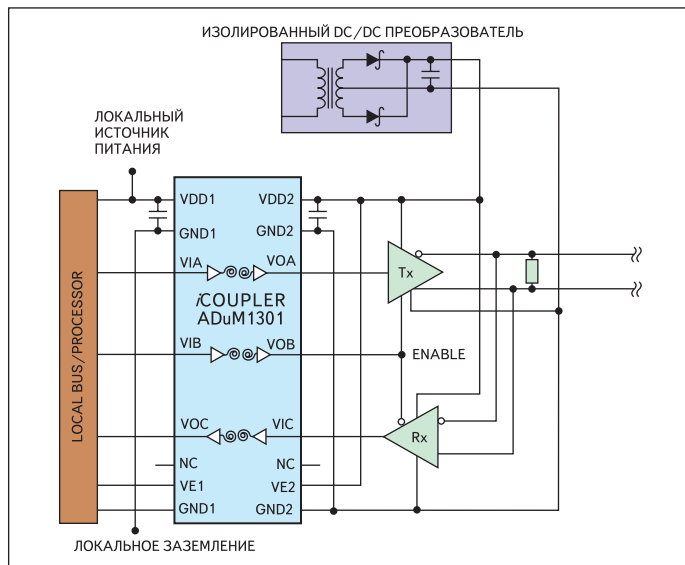


Рис. 8. Схема изоляции в сети RS-485

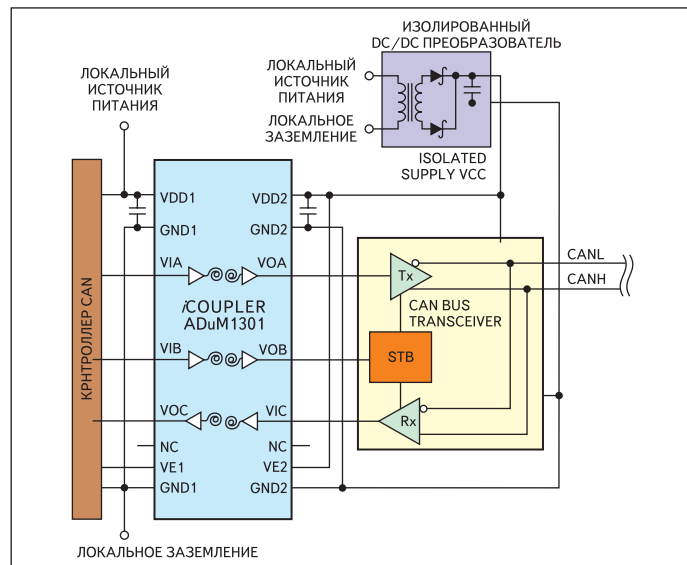


Рис. 11. Схема изоляции для шины CAN

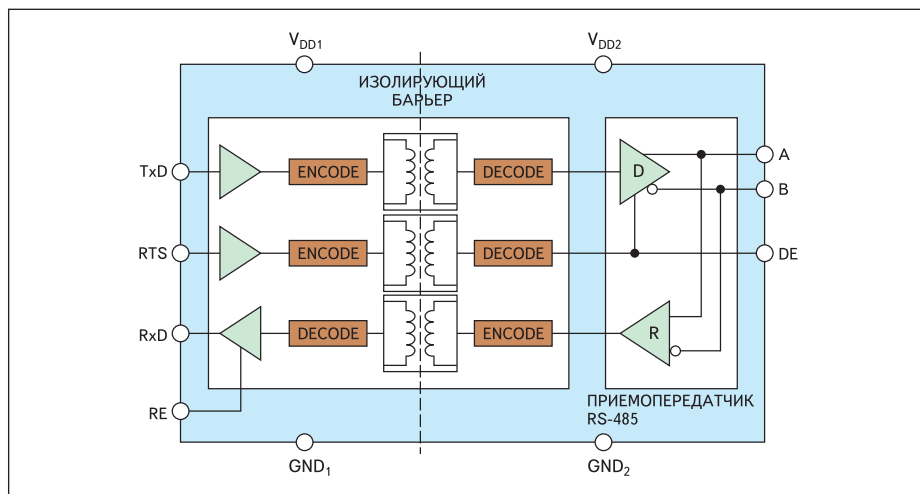


Рис. 9. Функциональная схема изолятора ADM2486

обеспечить гальваническую развязку. Для завершения схемы развязки необходим DC/DC преобразователь, питающий изолированную часть iCoupler, и приемопередатчик RS-485. Схема с изолятором iCoupler ADuM1301 и источником питания с гальванической развязкой показана на рис. 8. Такая схема позволяет устранить замыкание петли заземления и обеспечить защиту от помех.

Фирма Analog Devices выпускает специализированные ИС для гальванической развязки интерфейса RS-485. На рис. 9 показана структурная схема ИС ADM2486. Для построения схемы, показанной на рис. 8, понадобится еще гальванически развязанный преобразователь DC/DC, питающий изолированную часть схемы.

Интерфейс CAN

CAN — это стандарт, изначально разработанный для автомобильных систем, он описывает двухпроводную связь и последова-

тельный протокол. Стандарт предусматривает скорость передачи до 1 Мбит/с, наличие до 30 узлов на линии и длину кабеля до 40 м. Передача данных осуществляется асинхронно, с помощью фреймов, содержащих стартовый и стоповый биты, поле арбитража, контрольное поле, поле циклической проверки CRC и поле подтверждения.

В шине CAN (рис. 10) используется симметричная двухпроводная дифференциальная линия, рабочее напряжение обычно составляет 3 или 5 В. Применяется кодирова-

ние NRZ, что обеспечивает компактность сообщений и минимальное число переходов. Приемопередатчик сигнала CAN имеет пару выходных транзисторов с открытым стоком и формирует дифференциальные сигналы CANH и CANL. В активном состоянии передатчик формирует доминантный сигнал, представляющий логический низкий уровень. Если ни один передатчик не активен, «подтягивающие» резисторы задают на линии напряжение $VCC/2$, обеспечивая высокий логический уровень. Схема управления переводит приемопередатчик в малопотребляющий режим standby. Малопотребляющая приемная часть остается активной и в режиме standby, отслеживая состояние шины и передавая сигнал на контроллер локального узла, когда обнаруживается активность.

Как и в случае шины RS-232 или RS-485, цифровые изоляторы не могут обеспечить развязку самой шины CAN, поэтому их невозможно использовать между приемопередатчиком и кабелем; вместо этого iCoupler можно включить между приемопередатчиком и локальным CAN-контроллером, работающим со стандартными 3- или 5-вольтовыми логическими уровнями. Как и в предыдущих случаях, понадобится изолированный DC/DC преобразователь для питания изолированной части iCoupler'a и приемопередатчика. Такая схема показана на рис. 11.

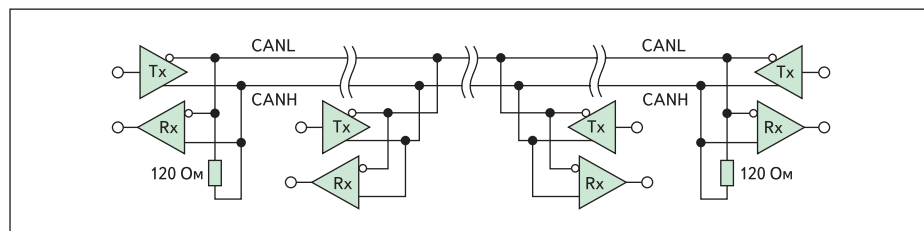


Рис. 10. Шина CAN

Еще о цифровых изоляторах iCoupler

Цифровые изоляторы, созданные по технологии iCoupler, имеют преимущества по сравнению с оптопарами с точки зрения интеграции, пропускной способности, энергопотребления, простоты применения и надежности. Изоляторы iCoupler являются завершенными блоками, они не требуют дополнительных внешних компонентов (за исключением обычного конденсатора развязки по питанию), они более быстродействующие, скорость передачи данных составляет до 100 Мбит/с, они имеют меньшее время задержки (18 нс); их энергопотребление (от 5 мВт при скорости передачи 1 Мбит/с до 22 мВт при скорости передачи 25 Мбит/с) составляет от 1/70 до 1/5 по сравнению с соответствующими оптопарами (вместе с компонентами «обвязки»). Изоляторы iCoupler включаются точно так же, как стандартные цифровые микросхемы КМОП; они могут работать в широком температурном диапазоне, причем время распростра-

нения сигнала практически не зависит от температуры. Кроме того, они имеют большее время наработки на отказ и в них отсутствует явление снижения эмиссии светодиода, присущее оптопарам. Они обладают теми же характеристиками по безопасности, что и оптопары. Поставляемые в настоящее время iCoupler'ы гарантированно выдерживают напряжение 2,5 кВ (среднеквадратическое значение) в течение одной минуты или 400 В (среднеквадратическое значение) постоянно, в будущих изоляторах iCoupler планируется увеличить эти параметры в два раза.

Заключение

Так как журнал Analog Dialogue (в котором была опубликована данная статья) не является официальной технической документацией, примеры применения, приведенные здесь, являются только лишь иллюстрацией возможностей изоляторов iCoupler; эти примеры не являются детализированными и хорошо отестированными. Поэтому при разра-

ботке вашей схемы для получения подробной и официальной информации обращайтесь, пожалуйста, к техническому описанию (datasheet) на соответствующую ИС. И конечно, будьте внимательны и соблюдайте технику безопасности при работе с высоковольтными устройствами. ■

Литература

1. AN-727: iCoupler Isolation in RS-485 Applications
2. AN-740: iCoupler Isolation in RS-232 Applications
3. AN-770: iCoupler Isolation in CAN Bus Applications
4. FAQ About Isolation, iCoupler Technology, and the ADuM1100 Digital Isolator
5. Scott Wayne. «Finding the Needle in a Haystack.» Analog Dialogue 34-01. January-February 2000. Имеется перевод этой статьи на русский язык: «Поиск иголки в стоге сена: Измерение малого дифференциального сигнала при наличии большого синфазного напряжения», http://www.analog.spb.ru/Public/diff_amp.pdf
6. http://www.analog.com/Analog_Root/static/pdf/dataConverters/SelectionGuides/digitalIsolators.pdf