

Протокол связи RS-485 является наиболее широко используемым промышленным стандартом, использующим двунаправленную сбалансированную линию передачи. Протокол поддерживает многоточечные соединения, обеспечивая создание сетей с количеством узлов до 32 и передачу на расстояние до 1200 м. Использование повторителей RS-485 позволяет увеличить расстояние передачи еще на 1200 м или добавить еще 32 узла. Стандарт RS-485 поддерживает полудуплексную связь. Для передачи и приема данных достаточно одной скрученной пары проводников.

Стандарт EIA RS-485

Скорость передачи 10 Мбит/с (максимум)

Расстояние передачи 1200 м (максимум)

Характер сигнала, линия передачи дифференциальное напряжение, скрученная пара

Количество драйверов 32

Количество приемников 32

Схема соединения полудуплекс, многоточечная

RS-485: История и описание

Стандарт RS-485 был совместно разработан двумя ассоциациями производителей: Ассоциацией электронной промышленности (EIA - Electronics Industries Association) и Ассоциацией промышленности средств связи (TIA - Telecommunications Industry Association). EIA некогда маркировала все свои стандарты префиксом "RS" (Рекомендованный стандарт). Многие инженеры продолжают использовать это обозначение, однако EIA/TIA официально заменил "RS" на "EIA/TIA" с целью облегчить идентификацию происхождения своих стандартов. На сегодняшний день, различные расширения стандарта RS-485 охватывают широкое разнообразие приложений.

Стандарты RS-485 и RS-422 имеют много общего, и поэтому их часто путают. Таблица 1 сравнивает их. RS-485, определяющий двунаправленную полудуплексную передачу данных, является единственным стандартом EIA/TIA, допускающим множественные приемники и драйверы в шинных конфигурациях. EIA/TIA-422, с другой стороны, определяет единственный однонаправленный драйвер с множественными приемниками. Элементы RS-485 обратно совместимы и взаимозаменяемы со своими двойниками из RS-422, однако драйверы RS-422 не должны использоваться в системах на основе RS-485, поскольку они не могут отказаться от управления шиной.

Таблица 1. Стандарты RS-485 и RS-422

	RS-422	RS-485
Режим работы	Дифференциальный	Дифференциальный
Допустимое число Tx и Rx	1 Tx, 10 Rx	32 Tx, 32 Rx
Максимальная длина кабеля	1200 м	1200 м
Максимальная скорость передачи данных	10 Мбит/с	10 Мбит/с
Минимальный выходной диапазон драйвера	± 2 В	± 1.5 В
Максимальный выходной диапазон драйвера	± 5 В	± 5 В
Максимальный ток короткого замыкания драйвера	150 мА	250 мА
Сопротивление нагрузки Tx	100 Ом	54 Ом
Чувствительность по входу Rx	± 200 мВ	± 200 мВ

Максимальное входное сопротивление R _x	4 кОм	12 кОм
Диапазон напряжений входного сигнала R _x	± 7 В	от -7 В до +12 В
Уровень логической единицы R _x	> 200 мВ	> 200 мВ
Уровень логического нуля R _x	< 200 мВ	< 200 мВ

Защита от электростатических разрядов

Дифференциальная передача сигнала в системах на основе RS-485 и RS-422 обеспечивает надежную передачу данных в присутствии шумов, а дифференциальные входы их приемников кроме того могут подавлять значительные синфазные напряжения. Однако для защиты от значительно больших уровней напряжений, которые обычно ассоциируются с электростатическим разрядом (ESD), необходимо принимать дополнительные меры.

Заряженная емкость человеческого тела позволяет человеку уничтожить интегральную схему простым ее касанием. Такой контакт запросто может произойти при прокладке и подключении интерфейсного кабеля. Для защиты от таких разрушительных воздействий, интерфейсные микросхемы [MAXIM](#) включают "ESD структуры". Эти структуры защищают выходы передатчиков и входы приемников в приемопередатчиках RS-485 от уровней ESD до ±15кВ.

Чтобы гарантировать заявленную защиту от ESD, Maxim осуществляет многократное тестирование положительных и отрицательных выводов питания с шагом 200В, для проверки последовательности уровней до ±15кВ. Устройства этого класса (отвечающие спецификациям модели человеческого тела (Human Body Model) или IEC 1000-4-2) маркируются в обозначении изделия дополнительным суффиксом "E".

Скорости передачи данных и нагрузка драйвера

Допустимая нагрузка драйвера RS-485/RS-422 количественно определяется в терминах единичной нагрузки, которая, в свою очередь, определяется как входной импеданс одного стандартного приемника RS-485 (12кОм). Таким образом, стандартный драйвер RS-485 может управлять 32 единичными нагрузками (32 параллельных 12-килоомных нагрузки). Однако для некоторых приемников RS-485 входное сопротивление является более высоким - 48 кОм (1/4 единичной нагрузки) или даже 96 кОм (1/8 единичной нагрузки) - и, соответственно, к одной шине могут быть подключены сразу 128 или 256 таких приемников. Вы можете подключить любую комбинацию типов приемников, если их параллельный импеданс не превышает 32 единичных нагрузки (т.е. суммарное сопротивление не меньше 375 Ом).

Последствия высоких скоростей

Более быстрые передачи требуют более высоких скоростей нарастания напряжения на выходе драйвера, а они, в свою очередь, производят большие уровни

электромагнитных помех (EMI). Некоторые приемопередатчики RS-485 сводят EMI к минимуму, ограничивая их скорости нарастания. Меньшие скорости нарастания также помогают контролировать отражения, вызванные быстрыми переходными процессами, высокими скоростями передачи данных или длинными линиями связи. Основой для минимизации отражений является использование согласующих резисторов с номиналами, соответствующими волновому сопротивлению кабеля. Для обычных кабелей RS-485 (витая пара проводов 24AWG) это означает размещение 120-омных резисторов на обоих концах линии связи.

Куда уходит вся мощность?

Очевидным источником потери мощности является ток покоя приемопередатчика (I_Q), который в современных устройствах значительно снижен. В таблице 2 токи покоя малопотребляющих КМОП приемопередатчиков сравниваются с являющимся промышленным стандартом устройством 75176.

Таблица 2. Сравнение токов утечки для различных приемопередатчиков RS-485

Устройство	I_Q (Драйвер отключен)	I_Q (драйвер включен)	Ток в режиме отключения	Макс. скорость
MAX3471	2,8 мкА	83 мкА	N/A	64 Кбит/с
MAX1483	20 мкА	55 мкА	0,1 мкА	250 Кбит/с
MAX3088 (SRL = GND)	420 мкА	475 мкА	1 нА	10 Мбит/с
SN75ALS176	26 мкА	30 мкА	N/A	35 Мбит/с

Другая характеристика энергопотребления приемопередатчиков RS-485 проявляется при отсутствии нагрузки, разрешении выхода драйвера и присутствии периодического входного сигнала. Поскольку открытых линий в RS-485 нужно избегать всегда, драйверы "долбят" свои выходные структуры при каждом переключении выхода. Это короткое включение обоих выходных транзисторов немедленно вызывает бросок тока питания. Достаточно большой входной конденсатор сглаживает эти броски, производя действующий (RMS) ток, который растет вместе со скоростью передачи данных до своего максимального значения. Для приемопередатчиков MAX1483 этот максимум равен примерно 15 мА. Подключение стандартного приемопередатчика RS-485 к минимальной нагрузке (еще один приемопередатчик, два согласующих и два защитных резистора)

позволяет измерить зависимость тока питания от скорости передачи данных в более реальных условиях. На рисунке 2 представлена зависимость I_{CC} от скорости передачи данных для MAX1483 при следующих условиях: стандартные резисторы на 560 Ом, 120 Ом и 560 Ом, $V_{CC} = 5V$, $DE = \overline{RE} = V_{CC}$, и кабель длиной 300 м. Как вы можете видеть из рисунка 2, ток потребления возрастает приблизительно до 37мА даже при чрезвычайно низких скоростях передачи данных; это вызвано прежде всего добавлением согласующих резисторов и резисторов защитного смещения. Для малопотребляющих приложений, это должно продемонстрировать важность типа используемого согласования, равно как и способа достижения отказоустойчивости. Отказоустойчивость обсуждается в следующем разделе, а подробное описание согласования имеется в разделе "Злые шутки согласования".

Отказоустойчивость

При напряжениях на входах приемников RS-485 в диапазоне от -200мВ до +200мВ, выходное состояние остается неопределенным. Иными словами, если дифференциальное напряжение на стороне RS-485 в полудуплексной конфигурации равно 0В и ни один из приемопередатчиков не ведет линию (или соединение разорвано), тогда логическая единица и логический ноль на выходе равновероятны. Для обеспечения определенного состояния на выходе в таких условиях, большинство современных приемопередатчиков RS-485 требуют установки резисторов защитного смещения: резистор задания начального высокого уровня (pullup) на одну линию (A) и низкого уровня (pulldown) на другую (B), как это показано на рисунке 1. Исторически, резисторы защитного смещения в большинстве схем указывались с номиналом 560 Ом, однако для снижения энергопотерь (когда согласование производится только на одном конце линии связи) это значение можно увеличить приблизительно до 1,1 кОм. Некоторые разработчики устанавливают на обоих концах резисторы с номиналами от 1,1кОм до 2,2кОм. Здесь приходится искать компромисс между помехоустойчивостью и энергопотреблением.

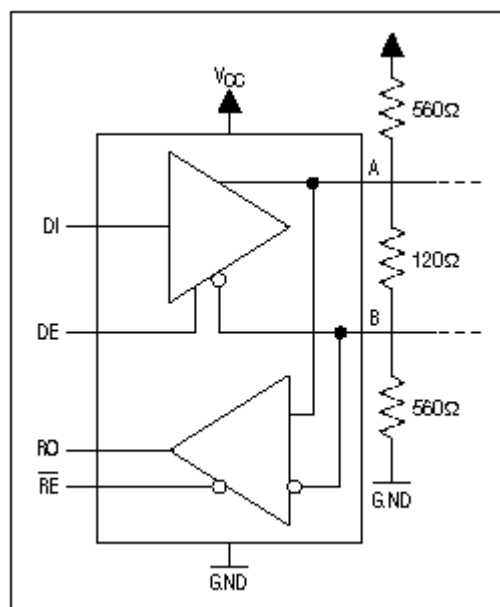


Рисунок 1. Три внешних резистора формируют цепь согласования и защитного смещения для данного приемопередатчика RS-485.

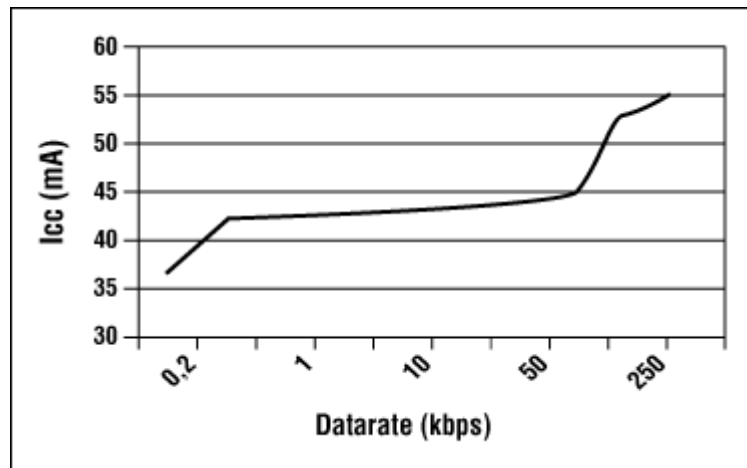


Рисунок 2. Зависимость тока питания приемопередатчика MAX1483 от скорости передачи данных.

Производители приемопередатчиков RS-485 прежде исключали необходимость использования внешних смещающих резисторов, обеспечивая внутренние резисторы положительного смещения по входам приемника, однако такой подход был эффективен только для решения проблемы разомкнутых цепей. Резисторы положительного смещения, используемые в этих псевдоотказоустойчивых приемниках были слишком слабы для установления уровня на выходе приемника в согласованной шине. Другие попытки избежать использования внешних резисторов за счет изменения пороговых значений приемника на 0В и -0,5В нарушали спецификацию RS-485.

Семейство приемопередатчиков MAX3080 и MAX3471 компании [Maxim](#) решило обе эти проблемы, определив точный диапазон пороговой чувствительности от -50мВ до -200мВ, устранив, таким образом, потребность в резисторах защитного смещения, сохраняя при этом полное соответствие стандарту RS-485. Эти микросхемы гарантируют, что 0В на входе приемника вызовет высокий логический уровень на выходе. Более того, эта конструкция гарантирует известное состояние выхода приемника для условий замкнутой и разорванной линии.

Как сохранить энергию?

Как было показано в таблице 2, приемопередатчики сильно различаются значениями их токов покоя. Таким образом первым шагом в деле сохранения энергии должен стать выбор малопотребляющего устройства, такого, как MAX3471 (2,8 мкА при отключенном драйвере, до 64 Кбит/с). Поскольку потребление энергии существенно возрастает при передаче данных, другой целью является минимизация времени работы драйверов за счет передачи коротких телеграмм (блоков данных, прим. пер.) с длительными периодами ожидания между ними. В таблице 3 представлена структура типовой телеграммы последовательной передачи.

Таблица 3. Телеграмма последовательной передачи

Биты управления	Адресные биты	Биты данных	Контрольные биты	Биты управления
--------------------	------------------	----------------	---------------------	--------------------

Система на основе RS-485, использующая приемники в одну единичную нагрузку (до 32 адресуемых устройств), может, например, иметь следующие биты: 5 битов адреса, 8 битов данных, стартовые биты (все кадры), стоповые биты (все кадры), биты четности (необязательные), и биты CRC (необязательные). Минимальная длина телеграммы для такой конфигурации - 20 битов. Для безопасных передач, вы должны послать дополнительную информацию, такую как размер данных, адрес отправителя и направление, которая увеличит длину телеграммы до 255 байтов (2040 битов). Подобное изменение длины телеграммы со структурой, определяемой такими стандартами, как X.25, обеспечивает надежность данных за счет увеличения времени использования шины и потребляемой мощности. Например, передача 20 битов при 200 Кбит/с потребует 100 мкс. При использовании MAX1483 для ежесекундной отправки данных на скорости 200 Кбит/с, средний ток составит

$$(100 \text{ мкс} * 53 \text{ мА} + (1 \text{ с} - 100 \text{ мкс}) * 20 \text{ мкА}) / 1 \text{ с} = 25.3 \text{ мкА}$$

Когда приемопередатчик находится в неактивном режиме (idle mode), его драйвер должен быть отключен для минимизации потребляемой мощности. В таблице 4 демонстрируется влияние длины телеграммы на потребляемую мощность одиночного драйвера MAX1483, который работает с определенными перерывами между передачами. Использование режима отключения (shutdown mode) может еще больше снизить потребляемую мощность в системе, использующей технологию опроса через фиксированные промежутки времени или более длинные, детерминированные перерывы между передачами.

Таблица 4. Соотношение между длиной телеграммы и потребляемым током при использовании драйвера MAX1483

Телеграмма	Ежесекундно	Каждые 10 секунд	Ежеминутно
20- битовая	25,3 мкА	20,5 мкА	20,1 мкА
100- битовая	61,1 мкА	24,1 мкА	20,7 мкА
255- байтовая	560,4 мкА	74,0 мкА	29,0 мкА

В дополнение к этим программным соображениям, аппаратные средства предлагают множество мест для усовершенствования в части энергопотребления. На рисунке 3 сравниваются токи, потребляемые различными трансиверами при передаче сигнала прямоугольной формы по 300-метровому кабелю с активными драйверами и приемниками. 75ALS176 и MAX1483 используют стандартную согласующую цепь

560Ом/120Ом/560Ом на обоих концах линии связи, в то время, как "истинно безотказные" ("true failsafe") устройства (MAX3088 и MAX3471) имеют лишь 120-омные согласующие резисторы на обоих концах шины. При 20 Кбит/с токи потребления ранжируются от 12,2мА (MAX3471 с напряжением питания VCC = 3.3V) до 70мА (75ALS176). Таким образом, значительное сокращение потребления возникает немедленно, как только вы выбираете малопотребляющее устройство со свойством "истинной безотказности", которая, кроме того, исключает необходимость установки резисторов защитного смещения (на землю и на линию питания VCC). Убедитесь, что приемник выбранного вами приемопередатчика RS-485, выдает на выход правильные логические уровни для условий как замкнутой, так и разомкнутой цепи.

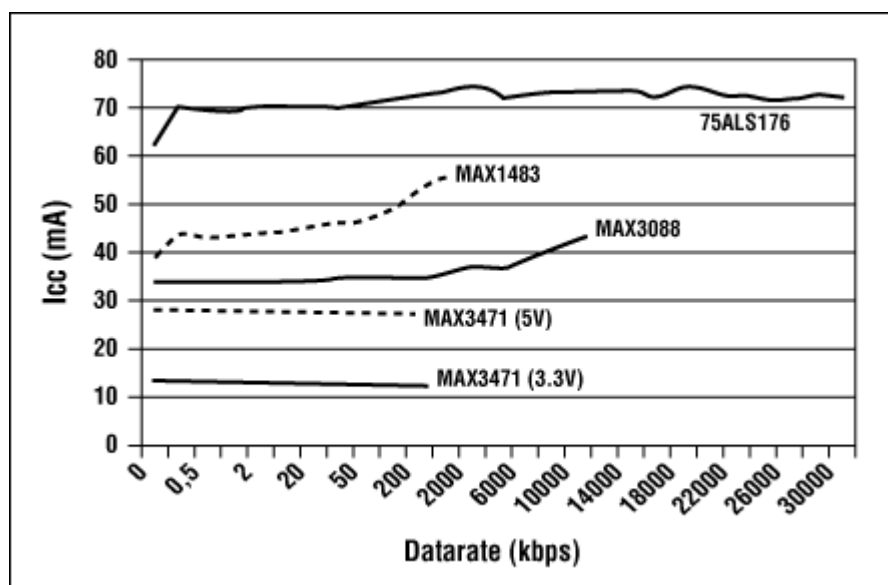


Рисунок 3. Микросхемы приемопередатчиков сильно отличаются зависимостью тока потребления от скорости передачи данных.

Злые шутки согласования

Как было отмечено выше, согласующие резисторы устраняют отражения, вызванные рассогласованием импедансов, однако их недостаток - дополнительное рассеяние мощности. Их влияние показано в таблице 5, в которой приводятся токи потребления для различных приемопередатчиков (при активном драйвере) для условий отсутствия резисторов, использования только согласующих резисторов, а также комбинации согласующих резисторов и резисторов защитного смещения.

Таблица 5. Использование согласующих резисторов и резисторов защитного смещения увеличивает потребляемый ток

	MAX1483	MAX3088	MAX3471	SN75ALS176
IVCC (no RT)	60 мкА	517 мкА	74 мкА	22 мкА

		мкА	мкА	
IVCC (RT = 560– 120– 560)	42 мкА	N/A	N/A	70 мкА

Исключение согласования

Первый способ уменьшения потребляемой мощности состоит в том, чтобы вообще устранить согласующие резисторы. Этот вариант возможен только для коротких линий связи и низких скоростей передачи данных, которые позволяют отражениям успокоиться еще до того, как данные будут обработаны приемником. Как показывает практика, согласование не нужно, если время нарастания сигнала по крайней мере в четыре раза превосходит время задержки одностороннего прохождения сигнала через кабель. Следующие шаги используют это правило для вычисления максимальной допустимой длины несогласованного кабеля:

- Шаг 1. Для рассматриваемого кабеля найдите скорость одностороннего прохождения сигнала, обычно предоставляемую производителем кабеля как процентное отношение к скорости света в свободном пространстве ($c = 3 \times 10^8$ м/с). Типовое значение для стандартного кабеля в поливинилхлоридной изоляции (состоящего из витой пары #24 AWG) составляет 203мм/нс.
- Шаг 2. Из спецификации приемопередатчика RS-485 найдите его минимальное время нарастания ($t_{r \min}$). Например, для MAX3471 оно равно 750нс.
- Шаг 3. Разделите это минимальное время нарастания на 4. Для MAX3471 получим $t_{r \min}/4 = 750\text{нс}/4 = 187.5\text{нс}$.
- Шаг 4. Вычислите максимальную протяженность кабеля, для которой не требуется согласование: $187.5\text{нс} (203\text{мм/нс}) = 38\text{м}$.

Таким образом, MAX3471 может обеспечить приличное качество сигнала при передаче и приеме на скорости 64Кбит/с по 38-метровому кабелю без согласующих резисторов. Рисунок 4 демонстрирует достигнутое драматическое снижение потребления MAX3471, когда 30 метров кабеля без согласующего резистора используются вместо 300 метров кабеля и 120 согласующих резисторов.

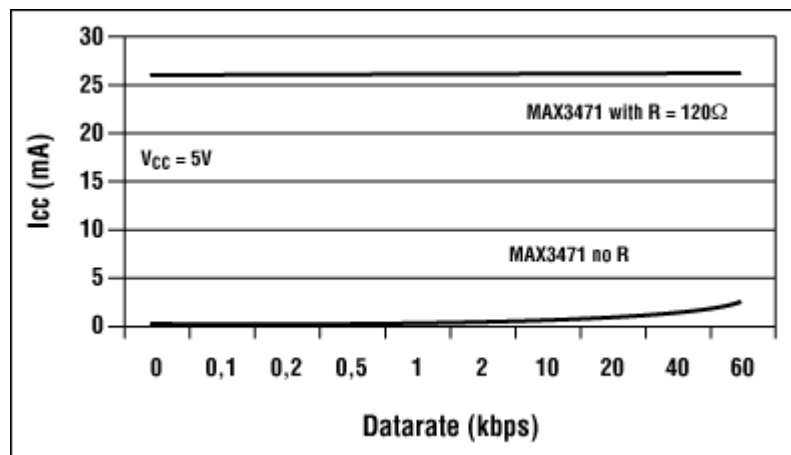


Рисунок 4. Согласующие резисторы - основной потребитель мощности.

RC-согласование

На первый взгляд, способность RC согласования блокировать постоянный ток является весьма многообещающей. Вы найдете, однако, что эта техника налагает определенные условия. Согласование состоит из последовательной RC цепочки, включенной параллельно дифференциальным входам приемника (А и В), как показано на рисунке 5. Несмотря на то, что R всегда равно волновому сопротивлению кабеля (Z_0), выбор C требует некоторых рассуждений. Большая величина C обеспечивает хорошее согласование, позволяя любому сигналу видеть R , которое соответствует Z_0 , однако большие значения также увеличивают пиковое значение выходного тока драйвера. К сожалению, более длинные кабели требуют больших значений емкости C . Целые статьи были посвящены определению номинала C для достижения этого компромисса. Вы можете найти детальные уравнения на эту тему в руководствах, ссылки на которые приведены в конце настоящей статьи.

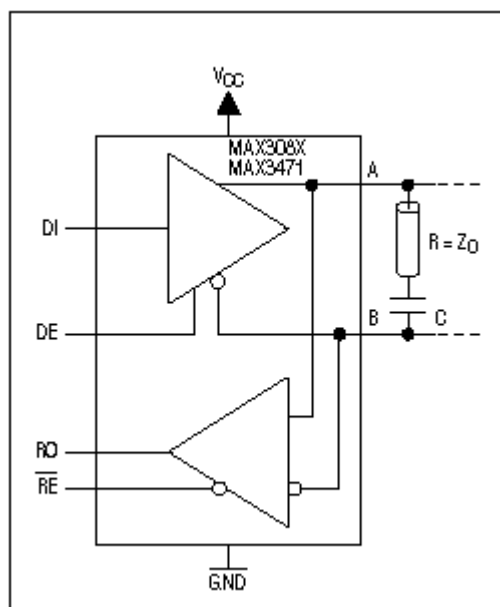


Рисунок 5. RC согласование снижает потребление, однако требует тщательного выбора номинала C .

Среднее напряжение сигнала - другой важный фактор, который часто игнорируется. Если только среднее напряжение сигнала не сбалансировано по постоянному току, эффект зубчатого контура (stair-stepping effect) по постоянному току вызывает значительные дрожания из-за эффекта, известного как "межсимвольная интерференция." Если коротко, то RC согласование эффективно для снижения потребления, однако оно склонно к разрушению качества сигнала. Поскольку RC согласование налагает так много ограничений на свое использование, лучшая альтернатива во многих случаях - отсутствие согласования вообще.

Согласование на диодах Шотки

Диоды Шотки предлагают альтернативный метод согласования, когда большая потребляемая мощность вызывает беспокойство. В отличие от других типов согласования, диоды Шотки не пытаются соответствовать волновому сопротивлению

шины. Вместо этого, они просто подавляют положительные и отрицательные выбросы на фронтах импульсов, вызванные отражением. В результате, изменения напряжения ограничены положительным пороговым напряжением и нулем. Цепь согласования на диодах Шотки впустую рассеивает незначительную энергию, поскольку они проводят только при наличии положительных и отрицательных выбросов. С другой стороны, стандартное резистивное согласование (как с резисторами защитного смещения, так и без оных), постоянно рассеивает мощность. Рисунок 6 иллюстрирует использование диодов Шотки для борьбы с отражениями. Диоды Шотки не обеспечивают отказоустойчивую работу, однако уровни порогового напряжения, выбранные в приемопередатчиках MAX308X и MAX3471, дают возможность реализовать отказоустойчивую работу с этим типом согласования.

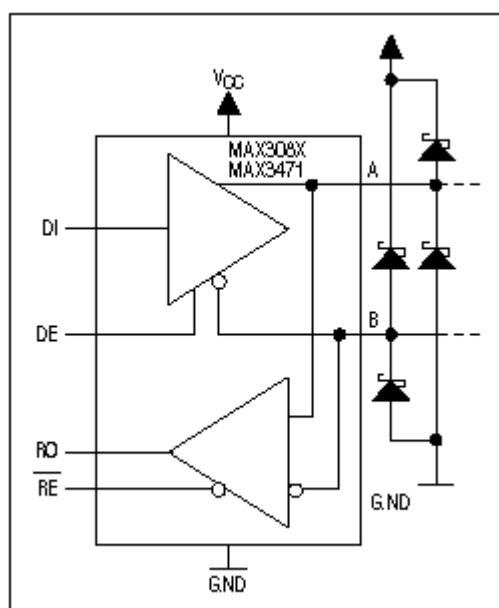


Рисунок 6. Несмотря на дороговизну, цепь согласования на диодах Шотки имеет много достоинств.

Диод Шотки, наилучшее доступное приближение к идеальному диоду (нулевое прямое напряжение V_f , нулевое время включения t_{ON} и нулевое время обратного восстановления t_{tr}), представляет большой интерес в качестве замены энергоемких согласующих резисторов. Недосток такого согласования в системах на основе RS-485/RS-422 заключается в том, что диоды Шотки не могут подавлять все отражения. Как только отраженный сигнал угаснет ниже прямого напряжения диода Шотки, его энергия останется незатронутой согласующими диодами и сохранится до тех пор, пока не будет рассеяна кабелем. Существенно или нет это затяжное возмущение, зависит от величины сигнала на входах приемника.

Главный недостаток Шотки-терминатора - его стоимость. Одна точка согласования требует двух диодов. Поскольку шина RS-485/RS-422 является дифференциальной, это число снова умножается на два (Рисунок 6). Использование на шине множественных Шотки-терминаторов не является необычным.

Терминаторы на диодах Шотки дают много преимуществ для систем на основе RS-485/RS-422, и экономия энергии - главное из них (Рисунок 7). Не нужно ничего вычислять, поскольку специфицированные ограничения для длины кабеля и скорости передачи данных будут достигнуты раньше, чем какие либо ограничения

Шотки-терминатора. Другое преимущество заключается в том, что множественные Шотки-терминаторы в различных ответвлениях и на входах приемников улучшают качество сигнала без загрузки коммуникационной шины.

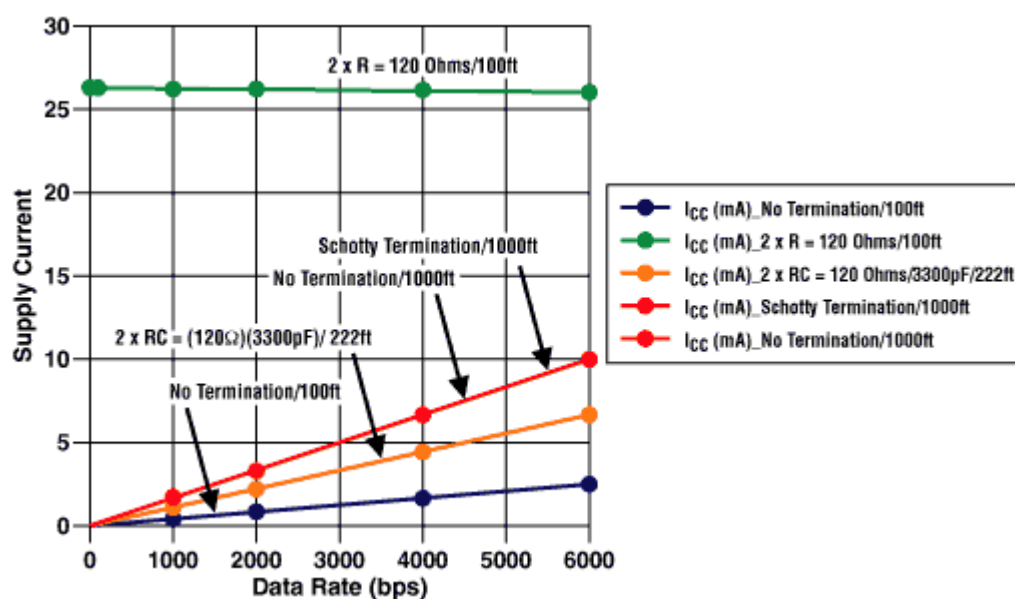


Рисунок 7. Потребляемый ток в системах RS-485 сильно зависит от скорости передачи данных и типа согласования.