

УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ И ДАЛЬНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ПО FIELDBUS

ЕВГЕНИЙ КОПЫЛОВ, инженер

В статье рассматриваются ключевые временные показатели, определяющие надежность передачи данных и точность тактирования. Особое внимание уделяется влиянию длины кабеля. Приводятся преимущества использования приемопередатчиков RS-485 в промышленных сетях.

Широкое распространение стандартов RS-485 Fieldbus и Industry 4.0 способствует увеличению количества промышленных предприятий, на которых применяются умные сети. Технологии Fieldbus обеспечивают оптимальное соотношение между электромагнитной совместимостью (ЭМС) и надежной передачей данных.

Низкая надежность передачи данных приводит к снижению производительности системы. Системы управления движением на основе Fieldbus, как правило, используются при позиционном управлении с обратной связью в двигателях с одной или несколькими осями. На рисунке 1 приводятся типичные значения скорости передачи и длины кабеля. Если позиционирование осуществляется неточно, уменьшается продуктивность производства.

В беспроводных приложениях шина Fieldbus применяется для управления наклоном и позицией антенны, особенно в случаях, когда важна точная передача данных. В этих обеих сферах применения требуются разные уровни защиты от электромагнитных помех (см. рис. 1). Устройства, осуществляющие управление движением, обычно работают в электрически зашумленных средах, из-за чего могут возникать ошибки в данных. Для сравнения, беспроводная инфраструктура должна быть защищена от разрядов молнии.

Для обеспечения надежной передачи и удовлетворения требований к ЭМС необходимо проанализировать временные характеристики приемопередатчиков RS-485. В данной статье рассматриваются ключевые показатели производительности, в т. ч. по тактированию и распределению данных, влияние длины соединительного кабеля, а также описываются преимущества использования приемопередатчиков RS-485 в промышленных системах.

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

При обеспечении надежной передачи данных на высоких скоростях по длинным кабелям большое значение приобретают временные характеристики, к которым относятся джиттер (фазовый шум) и разность фаз. Часто они ассоциируются с передачей низковольтных дифференциальных сигналов (LVDS). Заметим, что фазовый шум и разность фаз обусловлены не только самим приемопередатчиком RS-485, но и соединительными кабелями.

Фазовый шум может быть количественно охарактеризован как ошибка временного интервала, а именно разность между расчетным и фактическим временем начала переключения сигнала. В линии связи имеется несколько источников фазового шума, которые делятся на детерминированные и случайные.

Случайный фазовый шум определяется по распределению Гаусса. Он обусловлен тепловым шумом и широкополосным дробовым шумом внутри полупроводника. Детерминирован-

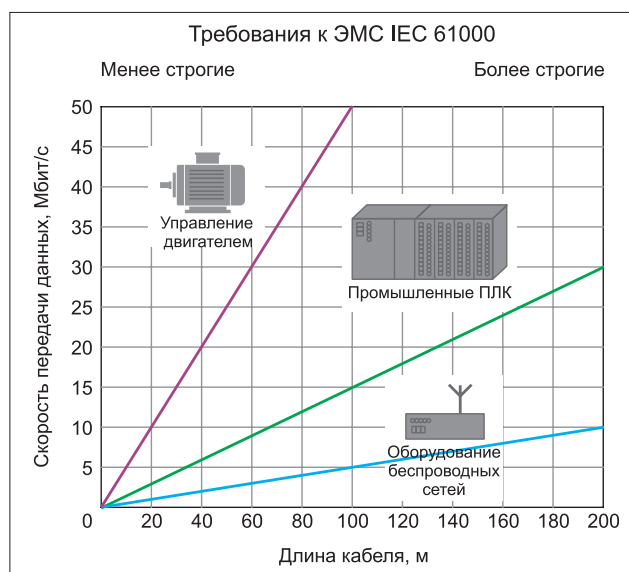


Рис. 1. Зависимость скорости передачи данных разного оборудования от длины кабеля RS-485

ный фазовый шум генерируется источниками внутри системы связи, к которым относятся искажение рабочего цикла, взаимные помехи, периодические внешние источники и межсимвольная интерференция. В системах связи RS-485 со скоростью передачи данных ниже 100 МГц детерминированные эффекты преобладают над случайными.

Размах напряжения фазового шума является удобной мерой общего системного детерминированного джиттера. Его измерение проводится во временной области путем наложения большого количества переключений сигнала на одном экране (глазковая диаграмма). Для ее получения используется режим бесконечного послесвечения или встроенное программное обеспечение, осуществляющее декомпозицию фазового шума (см. рис. 2).

Ширина наложенных переключений (т. е. линий глазка) представляет собой размах шума. В открытой области

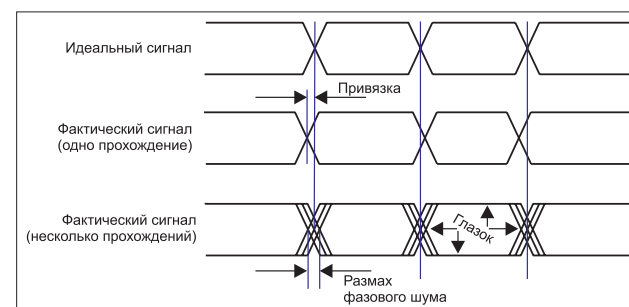


Рис. 2. Ошибка временного интервала, фазовый шум и глазковая диаграмма

глазка производится выборка сигнала. Чем больше открыт глазок, тем ниже риск появления ошибки. Основное влияние на чистоту глазковой диаграммы оказывает детерминированный шум от преобразователя RS-485, приемника и соединяющего кабеля.

На рисунке 3 показаны источники шума. В сетях RS-485 основной вклад вносят искажения импульсов приемопередатчика и межсимвольная интерференция. Под искажением импульсов понимается искажение длительности импульса или рабочего цикла. Это одна из форм детерминированного фазового шума, вносимого приемопередатчиками как в передающем, так и в принимающем узле. Искажение длительности импульса измеряется как разность задержки распространения между передним и задним фронтами сигнала. При дифференциальной передаче эта разность приводит к асимметричному расположению точек пересечения и рассогласованию длительности передачи логических нулей и единиц.

В системах синхронизации чрезмерное искажение длительности импульса проявляется как искажение рабочего цикла сигнала тактирования. В системах распределения данных из-за этой асимметричности увеличивается размах фазового шума. В обоих случаях слишком сильное искажение длительности импульса негативно отражается на сигналах, передаваемых по сети RS-485: уменьшается интервал, доступный для выборки, а также ухудшаются общие характеристики системы.

Межсимвольная интерференция возникает тогда, когда время прихода фронта сигнала становится зависимым от ранее принятых данных. Это доминирующий источник фазового шума в системах с длинными кабелями. При использовании длинных межсоединений учитывается постоянная времени RC, поскольку емкость кабеля не успевает зарядиться полностью к концу одного бита. Если поток передаваемых данных состоит только из тактового сигнала, этот эффект отсутствует.

Межсимвольная интерференция вызывается также рассогласованием импедансов на линии передачи из-за неправильно подобранного номинала согласующих резисторов на концах линии. Как правило, свести к минимуму межсимвольную интерференцию удастся с помощью приемопередатчиков RS-485 с высокой выходной мощностью, поскольку требуется меньше времени на заряд емкости нагрузки кабеля RS-485.

Допустимый уровень фазового шума в значительной мере зависит от требований к устройству. В целом, для определения качества передатчика и кабеля RS-485 используется оценка 10%. Чрезмерный фазовый шум и искажение длительности импульса приводит к уменьшению интервала, в течение которого можно производить выборку, что, в конечном счете, приводит к появлению ошибок. При правильном согласовании линии передачи и выборе приемопередатчика, обеспечивающего минимальное искажение длительности импульса и межсимвольную интерференцию, надежность передачи максимальна.

ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКИ RS-485

Стандарт TIA-485-A/EIA-485-A RS-485 описывает требования к приемникам и передатчикам RS-485, в т. ч. разность выходного напряжения, характеристики при коротком замыкании, синфазную нагрузку, диапазон и пороговые значения входного напряжения. Временные характеристики, в т. ч. нестабильность длительности импульса и фазовый шум, не регламентируются стандартом. Они оптимизируются производителями компонентов и указываются в технической документации.

В других стандартах, например TIA-568-B.2/EIA-568-B.2 для витой пары, устанавливаются требования к кабелям по постоянному и переменному току. В этом стандарте описаны процедуры измерения фазового шума, расхождения длительности

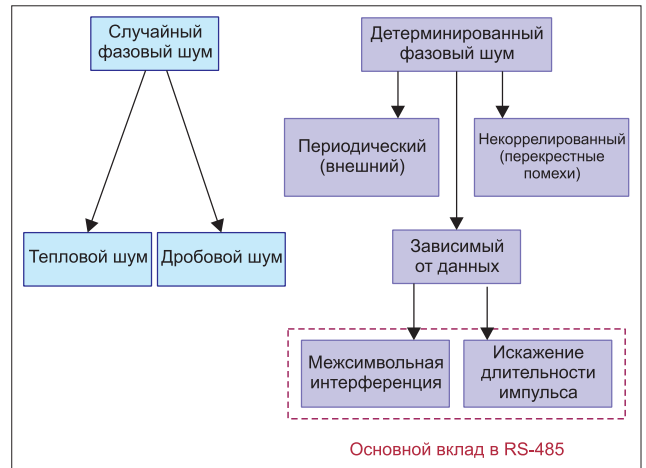


Рис. 3. Основные источники фазового шума в сети RS-485

импульса и других временных параметров, приведены ограничения. Так, для кабеля категории 5 е максимально допустимое расхождение длительности импульса составляет 45 нс на 100 м. Для оценки характеристик системы необходимо осуществлять измерения при использовании длинного кабеля и приемопередатчика RS-485.

Приемопередатчики следующего поколения, например ADM3065E от Analog Devices, обеспечивают чрезвычайно малое расхождение длительности импульса не только в приемнике, но и в передатчике. Это позволяет передавать прецизионный тактовый сигнал, который используется в таких стандартах как EnDat 2.2. Как видно из рисунков 4–5, детер-

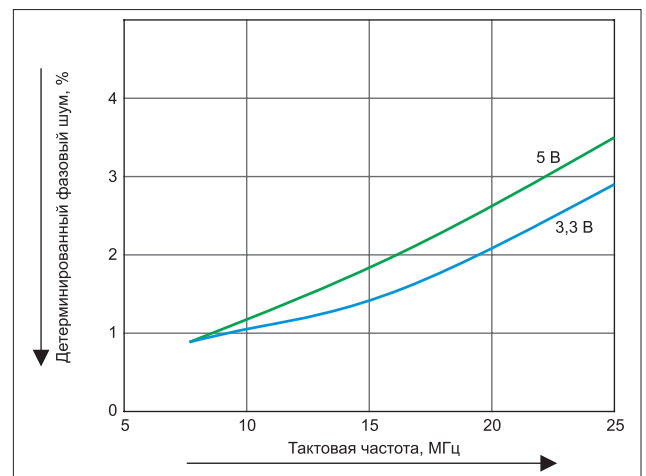


Рис. 4. Типичный фазовый шум ADM3065E

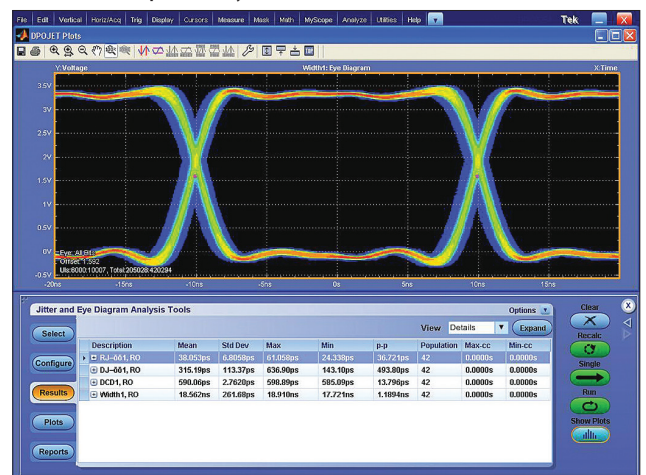


Рис. 5. Глазковая диаграмма ADM3065E принятого сигнала на частоте 25 МГц при длине кабеля 100 м

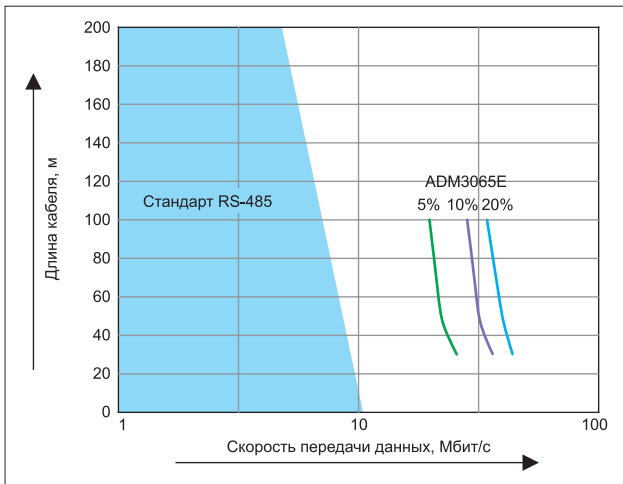


Рис. 6. Фазовый шум на приемном конце ADM3065E Standard RS-485 – Стандартное устройство RS-485

минированный шум системы не превышает 5% при типичной длине кабеля в системах управления двигателем. Напряжение питания приемопередатчика составляет 3,3 или 5 В.

Помимо качественного распределения тактовых сигналов приемопередатчики с улучшенными характеристиками позволяют осуществлять надежное распределение данных. Они обеспечивают высокую скорость передачи при минимальном фазовом шуме. На рисунке 6 показано, что для современных приемопередатчиков RS-485 уже неактуальны ограничения, которые налагались ранее (фазовый шум не более 10%). Так, приемопередатчик ADM3065E обеспечивает скорость передачи более 20 Мбит/с при длине кабеля 100 м и фазовом шуме 10% на приемном конце. При этом достигаются такие значения точности и надежности передачи, которые прежде были недостижимы. При фазовом шуме 20% скорость передачи равна 35 Мбит/с при длине кабеля 100 м.

В каждом пакете EnDat 2.2 данные передаются синхронно с задним фронтом тактового сигнала. Из рисунка 7 видно, что стартовые биты начинают передачу с шифратора обратно в главный контроллер после исходного расчета абсолютной позиции (TCAL). Последующие биты ошибки (F1, F2) показывают вероятную ошибку в расчете позиции. Затем шифратор передает абсолютное значение позиции, начиная с LS, после чего следуют данные. Целостность сигнала данных и сигнала тактирования критична, особенно при длинном кабеле. Максимальное значение фазового шума в EnDat 2.2 составляет 10%. Максимально продуктивная работа осуществляется при тактовом сигнале 16 МГц и длине кабеля 20 м. Из рисунка 4 видно, что эти требования выполняются при фазовом шуме 5%. Возможна и обратная ситуация, когда требования к фазовому шуму удовлетворены, а требования стандарта RS-485 – нет (см. рис. 6).

БОЛЕЕ ВЫСОКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ПРИ БОЛЬШЕЙ ДЛИНЕ КАБЕЛЯ

Стандарт TIA-485-A/EIA-485-A RS-485 предполагает использование совместимых драйверов RS-485 для генерации дифференциального напряжения V_{OD} не менее 1,5 В. При этом можно ослабить постоянный сигнал 1,3 В в длинном кабеле. Приемники RS-485 работают при входном дифференциальном напряжении 200 мВ.

При выходном напряжении приемопередатчика 2,1 В и напряжении питания 5 В система выходит за рамки требований стандарта. При полной нагрузке импеданс сети RS-485 эквивалентен дифференциальной нагрузке 54 Ом.

Приемопередатчик ADM3065E имеет собственную архитектуру выходного каскада, обеспечивающую максимальное напряжение V_{OD} , и удовлетворяет требованиям к диапазону синфазного напряжения, которые строже, чем в стандарте TIA-485-A/EIA-485-A. На рисунке 8 показаны характеристики приемопередатчика, превосходящие требования стандарта RS-485 более чем на 210% при напряжении питания

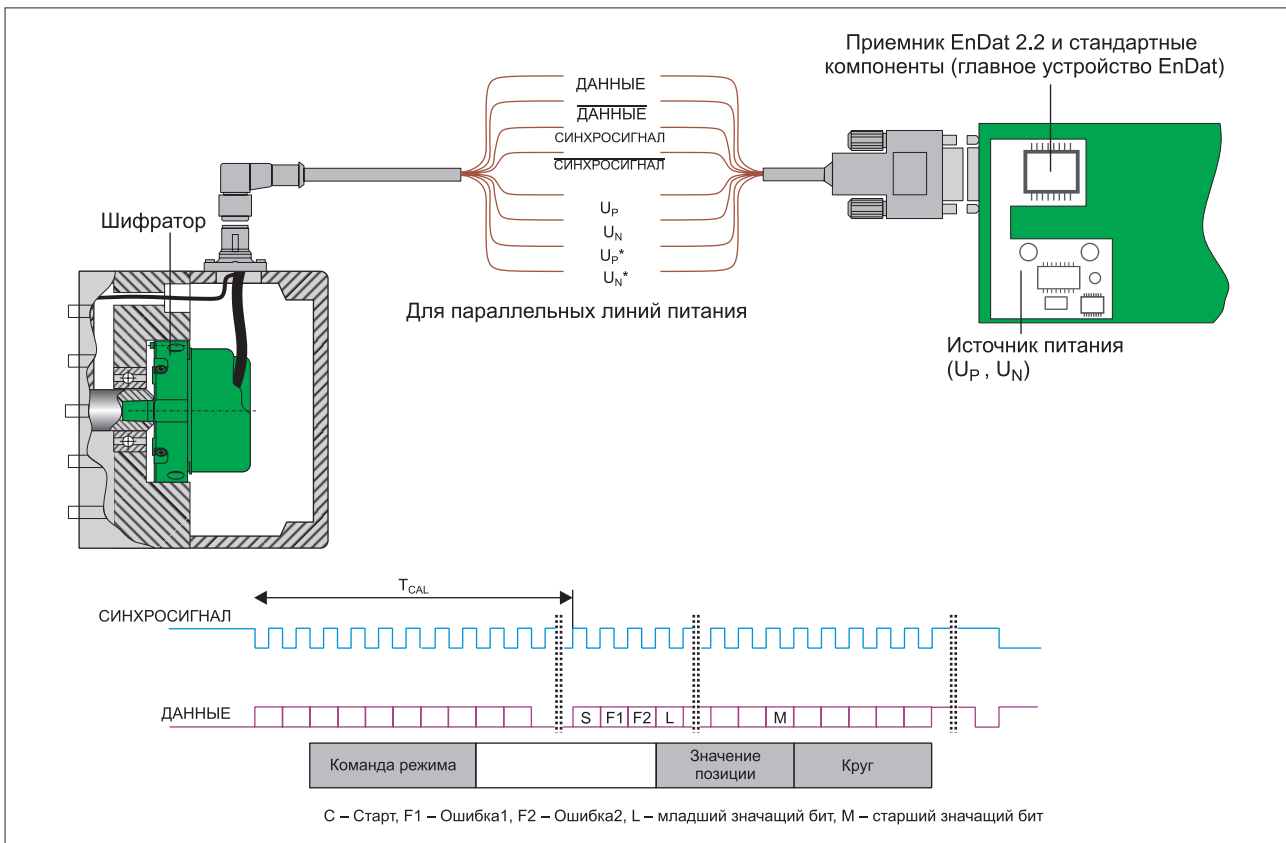


Рис. 7. Физический уровень EnDat 2.2 и протокол с синхронизацией данных

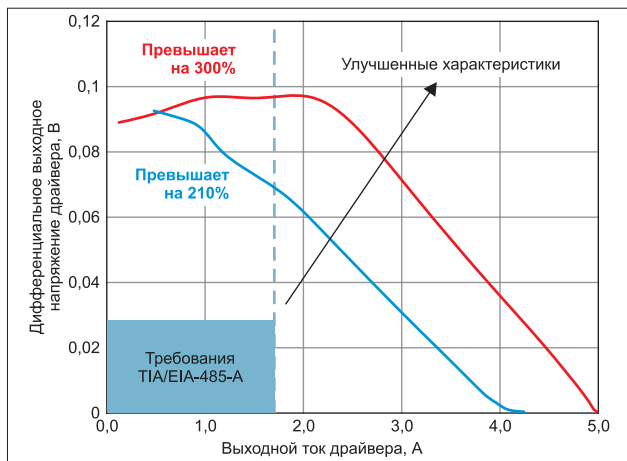


Рис. 8. Характеристики приемопередатчика ADM3065E превосходят требования RS-485 в широком диапазоне напряжения питания

3,3 В и более чем на 300% при 5 В. Таким образом, можно расширить дальность связи либо работать в более зашумленных средах, чем стандартные приемопередатчики RS-485.

На рисунке 9 представлены характеристики в типичном приложении при длине кабеля 1000 м. При передаче по стандартному кабелю AWG 24 усовершенствованный приемопередатчик обеспечивает на 30% больший запас по шуму на приемном конце, что соответствует 30%-му увеличению максимальной длины кабеля при низкой скорости передачи. Эти характеристики хорошо подходят для беспроводной инфраструктуры, когда длина кабеля RS-485 превышает несколько сотен метров.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Сигнал RS-485 по своей природе симметричный и нечувствительный к шуму. Системный сигнал одинаково воздействует на оба провода в витой паре. Шумовые токи равны и текут в противоположных направлениях, и электромагнитные поля на шине RS-485 взаимно уничтожаются. При этом уменьшается электромагнитная чувствительность системы. Кроме того, более высокое управляющее напряжение позволяет увеличить отношение сигнала к шуму. При большой длине кабеля в несколько сотен метров между землей и антенной на станциях беспроводной связи, при повышенном отношении сигнала к шуму и высокой целостности сигнала они обеспечивают точное и надежное управление наклоном и позицией антенны.

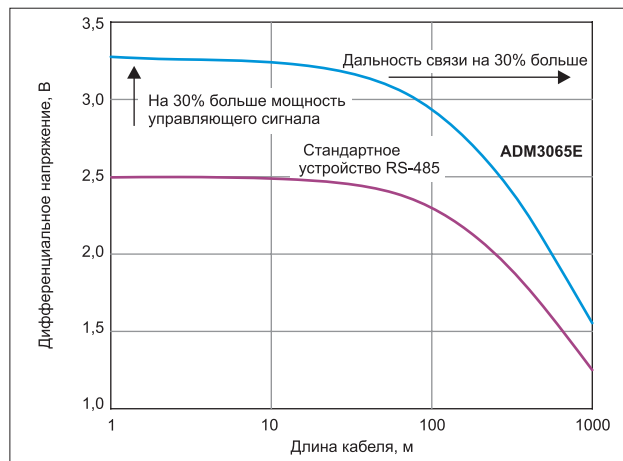


Рис. 9. Дифференциальный сигнал приемопередатчика ADM3065E при работе на длинных дистанциях

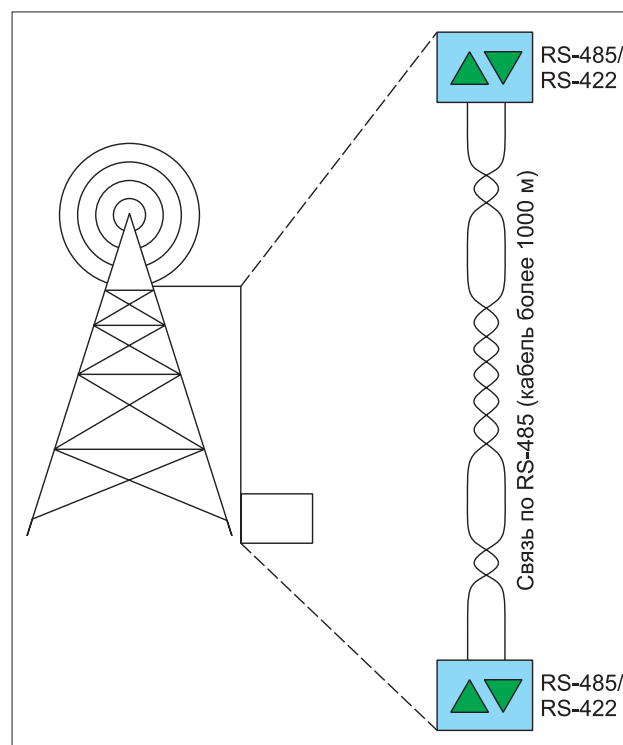


Рис. 10. Длина кабеля в оборудовании беспроводной связи может превысить сотни метров

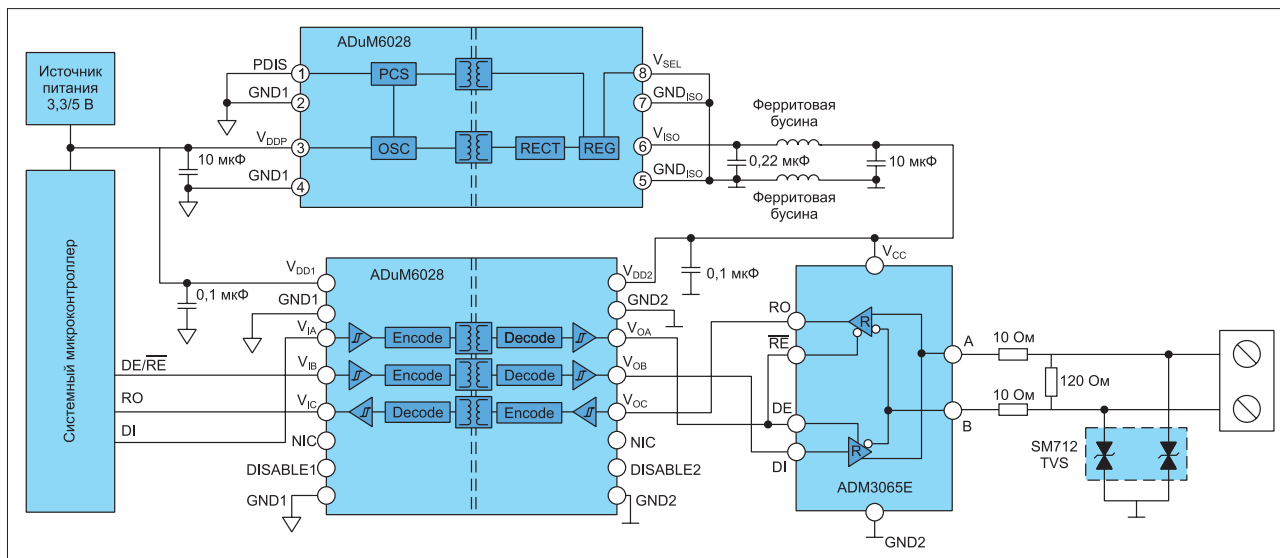


Рис. 11. Законченное решение RS-485 25 Мбит/с с развязкой и защитой от электростатического разряда и перенапряжения

Как видно из рисунка 1, приемопередатчикам, осуществляющим обмен с внешними устройствами, требуется защита от электромагнитных помех. Например, одной из наиболее распространенных угроз является электростатический разряд на соединителях и разъемах. В соответствии со стандартом системного уровня IEC 61800-3 требуется защита от разрядов ± 4 кВ (при контакте)/ ± 8 кВ (по воздуху). Усовершенствованные приемопередатчики имеют защиту ± 12 кВ (при контакте)/ ± 12 кВ (по воздуху).

Оборудованию для беспроводных сетей требуется повышенная защита от электромагнитных помех для защиты от грозовых разрядов. Добавление приемника ТВ-сигнала SM712 и двух резисторов по 10 Ом на вход приемопередатчика обеспечивает защиту от электромагнитных помех до ± 30 кВ (стандарт 61000-4-2) и защиту от перенапряжения ± 1 кВ (стандарт 61000-4-5).

Для увеличения стойкости к шуму в системах управления двигателем, автоматизации процессов и в оборудовании для беспроводных сетей можно добавить гальваническую развязку до 5 кВ (СКЗ). Например, в приемопередатчике ADM3065E с этой целью применяются технологии *iCoupler* и *isoPower Analog Devices*, реализо-

ванные в нескольких семействах: изолятор ADuM231D обеспечивает три канала с развязкой 5 кВ (СКЗ). Благодаря его временным характеристикам скорость передачи достигает 25 Мбит/с. Преобразователь постоянного тока ADuM6028 также обеспечивает развязку 5 кВ и имеет очень компактный размер 6x7,5 мм.

ВЫВОДЫ

Характеристики приемопередатчиков RS-485 следующего поколения превосходят требования текущих стандартов, что позволяет осуществлять связь на более дальние расстояния и на более высокой скорости. При фазовом шуме 10%, как требуется в стандарте EnDat 2.2, тактовая частота может составлять 16 МГц при длине кабеля 20 м, что непросто обеспечить с помощью стандартных устройств RS-485 (см. рис. 10, 11)

Таким образом, повышается надежность передачи данных на более дальние расстояния. Стойкость к шуму можно повысить с помощью развязки *iCoupler*, например путем использования развязывающего устройства ADuM231D и компактного импульсного регулятора напряжения ADuM6028. 