

Цифровые изоляторы Si84xx фирмы Silicon Labs

Алексей КУРИЛИН
ak@efo.ru

Цифровой изолятор представляет собой цифровую микросхему, предназначенную для организации гальванически разделенных каналов передачи цифровых сигналов, в том числе для согласования уровней логических сигналов и исключения паразитных контуров с замыканием через «землю». Фирма Silicon Labs выпускает микросхемы Si84xx, которые обеспечивают от одного до шести гальванически разделенных каналов передачи цифровых данных со скоростью до 150 Мбит/с. На сегодняшний день они лидируют на рынке аналогичных решений по сочетанию технических возможностей, надежности, энергопотребления и стоимости, вытесняя классическую технологию оптронной изоляции и похожие решения других фирм. Цифровые изоляторы Si84xx могут быть использованы для реализации гальванического разделения в изделиях промышленной автоматики, телекоммуникационном, медицинском или офисном оборудовании.

Технические особенности

Функционирование каждого канала у изоляторов Si84xx аналогично работе оптрона, где вместо модулированного светового потока передается модулированный радиосигнал. Реализованная фирмой Silicon Labs по КМОП-технологии (0,25 мкм), такая схема обеспечивает надежный изолированный канал передачи данных без необходимости

инициализации радиочастотной части и подключения внешних элементов. На рис. 1 приведена упрощенная функциональная схема двухканального цифрового изолятора Si8421.

Радиочастотный передатчик осуществляет передачу данных на частоте 700 МГц с ООК-модуляцией (On-Off Keying) (рис. 2), где сигнал «лог. 1» определяется наличием радиосигнала, а сигнал «лог. 0» — его отсут-

ствием. Радиочастотный приемник не содержит триггерных узлов и передает сигнал на выходе в полном соответствии с сигналом на входе.

В качестве изоляционного материала используется диоксид кремния, обеспечивающий изоляцию в 500 В действующего значения переменного напряжения на каждый микрон. Суммарная толщина барьера на требуемые 2,5 и 5 кВ достаточно мала, чем обеспечивается возможность передачи мощного сигнала и исключается возможность взаимного влияния сигналов в разных каналах, а также не создается дополнительных помех в изделии, куда установлен такой изолятор.

Влияние же внешних электромагнитных помех, а также синфазного шума подавляется за счет дифференциальной передачи радиосигнала (рис. 3). Дифференциальный каскад приемника дает на выходе разницу сигналов дифференциальной пары V+ и V-, исключая синфазную помеху (Vcm), одинаково влияющую на оба канала в паре.

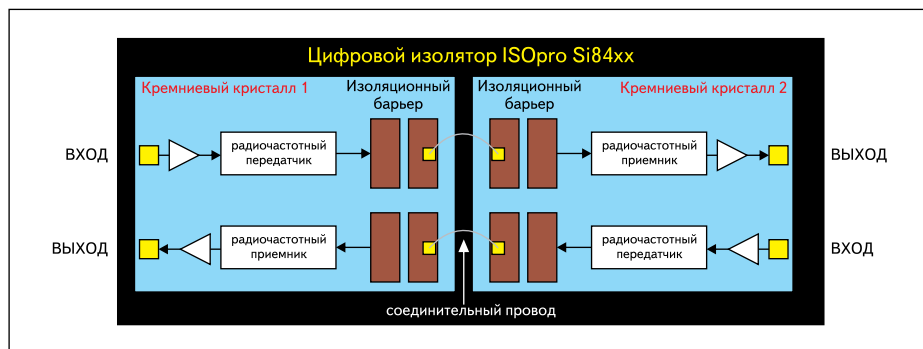


Рис. 1. Функциональная схема двухканального цифрового изолятора Si8421

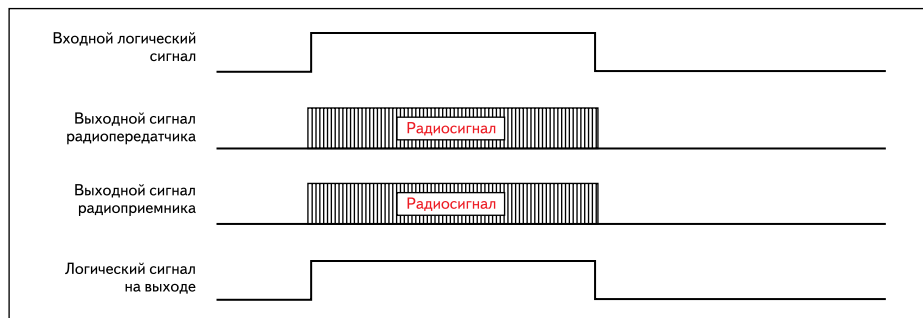


Рис. 2. Взаимосвязь сигналов на входе, выходе и внутри Si84xx

Ассортимент

Ассортимент цифровых изоляторов Silicon Labs насчитывает более 60 различных наименований микросхем. Каждая линейка ранжируется по следующим параметрам:

- Максимальная скорость передачи данных:
 - до 150 Мбит/с — Si84xxBx-(R)-IS;
 - до 1 Мбит/с — Si84xxAx-(R)-IS.
- Среднеквадратическое (действующее) значение изолируемого переменного напряжения:
 - 2,5 кВ — Si84xxxB-(R)-IS;
 - 5 кВ — Si84xxxD-(R)-IS.

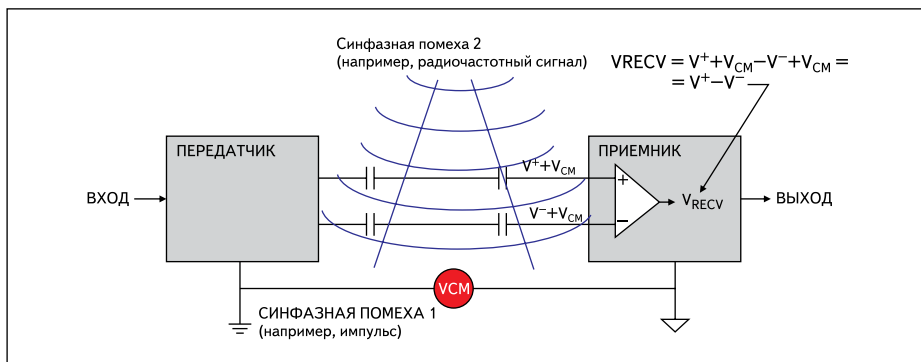


Рис. 3. Дифференциальная передача сигналов в цифровых изоляторах Si84xx

Таблица 1. Ассортимент однонаправленных цифровых изоляторов

Количество каналов	6	5	4	3	2	1
Конфигурация: каналов «туда», каналов «обратно»	Si8460	Si8450/55	Si8440/45	Si8430/5	Si8420	Si8410
	Si8461	Si8451	Si8441	Si8431	Si8421	
	Si8462	Si8452	Si8442		Si8422*	
	Si8463				Si8423*	
Корпус	узкий SOIC-16	узкий SOIC-16, QSOP-16 (Si8455)	узкий SOIC-16, широкий SOIC-16, QSOP-16 (Si8442)	узкий SOIC-16, широкий SOIC-16	узкий SOIC-8, широкий SOIC-16	
Напряжение изоляции, кВ	2,5				5; 2,5	
Градации скорости, Мбит/с	1; 150					

Примечание. * — входной уровень по умолчанию «лог. 1».

Буква «R» обозначает ревизию микросхемы. На момент написания статьи у большинства микросхем текущая ревизия «D», но для некоторых недавно выпущенных микросхем отчет дошел только до версии «B».

3. Возможное направление передачи данных:

- однонаправленные — Si84xx, кроме Si840x;
- двунаправленные — Si840x.

Основная часть изоляторов Silicon Labs обеспечивает однонаправленную передачу данных, но направленность при этом может быть прямой или обратной. Для передачи данных по интерфейсу I²C, где обе линии интерфейса могут передавать данные в прямую и обратную сторону, выпускаются микросхемы Si840x, где Si8401 — микросхема с жестко заданным мастером на шине, а Si8405 — с дополнительными однонаправленными линиями.

В таблицах 1 и 2 приведены доступные сочетания скоростей обмена данными, количества каналов, типов корпуса и изоли-

руемых напряжений. Полное наименование комплектации можно найти в разделе Ordering information документации на соответствующую линейку микросхем.

Изоляторы Si8455, Si8445 и Si8435 отличаются от других микросхем в линейках пяти-, четырех- и трехканальных изоляторов отсутствием вывода «EN», который разрешает вывод сигнала либо переводит выходные линии

Таблица 2. Ассортимент двунаправленных цифровых изоляторов

Количество каналов	Двунаправленные SDA, SCL	Двунаправленные SDA, SCL + один прямой + один обратный
Конфигурация: каналов прямых/ каналов обратных	Si8400	Si8405
	Si8401	
Корпус	узкий SOIC-8	узкий SOIC-16
Напряжение изоляции, кВ	2,5; 1	
Градации скорости, Мбит/с	1,7	

в третье состояние. Это сделано для замены выводно совместимых микросхем ADUM фирмы Analog Devices, у которых этот вывод определяет состояние выходов в момент включения питания.

Микросхемы Si8455 и Si8442 помимо стандартных корпусов SOIC выпускаются дополнительно в корпусах QSOP16, которые на фоне узкого SOIC16 (3,9×9,9 мм) имеют еще меньший размер — 3,9×6 мм. Но эти микросхемы обеспечивают изоляцию только в 1 кВ.

Сравнение с аналогичными решениями

Цифровые изоляторы Silicon Labs — продукт уникальный по соотношению своих технических характеристик и цены. Сравнение технических характеристик сходных по ценовой категории изделий приведено в таблице 3.

При своих отличных технических характеристиках цифровые изоляторы Silicon Labs дешевле аналогичных микросхем от Analog Devices в среднем на 20%. Изоляторы Silicon Labs также более выгодны в сравнении с классической оптронной развязкой, если просуммировать стоимость всех ее компонентов и их монтажа, включая выводной монтаж и стоимость площади печатной платы, которая в разы превышает размеры, занимаемые изолятором Silicon Labs.

Сравнение с оптронной изоляцией по техническим характеристикам в таблице 3 можно дополнить следующими очевидными фактами:

Таблица 3. Сравнение технических характеристик цифровых изоляторов

Характеристики	ISOpro Si84xx (Silicon Labs)	ADUM (Analog Devices)	xCPL (Avago Technologies)
Способ передачи сигнала	Емкостная связь	Импульсный трансформатор	Оптический сигнал
Максимальная скорость обмена данными, Мбит/с	150 (любая серия)	150 (только серия ADuM344xС на 2,5 кВ)	50
Задержка распространения сигнала, нс	< 10	20	22
Джиттер при передаче периодического сигнала (пиковое значение), пс	< 250	> 500	< 1000
Искажение ШИМ-модулированного сигнала, нс	1,6	2	2
Энергопотребление на скорости 10 Мбит/с	< 6 мА при 3,3 В	< 6 мА при 3,3 В	< 58 мА при 3,3 В
Стойкость к электростатическим разрядам (модели человеческого тела/заряженного устройства/машинная модель)	4 кВ/2 кВ/400 В	3,5 кВ/1,5 кВ/200 В	4 кВ/1 кВ/—
Стойкость к кратковременной синфазной помехе, кВ/мкс	> 25	25	15
Стойкость к электрическому полю, В/м	> 14	5	3

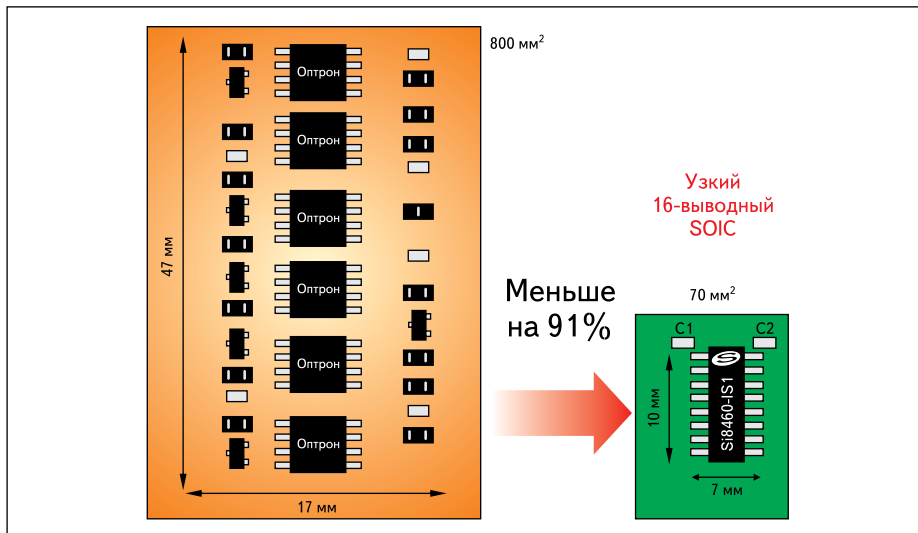


Рис. 4. Реализация шестиканальной гальванической развязки на оптронах и Si84xx

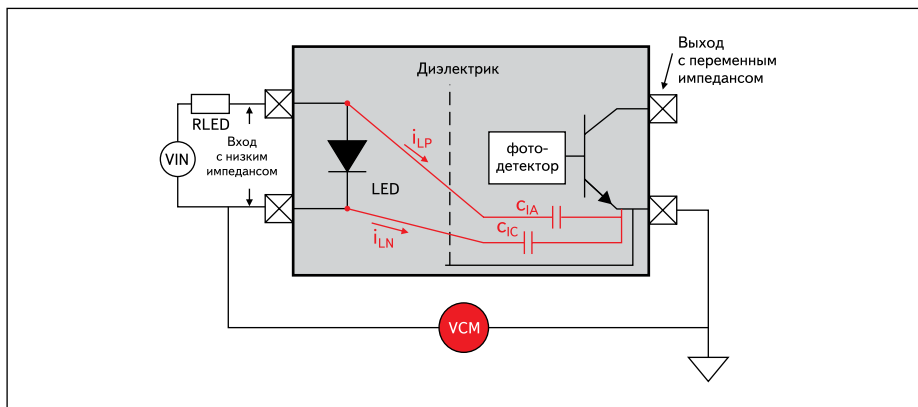


Рис. 5. Способ влияния синфазной помехи в оптронной развязке

1. Реализация изоляции на цифровых изоляторах Silicon Labs заметно компактнее в сравнении с оптронной развязкой (рис. 4).
2. Параметры развязок на оптронах сильно зависят от температуры окружающей среды и питающих напряжений, а значит, это необходимо учитывать при расчете параметров цепей на их базе.
3. Элементы гальванической развязки на оптронах необходимо рассчитывать с учетом деградации светопропускающего слоя оптрона. Так, например, среднее время до отказа для современных оптронов составляет 13–15 лет, в то время как для изоляторов Silicon Labs расчетное время составляет 87 лет. Деградация ограничивает срок службы изделия с оптронами, и она тем интенсивнее, чем в более высоких температурах эксплуатируется оптрон.
4. Несимметричная передача данных в оптопарах не обеспечивает высокой устойчивости к синфазной помехе. Здесь даже в квазидифференциальном включении светодиода (рис. 5) помеха влияет хоть и через небольшую, но паразитную емкостную связь таким образом, что положительно

приложенная к «землям» помеха приводит к ложному выключению светодиода, а приложенная отрицательно — к ложному его включению. Включение светодиода с избыточным током, как средство защиты от случайных переключений, ведет к другим проблемам: избыточному энергопотреблению и быстрой деградации оптрона.

Представленные в таблице 3 цифровые изоляторы серии ADUM фирмы Analog Devices близки по своим техническим характеристикам к микросхемам Silicon Labs, но ключевые различия не лежат на поверхности. Проведем дополнительное сравнение изоляторов Silicon Labs с микросхемами ADUM (табл. 4).

Анализируя данные таблицы 4, получаем, что изоляторам Analog Devices присущи следующие недостатки в сравнении с изоляторами Si84xx:

1. Микросхемы ADUM выпускаются по двум технологическим процессам на трех кремниевых подложках, что само по себе является более дорогостоящей технологией производства.
2. Следствие из п. 1: невозможно сделать микросхемы такими же компактными, как Si84xx.
3. В три раза большая паразитная емкость импульсного трансформатора в сравнении с изоляционным барьером Si84xx ухудшает стойкость изоляторов ADUM к воздействию помех от мощных электростатических разрядов.
4. Интегрированный на кристалл изоляционный барьер в изоляторах Silicon Labs имеет дополнительное экранирование от внешних радиочастотных помех соседними металлизированными участками, в отличие от изоляционного барьера изоляторов ADUM, где такого полезного соседства нет.
5. Импульсный трансформатор изоляторов ADUM не обеспечивает дифференциальную передачу данных, а значит, сигнал более подвержен влиянию синфазной помехи.
6. Выходной тракт изоляторов ADUM построен на RS-триггере, который в данном исполнении имеет свойство «помнить» предыдущее состояние в случае прохождения краткосрочной импульсной помехи (рис. 6). Конечно же, проблема частично решается схемотехническими способами, но описана она в отдельном руководстве, до которого разработчик может попросту не дойти. Информацию, представленную выше, дополним следующими графиками:

Таблица 4. Сравнение технологических особенностей производства изоляторов Si84xx и ADUM

Технология	Si84xx ISOpro	ADuM iCoupler
Функциональная схема		
Топология		
Количество кристаллов	2	3
Изоляция	Реализована на кристалле — единый техпроцесс	На полиимидной пленке — отдельный техпроцесс
Структура изолятора	Полностью интегрированный на кристалл емкостной барьер	В ~3 раза больше по размеру по X, Y и Z. Импульсный трансформатор выступает в роли антенны
Чувствительность к внешним радиочастотным наводкам	Минимальная чувствительность по причине дифференциальной структуры изолятора	Чувствителен к наводкам по причине несимметричной трансформаторной развязки
Реакция на кратковременную импульсную помеху	Сигнал на входе полностью соответствует сигналу на выходе	Триггер может «помнить» предыдущее состояние, если не успеет определить последующий фронт или спад

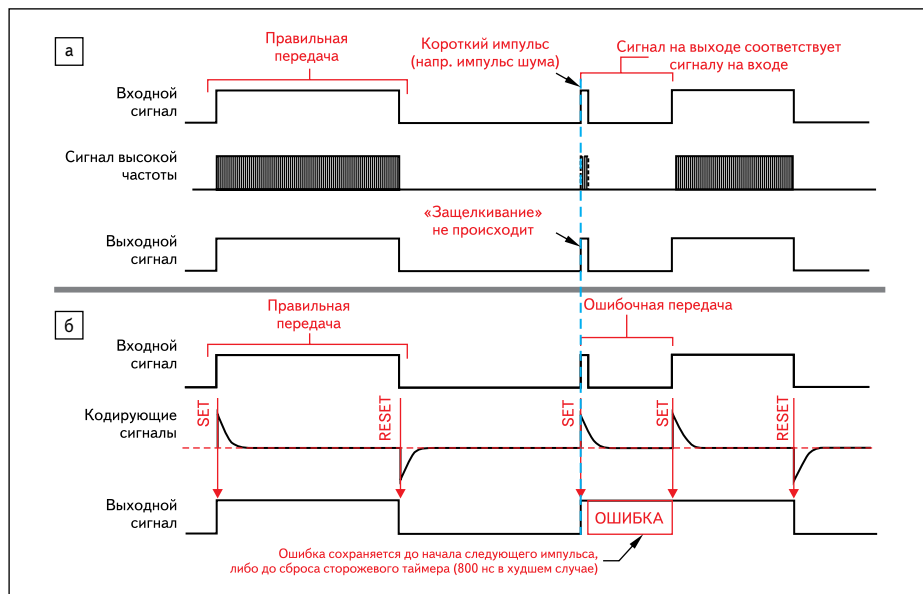


Рис. 6. Прохождение импульсной помехи в цифровых изоляторах: а) Si84xx; б) ADUM

- Рис. 7 — предельные значения магнитного потока для цифровых изоляторов и минимальные требования стандартов. Здесь требования стандартов цифровые изоляторы Silicon Labs выполняют с заметным запасом.
- Рис. 8 — энергопотребление цифровых и оптронных развязок при напряжении питания 5 В. Энергопотребление изоляторов Si84xx заметно выигрывает на больших скоростях обмена данными. Разница менее существенна при питании 3,3 В.
- Рис. 9 — задержка распространения сигнала Si84xx и ADUM14xx. У цифровых изоляторов Si84xx она не превышает 10 нс и практически не зависит от напряжения питания.
- Рис. 10 — излучаемый сигнал от изоляторов Si8442 и ADUM1402. Сигнал измерялся по стандарту SAE1752-3, описывающему процедуру измерения излучаемого сигнала различных микросхем. Это измерение было выполнено сторонней лабораторией, не заинтересованной в результатах теста. Результаты измерений показали, что излучение изоляторов Silicon Labs практически незаметно на фоне общего шума, в то время как изолятор ADUM является источником дополнительного шума на плате.

Переход с ADUM на Si84xx

Во многих проектах, сделанных в России, исторически заложены цифровые изоляторы ADUM, которые уже давно присутствуют на рынке. Поэтому регулярно возникает задача перевода проектов на цифровые изоляторы Silicon Labs, большинство из которых может быть использовано без изменения дизайна печатной платы, сделанной под изоляторы ADUM. В таком случае необходимо иметь в виду следующее:

1. Большинство микросхем различаются логическим состоянием на выходе при отсутствии либо при еще не установившемся значении напряжения питания на входной стороне изолятора (то есть сигнал на вхо-

де еще не может быть корректно передан). У микросхем Silicon Labs выходной уровень в таком случае имеет значение 0, а в случае запрета выводом «EN» находится в третьем состоянии. У изоляторов Analog Devices логический уровень по умолчанию — 1, но есть ряд микросхем, в которых это значение задается отдельным выводом. На их замену Silicon Labs выпускает изоляторы Si84x5 (Si8455, Si8445 и Si8435), где вывод «EN» исключен и не вызывает конфликта с существующим дизайном.

2. Микросхемы изоляторов в 16-выводном широком корпусе SOIC выполнены для простой замены на готовых платах изоляторов Analog Devices. Ассортимент изоляторов Silicon Labs позволяет, переработав печатную плату, сэкономить до 30% ее площади за счет использования микросхем в узком корпусе SOIC.
3. Для замены двухканальных изоляторов ADUM выпускаются полностью совместимые микросхемы Si8422 и Si8423, в которых значение на выходе при неустановившемся значении напряжения питания на входной стороне равно «1», как и в изоляторах ADUM.

Нередко при реализации гальванической развязки возникает проблема передачи мощности

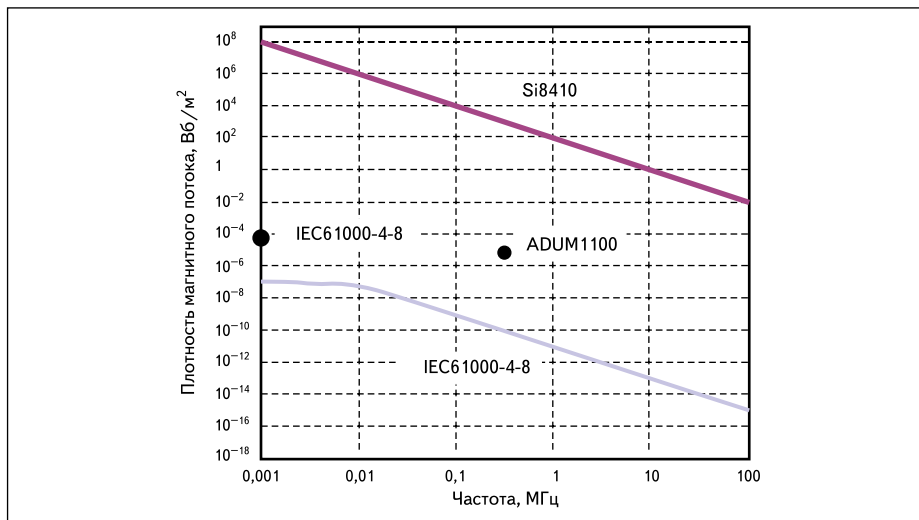


Рис. 7. Предельные значения магнитного потока для цифровых изоляторов и минимальные требования стандартов

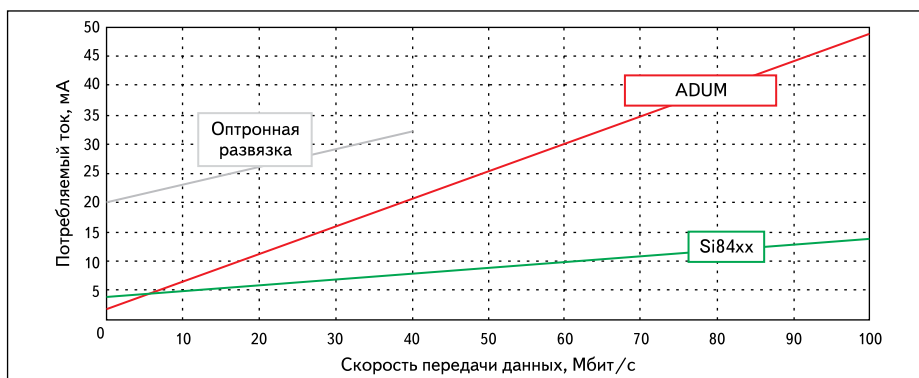


Рис. 8. Энергопотребление цифровых и оптронных развязок при напряжении питания 5 В

на приемную сторону для организации ее питания. Фирма Analog Devices выпускает изоляторы со встроенным DC/DC-преобразователем, в отличие от Silicon Labs, которая таких микросхем не выпускает. Но стоимость таких изоляторов Analog Devices (российские поставщики предлагают их по цене около \$10), низкий КПД встроенного DC/DC-преобразователя, малая скорость передачи данных самих изоляторов этой серии, а также большие размеры микросхем вынуждают разработчиков искать альтернативные решения. Положение усложняется тем фактом, что некоторые разработчики столкнулись с нестабильностью запуска самого DC/DC-преобразователя, встроенного в изоляторы ADUM.

Надежное, конфигурируемое под задачу решение можно реализовать на базе простого транзисторного преобразователя напряжения с двухтактным генератором с трансформаторной связью (мультивибратором Ройера) с включением транзисторов по схеме с общей базой. Эта схема, посчитанная однажды под заданные требования по мощности, напряжению и току [4], обеспечит КПД в диапазоне 65–90% и не будет ограничивать свободу выбора мощностей и значений напряжений в дальнейшем. А более простым в реализации и не менее надежным решением может служить готовый изолированный DC/DC-преобразователь от производителя, специализирующегося на их производстве.

Заключение

Цифровые изоляторы Si84xx уже успешно применяются производителями техники различного назначения, например General

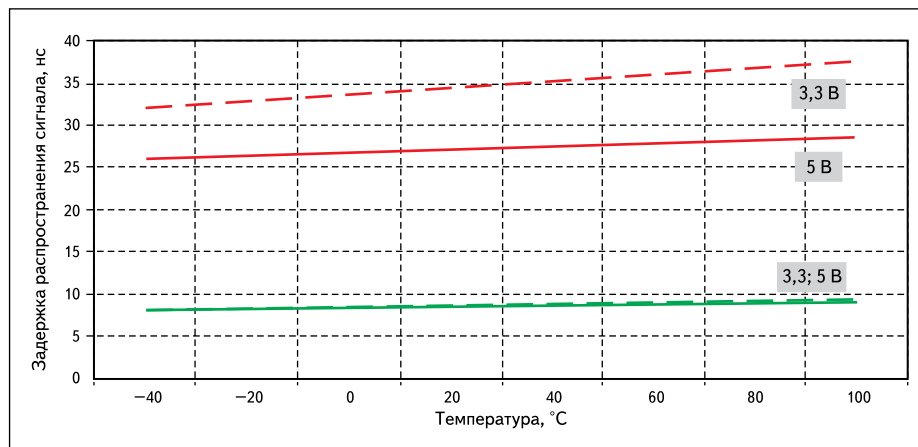


Рис. 9. Задержка распространения сигнала Si84xx (зеленый) и ADUM14xx (красный)

Motors (для гибридных автомобилей), Cisco (для различных телекоммуникационных приложений), Samsung (для плазменных панелей), Lineage Power (для источников питания) и др. Доверие таких известных фирм заслужить непросто, и в данном случае сочетание технических характеристик цифровых изоляторов Silicon Labs определяет качественное отличие от ближайших конкурентов, предлагающих менее надежные решения. А разве не для повышения надежности работы изделия используется гальваническая изоляция?

Фирма Silicon Labs будет расширять ассортимент цифровых изоляторов и планирует выпуск трех- и шестиканальных изоляторов с изолируемым напряжением 5 кВ и восьмиканальных изоляторов, а также изоляторов для дифференциальных интерфейсов, таких как USB и CAN.

Литература

1. CMOS Advanced Galvanic Isolators for Medical Electronics. White Paper.
2. RF Isolators Supersede Optocouplers. White Paper.
3. Silicon Labs Digital Isolators vs. ADI and TI. White Paper.
4. Терещук Р. М., Терещук К. М., Чаплинский А. Б., Фукс Л. Б., Седов С. А. Малогабаритная аппаратура. Справочник радиолюбителя. К.: Наукова думка. 1972.
5. AN553: Decoupling Recommendations for Si84xx Digital Isolators.
6. AN520: CMOS Advanced Galvanic Isolators for Medical Electronics.
7. AN375: Design Considerations for Isolating an I²C Bus or SMBus.
8. AN352: Low-Cost, High-Speed I²C Isolation with Digital Isolators.

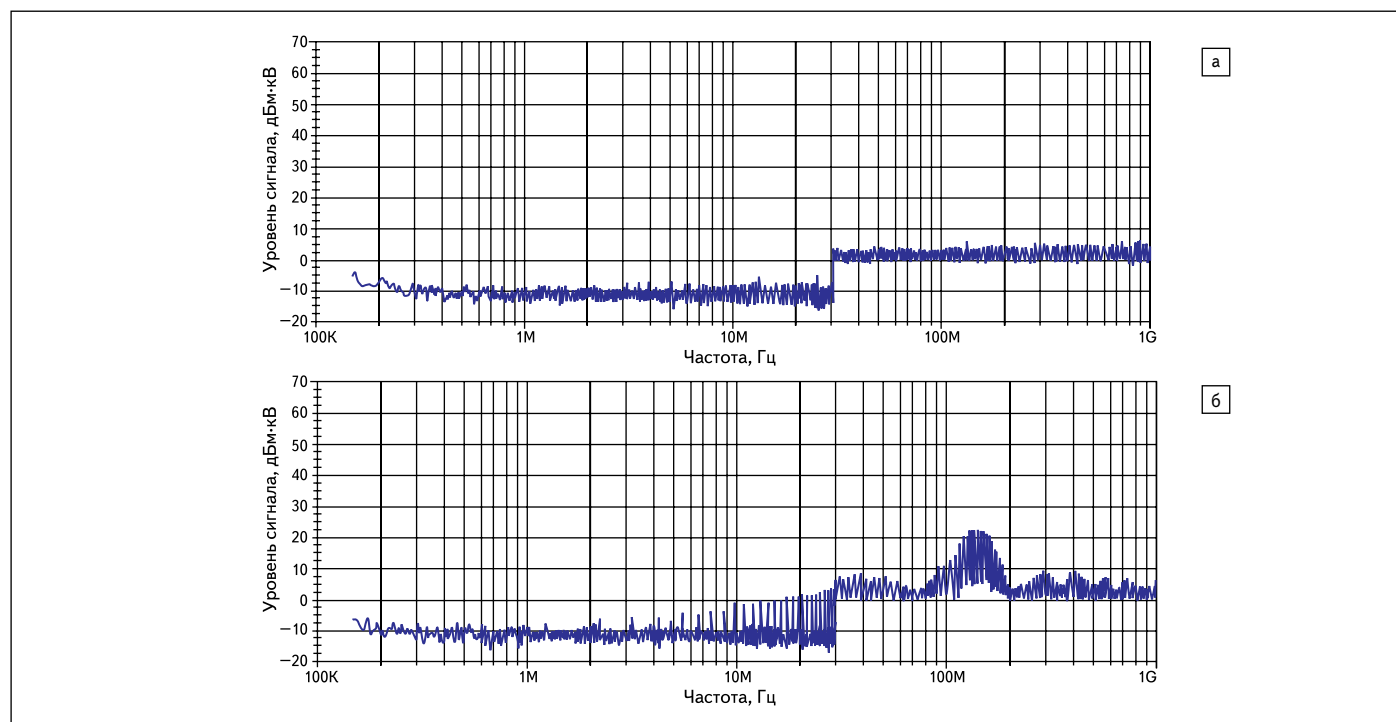


Рис. 10. Излучаемый сигнал от изоляторов: а) Si8442; б) ADUM1402