

# Решения для гальванической развязки компании Silicon Labs. Специализированные микросхемы

Ксения КОНДРАШОВА  
xk@efo.ru

В предыдущей статье [1] была описана технология емкостной изоляции, которую использует для гальванической развязки цифровых каналов компания Silicon Labs.

Изоляционный барьер, исполненный «внутри» микросхемы, позволяет объединить в одном корпусе не только несколько изолированных цифровых каналов, но и множество других компонентов — различные схемы управления силовыми транзисторами, усилители токового шунта, АЦП.

Средства реализации гальванической развязки давно не ограничиваются трансформаторами и оптронами. С развитием полупроводниковой промышленности стали доступны интегральные микросхемы, включающие изоляционный барьер. Одновременно с этим номенклатура электронных компонентов многократно разрослась, стало гораздо сложнее следить за выходом новинок и тем более ориентироваться в ассортименте многочисленных производителей. Мы продолжаем помогать читателю разобраться в современных микросхемах для гальванической развязки, которые выпускаются компанией Silicon Labs.

Для передачи информационного сигнала без электрического контакта предусмотрено технология емкостной изоляции, подробно описанная в статье [1]. Напомним лишь основные принципы ее работы. Информационный сигнал последовательно:

- 1) преобразуется в высокочастотный сигнал (используется ООК-модуляция);
- 2) передается через две пары емкостных барьеров;
- 3) демодулируется и восстанавливается (рис. 1).

Данная технология позволяет минимизировать задержку распространения сигнала, исключить его искажение на выходе, а также, за счет применения дифференциальной передачи, обеспечить высокую устойчивость к синфазным помехам. В статье [1] уже были

описаны некоторые микросхемы, в которых на базе емкостного барьера реализуются каналы передачи цифровых сигналов — однонаправленные цифровые изоляторы серий Si84xx, Si86xx, Si80xx, двунаправленные изоляторы Si860x и изоляторы серии Si88xx со встроенным DC/DC-контроллером (рис. 2).

Однако емкостная изоляция нашла применение не только в цифровых изоляторах, но и в различных специализированных микросхемах.

## Драйверы IGBT-транзисторов

Без гальванической развязки невозможно реализовать надежную схему управления силовыми ключами (транзисторами). Микросхемы серии Si828x — это изолированные драйверы, предназначенные для управления IGBT-транзисторами. Кроме изоляции управляющего сигнала и управления затвором транзистора, на микросхемы Si828x возлагаются различные вспомогательные функции.

Для обеспечения изолированного питания выходной цепи микросхемы изолированных драйверов выпускаются со встроенным DC/DC-контроллером. В зависимости от модели драйвера Si828x DC/DC-контроллер может иметь дополнительные возможности: задание частоты управляющего сигнала, отключение и мягкий старт DC/DC-контроллера, поддержка работы с напряжением питания 24 В.

Типовой задачей при управлении силовым транзистором также является подавление эффекта Миллера. Инженерам, имеющим дело с силовой электроникой, знакомы проявления этого эффекта. При высокой скорости переключения драйвера между коллектором и базой возникает ток, проходящий через так называемую емкость Миллера (рис. 3). Это может привести к увеличенному падению напряжения на транзисторе, его чрезмерному нагреву и повышению уровня электромагнитных помех. Схема подавления эффекта Миллера интегрирована в изолированные драйверы Si828x, а для ее работы требуется лишь предусмотреть обратную связь с затвора на линию CLMP (рис. 3).

Изолированные драйверы серии Si828x поддерживают и функцию детектирования перегрузки по напряжению насыщения коллектор-эмиттер. Соответствующая схема известна как схема мониторинга напряжения насыщения (DESAT, *англ.* desaturation — «выход из насыщения») и считается наиболее распространенным методом выявления перегрузки по току. Перегрузка может быть вызвана целым рядом причин, но ее возникновение не обязательно означает аварийное состояние системы. Блок детектирования формирует сигнал о перегрузке, но не инициирует никаких действий. Схема, интегрированная в драйверы Si828x, генерирует инверсные сигналы об ошибке RST и FLT. Главная особенность работы схемы — необходимость формирования задержки после подачи отпирающего напряжения на затвор. От момента подачи напряжения до полного открывания транзистора на коллекторе присутствует достаточно высокое напряжение, которое может быть воспринято схемой защиты как перегрузка по току. Длительность периода времени, за который транзистор полностью открывается, зависит от параметров конкрет-

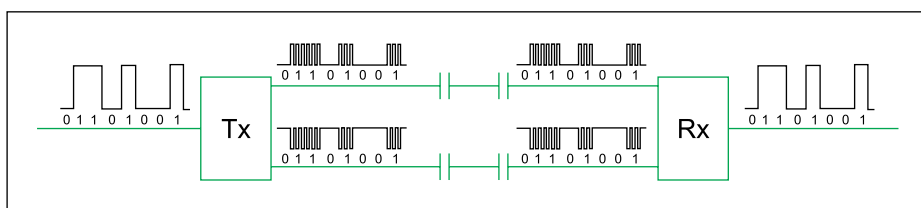


Рис. 1. Модуляция сигнала и прохождение через емкостный барьер

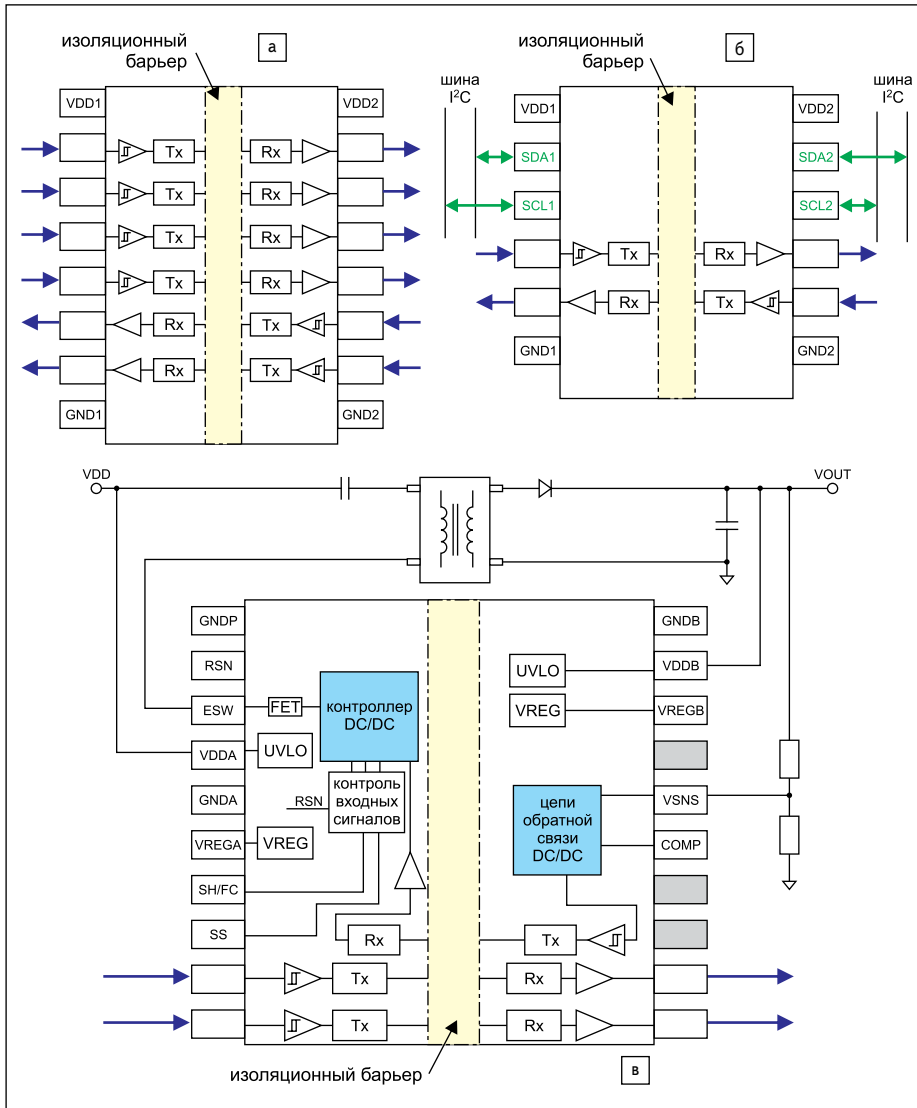


Рис. 2. Цифровые изоляторы: а) однонаправленные; б) двунаправленные; в) со встроенным DC/DC-контроллером

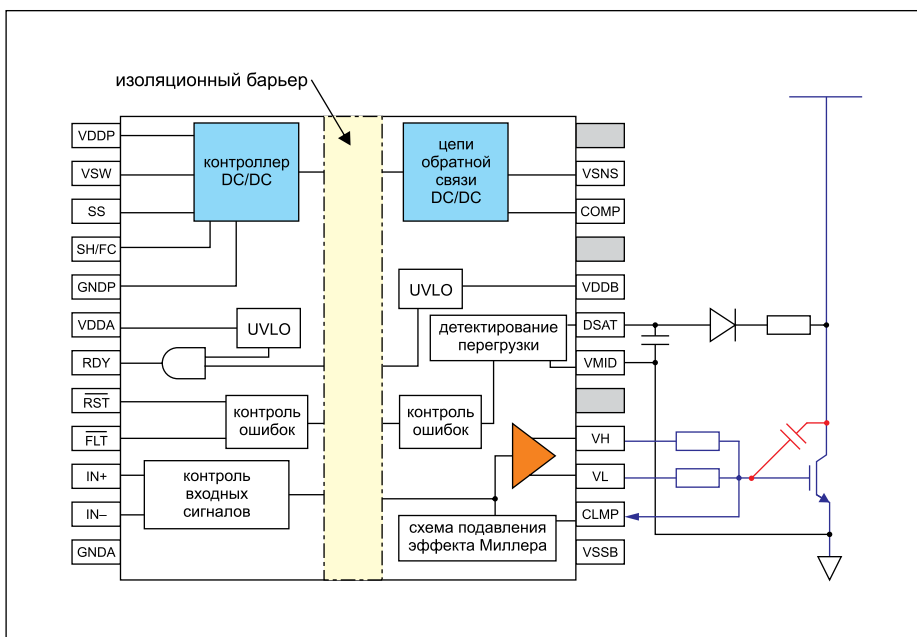


Рис. 3. Изолированный драйвер IGBT-транзистора

ного модуля, поэтому задержка задается внешними элементами (рис. 3), о методике их расчета можно узнать из документации от производителя и тематической литературы.

Другая защитная функция, предусмотренная в микросхемах Si828x, — защита от защелкивания при падении напряжения питания или управления. Снижение напряжения питания драйвера приводит к снижению напряжения на затворе открытого транзистора, что влечет за собой рост потерь в открытом транзисторе или даже его выход в линейный режим. Блоки UVLO (англ. Under Voltage Lock-Out threshold) служат для формирования сигнала Ready, по которому и определяется факт падения напряжения питания ниже заданного уровня. Уровень UVLO кодируется одним из символов в артикуле микросхемы (рис. 4). Кроме него, микросхемы различаются по набору дополнительных модулей, напряжению изоляции и типу корпуса.

Если необходимо предусмотреть режим, в котором ключ должен отпираться и запирается за временные интервалы разной длительности, IGBT-транзистор подключается к выходам драйвера через отдельные резисторы с разным номиналом (рис. 3). Для обеспечения такой возможности большинство драйверов Si828x (кроме Si8286 с единственным выходом) выпускаются с двумя выходами Vh и Vl.

Все драйверы серии Si828x обеспечивают выходной ток до 4 А и во многом благодаря применению емкостной изоляции имеют отличные точностные характеристики. Время распространения управляющего сигнала не превышает 50 нс, причем расхождение между разными экземплярами микросхем не превышает 5 нс. Благодаря дифференциальной передаче сигнала через емкостный изоляционный барьер в микросхемах Silicon Labs обеспечивается высокая стойкость к синфазным помехам. Для микросхем серии Si828x гарантирована стойкость к синфазным помехам до 35 кВ/мкс.

### Драйверы для создания источников питания

Разделение микросхем на изолированные драйверы IGBT- и MOSFET-транзисторов весьма условно. Описанные выше драйверы Si828x могут использоваться и для работы с полевыми силовыми транзисторами, однако их структура и функциональность чаще всего избыточны для управления MOSFET-транзисторами.

Для создания источников питания, управления двигателями и для других приложений с применением полевых транзисторов предназначены изолированные драйверы серии Si823x. Эти микросхемы имеют емкостный изоляционный барьер и два драйвера, которые гальванически развязаны как

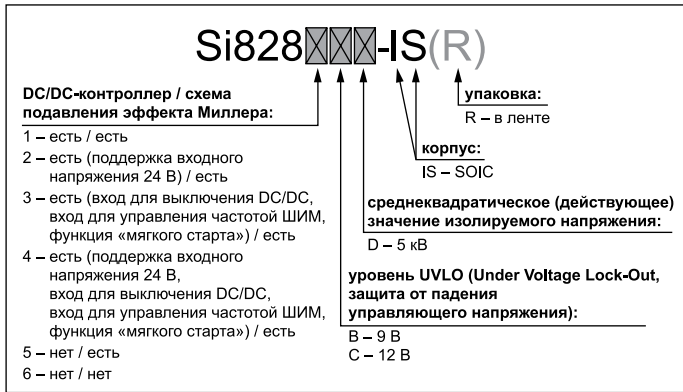


Рис. 4. Схема формирования артикула драйверов IGBT-транзисторов

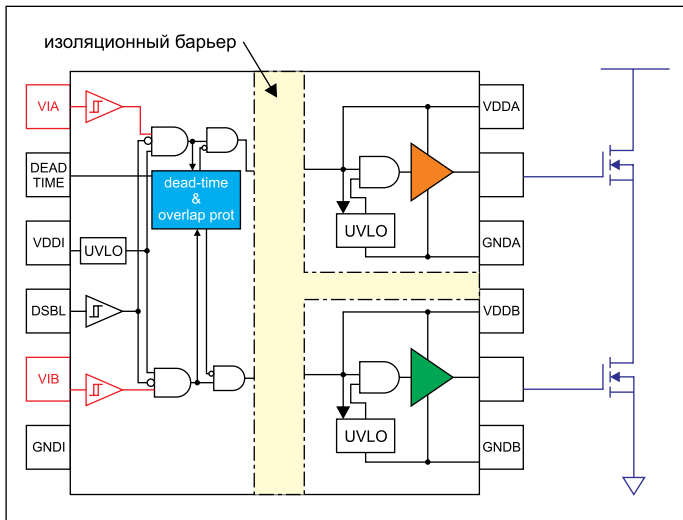


Рис. 5. Изолированный драйвер с управлением двумя логическими уровнями

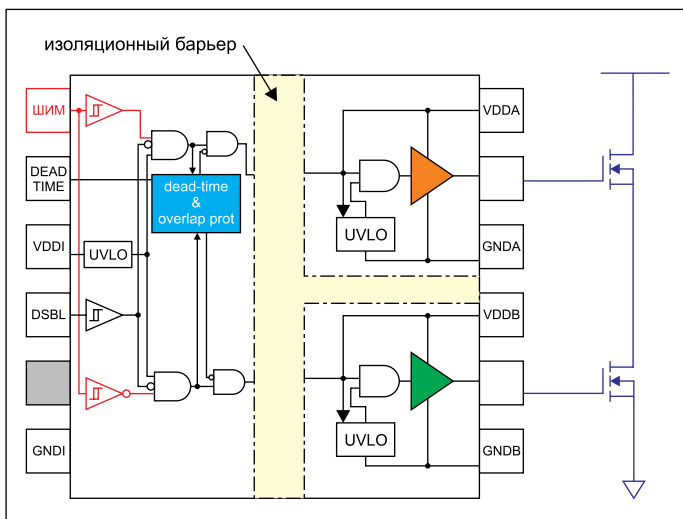


Рис. 6. Изолированный драйвер с управлением ШИМ-сигналом

со схемой управления, так и между собой. Микросхемы Si823x выпускаются в конфигурации драйверов верхнего и нижнего ключа или двух независимых драйверов. Предусмотрены микросхемы с управлением двумя логическими уровнями (рис. 5) или ШИМ-сигналом (рис. 6).

Некоторые драйверы дополнительно имеют блок, формирующий интервалы «мертвого времени» (рис. 5, 6). Длительность «мертвого

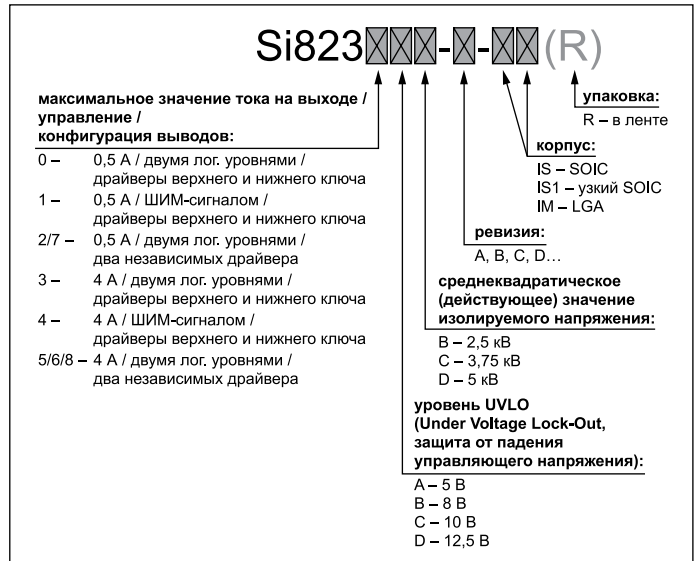


Рис. 7. Схема формирования артикула изолированных драйверов серии Si823x

времени», то есть длительность задержки между запирающим одним транзистора и отпирающим другого, задается внешними резисторами. Правильно подобранный интервал «мертвого времени» предотвращает сквозные токи, которые протекают между уже открытым и еще не закрытым транзисторами и могут привести к сильному перегреву транзисторов и снижению КПД схемы управления.

Кроме типа управления и конфигурации выводов, драйверы различаются по максимальному току на выходе, по уровню напряжения питания, при котором будет срабатывать защита UVLO, по значению изолируемого напряжения и типу корпуса (рис. 7). Отметим, что микросхемы Si823x выпускаются в том числе и в миниатюрных корпусах LGA-14 размером 5×5 мм.

Так же как и в других микросхемах с емкостным изоляционным барьером, драйверы серии Si823x обеспечивают малое время распространения сигнала — не более 50 нс. Между разными каналами и экземплярами микросхем разница по этому показателю не превышает 5 нс. Обеспечивается стойкость к синфазным помехам до 60 кВ/мкс.

### Драйверы для систем с питанием 2,5 В

В серии изоляторов Si823x можно отдельно отметить микросхемы Si8239x, созданные для работы с низкими питающими напряжениями. Диапазон допустимых входных напряжений этих драйверов — 2,5–5,5 В, максимальное напряжение на выходе составляет 24 В.

В соответствии со своей главной функцией — возможностью использования в системах с питанием 2,5 В — микросхемы Si8239x имеют расширенный набор функций защиты от пониженного напряжения питания. При срабатывании любого из детекторов UVLO линия Ready переводится в низкий уровень (рис. 8), причем в некоторых драйверах сигнал о падении напряжения ниже допустимого приведет к автоматическому переключению обоих выходов в низкий уровень, вне зависимости от сигналов на входе драйвера. Среди дополнительных функций защиты от пониженного напряжения микросхем серии Si8239x — установка задержки в 1 мс между включением питания и началом работы драйвера.

В остальном двухканальные драйверы Si8239x схожи с другими микросхемами серии Si823x. Они выпускаются с управлением двумя логическими уровнями или ШИМ-сигналом и с конфигурацией выводов для драйверов верхнего и нижнего ключа, или для двух независимых драйверов. С другими параметрами, по которым различаются микросхемы Si8239x, можно ознакомиться на рис. 9.

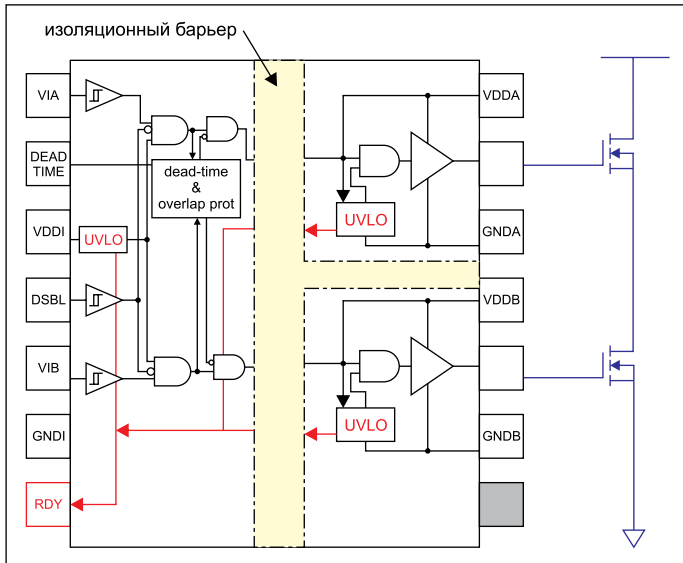


Рис. 8. Детектирование падения напряжения в изолированных драйверах серии Si8239x

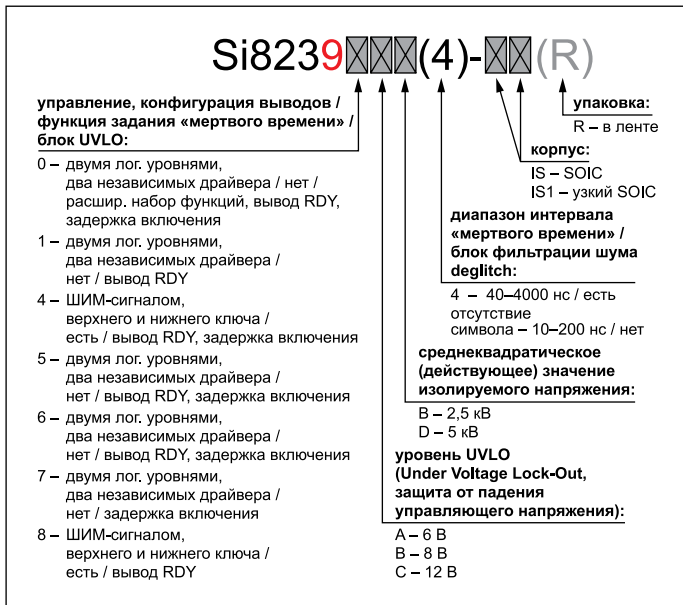


Рис. 9. Схема формирования артикула изолированных драйверов серии Si8239x

### Драйверы для усилителей класса D

В линейку драйверов силовых транзисторов также входят микросхемы Si824x. Это двухканальные драйверы с ШИМ-управлением, имеющие ту же структуру, что и микросхемы Si823x (рис. 6), но предназначенные специально для создания аудиоусилителей класса D. Варианты исполнения Si824x представлены на рис. 10.

### Драйверы для прямой замены микросхем с опторазвязкой

При изготовлении изолированных драйверов традиционно применяется оптронная гальваническая развязка сигналов. Замена оптодрайверов на микросхемы с интегрированным емкостным барьером позволяет заметно улучшить характеристики системы управления одной лишь заменой драйвера. В частности, если это позволяют характеристики остальных используемых компонентов, возможно увеличение скорости и точности управления транзисторами и расширение рабочего температурного диапазона.

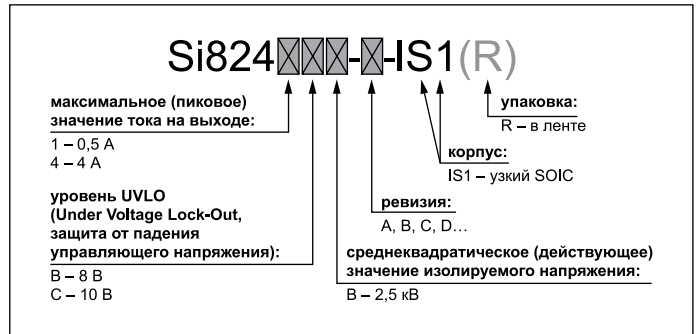


Рис. 10. Схема формирования артикула изолированных драйверов серии Si824x для усилителей класса D

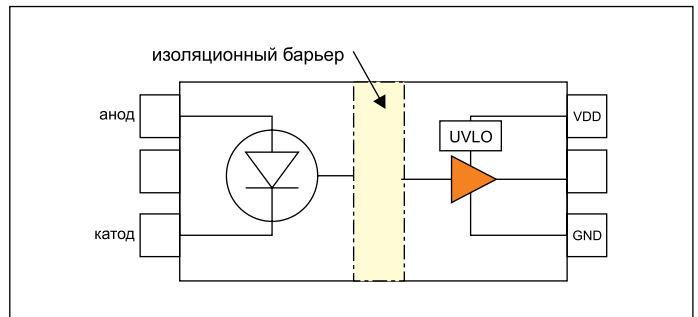


Рис. 11. Изолированный драйвер серии Si826x на посадочное место драйвера с опторазвязкой

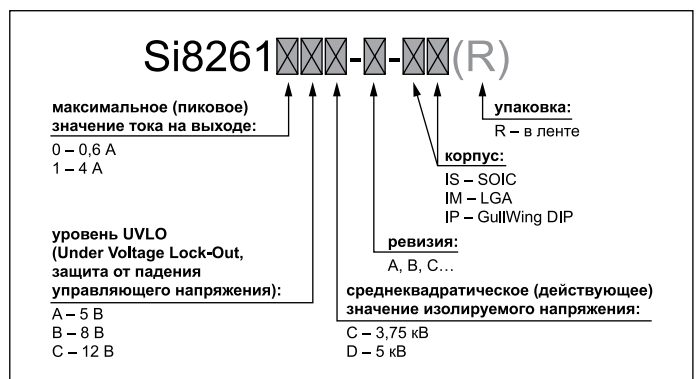


Рис. 12. Схема формирования артикула изолированных драйверов серии Si826x

Драйверы серии Si826x выпускаются специально для установки на посадочное место, предусмотренное под драйвер с опторазвязкой. Они имеют эмулятор светодиода на входе и выполнены в корпусах, популярных среди драйверов с опторазвязкой (рис. 11, 12).

Микросхемы серии Si826x поддерживают напряжение питания до 30 В и позволяют обеспечить время распространения сигнала до 60 нс, стойкость к синфазным помехам до 35 кВ/мкс и срок службы до 60 лет.

### Изолированные усилители токовых шунтов

Гальваноразвязанные усилители токового шунта Si892x используются для создания быстродействующих защит от перегрузок в системах управления питанием и электродвигателями. Внутри корпуса такой микросхемы расположены операционные усилители, гальваническая развязка и схема питания — все необходимые для измерения тока компоненты (рис. 13). Такие усилители подключаются непосредственно к шунтирующему резистору и могут заменить усилители токового шунта с оптической развязкой HCPL-7840 и ACPL-790B от компании Avago без изменений на печатной плате изделия.

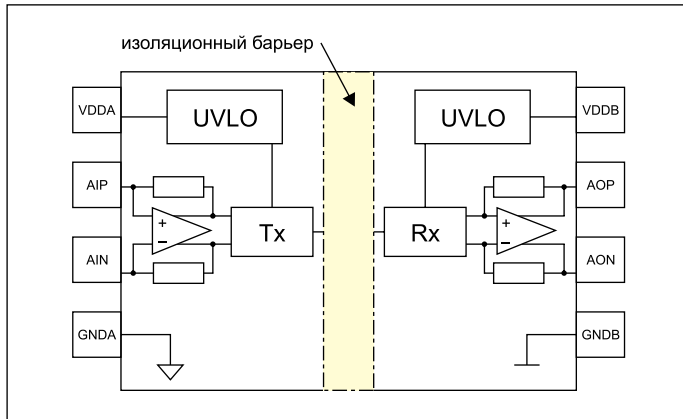


Рис. 13. Изолированный усилитель токового шунта Si8920x

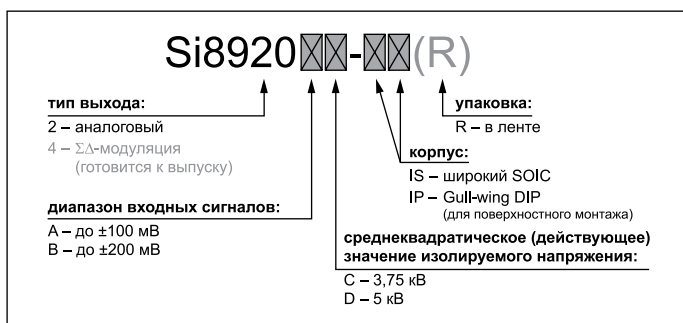


Рис. 14. Схема формирования артикула изолированных усилителей токового шунта Si8920x

Таблица. Характеристики работы изолированных усилителей токовых шунтов Si8920x

Характеристика	Значение
Рабочий температурный диапазон	-40...+125 °С
Пиковое рабочее напряжение	1200 В
Максимальное напряжение смещения	0,5 мВ
Дрейф напряжения смещения (типовой)	1 мВ/°С
Дрейф коэффициента усиления (типовой)	100 ppm/°С
Устойчивость к синфазной помехе	60 кВ/мкс

Так же как в случае с цифровыми изоляторами или изолированными драйверами, замена оптронной развязки на емкостную позволит расширить рабочий температурный диапазон, повысить скорость работы и устойчивость к синфазным помехам. Микросхемы Si8920x обеспечивают минимальное время распространения сигнала (всего 0,75 мкс) и полосу пропускания сигнала в 750 кГц. Другие характеристики работы гальваноразвязанных усилителей токового шунта приведены в таблице и на рис. 14.

### Гальваноразвязанные АЦП

Другое применение емкостной развязки — изолированные АЦП. Они предназначены для снятия данных с датчиков, которые должны быть изолированы от цепей управления, а также для задач контроля тока и напряжения в сетях переменного тока. Микросхема серии Si890x позволяет заменить типовую схему состоящую из отдельной ИС АЦП, изолирующего трансформатора и других дискретных компонентов. Гальваноразвязанные АЦП Silicon Labs специально созданы для контроля тока и напряжения в сетях переменного тока и имеют три входа, соответствующих трехканальному 10-разрядному АЦП с гальванической развязкой (рис. 15). Чаще всего один канал используется для измерения тока, второй — для измерения напряжения, а третий является резервной линией. Две или три выходные ли-

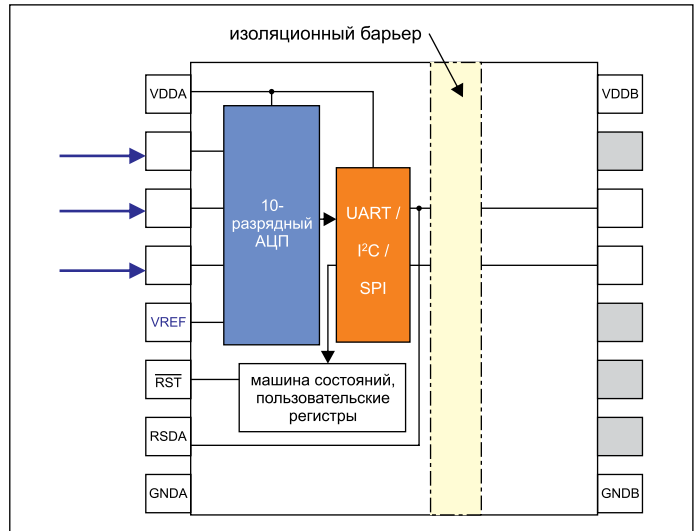


Рис. 15. Изолированный АЦП Si890x

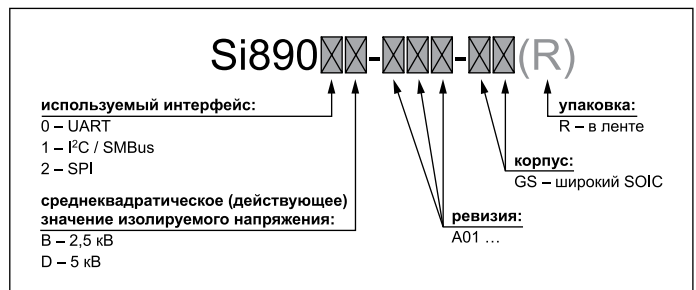


Рис. 16. Схема формирования артикула изолированных АЦП Si890x

нии микросхемы служат для работы коммуникационного интерфейса. Получить результаты измерений можно через последовательный интерфейс I²C или UART, а также через SPI, который предоставляет сравнительно высокую пропускную способность.

Аналогично описанным ранее микросхемам, изолированные АЦП Si890x обеспечивают уровни гальванической изоляции 2,5 и 5 кВ. Это предоставляет возможность использовать их в системах управления, отвечающих общепринятым стандартам безопасности высоковольтных систем. Уровень изолируемого напряжения 5 кВ позволяет изменять компоненты в системах с универсальным входом 120/220 В.

Схема формирования артикула микросхем серии Si890x представлена на рис. 16.

### Заключение

Технология емкостной развязки цифровых сигналов от Silicon Labs зарекомендовала себя как решение, предоставляющее высокую точность и надежность работы изолированного канала. Благодаря простоте интеграции емкостного барьера и качеству выпускаемых микросхем сегодня выпускается широкая линейка решений для гальванической развязки, включающая не только изоляторы цифровых каналов, но и различные специализированные микросхемы.

### Литература

1. Кондрашова К. Цифровые изоляторы Silicon Labs // Компоненты и технологии. 2015. № 10.
2. Волович Г.И. Драйверы силовых ключей // Современная электроника. 2007. № 8.
3. Крапп Й. Защитные функции современных драйверов IGBT // Силовая электроника. 2010. № 5.