

Совместное использование цифрового драйвера MOSFET или IGBT-транзистора и изолятора цифрового сигнала

Представленное здесь схмотехническое решение является результатом совместного использования двух относительно новых технологий, применяемых компанией TI. В первую очередь такая комбинация адресована разработчикам мощных и высоковольтных преобразователей электрической энергии. В их число входят различные выпрямители, корректоры коэффициента мощности, инверторы, DC/DC-преобразователи и другие устройства, где необходимо управлять силовыми ключами в составе импульсного преобразователя электрической энергии и, одновременно, желательно или обязательно обеспечить гальваническую развязку сигналов управления и диагностики этих ключей от высоковольтного напряжения питания силового контура устройства.

Илья ГОЛУБЕВ
i-golubev@ti.com

Введение

В качестве примера мощного импульсного преобразователя электрической энергии рассмотрим обычный мостовой инвертор, питаемый от выпрямленного напряжения бытовой или промышленной электросети. Силовой контур такого устройства содержит четыре ключа, два из которых являются верхними. Причем между сигналами управления верхнего и нижнего силовых ключей присут-

ствует импульсное напряжение с амплитудой, примерно равной питанию силового моста.

Обычно для управления силовым ключом используется драйвер соответствующего типа, например драйвер для управления полевым транзистором или биполярным транзистором с изолированным затвором.

Поскольку логические сигналы управления драйверов верхних и нижних силовых ключей вырабатываются в единой схеме контроля преобразователем, то приходится обес-

печивать гальваническую развязку между схемой управления и силовым контуром или использовать высоковольтную схему сдвига уровня. Кроме того, в ряде случаев требуется передать ту или иную диагностическую информацию от силового элемента к центральной схеме управления. Примером такой информации может служить сигнал перегрузки по току.

В промышленности известны несколько стандартных, хорошо зарекомендовавших себя подходов к решению описанной задачи. Например, известна микросхема IR2110 и ее функциональные аналоги, которые используют высоковольтные схемы сдвига уровня для передачи управляющего сигнала на затвор силового ключа. Известны и так называемые интеллектуальные ключи, которые, помимо основной задачи коммутации силового тока, способны контролировать мгновенный протекающий ток и вырабатывать сигнал перегрузки по току.

Тем не менее, разработчики продолжают искать более дешевые и одновременно гибкие подходы решения этой комплексной задачи. Один из возможных подходов представлен далее. В его основе две микросхемы — цифровой драйвер UCD7100 и цифровой изолятор логического сигнала ISO7231. Рассмотрение указанной комбинации начнем с микросхемы UCD7100.

Цифровой драйвер UCD7100

На рис. 1 приведена структурная схема цифрового драйвера.

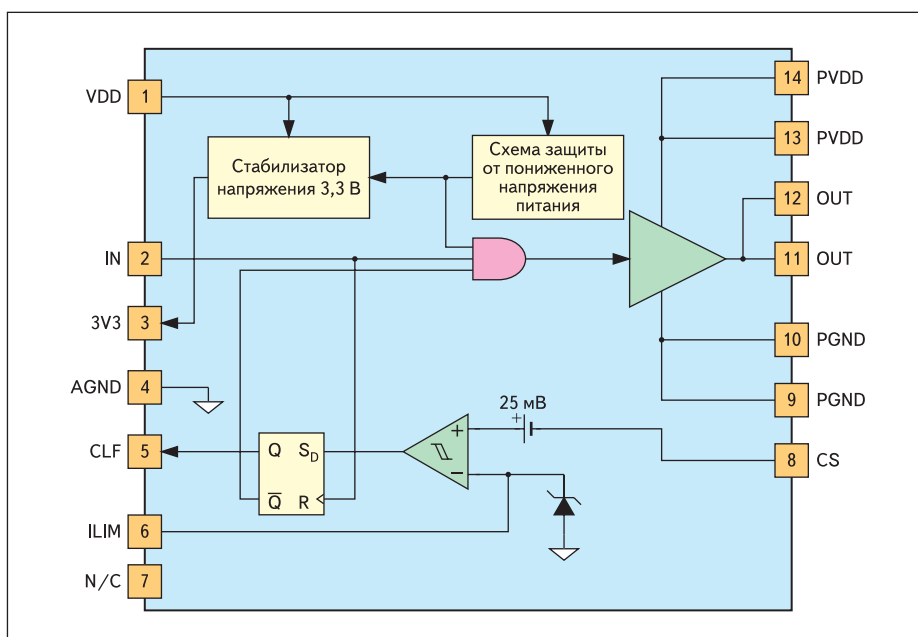


Рис. 1. Структурная схема цифрового драйвера

Основу данной микросхемы составляет обычный драйвер MOSFET или IGBT-транзистора, дополненный несколькими вспомогательными функциями, которые облегчают его применение в составе источника питания с цифровым управлением. Здесь и далее под цифровым управлением мы будем понимать способ управления источником питания альтернативный аналоговому и подразумевающий формирование управляющего сигнала посредством той или иной цифровой микросхемы. Например, с помощью сигнального процессора (DSP), программируемой логической матрицы (CPLD, FPGA), микроконтроллера общего применения (MCU), специализированного цифрового контроллера источника питания (Fusion Digital Power) и другими аналогичными способами. Рассмотрение конкретного способа формирования управляющего сигнала выходит за рамки данного материала.

Цифровой драйвер UCD7100 решает следующие задачи.

Собственно управление силовым ключом. Для этого необходимо подать управляющий цифровой сигнал амплитудой 3,3 В на вход “IN” драйвера. Драйвер сформирует соответствующий силовой сигнал на выходе “OUT”, предназначенный для непосредственного управления затвором силового ключа. Максимальный импульсный выходной ток драйвера достигает 4 А. Для питания логической схемы, формирующей управляющий сигнал, используется внутренний стабилизатор напряжения, вырабатывающий постоянное напряжение 3,3 В на выводе “3V3”. Сам стабилизатор питается напряжением в диапазоне от 4,5 до 15 В, которое подается на вывод “VDD”. Драйвер содержит схему ограничения тока силового ключа, построенную на основе компаратора и триггера. Компаратор сравнивает падение напряжения на внешнем резистивном шунте, включенном в силовую цепь, с пороговым напряжением. В случае превышения указанного напряжения формируется логический сигнал, который защелкивается на триггере. Состояние триггера, а значит, и факт перегрузки по току, можно наблюдать на выводе “CLF”. Важно отметить, что срабатывание триггера ведет к немедленному выключению драйвера. Таким образом, осуществляется защита силового каскада по току без использования цифровых цепей управления, что существенно снижает требования к быстродействию последних и повышает надежность устройства в целом. Повторное включение драйвера произойдет при следующем импульсе на входе “IN”. В результате применения встроенной токовой защиты не только повышается надежность системы, но и существенно снижаются требования к контуру цифрового управления.

Важно отметить, что порог срабатывания защиты в общем случае — величина не постоянная. В одних конструкциях разработчики предпочитают устанавливать мини-

мальное пороговое напряжение и добиваются низкого уровня потерь мощности на резистивном шунте. Но при этом вероятно снижение точности установки фактического порога напряжения и, следовательно, тока. В других случаях, например, при использовании токового трансформатора или при построении преобразователей с относительно небольшим током силового контура, разработчик может предпочесть установить высокое пороговое напряжение. И получить, таким образом, высокую точность срабатывания защиты при повышенном рассеивании мощности на шунтовом резисторе.

Особый интерес представляет оперативное или динамическое регулирование порогового напряжения и тока. Такой прием позволяет адаптировать параметры защиты к текущему режиму работы преобразователя. Например, непосредственно после включения источника питания, когда в схеме действуют повышенный ток заряда конденсаторных батарей, можно установить повышенный порог срабатывания защиты и тем самым исключить ложные срабатывания в пусковом режиме. После выхода на установившийся режим работы логично использовать номинальное пороговое напряжение — для обеспечения высокой надежности устройства в целом.

Для адаптации к различным частным случаям применения и, что особенно важно, к различным режимам работы преобразователя в драйвере предусмотрено внешнее регулирование порога срабатывания защиты по току. Это регулирование осуществляется путем подачи постоянного напряжения на вывод “ILIM”. В драйвере предусмотрены внутренние цепи ограничения эффективного значения порога срабатывания защиты и установления его значения по умолчанию. Так, если оставить вывод “ILIM” не подключенным, то будет установлен порог, близкий к 500 мВ. Постоянное напряжение на выводе “ILIM” можно формировать различными способами, включая применение ЦАП или резистивного делителя, но один из наиболее

эффективных способов — это использование простейшего ЦАП на основе ШИМ с последующей фильтрацией сигнала. Такой способ позволяет осуществить управление со стороны того или иного цифрового контроллера при минимальном уровне дополнительных затрат.

Приведем некоторые важные технические характеристики цифрового драйвера:

- максимальный ток нагрузки встроенного стабилизатора напряжения — 10 мА, при напряжении 3,3 В;
- максимальный втекающий или вытекающий выходной ток драйвера — до 4 А;
- типовое время нарастания и спада сигнала — 10 нс при емкости нагрузки 2,2 нФ;
- время задержки распространения сигнала от входа “IN” до выхода “OUT” — 25 нс;
- время задержки сигнала в компараторе токовой защиты — 25 нс;
- напряжение питания — 4,5–15 В.

Вторым важным компонентом предложенной схемы является цифровой изолятор.

Цифровой изолятор ISO7231

Рассматриваемый нами цифровой изолятор содержит три идентичных канала. Подразумевая, что все каналы функционируют одинаково, мы рассмотрим работу только одного из них. Структурная схема одного канала цифрового изолятора представлена на рис. 2.

Подробное описание принципов функционирования изоляторов такого типа неоднократно приводилось в литературе [1]. Поэтому ограничимся кратким напоминанием. Как видно из структурной схемы, приведенной на рис. 2, один элемент гальванической изоляции содержит два взаимодополняющих канала постоянного и переменного тока. В канале переменного тока не используется кодирование, и данные передаются через барьер непосредственно сразу после преобразования в дифференциальную форму. Дифференциальное представление сигнала позволяет использовать подавление синфазных помех в приемнике. Подавление синфазных помех

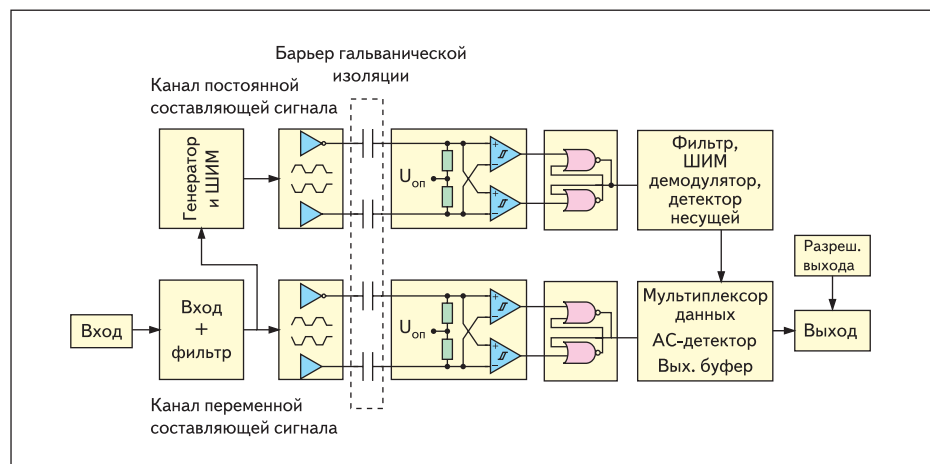


Рис. 2. Структурная схема одного канала цифрового изолятора

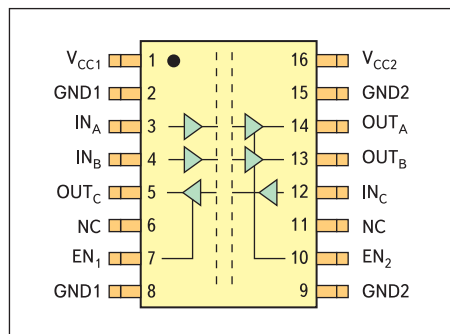


Рис. 3. Структура трехканального цифрового изолятора

и разность импеданса развязывающего элемента, конденсатора, для низкочастотных помех и высокочастотных сигналов дает возможность снизить воздействие синфазных переходных процессов. По мере увеличения частоты помехи подавление синфазных помех становится решающим фактором, обеспечивающим сохранность данных. В канале постоянного тока сигнал сначала проходит через широтно-импульсный модулятор и только затем передается через барьер. Такая модуляция совместно с последующей демодуляцией на приемной стороне обеспечивает передачу длинных нулевых и единичных последовательностей. Кроме того, этот канал обеспечивает отказоустойчивость. Под этим понимается установление выхода в predetermined состояние в случае нарушения ра-

боты и пропадания сигнала от передающей части микросхемы. Если несущий сигнал отсутствует в течение 4 мкс, то выход ISO72х устанавливается в состояние логической единицы. Некоторые важные технические характеристики микросхемы:

- скорость передачи информации — 1, 24 и 150 Мбит/с;
- разница задержки между каналами — менее 1 нс;
- искажение длительности импульса — менее 2 нс;
- дрожание фронтов — около 1 нс при скорости передачи информации 150 Мбит/с;
- электрическая прочность изоляции: 4 кВ — пиковое значение, 560 В — действующее;
- защита от электростатического разряда — до 4 кВ;
- Напряжение питания — 3,3 или 5 В.

На рис. 3 изображена структура микросхемы, которая, как видно, содержит три канала передачи информации.

Два канала направлены в одну сторону, а третий канал передачи информации имеет противоположное направление. Именно такую конфигурацию цифрового изолятора мы попытаемся использовать совместно с цифровым драйвером. При этом один канал будет использован для управления силовым транзистором, второй — для установления порога срабатывания защиты по току, и, наконец, третий канал, имеющий обратное направление, будет использован для доставки к цифровому процессору информации о пе-

регрузке силового ключа. На рис. 4 представлена соответствующая структурная схема.

Отметим некоторые особенности предложенной структуры:

- Между управляющей схемой и силовым ключом включена не схема сдвига уровня, а полноценная гальваническая развязка, которая допускает работу верхнего ключа в широком диапазоне напряжений, включая напряжения ниже нуля.
- Ток через силовой ключ постоянно контролируется самим драйвером и может периодически контролироваться цифровым процессором.
- Порог срабатывания токовой защиты может быть оперативно изменен по команде процессора.

Таким образом, показана возможность совместного применения цифрового драйвера и соответствующего изолятора для управления верхним силовым ключом. Такие же элементы могут быть использованы для управления нижними ключами. При этом будет достигнута полная изоляция схемы управления от силового контура. Но более целесообразно воспользоваться тем фактом, что между нижними ключами отсутствует высокое напряжение, а значит, нет необходимости применять взаимную гальваническую развязку двух нижних силовых ключей. Следующее предложение, которое также позволяет упростить и удешевить систему, состоит в использовании двухканального интегрального драйвера для уп-

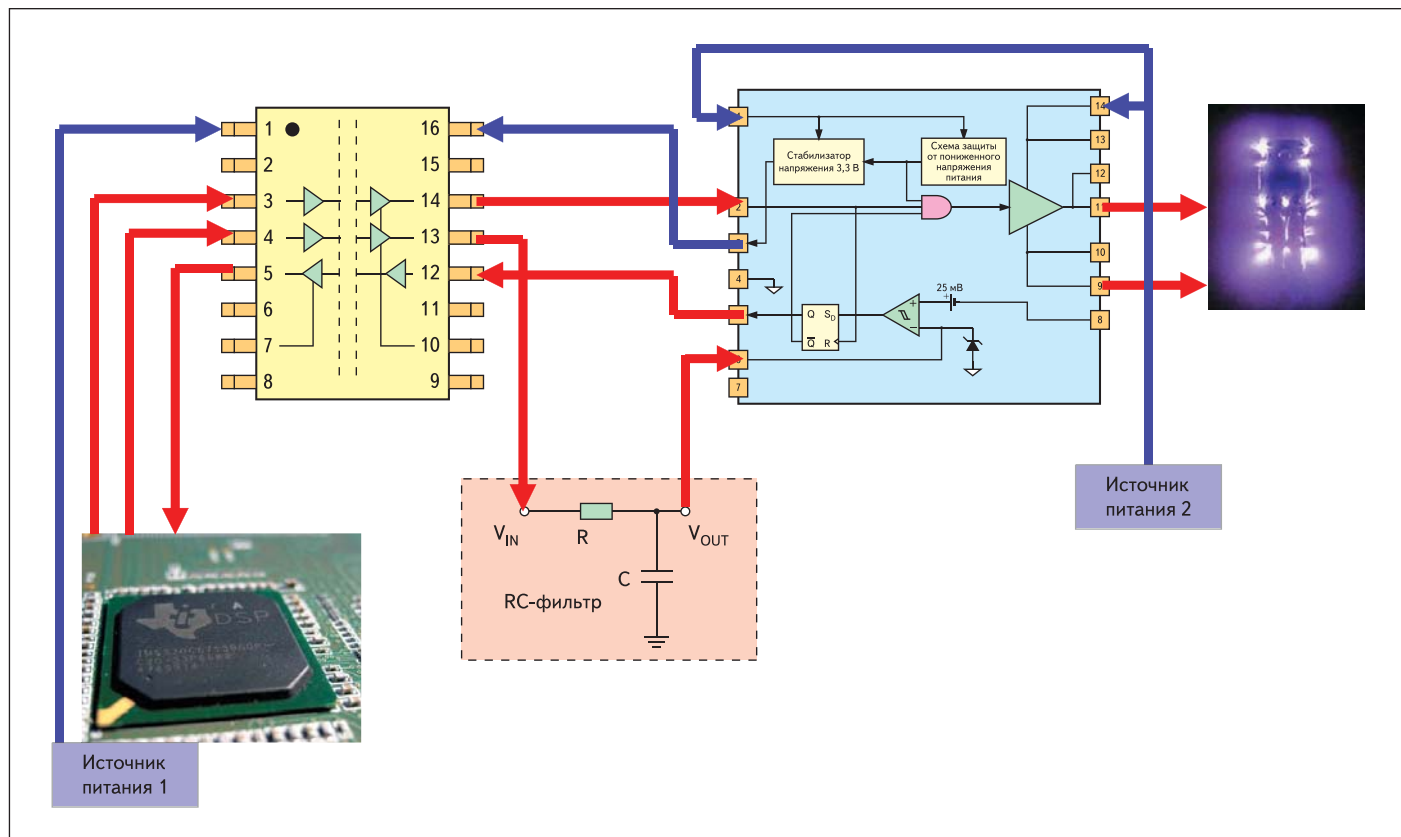


Рис. 4. Структурная схема совместного использования цифрового изолятора и цифрового драйвера для управления верхним ключом мостового преобразователя

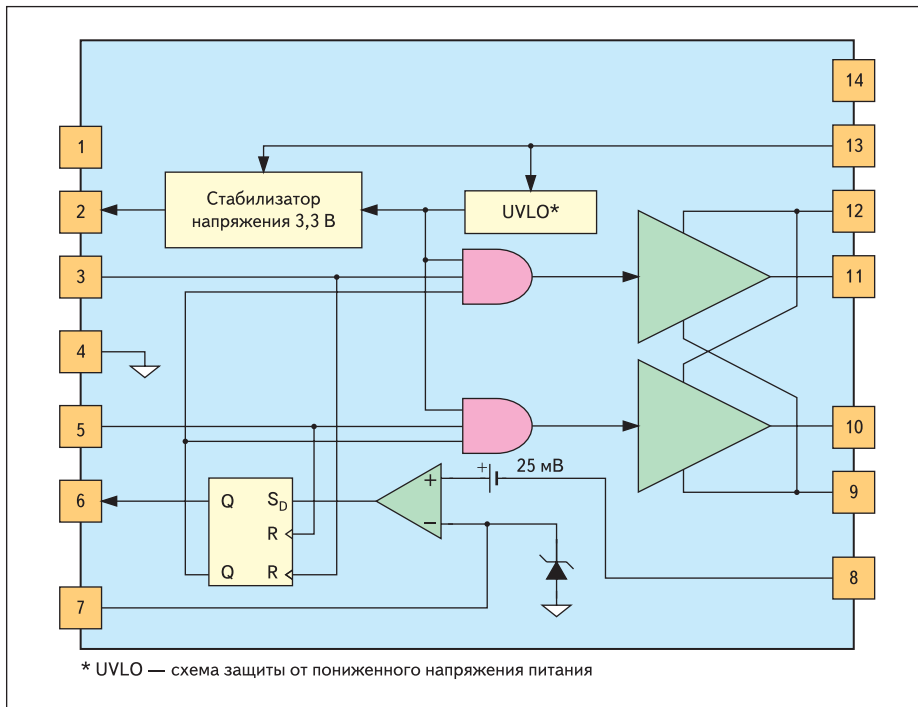


Рис. 5. Структурная схема двухканального цифрового драйвера

равления нижними ключами, например UCD7201. Структурная схема такого драйвера приведена на рис. 5.

Отметим, что данный драйвер имеет общую «землю» для двух каналов, что, конечно, сужает возможности его применения.

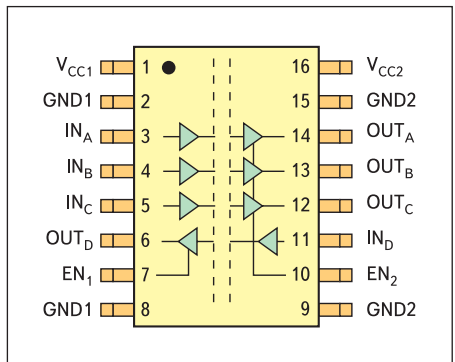


Рис. 6. Структурная схема четырехканального цифрового изолятора

В частности, его практически невозможно использовать для управления верхними ключами. Но это упрощает его применение для управления нижними ключами. Так, ток ограничения задается для двух каналов одновременно. Сигнал перегрузки по току — также общий для двух каналов. Для управления таким драйвером нам потребуется четырехканальный цифровой изолятор. Например, ISO7241. Его структурная схема приведена на рис. 6.

В результате совместного применения ISO7231, ISO7241, UCD7200, UCD7201 мы получаем решение для гальванически развязанного управления мостовым преобразо-

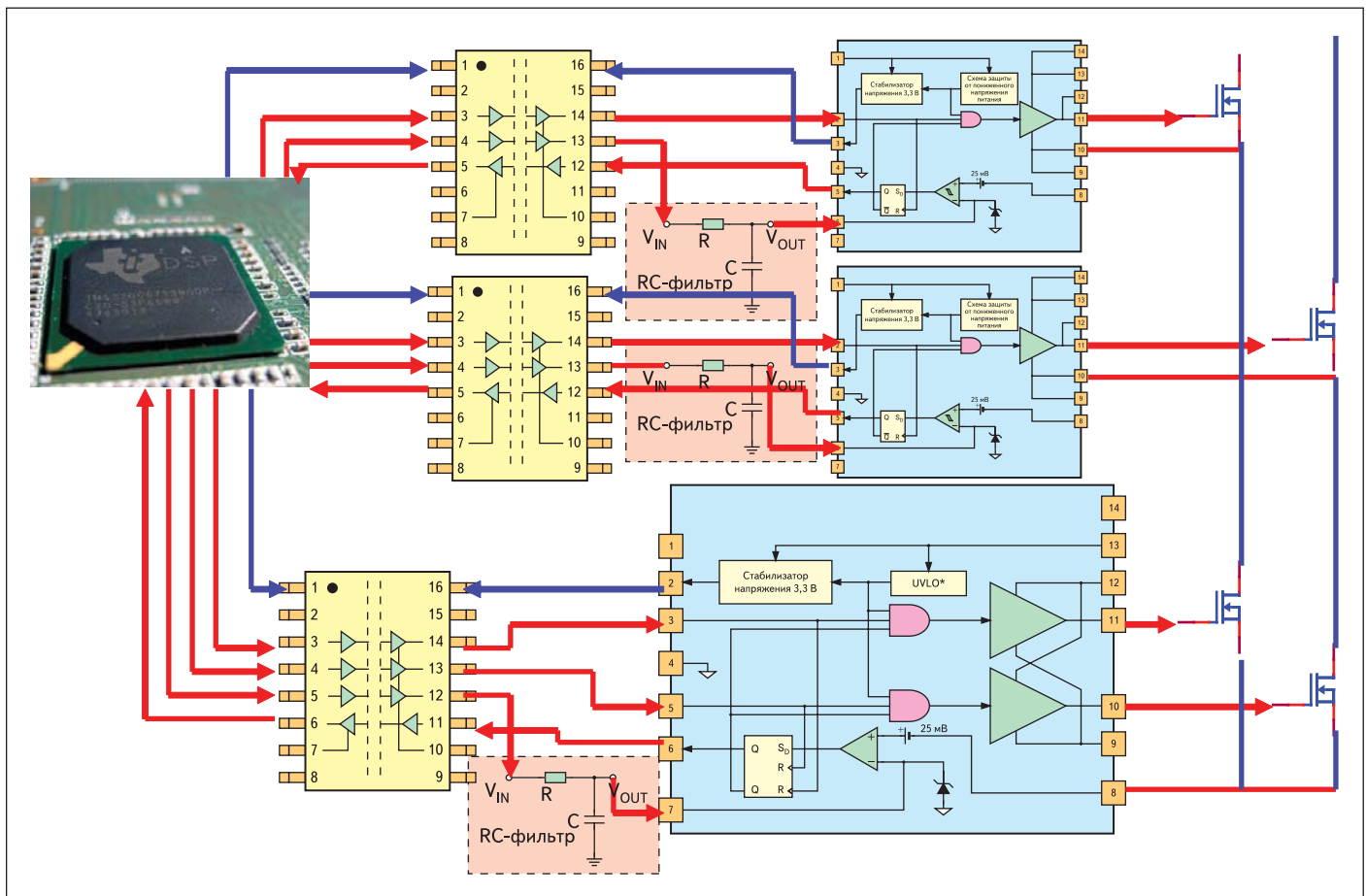


Рис. 7. Структура гальванически развязанного управления мостовым преобразователем

зователем. Структура такого решения приведена на рис. 7.

Вывод

Совместное использование UCD7200, ISO7231, UCD7201 и ISO7241 позволяет построить драйвер мостового преобразователя с целым рядом специфических особенностей и дополнительных возможностей:

- полная изоляция между цепями управления и силовым контуром;
- автоматическое отслеживание перегрузки по току;
- оперативное программное регулирование максимального допустимого тока силового ключа;
- логическое информирование управляющего узла о перегрузке;
- автоматический перезапуск драйвера;
- совместимость с управляющими схемами различной структуры, DSP, General Logic, CPLD/FPGA, Fusion Digital, UCC. ■

Литература

1. Стерзик К., Голубев И. Надежность и устойчивость гальванической развязки цифровых сигналов // Компоненты и технологии. 2007. № 2.