

## Цифровая передача данных в драйверах IGBT

Для управления преобразовательными системами повышенной мощности, использующими модули IGBT с рабочим напряжением 1200 В и выше, требуется изолированная передача импульсов управления и статусных сигналов. Эта задача возлагается на драйвер, являющийся одним из наиболее ответственных узлов современных конверторов. Последняя разработка SEMIKRON — мощная схема управления затворами SKYPER 52 — осуществляет передачу управляющих импульсов и сигналов датчиков, используя принцип цифровой изолированной трансляции данных. Благодаря этому качество передачи, осуществляемой по дифференциальному каналу, не зависит от параметров элементов схемы и рабочей температуры.

Андрей КОЛПАКОВ

Andrey.Kolpakov@semikron.com

Сегодня в мире выпускается до 7 млрд электродвигателей, которые потребляют 70% произведенной электроэнергии, ежегодно рынок электрических машин увеличивается на 7%, в 2001 году он составлял \$66 млрд. Производство электроприводов в Европе возросло на 9%, в США на 4%, экспорт управляемых приводов в мире за это же время вырос на 3,5%. По данным Frost & Sullivan, с 1998 по 2005 год объем продаж приводов с частотным регулированием увеличился с \$1,92 млрд до \$2,39 млрд. Доля частотно-регулируемых приводов (ЧРП) переменного тока (в том числе синхронных, асинхронных, вентильных индукторных) выросла за это же время с 63,1 до 74,4%.

Исследования рынка приводов показывают, что менее 8% моторов, находящихся в эксплуатации, управляются электроприводом. Известно, что применение ЧРП позволяет повысить эффективность работы двигателя на

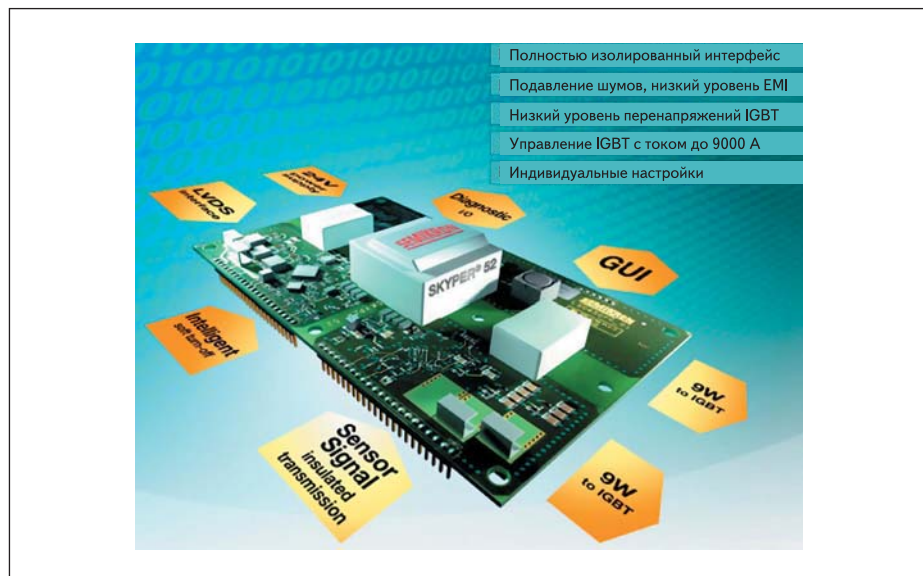
20–50%. Таким образом, только на этом примере мы видим колоссальные возможности для роста рынка силовой электроники.

Приведенные факты объясняют, почему компания SEMIKRON, более 50 лет являющаяся одним из ключевых игроков на рынке силовой электроники, делает основной акцент на производство компонентов для приводных применений. Специализируясь в области разработки и изготовления силовых чипов, модулей и сборок на их основе, SEMIKRON предлагает широкий спектр продуктов, позволяющих создавать полностью законченные преобразовательные устройства в диапазоне от единиц ватт до десятков мегаватт. Сегодня компоненты SEMIKRON работают в ЧРП, системах промышленной автоматизации, индустриальных роботах, лифтах, гибридо- и электромобилях, электропоездах, троллейбусах, трамваях и системах разработки и распределения электроэнергии.

Особенно ярко лидирующие позиции компании проявляются на рынке альтернативной энергетики, в первую очередь ветроэнергетики. В настоящее время в 43% всех используемых в мире ветроэнергетических установок (ВЭУ) применяются модули SKiIP, а общая мощность установок, построенных на компонентах SEMIKRON и введенных в эксплуатацию с 1993 года, составляет 72,6 ГВт (по данным EurObserver, Systems Solaires No177, Wind Energy Barometer, 02/2007). По прогнозам Европейского Совета по возобновляемым источникам энергии, мощности, получаемые от подобных энергетических установок, к 2030 году должны покрыть более 30% общемировой потребности.

Какого бы типа силовые модули не использовались в описанных выше применениях, всем им необходимо надежное устройство управления и защиты. В 2004 году компания SEMIKRON представила новое семейство драйверов SKYPER, явившееся результатом многолетней работы по поиску оптимального решения [3]. В конструкции SKYPER была реализована идеология «ядра», имеющего набор основных функций и обеспечивающего максимальную унификацию изделия. Задуманный в самом начале как драйвер для управления модулями IGBT семейства SEMiX, спустя некоторое время SKYPER нашел свое применение в широкой гамме устройств и оказался чрезвычайно востребован рынком.

На ежегодной выставке PCIM-2008, проходившей в мае в Нюрнберге, было представлено новое полностью цифровое устройство управления затвором, получившее название SKYPER 52. Этот полумостовой драйвер способен обеспечивать пиковый выходной ток до 50 А при мощности одного канала, составляющей 9 Вт. Его разработка, выполненная с применением концепции цифровой изоля-



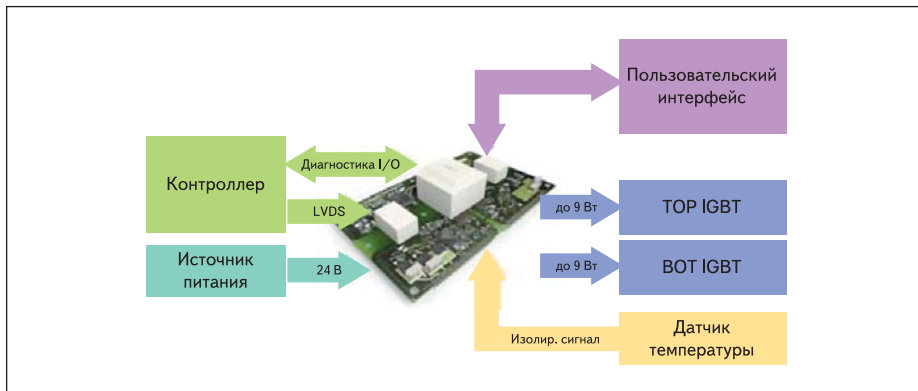


Рис. 1. Внешний интерфейс цифрового драйвера

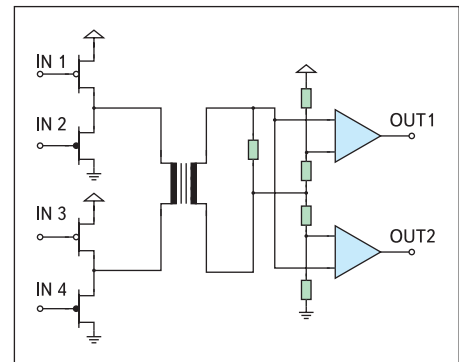


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема цифровой передачи данных

ции сигнала, позволила обеспечить существенное улучшение основных характеристик схемы управления, повысить качество и надежность передачи сигнала, а также уровень помехозащищенности.

Обработка сигналов в SKYPER 52 осуществляется с помощью цифровых сигнальных процессоров (DSP) и логических матриц. Импульсы управления передаются цифровым способом, аналоговые напряжения могут транслироваться методом edge-triggered (передача по перепадам сигнала) с помощью последовательной резонансной цепи.

Подобная технология может быть использована только для трансляции импульсов включения/выключения и напряжений переменного тока. Она не годится для передачи двух чередующихся или периодических сигналов. Логическая схема драйвера SKYPER 52 формирует непрерывную последовательность импульсов определенной формы и длительности. Они проходят через изолирующий трансформатор во вторичные каскады драйвера, где производится их прием и декодирование, после чего импульс управления приобретает свой первоначальный вид.

Подобный способ трансляции данных обеспечивает очень высокое качество их передачи и точное восстановление. Использование цифрового способа передачи данных, обеспечивающего получение в выходных каскадах «чистого» неискаженного сигнала, позволяет преодолеть основную проблему аналоговых драйверов, заключающуюся в зависимости свойств от изменения параметров компонентов и температуры окружающей среды. Цифровая схема управления практически не подвержена внешним влияниям и обладает высокой временной стабильностью характеристик, главные из которых могут быть заданы пользователем с помощью соответствующего программного обеспечения.

Важным преимуществом подобной технологии является возможность отдельного трансформирования даже медленно меняющихся напряжений, например от датчиков температуры. Пользователь получает подобный сигнал изолированным, кроме того, он

становится доступным в цифровом виде, что облегчает его последующую обработку.

Необходимо отметить еще один факт: цифровой драйвер, осуществляющий передачу информации от микроконтроллера или ЦСП к силовому IGBT-каскаду, делает процесс управления гораздо более гибким. Как правило, системный контроллер формирует импульсы амплитудой 3,3 или 5 В, для надежной передачи столь низковольтных сигналов от драйвера требуется очень высокий уровень помехозащищенности. Шумовые сигналы, возникающие при коммутации высоковольтных IGBT, способны проникать через барьерные емкости изолирующих переходов и создавать сбои в работе управляющих схем. Для повышения стойкости к помехам многие мощные аналоговые драйверы работают с входными сигналами более высоких уровней — 15, 24 В, что требует применения специальных согласующих схем. Цифровая схема драйвера SKYPER обеспечивает достаточный уровень надежности даже при непосредственном управлении от контроллеров со стандартными уровнями сигналов 3,3/5 В, что несомненно удобно для пользователей.

На рис. 2 показана упрощенная схема цифровой передачи данных драйвера SKYPER 52. Мощный входной мостовой каскад, образованный MOSFET-транзисторами, генерирует пачки импульсов переменной длительности, которые далее передаются во вторичные каскады с помощью изолирующего трансформатора. Сформированный таким образом сигнал принимается дифференциальным двухпороговым компаратором и на-

правляется далее на программируемую логическую матрицу для обработки и декодирования.

Приведенная на рис. 3 последовательность импульсов, образованная задающим генератором, необходима для формирования приемником одного импульса управления. Полюмовые каскады передатчика для упрощения показаны в виде логических вентилях (НВ1 и НВ2), а двухпороговый компаратор заменен дифференциальным приемником.

Для обеспечения хорошей помехозащищенности и высокой надежности при работе в применениях высокой мощности в драйвере SKYPER 52 применен метод дифференциальной обработки сигналов. Для этого цифровой сигнал передается по двум отдельным линиям и далее обрабатывается с помощью низкоимпедансного инструментального усилителя. Такая схема обеспечивает хорошее подавление синфазных шумов и, как следствие, имеет низкую чувствительность к электромагнитным помехам.

Как правило, шумы одинаково воздействуют на оба выхода импульсного трансформатора. Если уровень наведенных при этом помех одинаков, в дифференциальной схеме они компенсируются, и соотношение сигнал/шум остается удовлетворительным, даже если амплитуда шумовых импульсов больше чем информационных. Сравнительно высокий выходной ток трансформатора в сочетании с низким импедансом приемника гарантируют высокую надежность передачи данных. Причем генерируемые импульсы в данном случае могут быть низковольтными, напри-

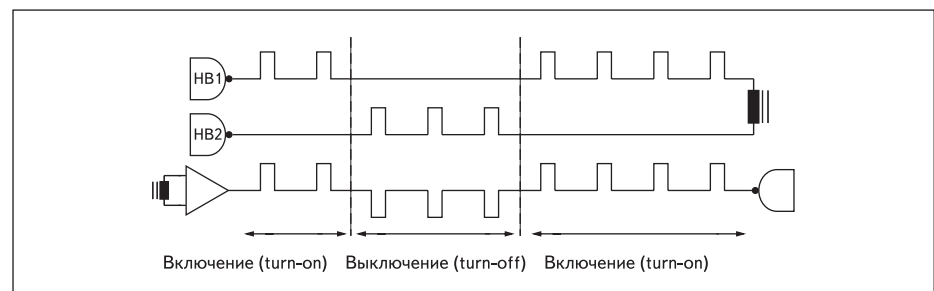


Рис. 3. Импульсная диаграмма

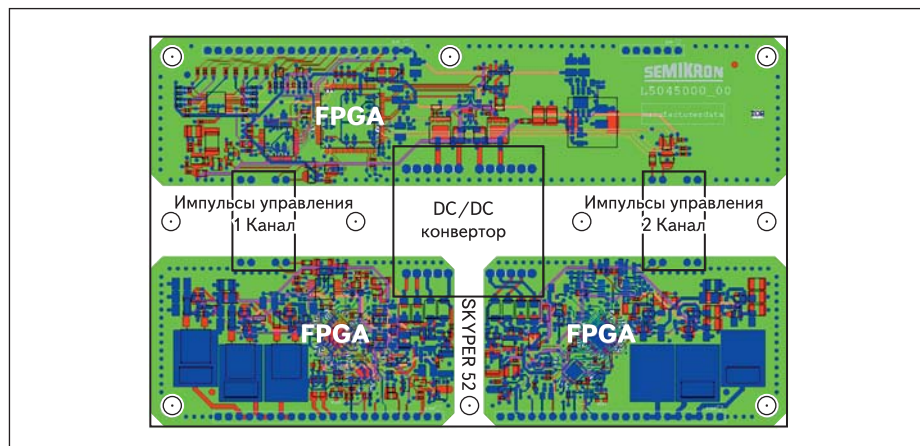


Рис. 4. Топология платы Skyper 52: FPGA используются для обработки сигнала в первичных и вторичных каскадах драйвера

мер 3,3 В, поскольку влияние помех на дифференциальный канал незначительно.

Параметры устройства защиты также могут задаваться и настраиваться пользователем по внешнему интерфейсу, и эта возможность впервые реализована в SKYPER 52. Статусные сигналы и сигналы неисправности могут записываться и обрабатываться с применением различных алгоритмов. Новый драйвер обладает уникальными возможностями конфигурирования схемы защиты. До сих пор при обнаружении состояния перегрузки или короткого замыкания (КЗ) устройство управления автоматически запирало все транзисторы выходного каскада. Однако существуют схемы, к которым относятся, например, многоуровневые преобразователи, где необходимо выключать IGBT в определенном порядке.

Цифровой драйвер SKYPER 52 предоставляет возможность задавать алгоритм работы схемы защиты и определять последовательность записывания силовых ключей. В случае многоуровневого инвертора при обнаружении перегрузки центральный процессор получает информацию о характере неисправности и определяет, какие транзисторы находятся в опасном режиме. Такая возможность предоставляется благодаря непрерывному получению потока цифровой информации по CAN-совместимому протоколу. Алгоритм обработки этих данных может быть определен пользователем в управляющем контроллере или непосредственно в SKYPER 52 с помощью специального программного обеспечения. Необходимо отметить, что возможности цифровой схемы управления затворами позволяют настраивать не только параметры схемы защиты, но и некоторые важные рабочие динамические характеристики силового каскада.

Необходимым условием корректной работы любого типа драйвера является использование быстродействующих компонентов в тракте передачи сигнала. Современные цифровые технологии имеют по этому показателю очевидные преимущества. Программируемые логические матрицы (FPGA), на ко-

торых построены все основные узлы схемы SKYPER 52, работают на частоте 1 ГГц. Одна FPGA (Actel или Altera) используется во входных каскадах драйвера для обработки сигналов, поступающих с контроллера или ЦСП. Еще две матрицы во вторичных каскадах формируют сигнал управления затворами IGBT.

Топология платы ядра драйвера Skyper 52 показана на рис. 4. Изолирующий барьер образован двумя импульсными трансформаторами для передачи контрольных сигналов, еще один трансформатор работает в составе DC/DC-конвертора, необходимого для питания выходных каскадов. Напряжение изоляции 4 кВ позволяет использовать устройство для управления модулями IGBT с рабочим напряжением 1200 и 1700 В. Сверхмалое значение проходной емкости барьера (единицы пикофард) позволяет SKYPER 52 надежно работать при наведенных фронтах напряжения  $dv/dt$  до 100 кВ/мкс. Для питания DC/DC-преобразователя и входной части схемы достаточно напряжения 24 В.

Кроме того, в настоящее время полностью цифровой блок управления затворами SKYPER 52 является и самым мощным. Выходной пиковый ток драйвера составляет 50 А при максимальной мощности канала 9 Вт, что позволяет данному устройству работать с параллельным соединением IGBT, имеющим суммарный ток коллектора до 9000 А! Первоначально SKYPER 52 был разработан для управления восемью 400-амперными IGBT-модулями в составе ветроэнергетической установки. Его следующими применениями стали сильноточная рентгеновская установка с рабочей частотой 50 кГц и система бесперебойного питания мощностью 750–1000 кВт.

#### Заключение

Для работы любого преобразователя, созданного с применением IGBT-модулей, необходимо устройство, осуществляющее передачу управляющих сигналов от контрол-

лера к затворам силовых ключей. С ростом мощностей эта задача становится все более сложной, для ее решения необходимо увеличивать нагрузочную способность драйверов, повышать их помехозащищенность и стойкость к наведенным фронтам напряжения. Кроме этого, современный драйвер должен осуществлять гальваническую изоляцию контрольных сигналов и выполнять целый набор защитных и сервисных функций.

Основной целью разработки SKYPER 52 было создание мощного устройства управления затворами, параметры которого полностью независимы от условий эксплуатации и характеристик используемых электронных компонентов. Также разработчики SEMIKRON стремились создать конфигурируемое изделие, все основные параметры которого пользователь мог бы настраивать программным способом. Именно поэтому было решено полностью отказаться от использования традиционных аналоговых технологий и строить схему на базе программируемых логических матриц. Решение этой задачи позволило компании в очередной раз опередить конкурентов и предложить рынку самый мощный на данный момент двухканальный, полностью цифровой драйвер. Применение программируемых логических матриц обеспечивает быструю и качественную трансляцию сигнала, его высокую помехозащищенность и высокую временную стабильность параметров.

Стремясь максимально облегчить пользователям освоение нового продукта, SEMIKRON планирует выпустить демонстрационную плату, позволяющую быстро включить SKYPER 52 в состав преобразователя и разобратся с режимами программирования. Кроме того, заказчикам будет предоставлена подробная документация, включающая принципиальные схемы, перечни элементов, а также описание стандартного пользовательского интерфейса. Используя этот интерфейс, пользователь с помощью ПК сможет задать ряд параметров схемы защиты и характеристик переключения и записать их в память драйвера.

Компания SEMIKRON занимается разработкой схем управления затворами IGBT с начала 1990-х, первый в мире силовой изолированный модуль был предложен компанией в 1975-м, а начиная с 1989 года SEMIKRON является одним из ведущих производителей IGBT-модулей. Накопленный за прошедшие годы опыт во всех этих областях позволил создать принципиально новое изделие, аналогов которому на рынке пока нет. ■

#### Литература

1. Hermwille M., Grasshoff T. Towards a Clear Signal // E&E. May 2008.
2. Hermwille M. Plug and Play IGBT Driver Cores for Converters. Power Electronics Europe. Issue 2, 2006.
3. Колпаков А. SEMiX + SKYPER = адаптивный интеллектуальный модуль IGBT // Силовая электроника. 2005. № 1.