

Специализированные DC/DC-преобразователи обеспечивают простое и эффективное решение для управления в IGBT-приложениях

Мэтью ДОТЕРАЙВ
(Matthew DAUTERIVE)
Перевод: Владимир РЕНТЮК

В статье рассматриваются модульные DC/DC-преобразователи с двойным асимметричным выходом, обеспечивающие положительное и отрицательное напряжения для коммутации и гальваническую развязку, необходимые для IGBT-приложений.

Поскольку альтернативная энергетика сегодня находится в центре внимания, то вопрос повышения ее эффективности становится все более критическим. В последние годы одним из главных решений, позволяющих резко увеличить эффективность (КПД) преобразователей, было существенное усовершенствование характеристик мощных силовых транзисторов типа IGBT (Insulated-gate bipolar transistor, биполярный транзистор с изолированным затвором). Транзисторы этого типа могут быстро переключать высокие напряжения (до 1000 В и более) с чрезвычайно низкими коммутационными потерями, то есть потерями на переключение. Это позволяет проектировать на их

основе эффективные инверторы и повышающие импульсные преобразователи.

На рис. 1 приведены две типичные функции IGBT-транзисторов, которые эти приборы выполняют в схеме мощного силового преобразователя напряжения. Напряжение постоянного тока от солнечной батареи, как известно, не является стабильным и не приведено к некоторому максимальному уровню. Для устранения этого недостатка используется повышающий преобразователь, который поддерживает некий максимальный уровень напряжения на оптимальном уровне, а именно на уровне отслеживания точки максимальной мощности (Maximum power point tracking, MPPT). Это позволяет

обеспечить максимально возможную мощность на выходе солнечной батареи и тем самым улучшить ее характеристики.

Однако в большинстве случаев напряжение постоянного тока не может быть использовано непосредственно. Чтобы возможна была его дальнейшая передача, необходимо преобразовать его в форму напряжения переменного тока. Для этого применяются две пары транзисторов типа IGBT, включенные противофазно в виде моста. Эти транзисторы управляются сигналом с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ, в англоязычной литературе — pulse-width modulation, PWM), таким образом создается промодулированный выходной сигнал, показанный

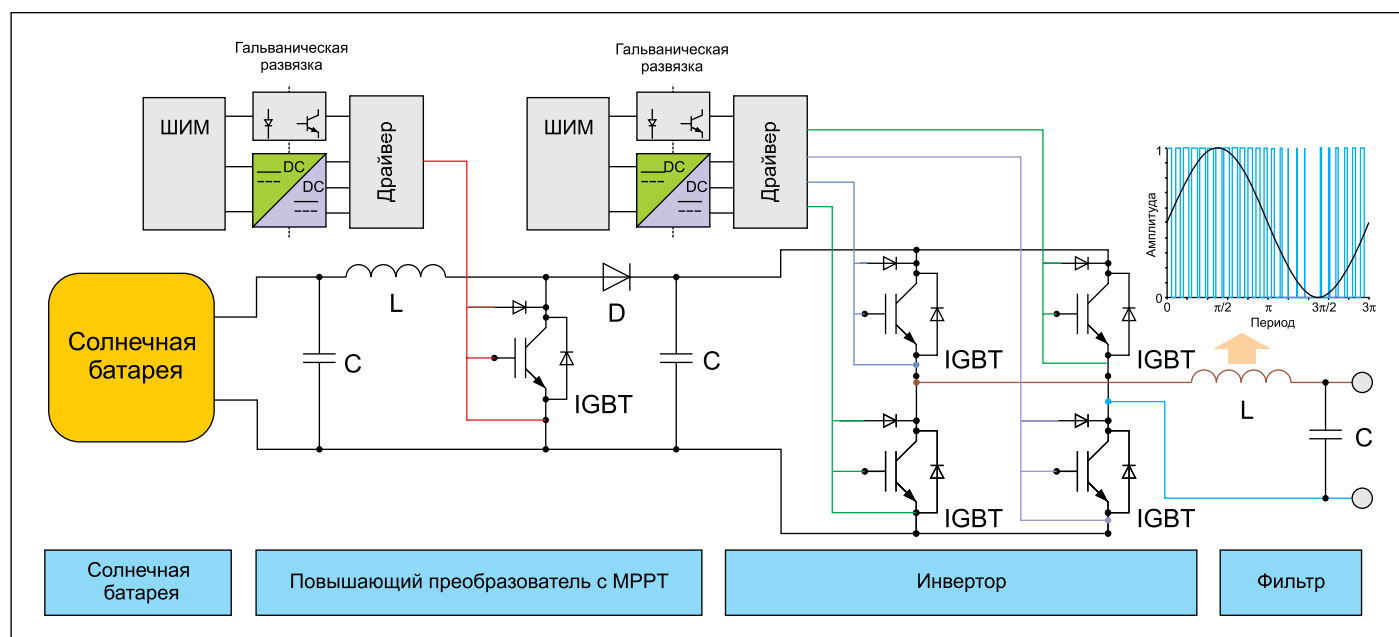


Рис. 1. Преобразователь напряжения для солнечной панели

на рис. 1. После фильтрации сигнала с ШИМ низкочастотным LC-фильтром выделенное переменное напряжение синусоидальной формы уже может быть включено в общую схему раздачи питания.

Транзисторы типа IGBT служат не только для сбора и преобразования энергии от внешних источников, но и для управления нагрузками. Известно, что управление электродвигателями занимает приоритетное положение в мировой электротехнической индустрии, а частотно-регулируемые электроприводы часто являются наиболее экономичным вариантом управления их скоростью вращения. В типичном приложении (рис. 2) IGBT-транзисторы используются для того, чтобы иметь возможность регулировать частоту переменного напряжения в частотно-регулируемом электроприводе для трехфазного электродвигателя переменного тока, тем самым можно управлять скоростью вращения его ротора.

Трехфазный шестипульсный драйвер с питанием от источника переменного напряжения состоит из мостового выпрямителя, шины напряжения постоянного тока и, собственно, инвертора. Шесть IGBT-транзисторов в инверторе обеспечивают регулируемое по частоте импульсное напряжение, которое подается непосредственно на трехфазный электродвигатель.

Чтобы это решение было достаточно эффективным, транзисторы типа IGBT нуждаются в должном управлении для их коммутации. С тех пор как допустимая рабочая частота переключения для этих транзисторов повысилась до 300 кГц, обычная схема их управления стала неэффективной и технически непригодной. К счастью, были разработаны специальные управляющие драйверы, которые обеспечивают быстрое переключение транзисторов типа IGBT с минимальными потерями. Так, если драйвер на транзисторе подключен к плавающей по напряжению высоковольтной силовой цепи, то он должен быть изолирован от низковольтных цепей управления. Это достигается применением гальванической опторазвязки (оптрона), которая обеспечит разделение по цепи обратной связи. Таким образом, источник питания силового драйвера получается гальванически развязанным от DC/DC-преобразователя. Однако, чтобы удовлетворить все специфические требования по управлению IGBT-транзисторами, необходимо иметь два отдельных источника напряжения.

Чтобы минимизировать коммутационные потери транзисторов типа IGBT, необходимо, чтобы их включение выполнялось максимально быстро. При этом скорость нарастания выходного напряжения будет зависеть от скорости заряда собственной емкости затвора транзистора. Фактически было установлено, что для надежного включения IGBT-транзистора достаточно иметь напряжение +15 В. Но, с другой стороны, если транзистор типа IGBT включать слиш-

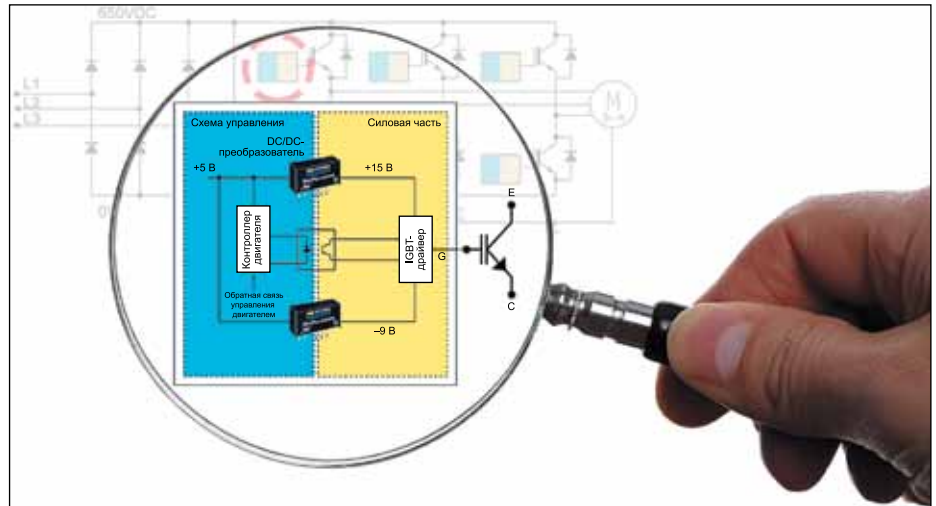


Рис. 2. Упрощенная схема драйвера на основе IGBT-транзисторов

ком быстро, то произойдет токовое пере-регулирование, которое вызовет паразитный токовый выброс. Это приведет не только к генерации электромагнитных помех, но и к повреждению самого транзистора и, соответственно, к выходу из строя подключенной к нему схемы. Чтобы сгладить этот выброс, необходимо увеличить время включения транзистора путем увеличения сопротивления в цепи затвора (рис. 3). Однако, если время включения увеличено, то это сразу же приведет к росту коммутационных потерь — это и есть одна часть дилеммы.

Режим выключения IGBT-транзистора еще более усложняет решение проблемы. Скорость выключения определяется собственной емкостью затвора транзистора. Чем быстрее емкость затвора будет разряжена, тем быстрее транзистор будет выключен. Чтобы ускорить разряд собственной емкости затвора с целью уменьшения потерь на переключение, к нему прикладывается отрицательное напряжение. Логически рассуждая, можно считать приемлемым напряжение выключения -15 В. Таким образом, можно было бы использовать один DC/DC-преобразователь напряжения постоянного тока, который обеспечит выходное напряжение ±15 В. То есть один такой преобразователь будет использоваться для генерации как положительных, так и отрицательных импульсов.

Однако если транзистор будет выключен слишком быстро, то опять-таки из-за проблем перерегулирования будет иметь место паразитный токовый выброс. Предполагают, что такие выбросы уменьшают ожидаемый срок службы транзисторов типа IGBT. Поэтому необходимо уменьшить скорость выключения транзистора, и сделать это легче всего, уменьшая величину отрицательного напряжения на затворе. Фактически считается приемлемым иметь управляющее напряжение для выключения равным -9 В. Как полагают, это является хорошим компромиссным решением. Хотя время переключения немного увеличится, что приведет к некоторому росту коммутационных помех, паразитные выбросы становятся более управляемыми.

Итак, имеется уже полная дилемма: или использовать преобразователь с выходными напряжениями ±15 В и соглашаться на компромисс — увеличение коммутационных потерь, или иметь паразитные выбросы напряжения. Еще, как вариант, можно использовать два отдельных DC/DC-преобразователя на 15 В и на -9 В, чтобы выполнить описанную выше оптимизацию, но это неизбежно увеличит стоимость компонентов и конечные затраты по проекту.

Однако есть третий путь — это использование асимметричного DC/DC-преобразователя с двумя оптимальными выходными напря-

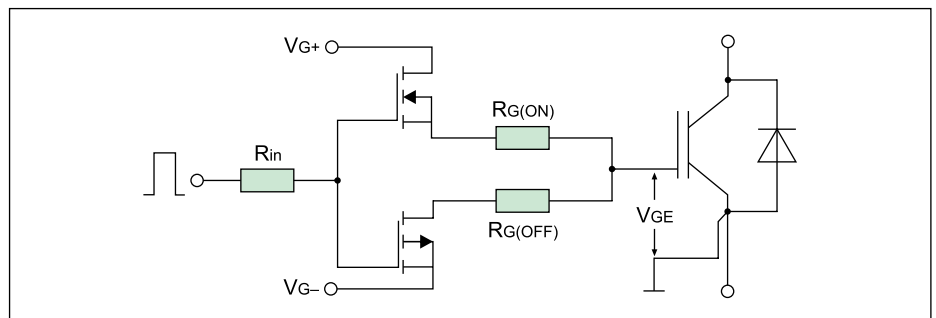


Рис. 3. Цепь управления IGBT-транзистором

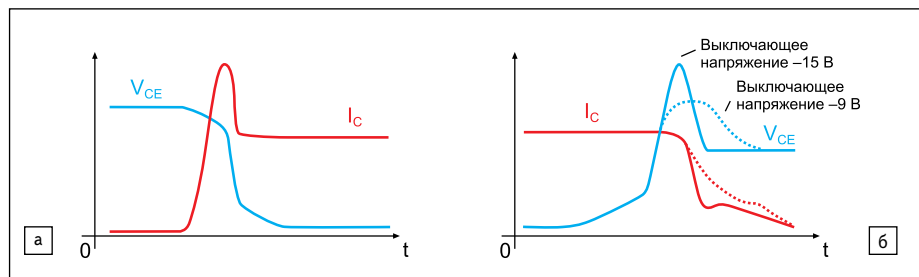


Рис. 4. Характеристики переключения транзистора типа IGBT: а) включение; б) выключение

жениями, который был бы специально разработан и предназначен для IGBT-приложений. Именно такой преобразователь типа R05P21509D и именно по этой причине был выведен на рынок компанией RECOM.

Асимметричное выходное напряжение этих DC/DC-преобразователей имеет идеальные уровни, которые оптимизируют характеристики переключения транзисторов типа IGBT. Но необходимо рассмотреть и учесть еще один важный момент для правильного выбора преобразователя. Мало того, что эти преобразователи необходимы для формирования оптимальных напряжений для включения и выключения, они также должны обеспечить и гальваническую развязку, которая предохраняет цепь управления от воздействия высоких напряжений силовой цепи. Без такой адекватной изоляции все устройство просто выйдет из строя. Но что такое адекватная изоляция?

Прочность изоляции, характеризующаяся напряжением пробоя, обычно приводится в спецификациях на DC/DC-преобразователи. Инженерная практика говорит о том, что достаточным и приемлемым является напряжение пробоя, как минимум в два раза превышающее рабочее напряжение высоковольтной шины. Как отмечалось в начале статьи, IGBT-приложения могут иметь напряжение на высоковольтной шине постоянного тока 1000 В и более. Таким образом, можно было бы считать, что прочность изоляции в 2000 В для шины, например, в 1000 В была бы более чем достаточной. Однако важно помнить, что во время коммутации транзисторов типа IGBT имеются выбросы (рис. 4).

Кроме того, есть еще и паразитные емкости, разряд которых определен характеристиками переключения транзисторов. Таким образом, фактические уровни напряжения при переключении реально могут быть намного выше. Главное препятствие для их определения — это сложность в проведении измерения этих выбросов в реальном изделии. Собственная индуктивность средств измерения фактически ставит это под угрозу, делая определение паразитных выбросов практически невозможным. Начиная с некоторых уровней напряжений, определение необходимой прочности изоляции уже не поддается точному прогнозированию. Поэтому наилучший выход — это иметь прочность изоляции макси-

мально возможной, насколько это приемлемо. Например, типичное значение прочности изоляции для DC/DC-преобразователя, работающего на высоковольтную шину напряжения постоянного тока напряжением в 1000 В, должно иметь показатели на уровне 6000 В. Это необходимо, чтобы обеспечить надежную изоляцию и, как результат, продлить срок службы конечного изделия в целом.

В то время как прочность изоляции является, без сомнения, важным и критическим параметром, сам тип исполнения такой изоляции, определенный конструкцией трансформатора, одинаково важен и критичен. Обычно основная изоляция в DC/DC-преобразователях обеспечивается исключительно изоляционным покрытием проводов трансформатора. Однако возможные трещины этого изоляционного покрытия могут привести к пробое и последующему катастрофическому отказу конечного изделия. Наилучшим является вариант использования дополнительной основной изоляции, физически отделяющей первичную (входную) и вторичную (выходную) обмотки. В этом случае, даже если и имело место нарушение изоляции проводов, то электрическая прочность изоляции будет обеспеченазором между первичной и вторичной обмотками. С тех пор как IGBT-приборы начали применять на очень высоких частотах, проблема обеспечения изоляции стала еще важнее. Поэтому рекомендуется, чтобы основная изоляция использовалась обязательно: это продлит срок службы системы в целом.

Когда DC/DC-преобразователь выбран правильно, схема драйвера электродвигателя на базе транзисторов типа IGBT значительно упрощается. Дополнительно к этому увеличивается и жизненный цикл изделия, так как выбирается оптимальный режим включения/выключения транзистора. Это демпфирует силовые шины постоянного напряжения, что препятствует появлению паразитных выбросов. Кроме того, как указывалось выше, критическими являются как тип изоляции, так и ее электрическая прочность. Это также увеличивает надежность и срок службы конечного изделия.

Компания RECOM недавно освоила и вывела на рынок семейство преобразователей для IGBT-приложений, которые выполняют все изложенные требования для IGBT-приложений. ■