

Влияние DC/DC-преобразователей с усиленной изоляцией

на надежность IGBT-ключей

IGBT — устройства, соединяющие в себе характеристики биполярных транзисторов и полевых МОП-транзисторов, — применяются в схемах, где важна высокая скорость коммутации. Обычно в схеме они имеют «плавающий» высокий потенциал, поэтому качество гальванической изоляции между электроникой драйвера и источником питания определяет надежность всей цепи. В статье описывается роль DC/DC-преобразователей с усиленной изоляцией в системах на базе IGBT.

Королев Михаил

Korolev@recom-electronic.com

Обусловленный политическими мотивами переход на возобновляемую энергию привел к ускорению темпов разработки «экологичной» электроники. Приоритет теперь отдается электричеству из возобновляемых источников, главным образом ветряных и солнечных электростанций. Фотоэлектрические элементы вырабатывают постоянный ток, сила которого определяется интенсивностью падающего на них солнечного света. Ветряные генераторы генерируют переменный ток,

частота которого зависит от скорости ветра. Таким образом, электроэнергия от этих двух источников непригодна для непосредственной подачи в энергосистему и должна быть сначала преобразована.

Это делается с помощью высокоэффективных мощных инверторов. На первом шаге вырабатывается постоянное напряжение со стабилизированной амплитудой. Далее результирующий ток преобразовывается в высокочастотный с широтно-импульсной модуляцией и сглаживанием. Биполярные транзи-

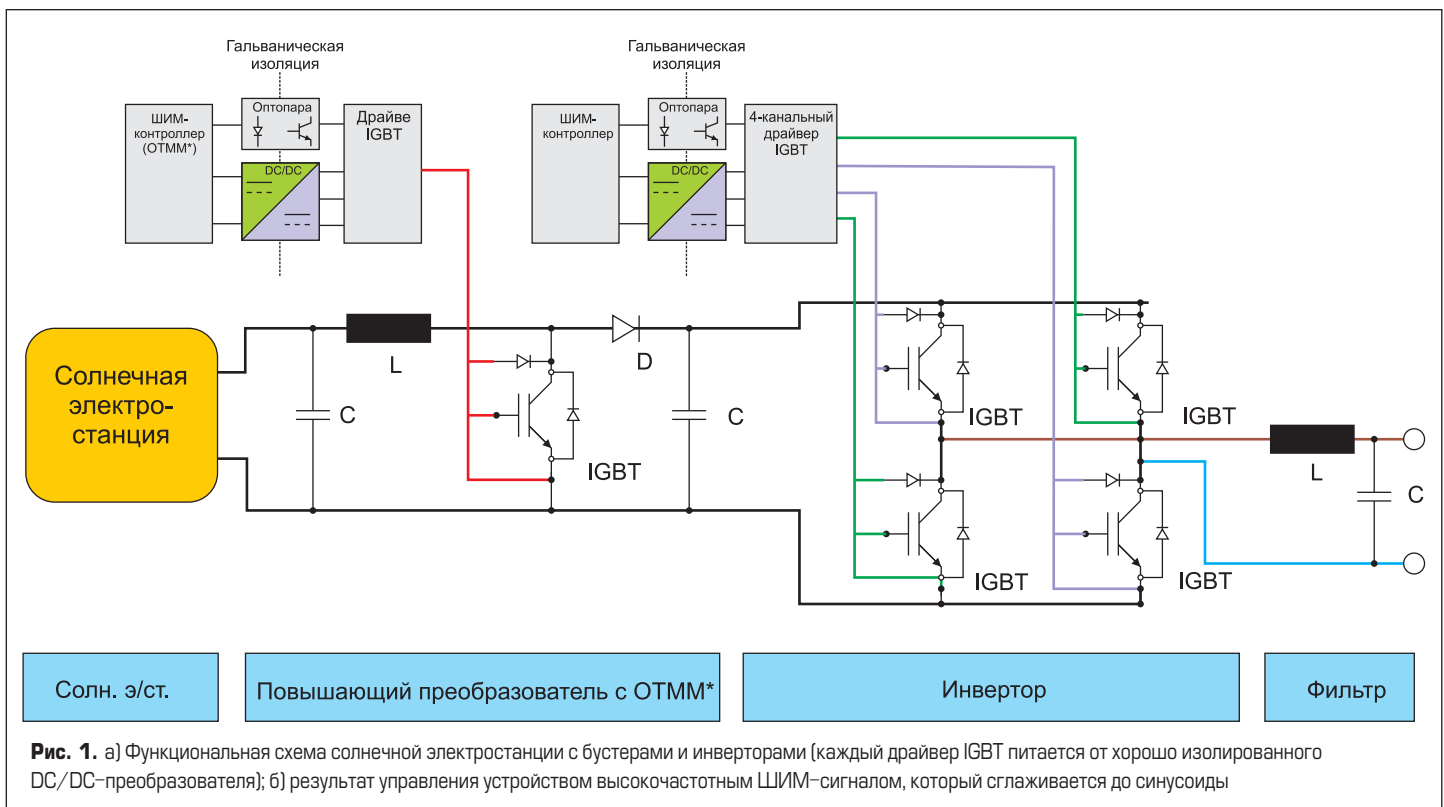


Рис. 1. а) Функциональная схема солнечной электростанции с бустерами и инверторами (каждый драйвер IGBT питается от хорошо изолированного DC/DC-преобразователя); б) результат управления устройством высокочастотным ШИМ-сигналом, который сглаживается до синусоиды

сторы с изолированным затвором (IGBT) используются в качестве быстродействующих силовых ключей, схемы управления (драйверы) которых питаются от небольших хорошо изолированных DC/DC-преобразователей. Качество гальванической изоляции определяет надежность всей системы (рис. 1).

Стандартные ключи для силовой электроники

С полевыми МОП-транзисторами IGBT схожи тем, что управляются минимальным током, а с биполярными — тем, что работают при чрезвычайно низком напряжении «коллектор–эмиттер». За счет этого они идеально подходят для коммутации высоких напряжений и больших токов с минимальным расходом энергии.

В простых инверторах две пары IGBT управляются в противофазе ШИМ-сигналом на частоте не менее 10 кГц. Чтобы получить удовлетворительный КПД, фронты, на которых происходит коммутация, должны быть очень крутыми. Но поскольку сигналы управления генерируются микроконтроллерами, крутизна фронтов слишком мала для того, чтобы напрямую управлять затвором IGBT. Поэтому приходится устанавливать драйверы IGBT, ускоряющие процесс переключения примерно до 1000 В/мкс. Так как обычно IGBT в схеме имеют «плавающий» высокий потенциал, логика управления, не имеющая гальванической изоляции, должна быть изолирована от них при помощи оптопар. Изоляция нужна также и для напряжения питания драйвера, которое находится, как правило, в диапазоне от +15 до -9 В. Это делается с помощью хорошо изолированных DC/DC-преобразователей.

Нагрузочные испытания DC/DC-преобразователей

На первый взгляд требования к напряжению изоляции DC/DC-преобразователей не кажутся особенно строгими. Поскольку пиковое значение переменного напряжения не превышает 650 В, то постоянное напряжение изоляции 2 кВ/1 с должно быть достаточным, если верить общей формуле. Однако действительность гораздо сложнее. Качество гальванической изоляции определяется трансформатором и его непосредственной окрестностью. Изображенный на рис. 2 преобразователь REC3.5 компании RECOM обеспечивает усиленную изоляцию — до 10 кВ постоянного тока/1 с.

Напряжение изоляции DC/DC-преобразователя, а следовательно, воздушный зазор и длина пути утечки в окрестности трансформатора обычно нормируются для частоты 50 Гц. Из соображений эффективности IGBT-ключи работают на частотах, существенно превышающих 10 кГц, — не редкость даже 300 кГц! На таких частотах электромагнитные компоненты и материалы ведут себя совершенно иначе. Фронт сигнала создает дополнительную нагрузку на изолирующий



Рис. 2. Преобразователь REC3.5

барьер DC/DC-преобразователя, поскольку чрезвычайно высокое значение dV/dt (около 1000 В/мкс) дает очень большие амплитуды на пиках напряжения из-за разделительного конденсатора и других паразитных емкостей в цепи между токоведущими дорожками и трансформатором. Но результаты измерений — даже выполненных по всем правилам — не слишком надежны. Это связано с тем, что поведение системы меняется, как только к ней подсоединяется щуп осциллографа. Измеренное значение пикового напряжения, равное, например, 2 кВ, уже ослаблено щупом, так что фактическое его значение может быть гораздо выше.

Для расчета таких пиков нет готовой формулы, поэтому невозможно в точности рассчитать поведение электромагнитных мате-

риалов на высоких частотах. Соответственно, необходимо оставлять большой запас, исходя из эмпирических значений. Из опыта мы знаем, что срок службы цепи на IGBT напрямую зависит от качества гальванической изоляции DC/DC-преобразователя. Но лучшая изоляция не обязательно предполагает более высокое напряжение изоляции: обычно под этим понимают качество усиленной изоляции, применяемой, например, в медицинской электронике. Следует иметь в виду, что упомянутые выше эффекты в общем случае не ведут к мгновенному отказу. Подобно дамбе, которая постепенно ослабевает под давлением высокой воды и в результате внезапно прорывается, изолирующий барьер DC/DC-преобразователя рано или поздно отказывает из-за воздействия частых околопредельных нагрузок. Это, разумеется, влечет катастрофические последствия для всей системы.

Сравнивая подобное с подобным

У одних компонентов паспортное напряжение изоляции дается при времени воздействия, равном 1 с, а у других — 1 мин. или даже при непрерывном воздействии. Чем больше время воздействия, тем ниже будет допустимое напряжение. Чтобы пользователи могли сами точно рассчитывать этот критически важный параметр, компания RECOM предоставляет бесплатное средство ISO Calculator. Этот диск формата CD (рис. 3) содержит справочные



Рис. 3. Диск с данными, предоставляемый компанией RECOM

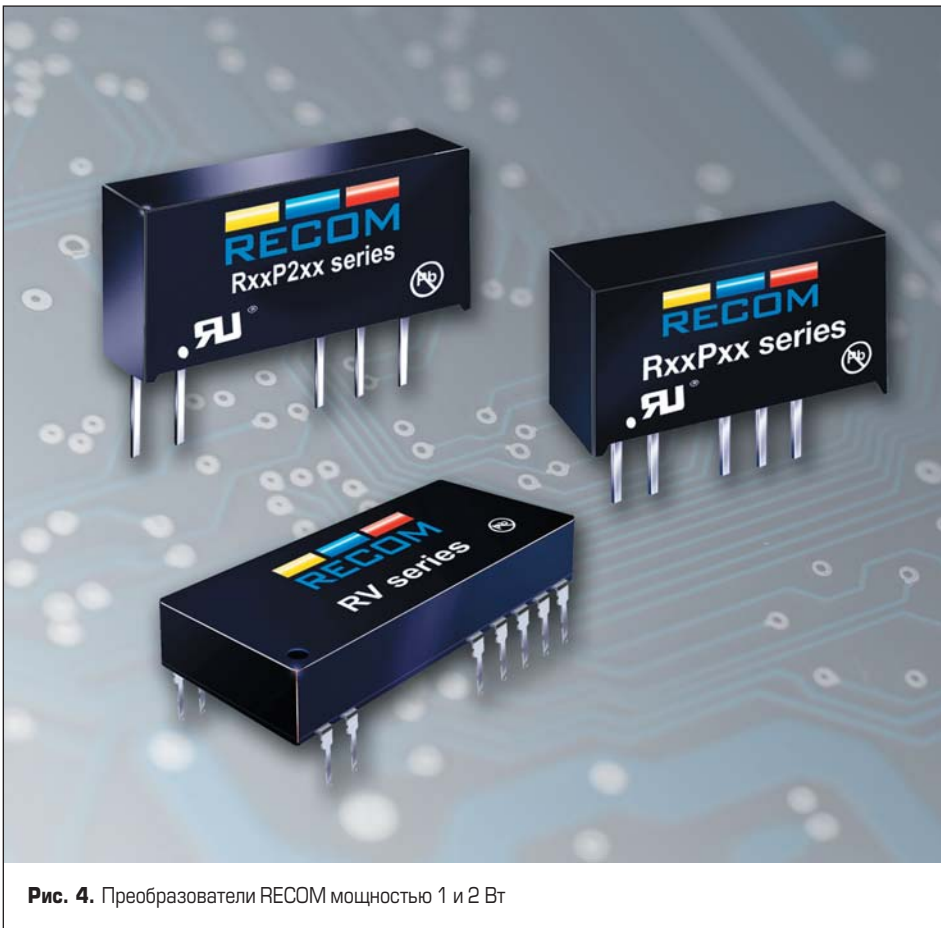


Рис. 4. Преобразователи RECOM мощностью 1 и 2 Вт

значения параметров изоляции. Бесплатно заказать средство ISO Calculator можно, написав по адресу info@recom-electronic.com. Онлайн-вариант этого средства имеется на сайте www.recom-electronic.com.

Помимо уровня испытательного напряжения, немаловажно еще и качество изоляции. Простейшая форма гальванической изоляции — так называемая функциональная — достигается при помощи трансформатора, у которого первичная и вторичная обмотки располагаются друг над другом. Тонкий слой изолирующей эмали на медном проводе выдерживает испытательное напряжение около 1000 В постоянного тока в течение 1 с. Но со временем эмаль может становиться хрупкой, особенно под воздействием высоких температур, влажности, вибрации или кратковременных пиков напряжения. На каком-то этапе эмаль может не выдержать, даже если из паспортных характеристик следует иное.

Именно поэтому организация UL (Underwriters Laboratories) определила три класса качества с четко заданными значениями воздушного зазора и длины пути утечки (таблица). Воздушный зазор — это расстояние по прямой между двумя точками, а длина пути утечки — длина пути протекания тока по поверхности. Для соответствия низшему классу (базовая изоляция) преобразователь с входным напряжением 24 В постоянного тока должен иметь воздушный зазор 0,5 мм и длину пути утечки 1,0 мм. Для второго класса (дополнительная изоляция) эти значения повышаются вдвое — до 1,0 и 2,0 мм соответственно. Наконец, для высшего класса (усиленная изоляция) тот же преобразователь должен иметь воздушный зазор 2,0 мм и длину пути утечки 4,0 мм — в четыре раза выше, чем при базовой изоляции.

Медицинская электронная аппаратура всегда должна иметь усиленную гальвани-

ческую изоляцию. Для силовой электроники подобные спецификации отсутствуют. Можно, однако, предположить, что преобразователи с усиленной изоляцией лучше защищены от нагрузок, возникающих на протяжении срока службы устройства, чем преобразователи с базовой или даже только функциональной изоляцией. Вот почему все большее количество производителей применяют DC/DC-преобразователи с усиленной изоляцией в схемах на IGBT, несмотря на их несколько более высокую стоимость. За счет новой трансформаторной схемы компании RECOM удалось сделать преобразователи с усиленной изоляцией не только компактнее, но еще и дешевле. Это означает, что безопасность более не является вопросом цены.

Продукция для схем на базе IGBT

Помимо ряда преобразователей с функциональной изоляцией, компания RECOM предлагает теперь преобразователи с усиленной изоляцией серий RK (4000 В–/1 с), RP (5200 В–/1 с) и RV (6000 В–/1 с) на номинальную мощность 1 и 2 Вт (рис. 4). Эти устройства уже широко применяются в схемах на биполярных транзисторах с изолированным затвором. Новейшие серии RxxP и RxxP2 имеют постоянное напряжение изоляции 6400 и 8000 В/1 с соответственно. Они выпускаются в версиях на номинальную мощность 1 и 2 Вт, а также с усиленной изоляцией в компактных корпусах SIP7. Версия преобразователя серии RV на номинальную мощность 2 Вт теперь предлагается также в корпусе DIP24 для монтажа без модификаций в разработанных ранее конструкциях. Ввиду того что КПД преобразователя равен почти 88%, его можно эксплуатировать при температуре до +85 °С без активного охлаждения или снижения номинальных характеристик.

Два самых мощных преобразователя серии REC с постоянным напряжением изоляции 8000 и 10 000 В/1 с выпускаются в корпусах DIP24. Их номинальная мощность (3,5 и 6 Вт соответственно) примерно на 20% выше, чем у сравнимых моделей без усиленной изоляции, а КПД достигает 86%. Это позволяет эксплуатировать данные преобразователи при температуре +85 °С для REC3.5 и +75 °С для REC6 без активного охлаждения или снижения номинальных характеристик. Максимально допустимая температура корпуса — +105 °С.

Несмотря на гораздо более сложное устройство гальванической изоляции, описанные выше изделия совсем ненамного дороже устройств, в которых применяется традиционная технология. На все изделия, как обычно для преобразователей RECOM, дается трехлетняя гарантия. На стадии разработки вся продукция проходит ускоренные испытания на долговечность в лаборатории испытаний на воздействие внешних факторов компании RECOM, чтобы гарантированно обеспечить заявленный срок службы.

Таблица. Стандарты UL на воздушный зазор и длину пути утечки в медицинской электронной аппаратуре с усиленной изоляцией обеспечивают повышенную безопасность в схемах на базе IGBT

Класс изоляции	Входное напряжение, В	15 В~	36 В~	75 В~	150 В~	300 В~
		12 В~	30 В~	60 В~	125 В~	250 В~
Базовая	Воздушный зазор, мм	0,4	0,5	0,7	1,0	1,6
	Длина пути утечки, мм	0,8	1,0	1,3	2,0	3,0
Дополнительная	Воздушный зазор, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,5
	Длина пути утечки, мм	1,7	2,0	2,3	3,0	4,0
Усиленная	Воздушный зазор, мм	1,6	2,0	2,4	3,2	5,0
	Длина пути утечки, мм	3,4	4,0	4,6	6,0	8,0