

Новый однокристалльный инвертор

в корпусе SMD компании Mitsubishi Electric

Роман Фукалов

roman.fukalov@mitsubishi-electric.ru

Kiyoto Watabe
Marco Honsberg
Hatade Kazunari
Toru Araki

Технология литьевого прессования широко используется при производстве корпусов надежных силовых модулей для различных мощностей от сотен ватт до более чем 4 кВт. Она прекрасно подходит для большого числа модулей IGBT и IPM. Ее преимуществом, по сравнению с конкурирующими, является возможность двойного использования медной рамы — как проводника и как охладителя. Кроме того, данная технология позволяет использовать голые чипы IGBT-диодов и управляющих микросхем, и нет необходимости предварительно упаковывать компоненты.

С момента своего появления технология корпусирования совершенствуется, особенно в области уменьшения теплового сопротивления и достижения максимальной выходной мощности. Новые корпуса отвечают существующим тенденциям миниатюризации в силовой электронике.

Для управления двигателями мощностью 200 Вт и меньше традиционно используются дискретные IGBT в корпусе DPAK и интегрированные микросхемы драйверов в корпусе для поверхностного монтажа. Основное применение для приводов такой мощности — бытовая техника (стиральные машины, холодильники и т. д.). Использование дискретных компонентов в данных устройствах приводит к усложнению печатных плат и увеличению трудоемкости монтажа элементов. Возможное решение проблем — применение компактных высокоинтегрированных интеллектуальных модулей (IPM) в корпусе для поверхностного монтажа.

Технология корпусирования

Внешний вид нового корпуса показан на рис. 1.

На рис. 1 видно, что часть выводов объединены для улучшения теплоотвода от медной рамы к печатной плате, которая выступает как дополнительный охладитель.

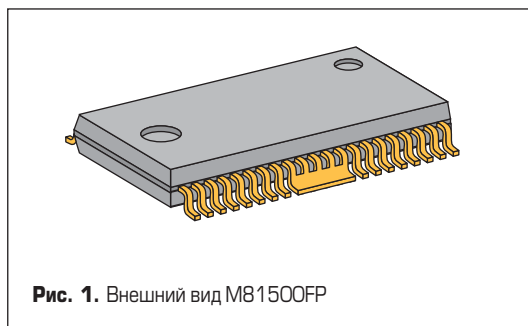


Рис. 1. Внешний вид M81500FP

дитель. Более того, высоковольтные и низковольтные выходы находятся по разным сторонам корпуса для увеличения изоляционных промежутков.

На медной раме модуля установлен один кристалл, который содержит драйвер, цепи защиты, а также IGBT и обратные диоды. Медная рама благодаря своей хорошей теплопроводности эффективно используется для увеличения поверхности рассеяния тепла, таким образом уменьшая $R_{th}(j-a)$.

Требования к печатной плате

Общая площадь печатной платы, требующаяся для данного корпуса, $11,93 \text{ мм} \times 17,50 \text{ мм} = 208,78 \text{ мм}^2$.

Попробуем оценить площадь печатной платы при использовании дискретных компонентов: 3 высоковольтных интегральных схемы в корпусе SO-8, каждая размером $5 \text{ мм} \times 6,2 \text{ мм} = 31 \text{ мм}^2$ и 6 дискретных IGBT в корпусе DPAK, каждый размером $6,5 \text{ мм} \times 10 \text{ мм} = 65 \text{ мм}^2$; то есть требуемая суммарная площадь печатной платы (без учета более сложной разводки) $3 \times 31 \text{ мм}^2 + 6 \times 65 \text{ мм}^2 = 481 \text{ мм}^2$.

Таким образом, при использовании M81500FP размер печатной платы уменьшается более чем в два раза (рис. 2).

Благодаря разделению силовой части и управления возможно использование однослойных печатных плат.

Структура и функции защиты

Структурная схема M81500FP показана на рис. 3. Для питания управляющих цепей используется один источник напряжения 15 В, подключенный к выводу Vcc. Все входы UPIN...VPIN и UNIN...VNIN совместимы с 3- и 5-вольтовой логикой и могут быть напрямую подключены к DSP или микропроцессору.

Сигналы управления проходят через блок контроля, который исключает возможность короткого замыкания (КЗ) по плечу инвертора (включение верхнего и нижнего транзистора одновременно). Питание верхних ключей осуществляется с помощью цепей зарядки, диоды для них встроены в кристалл. Сюда же встроена защита от пониженного напряжения, как для верхних, так и для нижних ключей. В случае обнаружения падения напряжения соответствующая группа IGBT отключается, а при срабатывании защиты по нижним ключам выдается сигнал ошибки.

В M81500FP встроена эффективная защита от КЗ — высокоскоростной компаратор, который при появлении

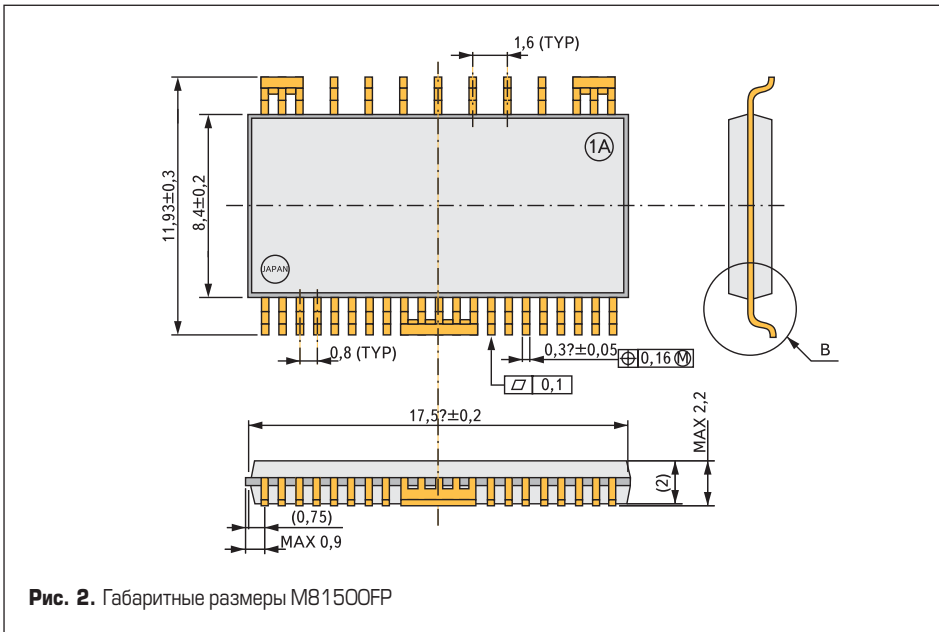


Рис. 2. Габаритные размеры M81500FP

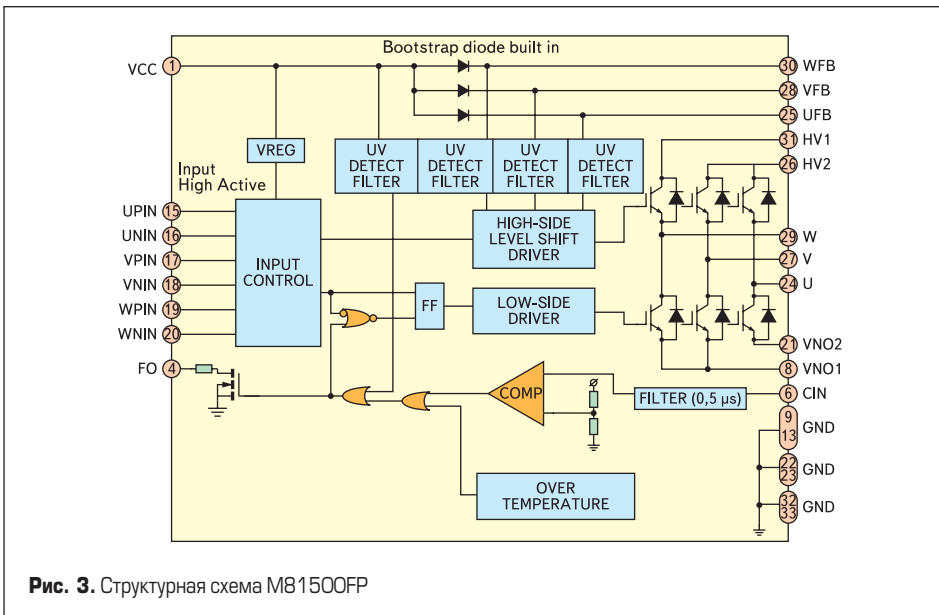


Рис. 3. Структурная схема M81500FP

напряжения 0,5 В на входе CIN отключает транзисторы. Напряжение берется с шунта, установленного между выходами VNO1/2 и GND. Шунт рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{кз} = 0,5 \text{ В} / R_{шунт}$$

Для предотвращения ложных срабатываний между входом CIN и компаратором встроена цепь фильтрации.

В дополнение к защите по электрическим параметрам данный модуль инвертора содержит тепловую защиту, которая срабатывает при температуре 140 °С и снимается при 120 °С.

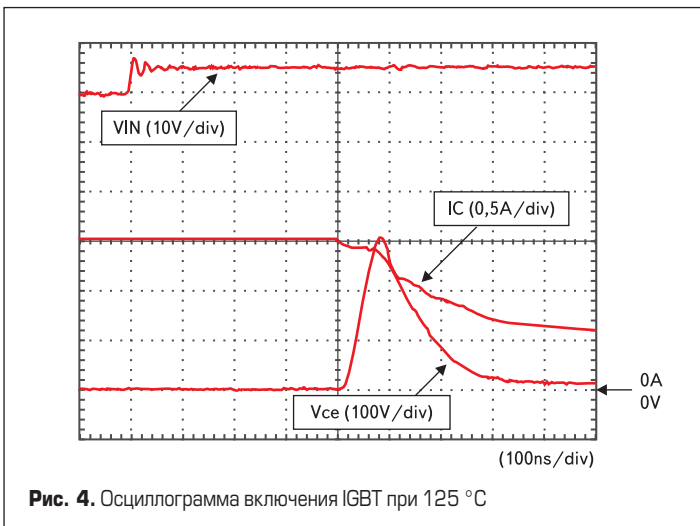


Рис. 4. Осциллограмма включения IGBT при 125 °С

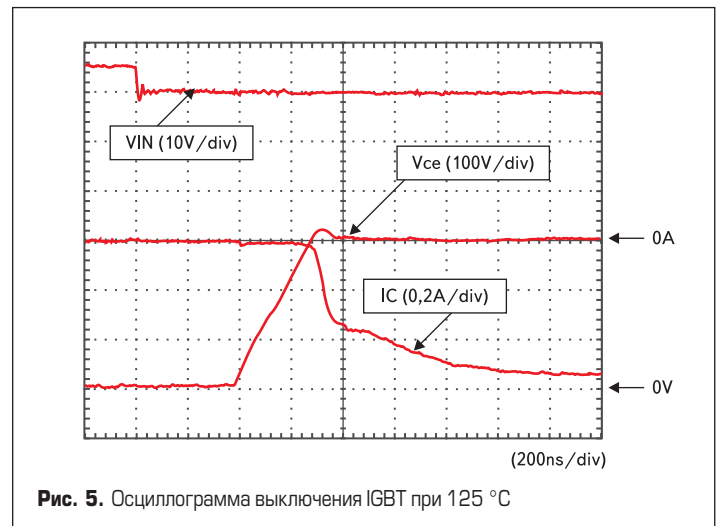


Рис. 5. Осциллограмма выключения IGBT при 125 °С

При импульсе защиты выдается сигнал ошибки на выход FO.

Благодаря тому что все драйверы и цепи защиты интегрированы на кристалле, для работы однокристалльного инвертора требуются только 3 керамических конденсатора (для цепей зарядки), один шунт и один керамический конденсатор в цепи питания.

Технология кристалла

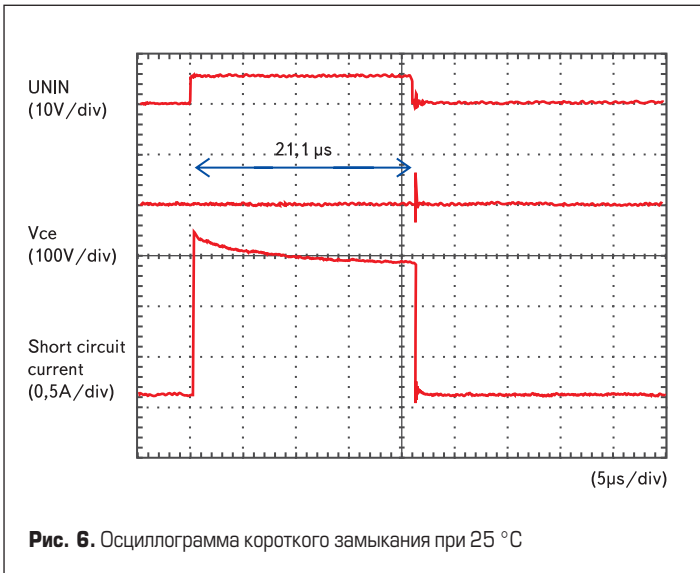
Кристалл в интегральной микросхеме однокристалльного инвертора выполнен по технологии «кремний на изоляторе». Силовая часть сформирована Н-канальными IGBT (цилиндрической структуры для большей устойчивости к КЗ) и диодами. Цепи управления построены на 24-вольтовой CMOS-технологии, за исключением схемы сдвига уровня, построенной на базе HV-NMOS-структуры.

Данный кристалл выполнен по 1,3 мкм-технологии. Для изоляции применена Multiple Floating Field Plate, позволяющая стабилизировать поверхностное электрическое поле и при коммутации, и в установившемся режиме. Данные технологии были впервые применены в ранее разработанных высоковольтных интегральных схемах на 600 и 1200 вольт и показали свою надежность в эксплуатации.

Созданные образцы кристаллов были протестированы. На рис. 4 и 5 можно увидеть тестовые осциллограммы для включения и выключения соответственно.

На рис. 4 можно заметить, что максимальное значение dV/dt всего лишь 1,7 кВ/мкс. Выключение при напряжении на шине постоянного тока 300 В показывает небольшое перенапряжение при умеренном dI/dt.

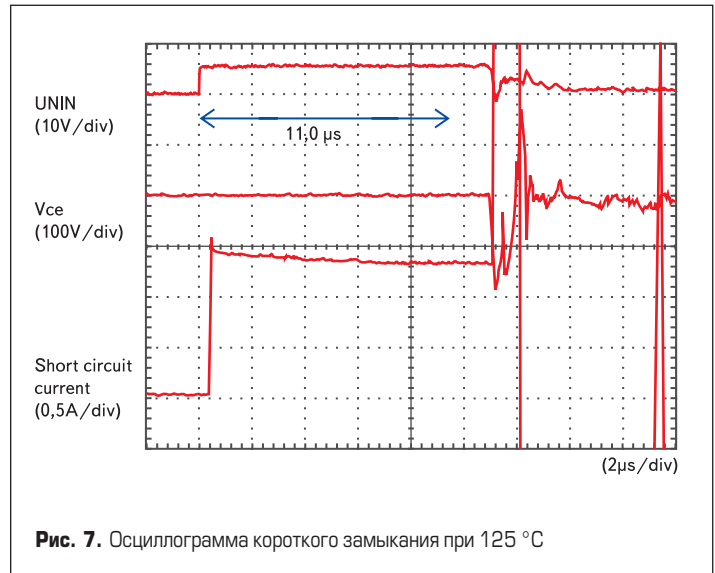
Устойчивость к токам короткого замыкания оказывает влияние на надежную работу привода в целом. Следовательно, IGBT в ситуации КЗ должен противостоять высоким нагрузкам до момента, пока встроенная защита не обнаружит аварию и не отключит модуль. В настоящее время стойкость IPM в прессованном корпусе — около 4,5 мкс для 0,6 мкм-планарных кристаллов и 1 мкм CST-VT соответственно, управляющая интегральная схема должна отключить IGBT в течение микросекунды. Таким образом, надежная защита от КЗ создана.



На рис. 6 показана реальная стойкость к КЗ новых IGBT при комнатной температуре.

Рис. 6 показывает, что образец IGBT выдержал короткое замыкание в течение 21 мкс при начальной температуре 25 °С. Но чаще КЗ происходит при более высокой начальной температуре кристалла (максимальная нагрузка на модуль). Устойчивость к КЗ при полной нагрузке и температуре кристалла 125 °С показана на рис. 7.

На осциллограмме видно, что после 11 мкс не удалось отключить IGBT. Однако при 10 мкс это не составило проблем, несмотря на жесткие условия работы. Учитывая это, а также наличие системы управления, отключающей IGBT при коротком замыкании в течение одной микросекунды, можно говорить о действительно высокой стойкости к нему данного модуля.



Демонстрационная плата

Была разработана демонстрационная плата габаритами 59 мм × 38 мм (рис. 8), содержащая, кроме IPM-модуля, простой контроллер (NEC mPD78F0712). Плата показывает степень интеграции, которую можно достигнуть при использовании M81500FP. В качестве нагрузки — бесколлекторный двигатель постоянного тока.



Заключение

M81500FP — более компактный и надежный модуль для приводов малой мощности в сравнении с ранее используемыми дискретными решениями.