

# Новые высокопроизводительные press-pack IGBT

## компании Westcode

**В данной статье рассмотрены основные характеристики press-pack IGBT фирмы Westcode ([www.westcode.com](http://www.westcode.com)), показаны возможности построения различных преобразователей на их основе. Предложенный материал является базовой информацией, необходимой для понимания возможностей и задач данной технологии. Стоит отметить, что рассмотренные транзисторы являются первым поколением, серийно освоенным компанией, которая в настоящее время предлагает press-pack IGBT на напряжения 2500, 4500 и 5200 В в трех типах корпусов: 47, 75 и 100 мм.**

**F. Wakeman,  
G. Lockwood, LeJeune**

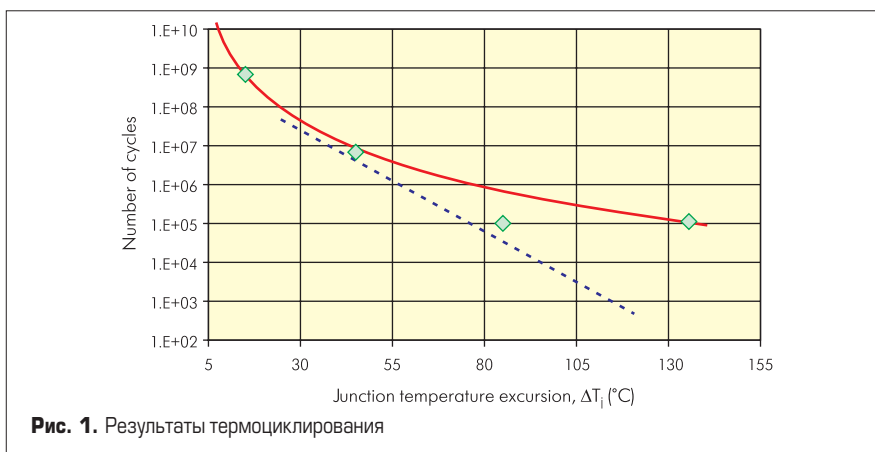
**Перевод:  
Иван Полянский**

ivan\_sl@argussoft.ru

IGBT-модули таблеточного исполнения разрабатывались для отказоустойчивых приложений, в которых не могут быть использованы обычные модули. Технология изготовления устройства на 400 А, 1800 В в 47 мм таблеточном корпусе показала хорошие электромеханические характеристики [1]. Характеристики термостойкости такого изделия оказались равными или превосходящими стандартные технологии press-pack [6].

На рис. 1 показаны результаты испытания на термоциклы устройства размером 47 мм. На графике показаны четыре точки, в которых происходило тестирование образцов на перепад температуры  $\Delta T = 45^\circ\text{C}$  и затем  $\Delta T = 85^\circ\text{C}$ , где тестирование прекращалось до момента выхода образца из строя. Тест был продолжен при  $\Delta T = 135^\circ\text{C}$  и прекращен после выхода из строя одного из двух образцов, прошедших  $115 \times 10^3$  термоциклов. Рисунок содержит также информацию о термостойкости модулей на изолированном основании (пунктирная линия). Расчетное значение времени жизни устройства press-pack может быть получено из формулы Коффина-Мэнсона:

$$N = [ka\Delta T]^{-kb}$$

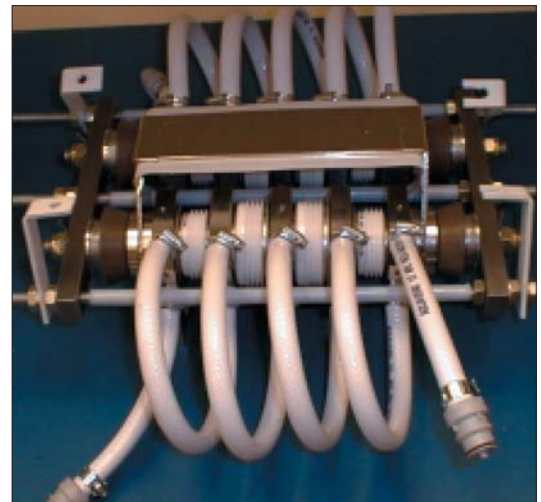


Из данной модели можно заключить, что возможности термостойкости устройств press-pack могут быть значительно, иногда на несколько порядков, лучше, чем у модулей на изолированном основании.

Press-pack IGBT изготовлены в стандартных герметичных корпусах и могут быть легко использованы для модернизации имеющегося оборудования с сохранением системы охлаждения и конструкции. Система охлаждения может быть принудительной воздушной, жидкостной (рис. 2, 3) или полностью погруженной, например, в масло.

Использование стандартных корпусов позволяет применять стандартные системы охлаждения, крепления и сокращает стоимость и время разработки.

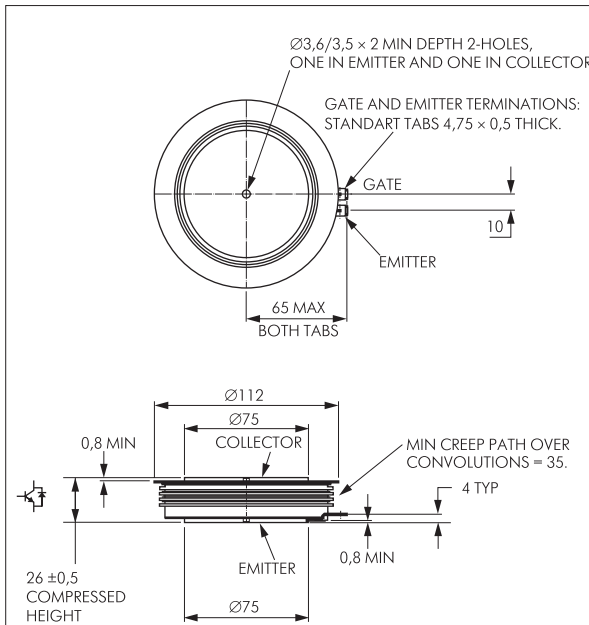
Концепция больших устройств press-pack IGBT [7] демонстрирует возможность данной технологии обеспечить полный спектр мощностей, востребованных в настоящее время. Освоение корпуса размером 47 мм



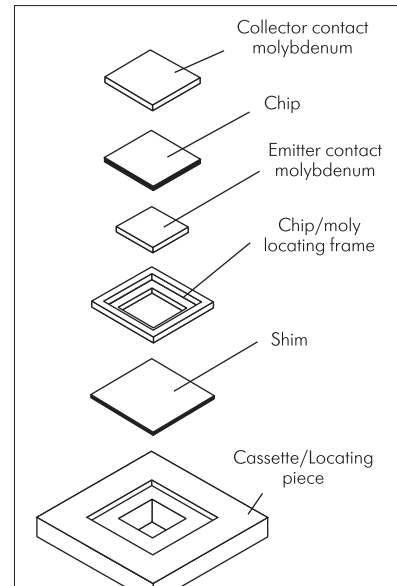
**Рис. 2.** Конструкция модуля с жидкостной системой охлаждения



**Рис. 3.** Конструкция с жидкостной системой охлаждения (одна фаза)



**Рис. 4.** Размеры корпуса диаметром 75 мм



**Рис. 6.** Вертикальное расположение элементов ячейки

позволило быстро выпустить изделия в корпусе 75 мм и приступить к дизайну устройств диаметром 100 мм. На рис. 4 показан корпус 75 мм; больший корпус отличается только габаритами.

### Внутренняя конструкция

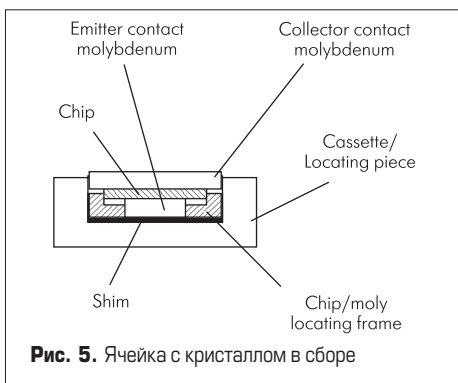
В корпусе 75 мм представлен большой спектр новых press-pack IGBT. Новые изделия имеют ту же базовую конструкцию, что и 47-миллиметровые модули [1–6]. Одна ячейка такого модуля в сборе показана на рис. 5, а ее составные части — на рис. 6.

На рис. 7 изображен полный модуль, состоящий из 24 кристаллов: 18 IGBT и 6 диодов.

Контакт с управляющими затворами осуществляется посредством специальной конструкции, закрепленной в основании модуля (рис. 8), контакты с каждым затвором реализованы прижимом специального электрода.

Эти электроды располагаются в окнах ячеек для кристаллов (рис. 9), выступая над кассетой, как показано в правом верхнем углу рис. 7.

В дополнение к версии 75 мм разработан корпус 100 мм, который содержит 37 ячеек и имеет две модификации: все чипы IGBT с общим током до 3000 А и 28 IGBT с девятью диодами с током 2200 А. Для корпуса 100 мм было найдено немного другое конструктивное решение: предпочтительнее изготовить индивидуальную ячейку для каждого кристалла,



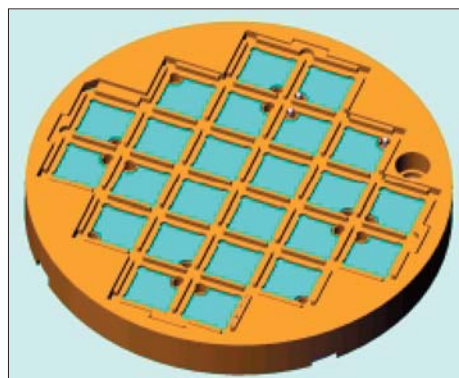
**Рис. 5.** Ячейка с кристаллом в сборе

нежели располагать их в общей кассете, — это упрощает предварительное тестирование кристаллов в процессе сборки. Каждая кассета устанавливается эмиттерным электродом на выступающие основания (рис. 10).

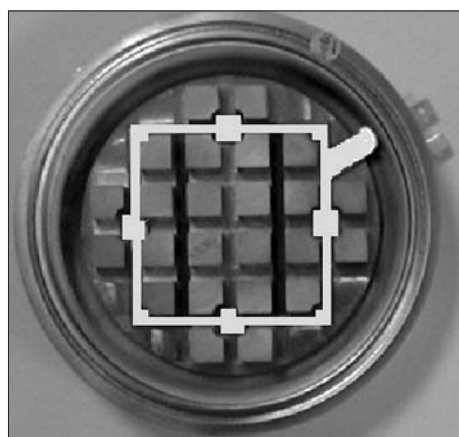
Методика подключения управляющих электродов идентична той, которая применена в корпусе 75 мм. Модифицированная конструкция предлагает большую гибкость в по-

строении модулей нужной конфигурации. Одна стандартная ячейка может быть использована во всех типах корпусов и быстро заменена при тестировании и сборке.

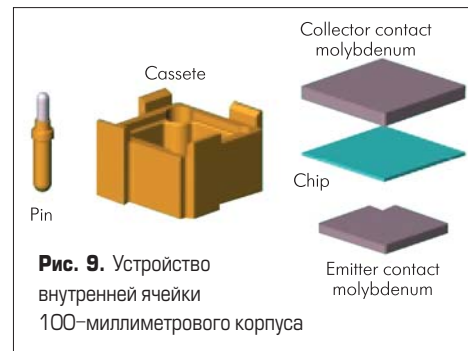
В то же время требования к антипараллельному диоду различны в разных приложениях, и для его установки требуется изменение эмиттерного контакта и платы распределения затворных контактов, хотя для диодов применяется унифицированная кассета. Это не означает, что можно быстро получить нужную конфигурацию IGBT с диодами, но сокращает время и стоимость разработки законченного изделия по предъявляемым требованиям.



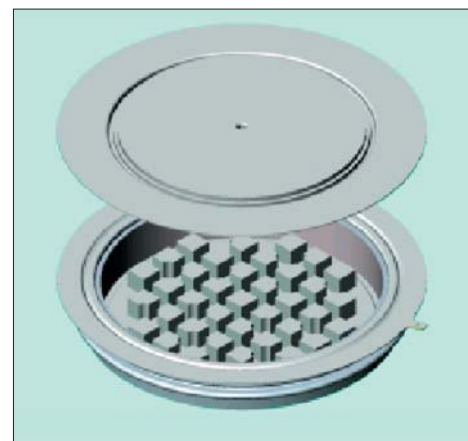
**Рис. 7.** Корпус диаметром 75 мм с электродами управления в сборе



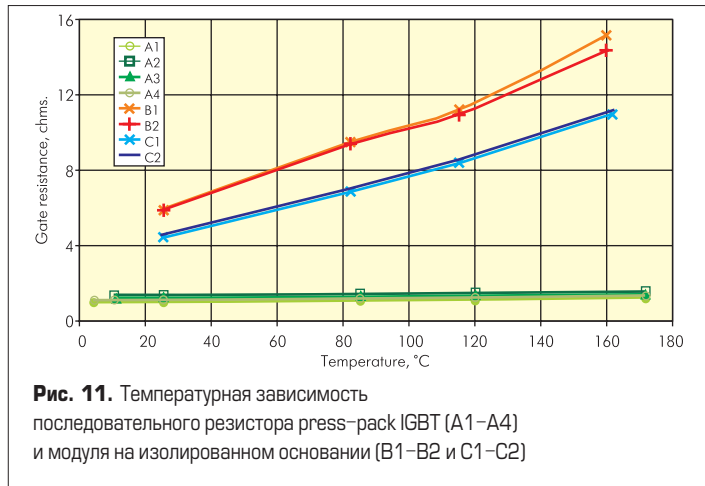
**Рис. 8.** Расположение платы подачи управляющих сигналов на затворы для корпуса 75 мм



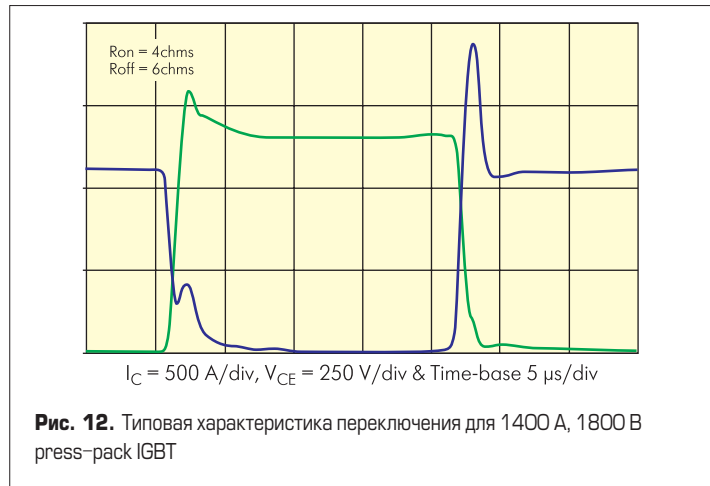
**Рис. 9.** Устройство внутренней ячейки 100-миллиметрового корпуса



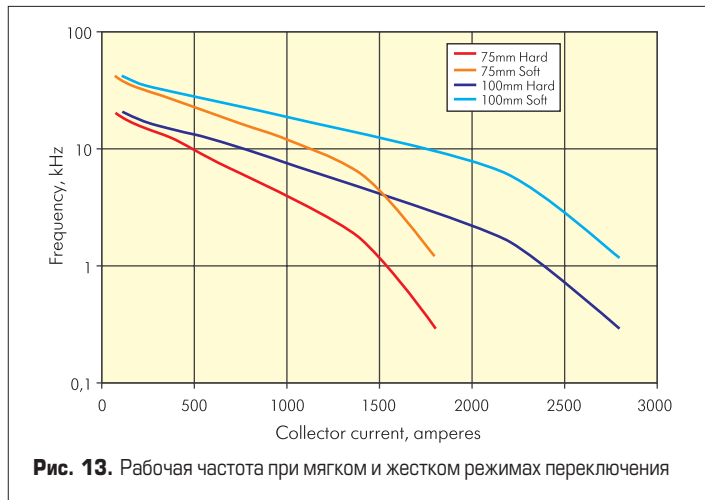
**Рис. 10.** Конструкция корпуса 100 мм с эмиттерными контактами



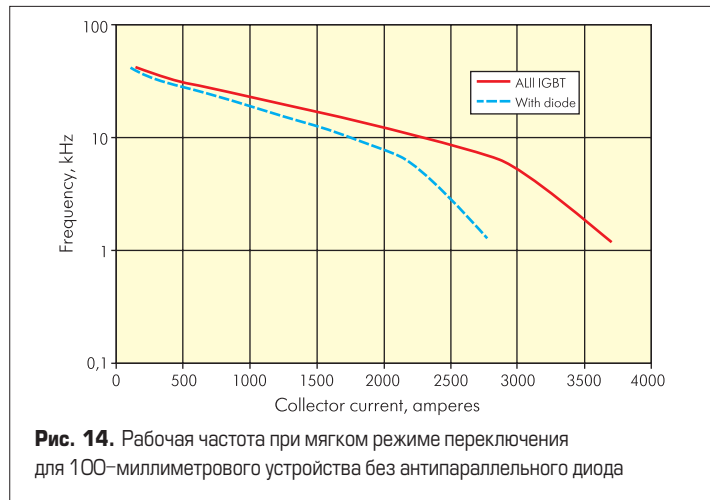
**Рис. 11.** Температурная зависимость последовательного резистора press-pack IGBT (A1-A4) и модуля на изолированном основании (B1-B2 и C1-C2)



**Рис. 12.** Типовая характеристика переключения для 1400 А, 1800 В press-pack IGBT



**Рис. 13.** Рабочая частота при мягком и жестком режимах переключения



**Рис. 14.** Рабочая частота при мягком режиме переключения для 100-миллиметрового устройства без антипараллельного диода

### Электрические характеристики

Большой спектр обозначенных IGBT-модулей использует один и тот же тип кристаллов 1800 В, 80 А. Эти кристаллы разработаны специально для монтажа press-pack, имеют специальную металлизацию и структуру затвора, встроенный резистор, и могут быть использованы в разных типах корпусов.

Встроенный резистор затвора имеет ряд свойств, позволяющих увеличить эффективность использования press-pack IGBT в специфических приложениях. Сравнительно низкое сопротивление встроенного резистора, порядка одного ома, увеличивает максимальную частоту в режиме мягких переключений, что востребовано в оборудовании для индукционного нагрева. Эта особенность требует правильного выбора внешнего резистора затвора в схемах драйвера для исключения больших  $dv/dt$  при запираии в режиме жестких переключений.

Резистор затвора также имеет значительно более низкий температурный коэффициент, нежели кремниевые резисторы, используемые в большинстве модулей (рис. 11).

Это особенно важно в случае, когда резистор изготовлен на кристалле и работает в полном диапазоне температур IGBT. Как видно на рис. 11, температурный коэффициент A1-A4 значительно меньше того, что используется в стандартных модулях на изолированном основании (B1-B2 и C1-C2). Электрические характеристики кристаллов 1800 В, используемых в производстве данных press-pack, опти-

мированы для работы на частотах до 20 кГц. В результате прямое падение напряжения «коллектор — эмиттер» несколько больше или сравнимо со значениями для модулей на изолированном основании, но это компенсируется сокращением потерь переключения на высоких частотах. Типовая характеристика переключения одного устройства на 1400 А в 75-миллиметровом корпусе показана рис. 12. В данном случае показан режим жестких переключений без снабберных цепей turn-on и turn-off. Для увеличения рабочей частоты устройство должно быть оптимизировано для резонансных схем, таких, как, например, индукционный нагрев.

На основании результатов испытания 47- и 75-миллиметровых устройств можно построить модель для корпуса 100 мм. Смоделированные характеристики для корпуса 100 мм совместно с 75 мм представлены на рис. 13 — здесь отображен режим жестких (непрерывная линия) и мягких (пунктирная линия) переключений от сетевого напряжения 900 В. Рабочая частота, полученная на данном графике, есть предполагаемое значение, которое зависит от многих факторов, таких, как особенности корпуса и т. п. Более высокая частота переключения (на 30–40%), например, может быть получена при снижении напряжения коммутации до 600 В. При этом параметры драйвера управления и снабберных цепей могут существенно повлиять на общие характеристики.

Пример, рассмотренный на рис. 13, подразумевает использование встроенного антипа-

раллельного диода на полный диапазон тока. В случаях, когда используется внешний диод или приложение не требует наличия встроенного диода, весь корпус может быть заполнен кристаллами IGBT, увеличивающими суммарный ток устройства.

Для корпуса 100 мм частота может быть увеличена, как это показано на рис. 14, в режиме мягких переключений.

### Примеры использования

Press-pack IGBT ориентированы на применение в изделиях повышенной надежности или в приложениях с жесткими температурными условиями. Это говорит не об их уникальности, а скорее о тех новых возможностях, которые вы можете получить, применяя press-pack IGBT в обозначенных областях техники.

Используя press-pack IGBT, можно создать компактные модули с жидкостным охлаждением. Возьмем для примера H-bridge инвертор (рис. 15), который состоит из двух фаз с последовательно соединенными IGBT; возможно построение очень компактного модуля (рис. 16).

Этот модуль имеет удобное расположение цепи постоянного напряжения (DC line), которая может быть подключена непосредственно к конденсатору фильтра простыми параллельными шинами. Данный пример не подразумевает изоляции от системы охлаждения, которая может быть легко получена с применением изолирующих дисков, что, конечно,

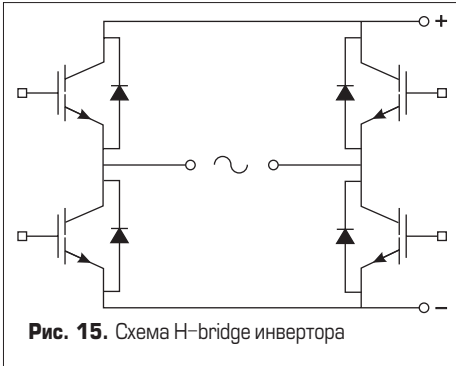


Рис. 16. Инвертор H-bridge

скажется на стоимости и максимальной мощности изделия.

Такая же компактная конструкция может быть получена для модуля H-bridge с последовательными диодами (current-fed) (рис. 17).

Последовательные диоды находятся в той же конструкции, что и IGBT, являясь частью общего компактного модуля (рис. 18).

В обоих примерах драйверы управления смонтированы на боковых плоскостях конструкции, что минимизирует длину соединений. Оба модуля показывают пример конструкции, которая может быть востребована в индукционном нагреве, сварочной технике или любых других приложениях, где предполагаются жесткие температурные условия эксплуатации элементов. Компактный дизайн и удобное соединение с линией AC или DC открывают дорогу для работы на частотах вплоть до 20 кГц; индуктивность внешних элементов управления может быть выше, чем в модулях на изолированном основании, но это компенсируется очень малой внутренней индуктивностью press-pack IGBT.

Одна особенность Press-pack устройств определяет область их применения — это пробой или выход изделия из строя [6]. Благодаря своей механической конструкции press-pack IGBT всегда выходят из строя путем замыкания накоротко, продолжая проводить ток в неисправном состоянии. Таким образом, может быть использована та же схема резервирования, что и при использовании стандартных тиристоров (N+1), путем последовательного соединения нескольких устройств. При выхо-

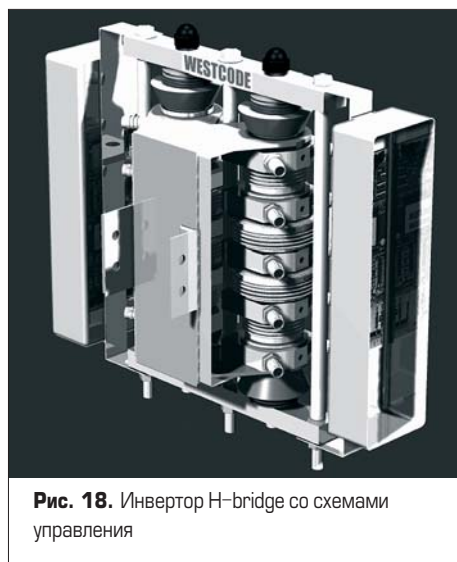
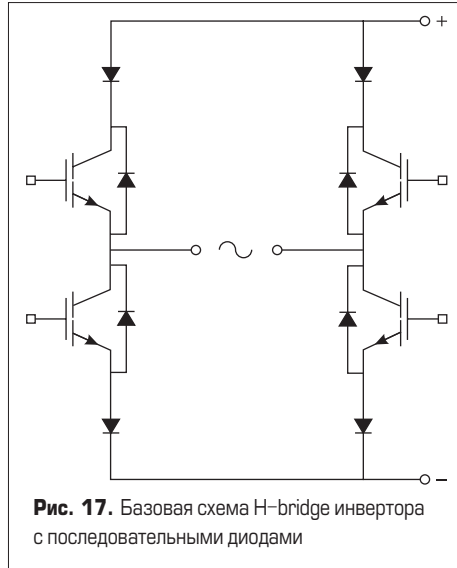


Рис. 18. Инвертор H-bridge со схемами управления

де из строя одного из элементов система сохранит свою работоспособность.

При использовании press-pack IGBT получается более простая конструкция жидкостной или воздушной системы охлаждения (рис. 19) по сравнению с модулями на изолированном основании.

Как правило, габаритные размеры преобразователя на основе press-pack IGBT оказываются меньше, нежели с использованием модулей. Последовательное соединение press-pack IGBT является более естественным решением, нежели параллельное соединение модулей. Для обеспечения нужного уровня мощности проще соединить последовательно два силовых низковольтных press-pack IGBT, чтобы обеспечить нужный уровень напряжения коммутации, чем соединить параллельно два высоковольтных модуля на изолированном основании. Разработчики преобразователей часто сдержанны в применении последовательного соединения устройств, опасаясь усложнения системы и необходимости выравнивания характеристик переключения элементов. Для Press-pack IGBT изоляция схемы управления затворами при последовательном соединении более не является особой сложностью, как в случае с тиристорами, поскольку не требует такой же энергии переключения. Выравнивание характеристики переключения



Рис. 19. Сборка с принудительным воздушным охлаждением на основе press-pack IGBT

может быть сравнительно легко получено путем контроля управляющих сигналов.

### Заключение

Конструкция внутренних элементов новых силовых press-pack IGBT в стандартных промышленных корпусах обеспечивает высокий уровень надежности при эксплуатации в жестких температурных условиях. Электрические характеристики в разнообразных приложениях обеспечивают рабочую частоту до 20 кГц. Для некоторых типовых приложений, таких, как H-bridge или последовательное соединение элементов, может быть получена очень компактная конструкция.

### Литература

1. Wakeman F., Billett K., Irons R., Evans M. Electromechanical characteristics of a bondless pressure contact IGBT. APEC'99. Dallas, USA. 1999.
2. Wakeman F., Lockwood G., Davies M. New high reliability bondless pressure contact IGBT's. PCIM'-Europe. Nuremberg, Germany. 1999.
3. Evans M., Wakeman F., Irons R., Lockwood G., Billett K. Design concepts of a bondless pressure contact IGBT. EPE'99. Lausanne, Switzerland. 1999.
4. Westcode rating report 98TR01AD, 1999.
5. Westcode rating report 98TR04AD, 1999.
6. Wakeman F., Hemmings D., Findlay W., Lockwood G.. Pressure contact IGBT, testing for reliability. PCIM'-Europe. Nuremberg, Germany. 2000.
7. Wakeman F., Lockwood G., Davies M., Billett K. Pressure contact IGBT, the ideal switch for high power applications. IEEEIAS. Phoenix, USA. 1999.
8. Westcode — Patent applied for.
9. Westcode short form data. IGBT H Bridge Inverter. 2000.