

Силовые модули

для электрического и гибридного транспорта

В статье представлено два новых силовых модуля Mitsubishi Electric, предназначенных для применения в тяговых силовых инверторах и конвертерах электрических (EV) и гибридных (HEV) транспортных средств.

**Микио Ишихара
(Mikio Ishihara)**

**Сейширо Инокучи
(Seiichiro Inokuchi)**

**Марко Гонсберг
(Marco Honsberg)**

Экхард Тал(Eckhard Thal)

**Перевод
Светлана Пескова**

svetlana@platan.ru

Серия J1

Создана конструкция нового 6-ключевого IGBT модуля (серия J1) с встроенным алюминиевым радиатором жидкостного охлаждения и терминалами с прямым сварным подключением (DLB) [1]. По сравнению с традиционными компонентами, использование инновационных технологий привело к улучшению тепловых характеристик на 30%, снижению габаритов сборки на 40%, а веса — на 76%.

Рынок транспортных средств EV/HEV развивается благодаря всеобщему пониманию необходимости охраны окружающей среды. Силовые полупроводниковые модули стали важным фактором, опре-

деляющим рабочие характеристики автомобилей. Начиная с выпуска первых специализированных автомобильных силовых полупроводниковых модулей в 1997 году продукция Mitsubishi Electric широко используется в различных серийно изготавливаемых EV/HEV.

Эволюция EV/HEV-транспорта особо заметна в настоящее время, когда силовые полупроводниковые модули стали ключевым элементом в автомобильных применениях, где они обеспечивают соответствующую высокую производительность, компактные размеры и минимальный вес электронных устройств. Кроме того, большое разнообразие требований по размерам и мощностям EV и HEV предполагает наличие широкого ассортимента силовых полупроводниковых модулей, чьи характеристики отвечают запросам рынка.

В ответ на потребности рынка разработано семейство новых автомобильных силовых полупроводниковых модулей «Серия J1» (рис. 1), в основу конструкции которых положены концепции «высокая производительность» и «компактные размеры и малый вес». Компоненты серии J1 выполнены по схеме 3-фазного IGBT-моста (рис. 2).

Использованные в модулях IGBT чипы имеют интегрированные токоизмерительные эмиттеры и встроенные диодные датчики температуры. Основные характеристики и размеры корпусов модулей приведены в таблице. Отличные характеристики насыщения $V_{ce(sat)}$ получены с помощью новейшей CSTBT-технологии кристаллов.

Конструкция модулей

Модули серии J1 имеют интегрированный алюминиевый радиатор охлаждения. Поперечное сечение конструктива показано на рис. 3.

Применение в модулях базовой платы с непосредственным жидкостным охлаждением исключает тепловое сопротивление перехода между базовой платой и внешним радиатором, неизбежное для инверторов на основе обычных модулей IGBT.

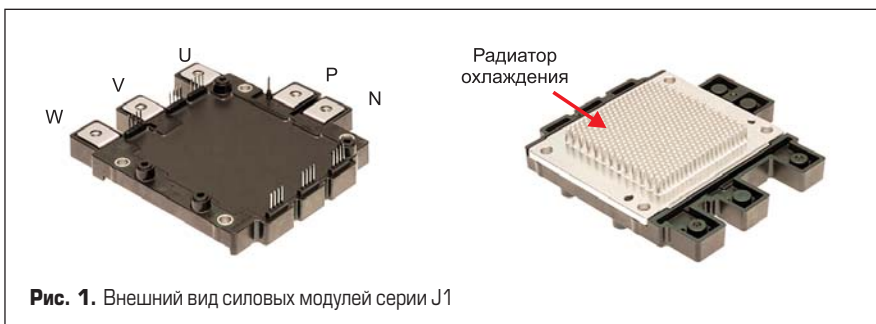


Рис. 1. Внешний вид силовых модулей серии J1

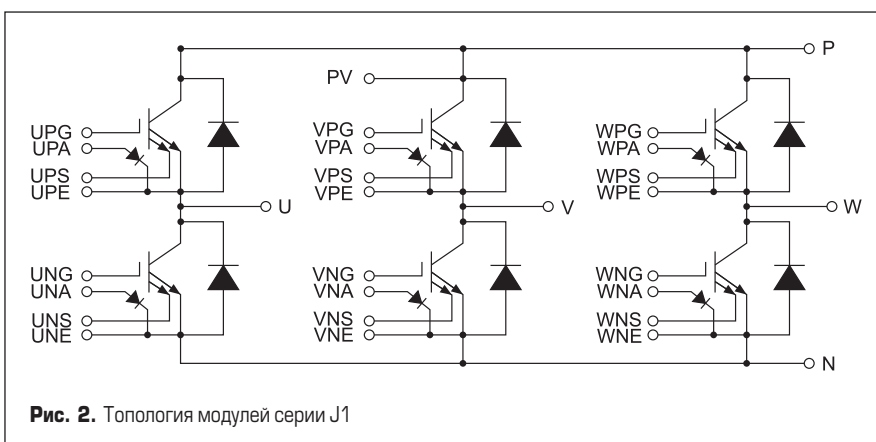


Рис. 2. Топология модулей серии J1

Таблица. Основные характеристики модулей J-серии

Тип модуля	Номинальные характеристики (I_C/V_{CES}), А/В	$V_{CE(sat)}$ при 25 °С, В	Размер корпуса, мм
СТ600С1А060	600/650	1,4	120×115×31
СТ400С1А090	400/900	1,7	

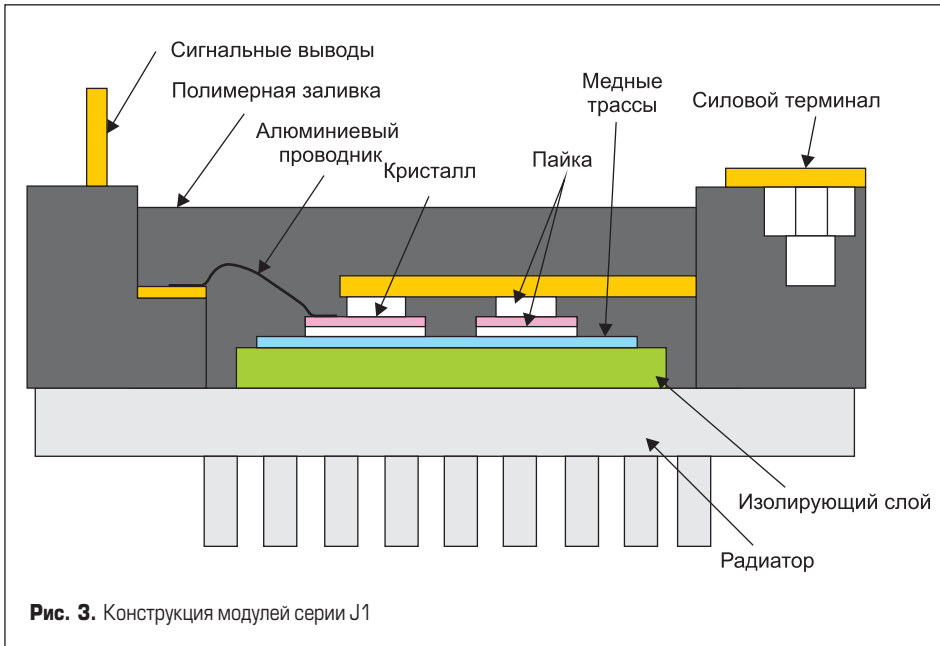


Рис. 3. Конструкция модулей серии J1

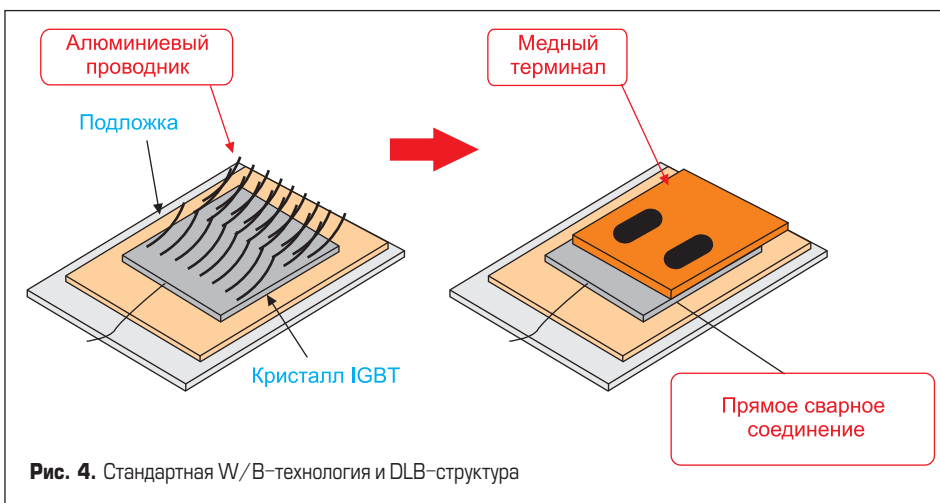


Рис. 4. Стандартная W/B-технология и DLB-структура

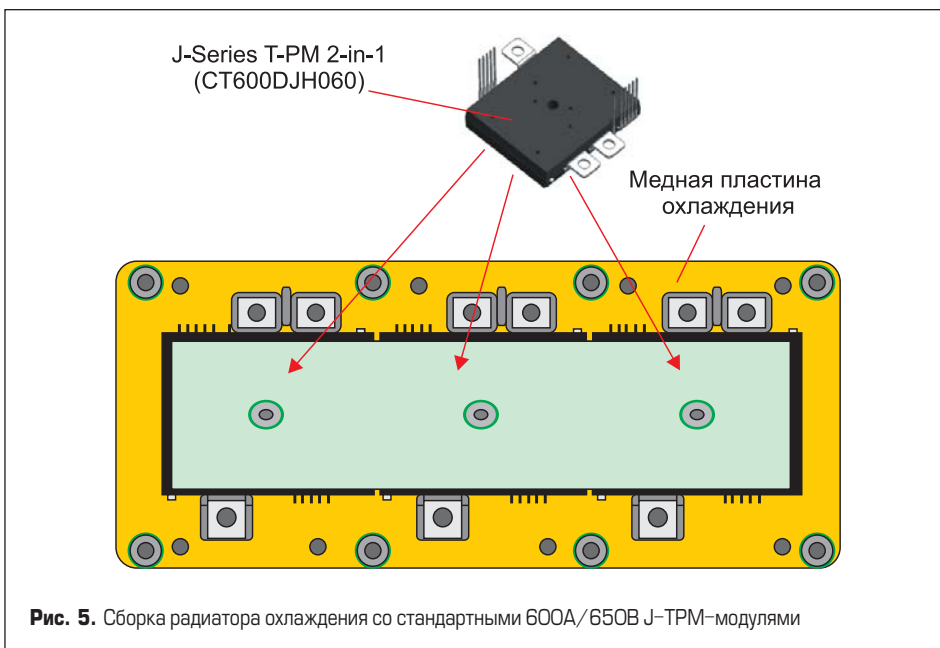


Рис. 5. Сборка радиатора охлаждения со стандартными 600А/650В J-TPM-модулями

Таким образом, появляется возможность существенно снизить общее значение $R_{th(j-w)}$ по сравнению с традиционными конструкциями. Для реализации данного преимущества на практике необходимо разработать конструкцию J1-модуля с непосредственным жидкостным охлаждением.

Прямое сварное соединение выводов Direct Lead Bonding (DLB)

В новых компонентах J1-серии предусмотрена высоконадежная технология прямого сварного соединения выводов (DLB — Direct Lead Bonding) [3] вместо традиционной ультразвуковой сварки алюминиевых проводников (W/B — Wire Bonding). Принципиальные отличия между обеими технологиями показаны на рис. 4.

DLB-структура обеспечивает увеличенную площадь контактной поверхности чипа, что значительно повышает токнесущую способность силового модуля. По сравнению с традиционным W/B-процессом подключения кристаллов, DLB-структура способна снизить суммарное внутреннее сопротивление, а также значение паразитарных индуктивностей силовых цепей более чем на 50% [4].

Еще одним важным преимуществом увеличенной контактной поверхности чипа следует назвать равномерное распределение температуры по всей его площади, что уменьшает пиковое значение температуры, и, следовательно, уровень стресса для эмиттерной контактной стороны кристалла. Другими словами, применение DLB-структуры позволяет снизить термомеханические напряжения, возникающие при термодиклировании и приводящие к сокращению ресурса стандартных модулей.

Компактная система охлаждения

В отличие от традиционных конструкций (J-серия T-PM [2], рис. 5) применение новых компонентов J1-серии сокращает габариты 3-фазной сборки на 40% (рис. 6). Несмотря на то, что алюминиевые радиаторы имеют худшую теплопроводность

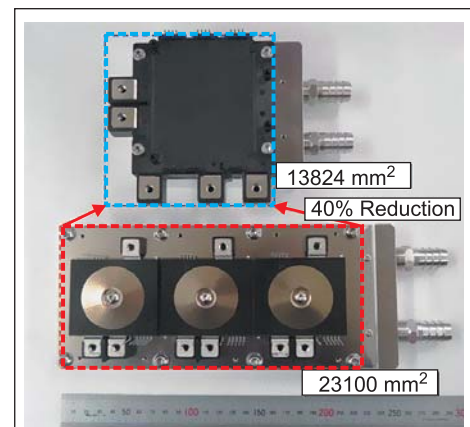


Рис. 6. Модуль J1-серии с интегрированным радиатором и сборка стандартного модуля J-TPM

по сравнению с медными, их установка в EV/HEV-инверторах обеспечивает ряд преимуществ. Наиболее важным достоинством алюминия является высокая устойчивость к воздействию охлаждающих жидкостей и малый вес.

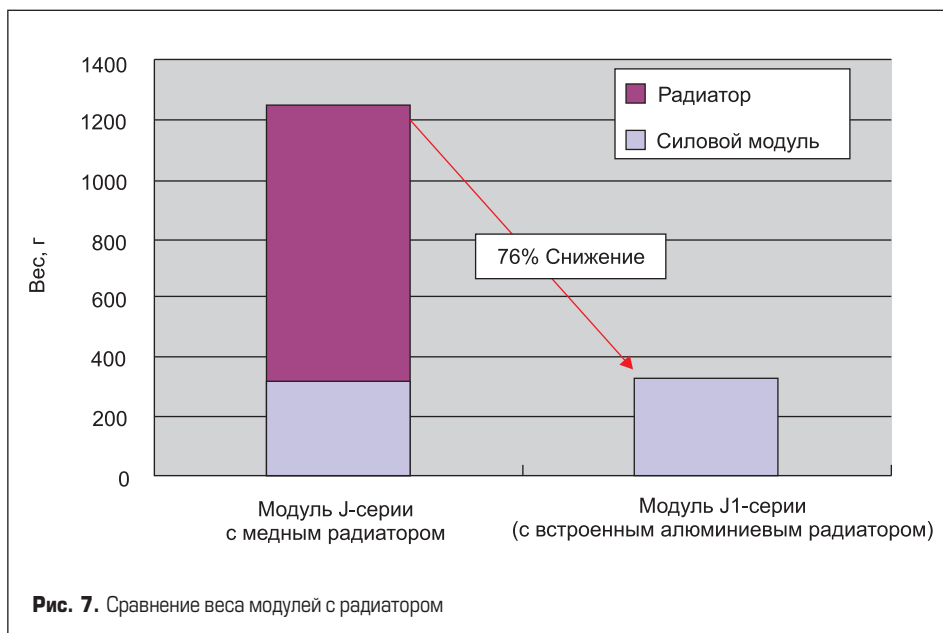
Как показано на рис. 7 и 8, снижение веса достигает 76%, при этом тепловые характеристики на 30% лучше, чем у обычных 6-ключевых модулей в инверторном включении. В двух трехфазных EV/HEV-приводах, сравнение которых приведено на рис. 7, использованы модули с одинаковым номинальным током и напряжением (600 А/650 В).

Отладочный комплект

Поскольку размеры корпусов не сильно отличаются в пределах различных классов тока и напряжения, испытания и оценку новых модулей J1-серии можно облегчить с помощью уникального тестового комплекта, включающего блок конденсаторов DC-шины, простую и эффективную систему охлаждения (жидкостную) и интерфейсную схему.

Для реализации специализированного интерфейса использованы современные полупроводниковые технологии, в том числе датчик температуры на базе чип-диода, а также проверенная технология эмиттерного токового зеркала для детектирования состояния перегрузки перед выходом IGBT из насыщения.

Отладочный комплект (драйвер затворов, конденсаторы DC-шины, штуцеры для подачи охлаждающей жидкости) доступен для тестирования нового J1-семейства IGBT-модулей (рис. 9 и 10). Схема управления за-



творами и защиты от короткого замыкания (SC), перегрева (OT) и падения напряжения (UV) вместе с импульсным источником питания оптимизирована для работы с компонентами J1-серии. Устройство просто монтируется на верхнюю часть IGBT-модуля J1-серии и обеспечивает комплексный интерфейс для подключения системы управления верхнего уровня.

Экспериментальные результаты

Нагрузочная способность новых компонентов J1-серии в сочетании с тепловым интерфейсом была экспериментально

проверена при следующих условиях теста: напряжение питания 350 В; частота ШИМ (f_c) 5 и 10 кГц; температура охлаждающей жидкости $T_w = 65^\circ\text{C}$; интенсивность охлаждения 10 л/мин.

Для проведения исследований использован предложенный оценочный набор для IGBT-модулей J1-серии (рис. 9). В указанных условиях работы выходной ток инвертора может превышать 420 Arms (что соответствует выходной мощности более 80 кВт) при мак-

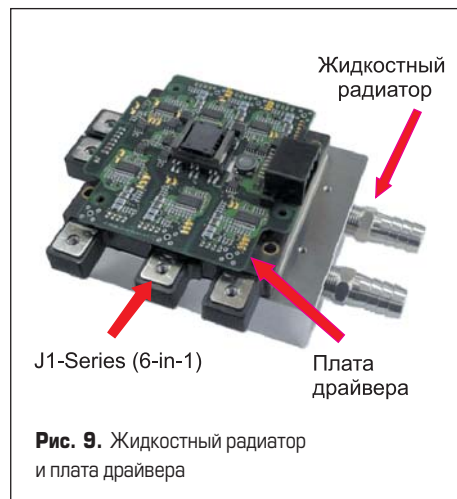
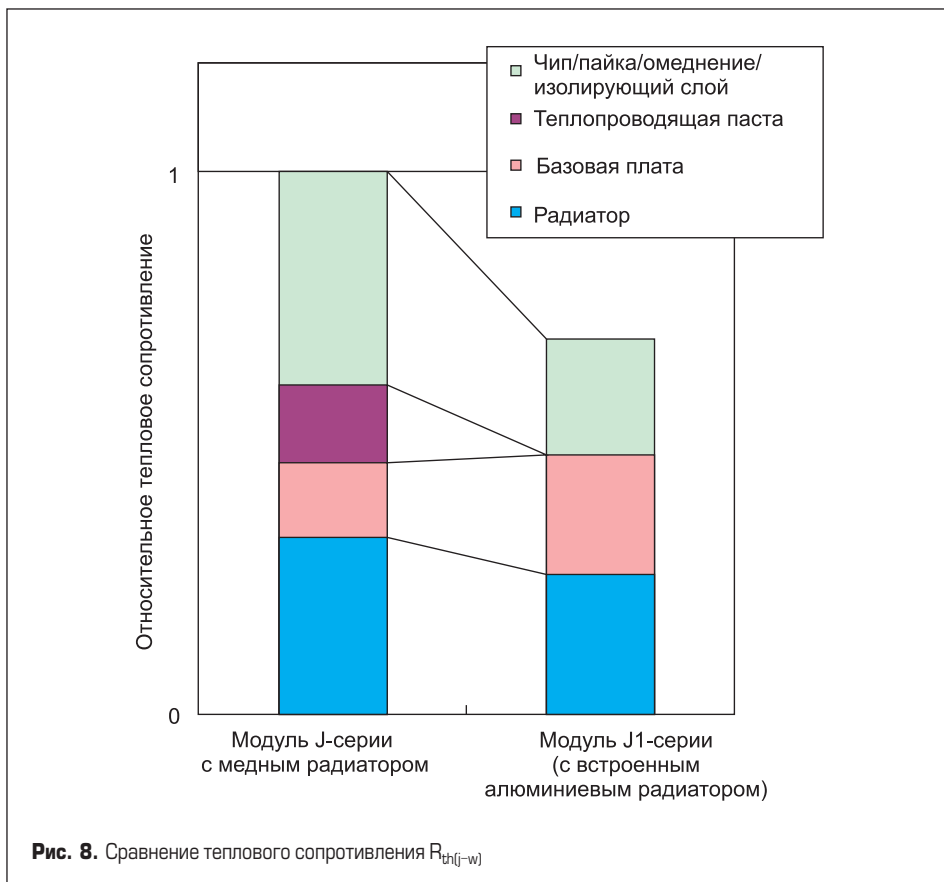


Рис. 9. Жидкостный радиатор и плата драйвера



Рис. 10. Блок конденсаторов DC-шины

симальной температуре кристаллов менее 150 °С, результаты представлены на рис. 11.

Заключение

Новая серия автомобильных силовых полупроводниковых модулей J1-серия была разработана для удовлетворения потребностей развивающегося рынка электрического и гибридного (EV/HEV) транспорта. Компоненты J1-серии обеспечивают высокую производительность, компактные размеры и малый вес, что вносит вклад в развитие автомобильных инверторных систем. Этому способствует применение современных чип-технологий полупроводникового датчика температуры и эмиттерного токового зеркала в сочетании с проверенной высокой надежностью технологий корпусирования, таких как прямое сварное соединение (DLB) и алюминиевый радиатор охлаждения.

*Оригинал статьи опубликован
www.bodospower.com*

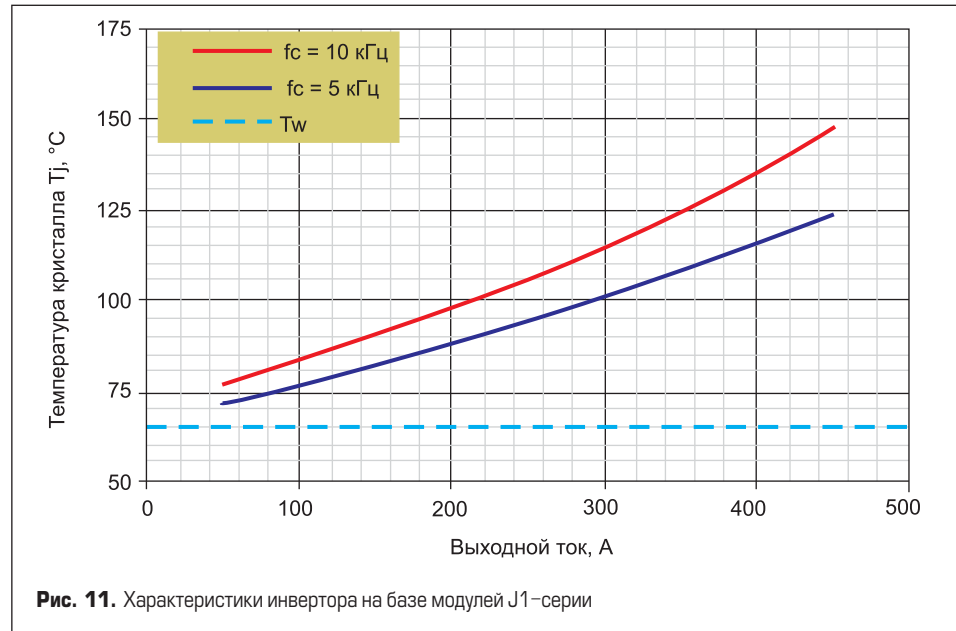


Рис. 11. Характеристики инвертора на базе модулей J1-серии