

Андрей Колпаков (ООО Семикрон)

# АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ – БУДУЩЕЕ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ



Рынок **альтернативной энергетики** и электротранспорта предъявляет все более высокие требования к плотности мощности, надежности, тепловым и электрическим характеристикам **силовых ключей**. Всем этим требованиям в полной мере удовлетворяют **модули прижимной конструкции** компании **SEMIKRON**, исключая применение паяных соединений. Следующим шагом является замена проводниковых выводов чипов, подключаемых методом ультразвуковой сварки, на **полосковые контакты**.



с помощью прижимной армированной пластины и платы сопряжения, обеспечивающей давление в точках локального тепловыделения. При этом полностью исключаются паяные соединения, а улучшенные тепловые характеристики получаются благодаря исключению базовой платы, а также за счет применения более тонкого слоя теплопроводящей пасты толщиной 10...20 мкм (для стандартных модулей 50...100 мкм). Таким образом обеспечивается хорошая тепловая связь изолирующей керамической DBC-пластины с кристаллами IGBT и

Самыми динамично развивающимися отраслями рынка силовых модулей в настоящее время являются сектора возобновляемых источников энергии и электротранспорта. Требования, выдвигаемые этими отраслями, во многом определяют пути развития и совершенствования технологической силовой электроники.

### Ветроэнергетика

Общий объем электроэнергии, вырабатываемой в 2001 году всеми видами альтернативных источников (АИЭ), не превышал 1,3%. В 2006 году рынок электронных модулей для преобразователей ветроэнергетических установок (ВЭУ) достиг 5%, однако по темпам роста, приближающимся к 25%, этот сегмент является самым динамичным и быстрорастущим. Прогнозируемый объем рынка силовой электроники для ВЭУ к 2011 году составляет 250 млн. USD [1, 2]. Диаграммы, показанные на рисунке 1, показывают, что в общем объеме произведенной электроэнергии доля ВЭУ к 2020 году может превысить 15%, что является крупнейшим показателем для АИЭ.

К силовым модулям, предназначенным для применения в конверторах ветрогенераторов, предъявляются очень жесткие требования: они должны иметь высокие показатели надежности и обеспечивать срок службы без техобслуживания, превышающий 15 лет при крайне неблагоприятных условиях воздействия окружающей среды.

На рис. 2 показан внешний вид широко используемого в ветроэнергетике интеллектуального силового модуля **SKiiP 3** и его конструкция [3]. Подобные изделия могут быть отнесены к функционально законченным систе-

мам, так как кроме силового каскада SKiiP включает в себя схему управления затворами, устройство защиты и мониторинга, датчики тока, напряжения, температуры, а также систему охлаждения.

В конструктиве SKiiP воплотился более чем 15-летний опыт компании SEMIKRON по совершенствованию технологии, называемой «pressure contact».

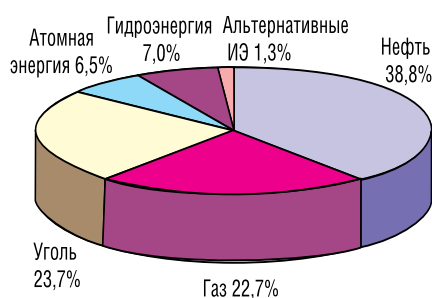
Силовые модули, предназначенные для применения в конверторах **ветрогенераторов**, должны иметь высокие показатели надежности и обеспечивать срок службы без техобслуживания, превышающий 15 лет при крайне неблагоприятных условиях воздействия окружающей среды. На сегодняшний день 43% мирового рынка ветроэнергетических установок работает с преобразователями на базе модулей **SKiiP** компании **SEMIKRON**.

В основе конструкции модуля лежит концепция прижимного способа соединения блока управления, изолирующей DBC-платы с кристаллами IGBT и теплоотвода. Сочленение элементов осуществляет-

антипараллельных диодов и равномерный отвод тепла на радиатор.

Указанные особенности позволяют снизить общее тепловое сопротивление силового блока  $R_{th(j-s)}$  более чем

Мировое энергопотребление в 2001 году



Прогноз мирового энергопотребления в 2020 году

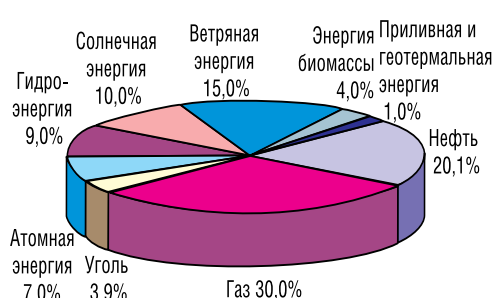


Рис. 1. Структура мирового энергопотребления в 2001 г. и прогноз на 2020 г.

Таблица 1. Основные требования, предъявляемые к модулям электропривода

Условия эксплуатации	
Температура окружающей среды $T_a$	-40...135°C
Температура охлаждающей жидкости	-40...105°C
Температура кристаллов $T_j$	-40...175°C
Вибрации	10 x 9,81 м/с <sup>2</sup>
Удары	50 x 9,81 м/с <sup>2</sup>
Надежность	
Срок службы	15 лет
Стойкость к термоциклированию (импульсы мощности)	30.000 циклов при $\Delta T = 100^\circ K$
Стойкость к термоциклированию (изменение окружающей температуры)	1.000 циклов при $\Delta T = 165^\circ K$

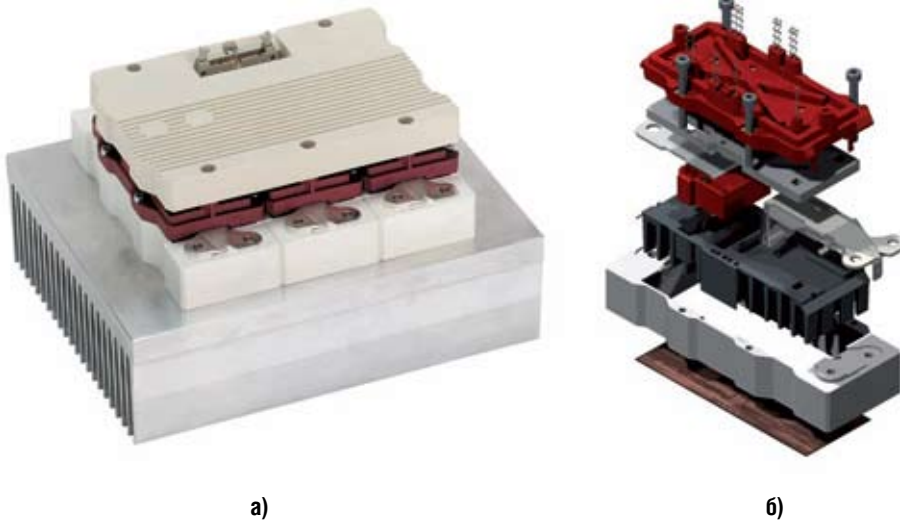


Рис. 2. Интеллектуальный силовой модуль SKiiP 3 (1800 А, 1200 В) (а), структура полумостового элемента SKiiP (б)

на 40% по сравнению со стандартными решениями. Модули SKiiP не имеют базовой платы и, соответственно, в них отсутствует паяный слой большой площади, соединяющий керамическую DСВ-плату с медным основанием. Это позволяет резко снизить термомеханические напряжения, возникающие в модуле в режиме циклического изменения тока нагрузки. Стойкость к термоци-

клированию силовых ключей семейства SKiiP примерно в 5 раз выше, чем у стандартных модулей IGBT с базовой платой. Это преимущество особенно важно в тяжелых условиях эксплуатации, в которых работают ветроэнергетические установки. Все это обеспечило высокую популярность SKiiP на рынке энергетики: спрос на модули данного класса в 2006 году вырос на 85%.

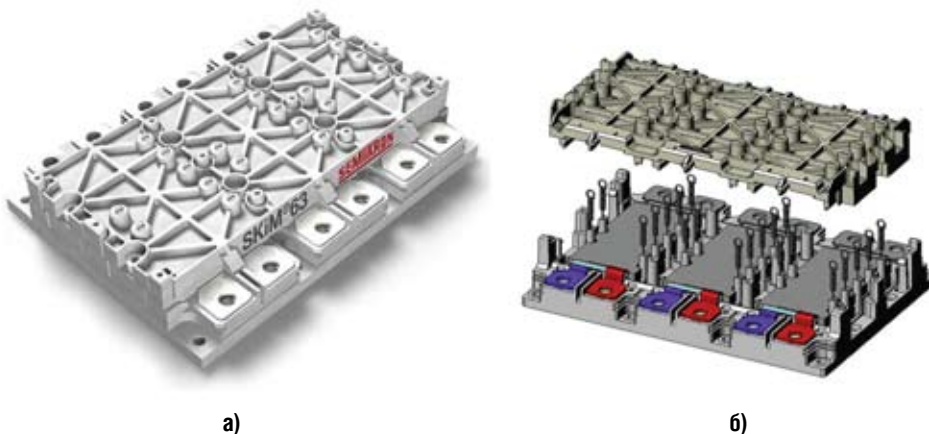


Рис. 3. 3-фазный модуль IGBT SKiM 63 (300 А, 1200 В); внешний вид (а), конструкция силовых и сигнальных терминалов (б)

На сегодняшний день 43% мирового рынка ВЭУ работает с преобразователями на базе SKiiP. По прогнозам Европейского Совета по возобновляемым источникам энергии, мощность, получаемая от подобных энергетических установок, к 2030 году должна покрыть более 30% общемировой потребности.

### Гибридный и электрический привод автомобилей

Рынок автомобильной силовой электроники (около 4%) незначительно отстает от сектора альтернативной энергетики по темпам роста, который приближается к 19% в год [4]. Особенности данного применения являются крайне тяжелые температурные режимы и высокие циклические нагрузки. Основные требования, предъявляемые к силовым модулям электропривода, перечислены в таблице 1.

Ни один современный силовой ключ традиционной конструкции не способен надежно работать в подобных условиях, поэтому все ведущие мировые производители выпускают специализированные компоненты, ориентированные на транспортные применения. Примером удачного решения является уникальный 3-фазный модуль SKiM [5] (см. рис. 3), при создании которого компании SEMIKRON удалось впервые в мировой практике полностью избавиться от паяных соединений. Подобно SKiiP, компоненты серии SKiM имеют прижимную конструкцию. Однако в них, в отличие от всех выпускаемых в настоящее время модулей, для установки кристаллов IGBT и диодов на керамическую изолирующую DСВ-плату используется процесс низкотемпературного спекания серебряного порошка [6]. Внедрение данной технологии позволило повысить стойкость к термоциклированию еще примерно в пять раз.

### Технологии сегодняшнего и завтрашнего дня

При производстве компонентов серии SKiM чипы IGBT и антипараллельных диодов устанавливаются на слой серебряного нанопорошка, предварительно нанесенный с помощью трафаретной печати. Далее, при нагреве до 250°C и под воздействием высокого давления, создаваемого гидравлическим прессом, паста трансформируется в спеченный мелкопористый слой, обладающий высокой механической гибкостью и отличной теплопроводностью.

После окончания процесса формирования температура плавления соединительного слоя между керамикой и кристаллом повышается до 961°C. Это означает, что перегрев чипов, который в пределе достигает значения 175°C (18%), не может привести к возникно-

вению усталостных процессов, как это происходит в паяных слоях, где предельная рабочая температура достигает почти 60% от точки плавления. За счет этого обеспечивается хорошая временная стабильность соединения и высокая стойкость к воздействию термоциклов.

Любая разработка в сфере силовой электроники направлена в первую очередь на увеличение плотности мощности и повышение надежности при одновременном снижении стоимости. Ресурс силовых модулей до сих пор в первую очередь ограничен усталостными процессами, развивающимися с течением времени в соединительных слоях. Частично решить данную проблему можно с помощью технологии SKiN [7], предусматривающей формирование электрических связей с помощью гибких пленок вместо традиционных проводников. При использовании SKiN-процесса так называемый безвыводной «флип-чип» (или перевернутый чип) приваривается к гибкой композитной печатной плате, состоящей из слоев алюминия, полиамида и меди. На слое Al расположены входные и выходные терминалы, а сенсорные цепи и линии управления формируются на омедненной поверхности. Между ними находится изолирующий полиамид с переходными отверстиями, через которые осуществляются связи слоев.

Очевидным путем преодоления ограничений, вносимых материалами корпуса, является отказ от корпусирования силового ключа и применение «встроенных решений», в данном случае — интеграция DBC-платы с кристаллами в состав электронной или электромеханической системы. Силовой модуль, лишенный таких проблемных элементов, как пластиковый корпус и терминалы, может рассматриваться как «бескорпусной».

Сборка подобной интегральной электронной системы производится с помощью минимального количества производственных циклов. Основным элементом конструкции является изолирующая подложка DBC, на которой расположены чипы IGBT/MOSFET и диодов (подключенные с помощью пайки или спекания) и датчики температуры. Подложка монтируется на радиатор вместе с рамкой, изготовленной из высокотемпературного пластика, на которой запрессованы силовые терминалы. На следующем этапе сборки производится установка DC- и AC-шин с интегрированным блоком конденсаторов звена постоянного тока и датчиками тока. Верхним элементом конструкции является специальная армированная плата со встроенными пружинными контактными контактами. Эта плата создает прижимающее усилие по всему объему модуля, что обеспечивает одновремен-

но надежный электрический контакт силовых и сигнальных выводов с токонесущими шинами и равномерный отвод тепла на радиатор.

На последнем этапе сборки производится установка платы управления, на которой расположен контроллер, элементы драйвера и схема защиты и мониторинга. После этого модуль закрывается герметичной крышкой (металлической или пластиковой), обеспечивающей защиту конструкции от внешних воздействий. Модуль SKAI (рис. 4) имеет уникальные в своем классе технические характеристики и показатели надежности. Он отличается высокой стойкостью к пассивному и активному термоциклированию, способен работать при воздействии вибраций до 20g, ударов — до 100g. Возможность надежной работы в системе одноконтурного охлаждения при температуре тосола до 105°C обеспечивается благодаря использованию термостойких материалов и чипов IGBT/MOSFET и диодов с максимальной рабочей температурой 200°C. Компактная конструкция и сверхнизкая распределенная индуктивность шин звена постоянного тока позволяет получить низкий уровень электромагнитных помех. Объем модуля составляет 2,3 л, что при выходной мощности до 250 кВт дает возможность использовать его в приводах электро- и гибридомобилей различного типа и назначения.

### Заключение

Возобновляемые источники энергии и электротранспорт во многом определяют прогресс рынка силовой электроники. Создание модулей для данных приложений требует разработки и внедрения новых материалов и технологий. Отличаясь самыми высокими темпами развития, данные сегменты являются и самыми перспективными в техническом и экономическом плане.

Разработка инновационных технологий, внедрение модулей прижимной конструкции, отказ от паяных соединений, широкое использование интегрированных систем — вот основные пути решения проблем современного рынка силовой электроники. В условиях экономического кризиса, когда энергосбережение становится главной движущей силой прогресса этого рынка, выжить может лишь тот, кто идет на шаг вперед прогресса.

### Литература:

1. Thomas Stockmeier. «Packaging and Un-Packaging of Power Modules» SEMIKRON International.
2. IMS Research, «The Global Market for Power Semiconductors».
3. K.Backhaus. «Intelligent power module family SKiiP Pack 3rd generation». Proc. PCIM, Nuremberg, 2000.

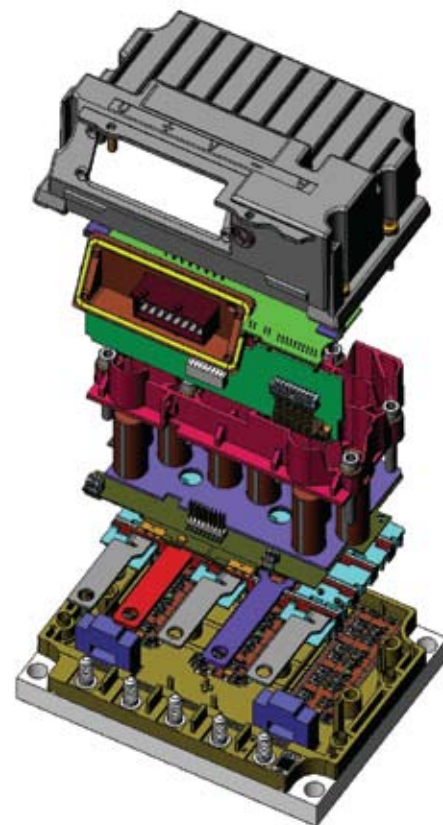


Рис. 4. Конструкция интеллектуального 3-фазного силового модуля транспортного привода SKAI со встроенным контроллером (360 А, 48 В)

4. P.Beckedahl, T.Grasshoff, M. Lederer. «A new power module concept for automotive applications» Proc. PCIM, Nuremberg, 2007.


5. А.Колпаков. «Новые модули для транспорта SKiM 63/93», Силовая Электроника №4, 2007.

6. А.Колпаков. «Низкотемпературная технология спекания», Компоненты и Технологии №4, 2007.

7. А.Колпаков. «Особенности SKIN технологии», «Компоненты и технологии» №7, 2008.

8. H.Moser, R.Bittner, P.Beckedahl. «High reliability, integrated inverter module (IIM) for hybrid and battery vehicles» Proc. VDEEMA, Aschaffenburg, 2006.

9. C.Göbl, P.Beckedahl. «A new 3D power module packaging without bond wires», Proc. PCIM Nuremberg, 2008.

10. А.Колпаков. «Модули SKAI — предельный уровень интеграции», Силовая Электроника №3, 2005. 

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: power.vesti@compel.ru