

Новая серия силовых FRD- и IGBT-модулей

общего и специального назначения

В статье освещаются основные проблемы рынка силовой электроники. Отмечено, что одним из путей их решения является создание новой серии силовых IGBT- и FRD-модулей, соответствующих специальным требованиям. Приведено описание новой серии силовых модулей гражданского и специального назначения, а также кратко изложена технология их изготовления.

Владимир Громов

gromov@sitsemi.ru

Тимур Паньков

timpankov@kremny.032.ru

Введение

Силовые модули — основа преобразователей электрической энергии для электропривода, источников питания, применяемых в электротехнологиях (сварка и термообработка металлов, металлургия), а также источников вторичного питания (в том числе бесперебойного), работающих в диапазоне мощностей до тысячи киловатт.

Мировой объем производства таких модулей составляет около половины всего производства приборов силовой электроники (более 30 млрд руб.) и непрерывно растет. Потенциальная емкость российского рынка силовых модулей оценивается в 1570 млн руб. с тенденцией ежегодного прироста в размере 30%.

Силовые модули, производимые отечественными фирмами, составляют 5% от общего рынка таких устройств в России. Рынок занят ведущими зарубежными фирмами (Semikron, Toshiba, Fuji, International Rectifier и т. п.), предлагающими широкую гамму оборудования. Номенклатура силовых модулей отечественного производства и модификации корпусов ограничены и определяются в основном импортными аналогами. Корпуса имеют металлопластиковое исполнение с узким температурным диапазоном и одним уровнем защиты от климатических воздействий. Модули отечественного производства выпускаются в основном общего назначения на кристаллах IGBT и FRD зарубежного производства, однозначно не обладающих радиационной стойкостью; выпуск модулей категории качества ВП отсутствует. В ИЭТ для ВПК применяются либо модули импортного производства общего или общепромышленного применения, либо отечественные модули общего применения по решениям с МО, имеющим ограниченный срок действия.

Проведенный анализ номенклатуры отечественного рынка IGBT и FRD выявил практически полное отсутствие изделий категории качества ВП, а также необходимость их существенного улучшения. В результате предварительных исследований и работы с потенциальными потребителями было установлено, что расширение номенклатуры силовых модулей, в том числе создание силовых модулей категории качества ВП, должно базироваться на следующих принципах:

- унификация по габаритным и присоединительным размерам с зарубежными аналогами (решение проблем импортозамещения);
- конструктивная унификация силовых модулей общего и специального применения (категории качества ВП), что обеспечивает легкую и, главное, быструю замену модулей общего назначения на модули категории качества ВП в устройствах специального назначения.

Описание новой серии силовых IGBT- и FRD-модулей

Новые силовые модули выпускаются в четырех типах герметичных металлополимерных корпусов паяной конструкции и включают в себя 55 типоминимумов силовых модулей различной схемной конфигурации на IGBT и FRD на напряжения 1200 и 1700 В, ток 50–400 А, а также 20 типоминимумов диодов и диодных сборок на напряжения 600, 1200 и 1700 В, ток 30–400 А.

Схемные решения для силовых модулей включают в себя одиночные ключи, нижние и верхние чопперы, полумосты, полумосты с дополнительными диодами, а также трехфазные мосты. Диодные сборки данной серии представляют собой двоянные диоды.

Силовые модули и диодные сборки выпускаются в двух исполнениях: категории качества ВП и гражданского назначения, но при этом в одинаковом конструктивном унифицированном исполнении. По согласованию с заказчиком может поставляться гражданский вариант модулей с расширенным температурным диапазоном (-60...+125 °С вместо -40...+100 °С).

Модули специального назначения отличаются от гражданских применением радиационно-стойких кристаллов категории качества ВП отечественного производства (ОАО «Ангстрем», ЗАО «Группа Кремний Эл») и специальных термостойких материалов корпуса. Для модулей гражданского назначения используются кристаллы общего применения как зарубежных фирм (ABB, Infineon), так и собственного производства.

Условное обозначение корпусов: МПК-62, МПК-34, МПК-44, МПК-25 (рис. 1). МПК — металлополимерный корпус, цифры — привязка к ширине корпуса (в миллиметрах).

Корпус МПК-62 представляет собой аналог корпуса INT-A-Pak 2 по габаритным и установочным размерам. Размерная сетка выводов отличается от корпусов INT-A-Pak 2 и была специально разработана, чтобы повысить унификацию, технологичность, а также удобство одиночного и параллельного монтажа модулей. В корпусе МПК-62 выпускаются силовые модули на напряжения 1200 и 1700 В, 200–400 А, а также одиночный диод 1700 В, 400 А и сдвоенный диод 600 В, 300 А.

Корпус МПК-34 представляет собой аналог корпуса INT-A-Pak по габаритным, присоединительным и установочным размерам. В корпусе МПК-34 выпускаются силовые модули на напряжения 1200 и 1700 В, ток 75–200 А.

Корпус МПК-44 разрабатывался как более технологичный вариант металлополимерного корпуса с размерами основания 44×57мм для серийно выпускаемых диодных сборок 2Д2946АС и 2Д2947АС. По сравнению с предшественником корпус имеет размерную сетку силовых выводов, оптимизированную

для повышения унификации и технологичности, а также для удобства одиночного и параллельного монтажа модулей. Кроме того, в корпусе предусмотрены сигнальные выводы, расширяющие функциональные возможности для реализации схем с ключевыми элементами (тиристоры, IGBT и др.). В корпусе МПК-44 выпускаются IGBT силовые модули на напряжения 1200 и 1700 В, ток 50–75 А, а также диодные сборки на напряжения 1200 и 1700 В, ток 75–100 А.

Корпус МПК-25 является аналогом корпуса SOT-227 по габаритным, установочным и присоединительным размерам. Применением нового конструктивно-технологического решения достигается повышенная механическая прочность корпуса. В корпусе МПК-25 выпускаются диодные сборки на напряжения 600, 1200 и 1700 В, ток 30–100 А.

Применением нового конструктивно-технологического решения улучшены параметры герметичности и энергоциклостойкости, что позволяет изделиям в этих корпусах выдерживать испытания, предусмотренные стандартами на изделия специального назначения.

Перечень силовых модулей, изготавливаемых в рамках данной серии, приведен на сайте www.sitsemi.ru. Каталог продукции можно получить как в электронном, так и в бумажном варианте при обращении в отдел маркетинга ЗАО «НТЦ «Схемотехники и интегральных технологий».

Краткое описание технологии

Силовой IGBT-модуль представляет собой ИЭТ, состоящее из биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и быстро восстанавливающихся диодов (FRD), соединенных между собой в соответствующую электрическую схему посредством металлизированных печатных проводников на керамических платах и проволоочной алюминиевой разварки, помещенных в корпус на медном основании-охладителе с рядом электрических выводов (силовых и сигнальных) (рис. 2).

На первом этапе сборки модуля в одном процессе спаиваются кристаллы на керамическую плату и сами платы на медное основание. Эта процедура определяет тепловые и электрические характеристики готового модуля. От толщины припоя зависит тепловое сопротивление кристалл–плата, а также тепломеханические свойства припойного соединения (механическая компенсация разницы коэффициента теплового расширения кремниевого кристалла и платы). Качество пайки определяется исходной чистотой спаиваемых поверхностей, защитной атмосферой и температурой процесса. Для создания оптимального по теплопроводности и энергоциклостойкости качественного паяного соединения требуется прецизионная оснастка, специальное технологическое оборудование с высокоточным контролем и заданием требуемых режимов процесса. На втором этапе производится разварка — коммутация активных элементов модуля с электрическими выводами по заданной электрической схеме посредством ультразвуковой сварки алюминиевой проволокой. На платы спаиваются внешние выводы, проводится процесс ультразвуковой отмывки модуля, а затем его сушка. Собранные и отмытые основания с платами и выводами защищаются слоем кремнийорганического компаунда. На последующих этапах проводится контроль электрических параметров модуля. Далее к основанию приклеивается пластмассовый кожух. Свободное пространство внутри модуля заполняется компаундом на основе эпоксидных или кремнийорганических смол, который защищает модуль от воздействий окружающей среды. Собранные силовые модули подвергаются (в зависимости от исполнения) контролю большого количества параметров. Интегральным показателем качества сборки является тепловое сопротивление кристалл–корпус R_{th} ; кристалл–металлизация кристалла–припойное соединение кристалла на плате–керамическая плата–припойное соединение платы с основанием–покрытие (никель) основания. В процессе сборки сило-

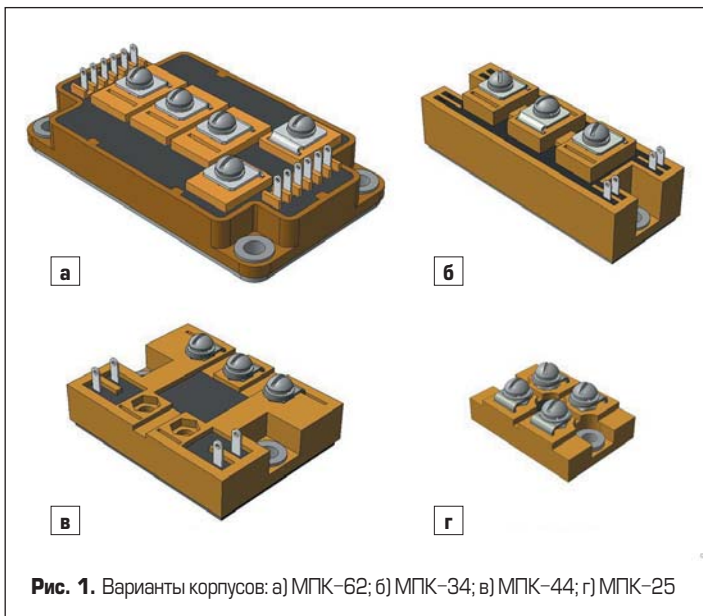


Рис. 1. Варианты корпусов: а) МПК-62; б) МПК-34; в) МПК-44; г) МПК-25

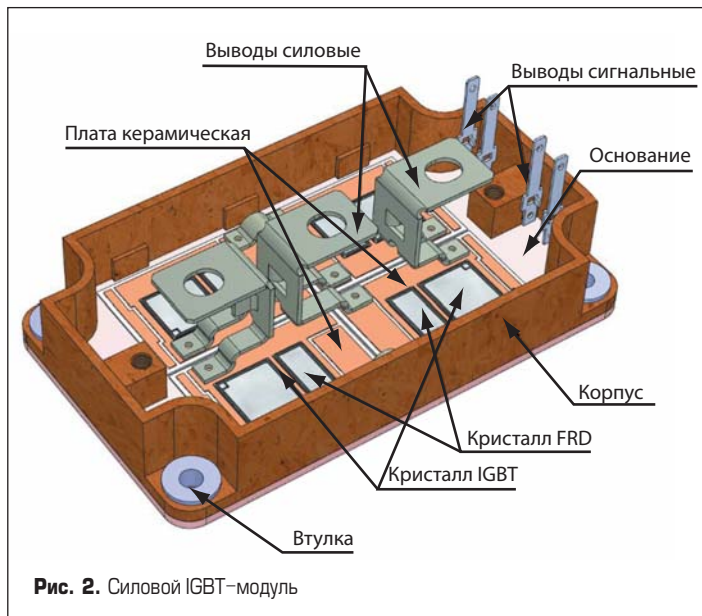


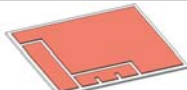
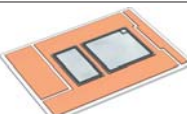
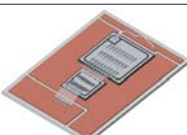
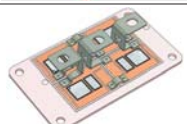




Рис. 2. Силовой IGBT-модуль

вого модуля необходимо строгое соблюдение технологии, требований вакуумной гигиены, техники безопасности при работе с высокими напряжениями, требований антистатике и др. Краткое описание технологического процесса сборки приведено в таблице.

Заключение

Силовые IGBT-модули заняли доминирующее положение на рынке приборов силовой электроники практически для всех видов преобразовательного оборудования мощностью от единиц кВА до единиц МВА. Одним из новых перспективных направлений в элементной базе силовой электроники являются модули на карбиде кремния и других широкозонных полупроводниках. Разработчики и производители ведут работы по модернизации модулей паяной конструкции с целью улучшения их электрических характеристик, повышения предельных параметров, увеличения надежности и устойчивости к термострессу при снижении цены. Эти цели достигаются: применением новых материалов и технологий сборки модулей с использованием тонких Al₂O₃ и AlN DCB керамических подложек; применением конструкций модулей без медного основания и с основанием из матричных композиционных материалов, согласованных с кремнием и керамикой по КТР; созданием новых конструкций модулей с интегрированным жидкостным охлаждением; разработкой новых корпусов IGBT-модулей, обеспечивающих максимальные простоту и удобство их применения в преобразовательном оборудовании.

Таблица. Технологический процесс сборки

| | |
|---|---|
|  | Формирование двусторонней металлизации (медь 200–500 мкм) на керамической плате. |
|  | Напайка кристаллов на металлокерамические платы. |
|  | Ультразвуковая проволоочная сварка кристаллов на платах. |
|  | Напайка плат с кристаллами и выводов на медное основание модуля. Для снижения трудоемкости при сборке платы и выводы напаяются на основание за один процесс. |
|  | Крепление крышки модуля производится с помощью запрессовки втулок в установочные отверстия. Дополнительно крышка приклеивается к основанию на специализированный клей для обеспечения герметичности модуля. |
|  | Выводная рамка модуля обеспечивает установку сигнальных выводов, установку крепежа и выполняет несущую функцию при монтаже модуля в устройство. |
|  | Защита кристаллов и электрических соединений модуля кремнийорганическим компаундом. Компаунд имеет высокие диэлектрические свойства и тем самым обеспечивает электрическую изоляцию всех узлов модуля. |
|  | Заливка компаундом на основе эпокси-кремнийорганических смол, который обеспечивает влагостойкость, герметичность, а также защиту узлов модуля от механических воздействий. |