

Силовые IGBT-модули Infineon Technologies

IGBT-модули — традиционные компоненты силовой электроники, которые широко используются во всех отраслях промышленности и бытовой техники. Основные мировые производители этих полупроводниковых компонентов — это ABB, Mitsubishi, Semikron, Infineon Technologies [1]. При этом ABB, Mitsubishi и Infineon производят также и полупроводниковые IGBT и диодные кристаллы для изготовления модулей. В середине 2006 года Infineon присоединила свою дочернюю фирму Eupes и стала одним из мировых лидеров по производству IGBT-модулей, а разработанное фирмой в последние годы новое поколение кристаллов IGBT Trench серии IGBT4 (Trench FS4) и выпуск силовых модулей на их основе закрепили ее лидирующие позиции в этой области.

Анатолий Бербенец

berben@efo.ru

Технологии IGBT-кристаллов Infineon

Прежде чем обратиться к обзору силовых модулей, выпускаемых Infineon, рассмотрим кратко основные виды IGBT-кристаллов, которые использует фирма в своей продукции.

Дело в том, что собственно кристалл IGBT-транзистора, а также согласованный с ним кристалл антипараллельного диода своими характеристиками определяют ключевые параметры IGBT-модуля: рабочие токи и напряжения, падение напряжения во включенном состоянии, потери переключения, предельную температуру и надежность. Немаловажным также является то, что более половины цены модуля формируется ценой полупроводниковых кристаллов. Поэтому производители постоянно совершенствуют технологии изготовления чипов с целью оптимизации всей совокупности их характеристик. Причем, как справедливо отмечено в статье [2], совершенствование технологий изготовления IGBT-кристаллов происходит по спирали — от «стандартных» PT (Punch Through) и NPT (Non Punch Through) к современным Trench FS3 и Trench FS4 IGBT-кристаллам Infineon, получившим название IGBT3 и IGBT4. В таблице 1 на примере модулей малой мощности серии Eсоно от Infineon приведены отлич-

ительные характеристики различных поколений технологии изготовления IGBT-кристаллов.

Из таблицы 2 видно, что современная технология Infineon Trench FS4 (IGBT4) вполне может быть отнесена к универсальной с точки зрения быстрейшего статических и динамических потерь.

В чем основные достоинства кристаллов IGBT4? Совершенствование технологии IGBT3 и создание IGBT4 привело к снижению потерь переключения в широком диапазоне частот, причем удалось добиться более плавного переключения. Более того, кристаллы IGBT4 оказались меньшей площади, что дает повышение выхода годных при производстве и снижение себестоимости модулей. Одним из главных достижений в характеристиках кристаллов IGBT4 является увеличение допустимой температуры кристалла с 150 до 175 °С. Благодаря этому увеличился запас по перегрузке IGBT-модулей и повысилась их надежность. С появлением кристаллов IGBT4 термин Trench перестал ассоциироваться с низкочастотной технологией. Силовые модули на основе IGBT4 могут быть использованы практически во всем диапазоне частот управления приводами.

Основной объем модулей Infineon изготавливается на основе кристаллов 2 и 3 поколения, называе-

Таблица 1. Технологии изготовления IGBT-кристаллов Infineon на примере модулей малой мощности серии Eсоно 1200 В

Название технологии / Основные характеристики	NPT, оптимизированные потери переключения		NPT, низкие статические потери		NPT, оптимизированная частота переключения		Trench Field Stop3 (IGBT3)		Trench FS3 (IGBT3), оптимизированная частота переключения		Trench FS4 (IGBT4), повышенная температура кристалла 150 °С	
	25 °С	125 °С	150 °С	4–15	1–8	>15	1–8	1–15	1–15	1–15	1–15	
Напряжение насыщения, В, при температуре чипа	25 °С	2,5	2,1	3,0	1,7	1,7	1,75					
	125 °С	3,1	2,4	3,6	2,0	1,9	2,05					
	150 °С	–	–	–	–	–	2,1					
Частота переключения, кГц												

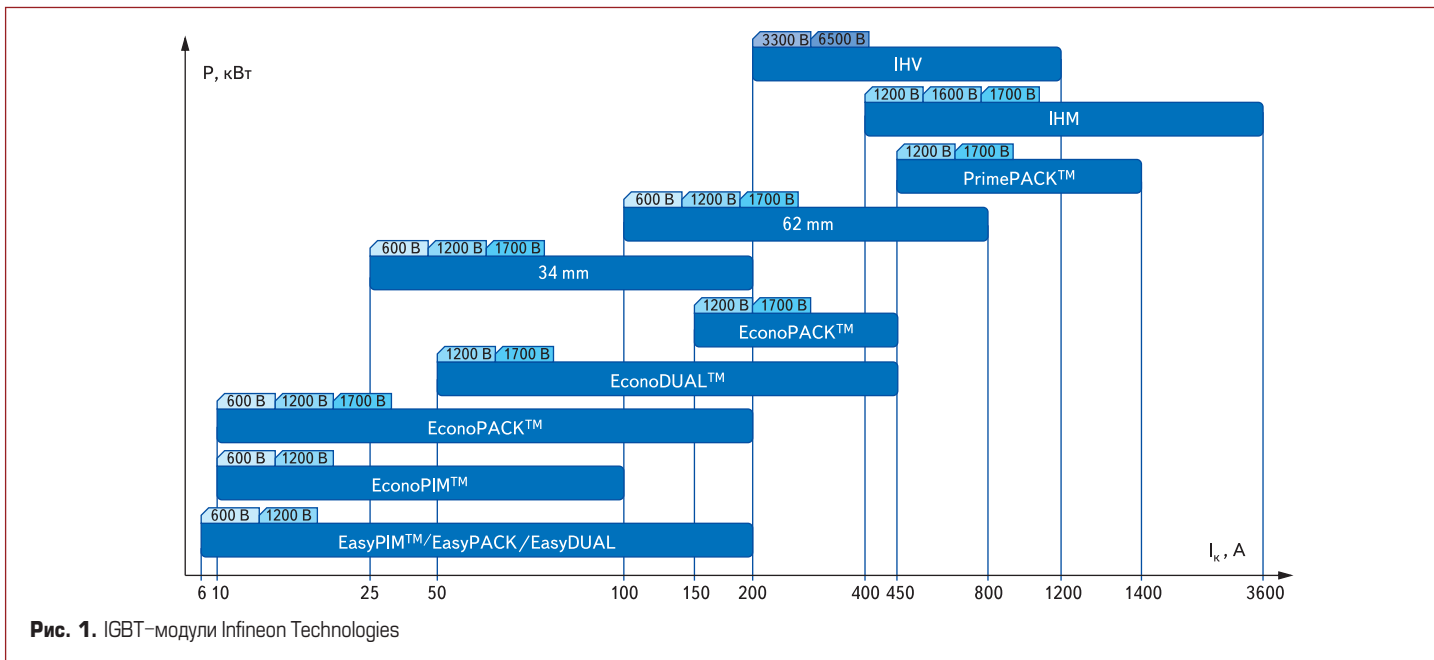


Рис. 1. IGBT-модули Infineon Technologies

мых IGBT2 (технологии NPT) и IGBT3 (технологии Trench FS3).

Однако с появлением «универсальных» кристаллов IGBT4 все большую долю в производственной программе начинают занимать модули на их основе. Это относится не только к модулям, производимым Infineon, но и, например, к новой серии модулей фирмы SEMIKRON SEMITRANS T4, выпускаемых на основе IGBT4-кристаллов Infineon Technologies [2]. Модули на базе IGBT четвертого поколения появились во всех сериях модулей, производимых Infineon.

Обзор силовых IGBT-модулей Infineon

Спектр силовых IGBT-модулей, выпускаемых Infineon (ранее модули Euprec), представлен в виде графика на рис. 1. Infineon производит более 400 типов различных IGBT-модулей.

Модули условно могут быть разделены на 3 группы в зависимости от номинальной мощности (тока, напряжения и конструктива):

- модули малой мощности <50 А, <10 кВт;
- модули средней мощности <500 А, <100 кВт;
- модули большой мощности ~3600 А, ~2 МВт.

К первой группе модулей относятся серии Easy и Econo. Названия Easy и Econo отражают конструктивное исполнение модулей и рабочие мощности. К первой серии маломощных модулей относятся EasyPIM, EasyPACK, EasyDUAL. Вторая серия состоит из модулей EconoPIM, EconoPACK, EconoDUAL.

IGBT-модули малой мощности. Серия Easy

Серия Easy модулей — это IGBT-модули малой мощности в экономичном конструктиве. Все новые корпуса серии Easy оснащены встроенными клеммами для крепления модуля к радиатору и штыревыми выводами под пайку печатной платы драйвера. Выпускаются 5 видов корпусов Easy: Easy 750, Easy 1, Easy 2, Easy 1B, Easy 2B.

В зависимости от функциональной схемы (топологии), различаются модули Easy PIM и Easy PACK. В свою очередь, Easy PACK делится на Easy DUAL, Easy FourPACK, Easy SixPACK. Модули Easy выпускаются на рабочие напряжения 600 и 1200 В на базе кристаллов IGBT3 и IGBT4. Диапазон рабочих токов и топологии, встроенные в модуль серии Easy, приведены в таблице 2.

IGBT-модули малой мощности. Серия Econo

Серия IGBT-модулей Econo отличается от серии Easy более крупным и прочным корпусом и, как следствие, большими рабочими токами. Так же как и в серии Easy, в этой серии различают модули PIM и PACK. Топология PIM

более насыщена и включает в себя диодный выпрямительный мост, чоппер, NTC-резистор и 3 IGBT-полумоста. В основе модулей Econo используются кристаллы IGBT3 и новейшие IGBT4. Конструкция корпусов Econo имеет два варианта исполнения: стандартный вариант для монтажа на печатную плату с помощью пайки штыревых выводов и вариант соединения с печатной платой без использования пайки — методом механического контактирования выводов специальной формы, вставляемых в металлизированные отверстия печатной платы. Этот новый конструктив и метод соединения модулей с печатной платой получил название Press FIT (индекс B11 в обозначении модуля). Метод позволяет быстро соединить модуль с печатной платой, например платой драйвера, без использова-

Таблица 2. IGBT-модули серии Easy

Тип	Uкз, В	Iк, А	Топология модуля
Easy PIM	600	6–30	1-фазный или 3-фазный диодный мост, 3 полумоста, чоппер, NTC-резистор. Варианты исполнения
Easy PIM	1200	10–35	
Easy PACK	600	6–50	3 полумоста + NTC
Easy FourPACK	600	30–75	H-мост
Easy PACK	1200	15–50	3 полумоста
Easy DUAL	600/1200	100–200	1 полумост

Таблица 3. IGBT-модули серии Econo

Тип	Uкз, В	Iк, А	Топология модуля
Econo PIM	600	10–100	1-фазный или 3-фазный диодный мост, 3 полумоста, чоппер, NTC-резистор. Варианты исполнения
Econo PIM	1200	10–100	
Econo PACK	600	20–200	3 IGBT-полумоста + NTC-резистор, варианты с встроенным шунтом (SixPACK с шунтом)
Econo PACK	1200	10–150	
Econo PACK	1700	50–100	
Econo FourPACK	600	100–200	H-мост + NTC-резистор
Econo FourPACK	1200	25–150	

Таблица 4. IGBT-модули средней мощности

Тип	U кэ, В	Iк, А	Топология модуля
Модуль 34 мм	600	50–200	Полумост Чоппер
	1200	25–100	
	1700	50–75	
Модуль 62 мм	600	100–400	Одиночный ключ
	1200	100–800	Чоппер
	1700	100–800	Полумост Диодный модуль
Econo PAKK+	1200	150–450	SixPAK: 3 полумоста + NTC-резистор
	1700	150–450	
Econo DUAL2	1200	150–450	Полумост + NTC
Econo DUAL3	1700	150–450	Полный мост + NTC

ния пайки и сопутствующего этому риска перегрева платы. Это повышает удобство эксплуатации, особенно в случаях замены модуля при ремонте. Кроме того, этот метод позволяет устанавливать модуль на плату с двусторонним монтажом элементов. Варианты выпускаемых модулей Econo приведены в таблице 3.

IGBT-модули средней мощности

Группа модулей средней мощности состоит из 3-х серий:

- модули в корпусах промышленного стандарта шириной 34 и 62 мм — «модуль 34 мм», «модуль 62 мм»;
- модули серии Econo PAKK+;
- модули серии Econo DUAL2, Econo DUAL3. Диапазон рабочих напряжений, токов и основные топологии модулей данной группы приведены в таблице 4.

Серия модулей в стандартном корпусе 62 мм — наиболее многочисленная в группе модулей средней мощности. В ней используются IGBT-кристаллы поколений IGBT2, IGBT3, IGBT4, в том числе быстродействующие IGBT2 FAST. В составе модулей на 1200 В есть одиночные ключи до 800 А, чопперы на 100–400 А, диоды на 300–800 А, полумосты на 100–450 А. В модулях на рабочее напряжение 1700 В — одиночные ключи, полумосты и диодные модули. С использованием новых кристаллов IGBT4 уже изготавливаются модули на 1200 В с током 300 А в конфигурации полумост и чоппер.

Модули Econo PAKK+ имеют корпус размером 150×162 мм, который представляет собой единую конструкцию из трех корпусов типа Econo. В модуле размещаются три IGBT-полумоста с NTC-резистором. Модули выпускаются на рабочие напряжения 1200 и 1700 В. С 2008 года в серии появились модули на базе кристаллов IGBT4 на оба рабочих напряжения. Эти модули имеют в конце обозначения типа модуля знак «Е4».

Модули серии Econo DUAL2 выпускаются в конфигурации полумост и полный мост на базе кристаллов серии IGBT2 FAST, IGBT3 и IGBT4. В 2008 году в серии Econo DUAL3 планируется выпуск модулей на рабочее напряжение 600 В на базе кристаллов IGBT3 (улучшенной технологии IGBT3 с максимальной рабочей температурой кристалла 150 °С).

Модули будут иметь рабочие токи до 600 А и топологию полумост/чоппер.

Основные области применения IGBT-модулей средней мощности:

- Промышленные приводы.
- Источники питания.
- Источники возобновляемой энергии (ветрогенераторы и пр.).
- Сварка и индукционный нагрев.
- Электроприводы эскалаторов и другой подъемной техники.

IGBT-модули большой мощности

IGBT-модули большой мощности можно разделить на 3 группы:

- IHM — модули большой мощности с большими рабочими токами.
- PrimePAK — новая серия модулей с большими токами на базе кристаллов IGBT4.
- IHV — высоковольтные модули большой мощности.

Модули выпускаются в корпусах черного цвета. Размеры корпусов IHV/IHV: 73×140 мм, 130×140 мм, 190×140 мм. Корпуса PrimePAK имеют два размера: 172×89 мм и 250×89 мм. Диапазон рабочих токов и напряжений IGBT-модулей большой мощности приведен в таблице 5.

PrimePAK — это новая концепция IGBT-модулей большой мощности на базе нового поколения кристаллов IGBT4.

Усовершенствованный конструктив, в котором IGBT-кристаллы размещаются ближе к точкам крепления подложки винтами к теплоотводу, дает снижение теплового сопротивления между подложкой и теплоотводом и дополнительно снижает на 60% ($L_{\text{параз}} = 10 \text{ нГ}$ для PrimePAK3) внутреннюю паразитную индук-

Таблица 5. IGBT-модули большой мощности

Тип	Uкэ, В	Iк, А	Топология модуля
IHV	1200	400–3600	2 IGBT (Dual) Чоппер H-мост 6 IGBT (SixPAK)
	1700	400–3600	
PrimePAK	1200	450–1400	Полумост
	1700	450–1000	
IHV	3300	450–1400	1 IGBT-ключ 2 IGBT-ключа Чоппер Диодные модули
	6500	150–450	

тивность по сравнению со стандартными модулями. Уменьшение паразитной индуктивности важно для повышения устойчивости к импульсам перенапряжения. Специальная топология разводки улучшает распределение тепла, что дает в результате низкое тепловое сопротивление модуля в целом. В результате предельная рабочая температура модуля составляет +150 °С, что существенно превосходит +125 °С модулей предшественников. Это также позволило компании Infineon установить нижнюю границу температуры хранения модулей в –50 °С вместо –40 °С. Использование новых IGBT-модулей в мощных преобразователях позволит увеличить номинальные токи примерно на 20% при том же обратном напряжении или таких же размерах модуля, либо рассеять такую же мощность в модулях сравнительно меньшего размера. Выпускается два типа корпусов PrimePAK, отличающихся размерами: PrimePAK2 и PrimePAK3. Модули PrimePAK оптимизированы для применения в составе конструкций, где IGBT-модули для увеличения рабочих токов соединяются параллельно. В этом случае для соединения одноименных по выводам модулей достаточно прямых перекрывающихся шин.

Заключение

Производственная программа IGBT-модулей Infineon Technologies в настоящее время насчитывает более 400 наименований модулей. Выпускаются модули с рабочими токами от десятков ампер до 3600 А и рабочими напряжениями от 600 до 6500 В. Для увеличения необходимой мощности IGBT-модули допускают параллельное соединение.

Разработка и серийное освоение IGBT-кристаллов на базе универсальной технологии Infineon Trench FS4 (IGBT4) позволили повысить рабочую температуру кристалла до 150 °С, повысить частоты переключения, уменьшить размеры модулей, повысить их надежность.

Серийно производится новая серия IGBT-модулей большой мощности на базе кристаллов IGBT4 под названием PrimePAK с рабочими напряжениями 1200 и 1700 В на токи до 1400 А с топологией полумост.

Новая технология изготовления кристаллов IGBT4 все шире используется в производстве IGBT-модулей Infineon всех серий.

Infineon производит также сборки IGBT-транзисторов под названием PrimeSTACK. Они представляют собой законченную конструкцию, состоящую из одного или нескольких IGBT-модулей, платы драйвера, радиатора с воздушным или водяным охлаждением. Сборки PrimeSTACK выпускаются на рабочие напряжения 1200 и 1700 В и токи до 1600 А.

Литература

1. www.infineon.com
2. Колпаков А. Trench 4 — первая универсальная технология IGBT // Силовая Электроника. 2007. № 3.