

# Сильные и надежные: промышленные IGBT-модули от International Rectifier

Вячеслав ГАВРИКОВ  
Кирилл АВТУШЕНКО

Компания International Rectifier анонсировала выпуск новой продукции — силовых IGBT-модулей. На первом этапе в производство запущены модули на базе IGBT-кристаллов поколений Gen5 и Gen7. Затем предполагается начать изготовление модулей, содержащих IGBT-кристаллы нового поколения Gen8, обладающих низкими значениями напряжения насыщения и способных коммутировать большие токи. Цель данной статьи — познакомить читателей с номенклатурой IGBT-модулей IR.

В далеком 1959 году компания International Rectifier начала выпуск полупроводниковых компонентов и с тех пор стала одним из лидеров в области создания силовых полупроводников. На сегодня International Rectifier лидирует в сегменте производства силовых MOSFET, и, несмотря на огромное количество конкурентов, ее доля превышает 10% рынка. Усилия IR, направленные на развитие технологии IGBT, привели к тому, что компания вышла на второе место в этом сегменте.

IR производит целый спектр электронных компонентов для силовой техники, основными группами из которых являются:

- различные MOSFET, в том числе инновационные транзисторы DirectFET в корпусах с двухсторонним теплоотводом;
- силовые IGBT на напряжения от 330 до 1400 В с различными уровнями быстродействия (standart, fast, ultra-fast, warp, warp-2);
- микросхемы драйверов IGBT и MOSFET;
- транзисторы с функциями защиты и измерения тока (интеллектуальные ключи);
- интеллектуальные силовые модули, интегрирующие силовые ключи и драйверы с цепями защиты;
- понижающие синхронные DC/DC-преобразователи с интегрированными силовыми ключами;
- твердотельные реле и т. д.

International Rectifier постоянно отслеживает интересы рынка и регулярно предлагает потребителям новые решения и продукты. Совсем недавно компания анонсировала новое направление своей деятельности — производство IGBT-модулей.

Эти устройства достаточно давно выпускаются другими компаниями, и в настоящее время лидируют в данном направлении Mitsubishi, Infineon, Semikron и Fuji. Попытка освоения столь насыщенного сегмента может показаться неоправданной, однако International Rectifier имеет целый ряд преимуществ, позволяющих «получить свой кусок пирога» на рынке мощных IGBT-модулей.

Во-первых, это наличие собственных современных технологий изготовления IGBT-кристаллов, в том числе новых кристаллов поколения Gen8.

Во-вторых, IR не является новичком в создании силовых модулей. В 2003 году компания вывела на рынок интеллектуальные силовые модули (IPM), которые представляют собой законченную систему в одном корпусе (System-in-Package, SIP), состоящую из силового IGBT-инвертора и драйвера силовых ключей с системами мониторинга и защиты.

Таким образом, в ближайшем будущем новые IGBT-модули от IR могут занять лидирующие позиции. Их преимущества основаны на достоинствах IGBT-технологий IR. Ну а теперь рассмотрим эти технологии более подробно.

## Технологии IGBT компании International Rectifier

В настоящее время IR производит IGBT по технологиям нескольких поколений. Соотношение частотных характеристик и рабочих напряжений каждого из поколений представлено на рис. 1.

Поясним ключевые особенности каждой технологии:

- Gen4 и Gen5 — планарные IGBT, разработанные достаточно давно, но не утратившие своей актуальности и сегодня. Ряд свойств этих транзисторов продолжает оставаться востребованным в современной электронике. Например, только представители поколений Gen4 и Gen5 обладают рабочей частотой до 150 кГц (WARP IGBT), что позволяет эффективно использовать их как в низкочастотных системах приводов электродвигателей, так и в высокочастотных источниках бесперебойного питания.
- Gen6 — поколение Trench IGBT, предназначенное для работы на средних частотах (от 1 до 30 кГц) с напряжениями до 600 В. Область применения этих IGBT — системы электропривода и преобразователи переменного напряжения.
- Gen7 — транзисторы, выполненные по технологии Field Stop Trench и обладающие отличными статическими и динамическими характеристиками. Данные IGBT предназначены для работы в области средних частот (от 1 до 30 кГц) с напряжениями до 1200 В.

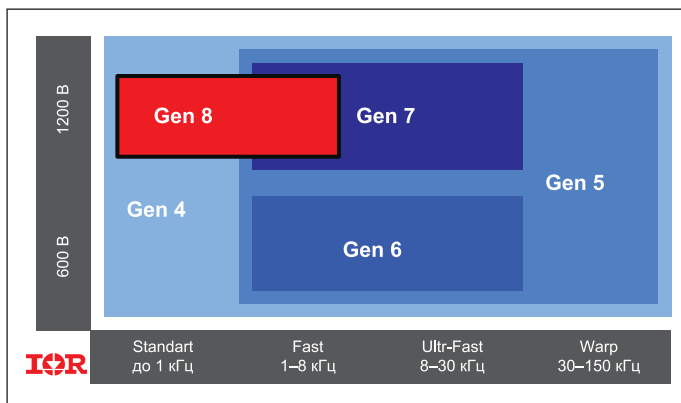


Рис. 1. Технологии производства IGBT компании International Rectifier

Таблица 1. Преимущества IGBT поколения Gen8 от International Rectifier

Тип IGBT	$U_{кз}(вкл.)$ , В	$U_{зз}(откр.)$ , В	$I_k$ max	Технология
IR Gen 8	1,70	5–6,5	$3 \times I_k$ ном.	Field Stop Trench
Сравниваемый IGBT A	1,85	5–6,5	$3 \times I_k$ ном.	
Сравниваемый IGBT B	1,95	6–7	$2 \times I_k$ ном.	
Сравниваемый IGBT C	1,80	5–7	$2 \times I_k$ ном.	
Сравниваемый IGBT D	1,80	6,4 (тип)	$2 \times I_k$ ном.	SPT Planar

Они находят применение в источниках бесперебойного питания, силовых инверторах, преобразователях альтернативной (возобновляемой) энергии, сварочных аппаратах.

- Новые Trench IGBT поколения Gen8 анонсированы совсем недавно. Их целевое назначение — низкочастотные приложения с напряжениями до 1200 В, примером которых могут служить мощные инверторы электродвигателей. Особо следует сказать о преимуществах IGBT поколения Gen8: если сравнивать их с устройствами остальных поколений и с лучшими образцами других фирм-производителей, можно отметить такие достоинства (табл. 1):
  - малое напряжение насыщения  $U_{кз}(вкл.)$ ;
  - низкое напряжение открывания  $U_{зз}(откр.)$ ;
  - высокие значения пикового тока, который может втрое превышать номинальный рабочий ток.

Уменьшение напряжения открывания  $U_{зз}(откр.)$  в Gen8 приводит к увеличению плотности тока при тех же значениях напряжения коллектор-эмиттер (рис. 2).

Как уже говорилось, IGBT Gen8 созданы для низкочастотных приложений (до 8 кГц). На низких частотах основной вклад в общую мощность потерь вносят потери проводимости, которые пропорциональны напряжению насыщения. Уменьшение напряжения насыщения приводит к значительному сокращению потерь мощности (рис. 3) и рабочей температуры транзистора. Следует отметить, что IGBT Gen8 имеют и низкую энергию переключения, а потому динамические потери этих устройств достаточно малы.

Благодаря наличию различных технологий производства IGBT-кристаллов сегодня компания IR создает силовые модули с разнообразными электрическими характеристиками, что позволяет выбрать оптимальное решение для каждой конкретной задачи.

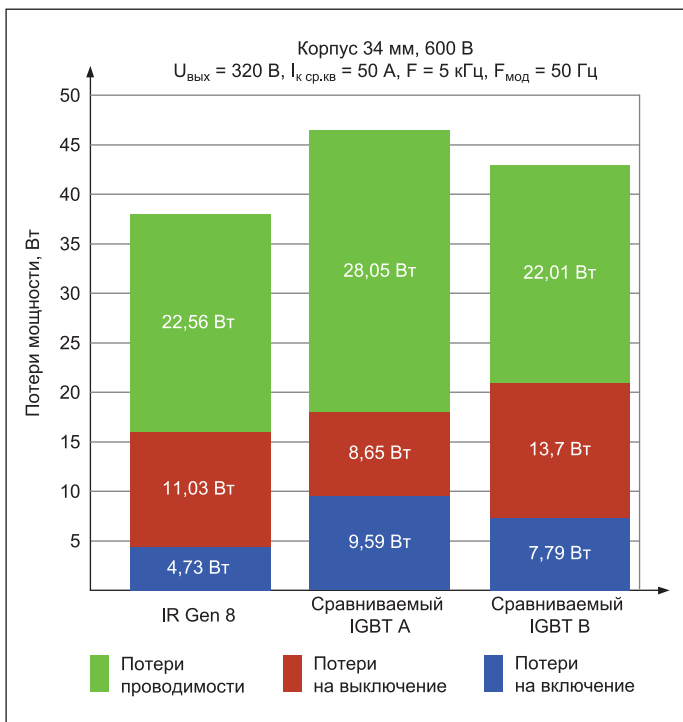


Рис. 3. Потери мощности в различных IGBT

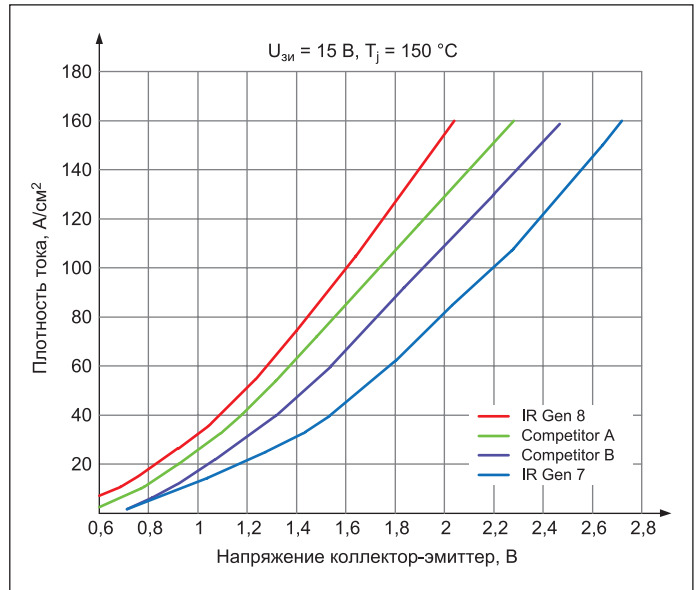


Рис. 2. Значение плотности тока IGBT Gen8 и конкурентных решений

## Особенности IGBT-модулей компании International Rectifier

В настоящее время номенклатура IGBT-модулей от IR включает более 70 представителей. Обобщая их технические характеристики, можно вывести несколько основных принципов, присущих модулям IR:

- устройства выполнены на IGBT-кристаллах поколений Gen5 и Gen7, анонсированы IGBT-модули на кристаллах поколения Gen8;
- по быстродействию делятся на несколько групп: standart (до 1 кГц), fast (от 1 до 8 кГц), ultra-fast (от 8 до 30 кГц);
- рабочие напряжения составляют 600 или 1200 В;
- выпускаются в шести типах корпусов промышленного стандарта;
- номинальные токи в пределах от 10 до 450 А;
- имеется широкий спектр топологии модулей.

Все эти характеристики кодируются в названии модуля (рис. 4).

Корпусные исполнения IGBT-модулей IR не только соответствуют промышленным стандартам (табл. 2), но и повышают совместимость с аналогичными продуктами компаний данного сектора, что позво-

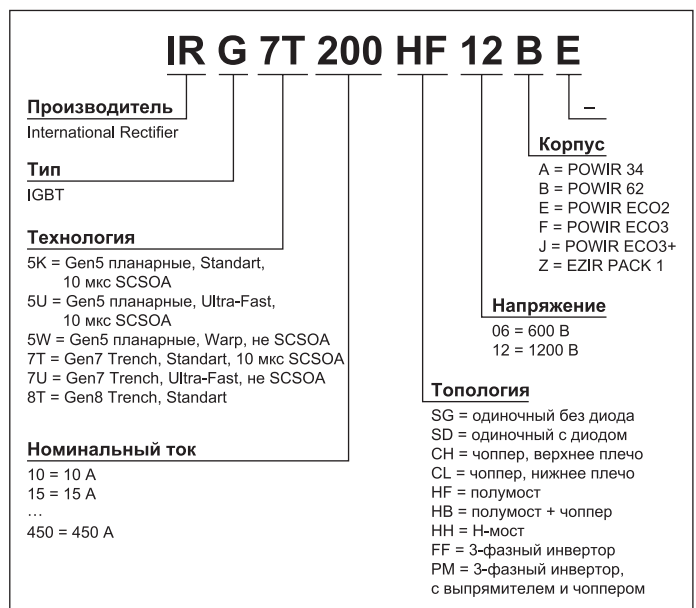


Рис. 4. Расшифровка наименований IGBT-модулей от IR

**Таблица 2.** Соответствие между стандартными корпусами и их обозначениями в номенклатуре IR

Общепринятое обозначение	Обозначение IR
34mm	POWIR 34
62mm	POWIR 62
EconoPack 2	POWIR ECO 2
EconoPack 3	POWIR ECO 3
EconoPack Dual 3	POWIR ECO 3+
EasyPack 1B, EasyPIM 1B	EZIRPACK 1

ляет в существующих схемах устанавливать эти силовые модули взамен устройств других производителей.

Модули строятся по различным топологиям (рис. 5): одиночные мощные IGBT (маркировка в названии — SD), чоппер верхнего плеча (CH), чоппер нижнего плеча (CL), полумост (HF), H-мост (HH), 3-фазный инвертор (FF), 3-фазный инвертор с входным 3-фазным диодным выпрямителем и чопперными IGBT нижнего плеча (PM).

**Номенклатура IGBT-модулей от International Rectifier**

IGBT-модули в корпусе POWIR 34 выпускаются для рабочих напряжений 600 и 1200 В и рабочих частот до 30 кГц (табл. 3). Главное отличие этой группы заключается в наименьшем среди модулей IR напряжении насыщения — от 1,7 В, максимальный рабочий ток составляет 200 А.

Самыми мощными и способными коммутировать токи до 400 А (табл. 4) считаются IGBT-модули в корпусе POWIR 62. Их тепловое сопротивление имеет минимальное значение. Топологии ограничены одиночными IGBT, полумостовыми и чопперными схемами.

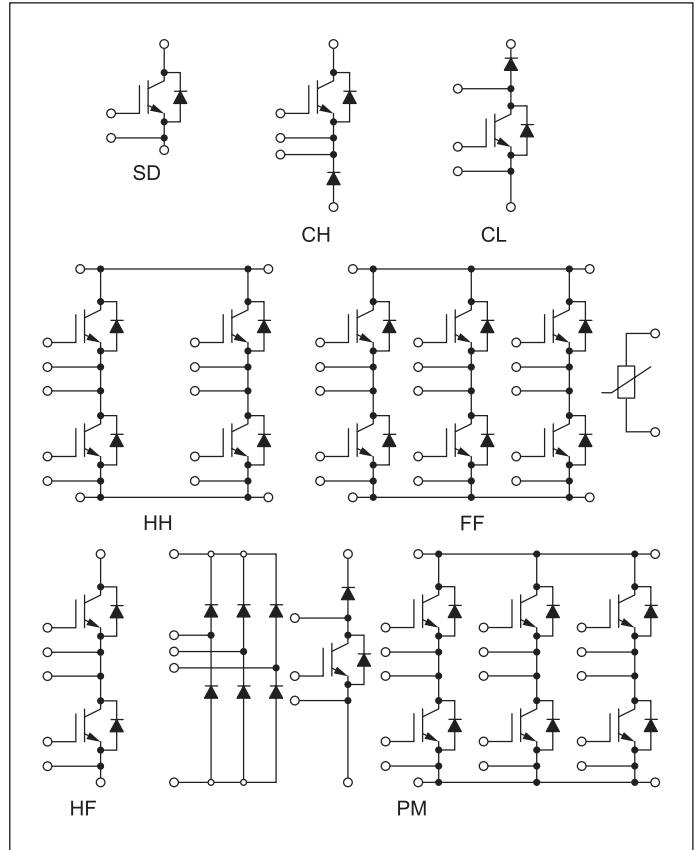
Для приложений малой мощности предназначены IGBT-модули в корпусе POWIR ECO 2, с токами до 100 А (табл. 5). Они имеют мостовую или 3-фазную топологию и идеально подходят для построения электроприводов средней мощности.

Выполненные в корпусе POWIR ECO 3 и POWIR ECO 3+, IGBT-модули обладают большей мощностью по сравнению с модулями POWIR ECO 2 и также подходят для построения электроприводов (табл. 6, 7).

**Таблица 3.** IGBT-модули в корпусе POWIR 34

Наименование	IGBT				Диод			Серия	
	$I_{кр}$ , А	$U_{кз}$ (нас.), В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	$U_{прям.г}$ В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт		
<b>600 В</b>									
IRG5K50HF06A	50	1,8	1,43	0,51	1,4	0,25	1,45	Standard	
IRG5K75HF06A	75	1,8	1,42	0,38	1,4	0,38	1,05		
IRG5K100HF06A	100	1,8	3,7	0,31	1,5	0,14	1,05		
IRG5K150HF06A	150	1,8	7,3	0,19	1,4	0,26	0,69		
IRG5K200HF06A	200	1,8	9,5	0,155	1,5	0,34	0,52	Ultra-Fast	
IRG5W50HF06A	50	2,5	0,33	0,48	1,5	0,2	1,45		
IRG5U75HF06A	75	2,5	1,51	0,38	1,4	0,51	1,05		
IRG5U100HF06A	100	2,5	2,45	0,31	1,5	0,5	1,05		
IRG5U150HF06A	150	2,5	3,01	0,19	1,4	0,95	0,52	Ultra-Fast	
IRG5U200HF06A	200	2,5	4,86	0,155	1,5	0,53	1		
<b>1200 В</b>									
IRG5K35HF12A	35	2,3	4,36	0,44	1,8	0,9	0,81		Standard
IRG5K50HF12A	50	2,3	7,06	0,32	2	1,7	0,87		
IRG5K75HF12A	75	2,30	8,9	0,24	2,2	1,6	0,56		
IRG5K100HF12A	100	2,30	15,1	0,2	2	2,3	0,41		
IRG7T50HF12A	50	1,90	5,97	0,44	2	1,5	0,87	Fast	
IRG7T75HF12A	75	1,90	8,8	0,33	2,2	1,5	0,56		
IRG7T100HF12A	100	1,90	14,6	0,26	2,2	1,5	0,41		
IRG5U50HF12A	50	3,20	4,6	0,32	2	1,02	0,87		
IRG5U75HF12A	75	3,20	7,6	0,23	2,2	1,2	0,56	Ultra-Fast	
IRG5U100HF12A	100	3,20	11,4	0,2	2,2	2,4	0,41		
IRG7U50HF12A	50	1,70	6,6	0,48	2	1,0	0,87		
IRG7U75HF12A	75	1,70	12,3	0,33	2,2	1,3	0,56		
IRG7U100HF12A	100	1,70	19,3	0,26	2,2	0,8	0,41		

\* Характеристики указаны для температуры кристалла 25 °С. Ток коллектора указан для температуры корпуса 80 °С.



**Рис. 5.** Варианты внутренней топологии IGBT-модулей от International Rectifier

**Таблица 4.** IGBT-модули в корпусе POWIR 62

Наименование	IGBT				Диод			Серия
	$I_{кр}$ , А	$U_{кз}$ (нас.), В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	$U_{прям.г}$ В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	
<b>600 В</b>								
IRG5K200HF06B	200	1,8	9,5	0,157	1,4	0,4	0,383	Standard
IRG5K300HF06B	300	1,8	12,3	0,104	1,4	0,26	0,348	
IRG5K400HF06B	400	1,8	19	0,077	1,4	0,26	0,348	
IRG5K400CL06B	400	1,8	19	0,077	1,4	0,26	0,348	
<b>1200 В</b>								
IRG5K100HF12B	100	2,3	9,4	0,163	2	2,4	0,409	Standard
IRG5K150HF12B	150	2,3	19,1	0,118	2	3,7	0,28	
IRG5K200HF12B	200	2,3	36,9	0,1	2	3,8	0,204	
IRG7T100HF12B	100	1,9	15	0,22	2	1,7	0,409	
IRG7T150HF12B	150	1,9	16,6	0,165	2,2	3	0,28	Fast
IRG7T200HF12B	200	1,9	37,3	0,141	2	3,7	0,204	
IRG7T300HF12B	300	1,9	41,7	0,099	2,2	7,6	0,136	
IRG5U100HF12B	100	3,3	10	0,16	2	2,2	0,41	
IRG5U150HF12B	150	3,3	14,1	0,114	2,2	3,6	0,28	Ultra-Fast
IRG5U200HF12B	200	3,3	19,1	0,1	2,2	6	0,204	
IRG5U300HF12B	300	3,3	37,3	0,066	2,2	9,8	0,136	
IRG7U100HF12B	100	1,7	17,1	0,26	2,2	1,5	0,41	
IRG7U150HF12B	150	1,7	22,4	0,165	2,2	2,6	0,282	Fast
IRG7U200HF12B	200	1,7	34,2	0,132	2	3,2	0,204	
IRG7T150CH12B	150	1,9	16,6	0,165	2,2	3	0,28	
IRG7T200CH12B	200	1,9	37,3	0,141	2	3,7	0,204	
IRG7T300CH12B	300	1,9	41,7	0,099	2,2	7,6	0,136	Fast
IRG7T150CL12B	150	1,9	16,6	0,165	2,2	3	0,28	
IRG7T200CL12B	200	1,9	37,3	0,141	2	3,7	0,204	
IRG7T300CL12B	300	1,9	41,7	0,099	2,2	7,6	0,136	
IRG7T300SD12B	300	1,9	41,7	0,099	2,2	7,6	0,136	Fast
IRG7T400SD12B	400	1,9	45,7	0,059	2,2	3,61	0,1	
IRG5U200SD12B	200	3,3	19,1	0,1	2,2	6	0,204	
IRG5U300SD12B	300	3,30	37,3	0,066	2,2	9,8	0,136	
IRG5U400SD12B	400	3,30	38,4	0,05	2	7,2	0,102	Ultra-Fast

\* Характеристики указаны для температуры кристалла 25 °С. Ток коллектора указан для температуры корпуса 80 °С.

Таблица 5. IGBT-модули в корпусе POWIR ECO 2

Наименование	IGBT				Диод			Серия
	$I_{кТ}$ , А	$U_{кз}$ (нас.), В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	$U_{прат.г}$ В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	
<b>600 В</b>								
IRG5K50FF06E	50	1,8	1,4	0,515	1,4	0,25	1,41	Standard
IRG5K75FF06E	75	1,8	1,4	0,38	1,4	0,38	1,06	
IRG5K100FF06E	100	1,8	3,7	0,31	1,5	0,14	1,06	
IRG5K75HH06E	75	1,8	1,4	0,38	1,4	0,38	1,06	
IRG5K100HH06E	100	1,8	3,7	0,31	1,5	0,14	1,06	
IRG5K30PM06E	30	1,8	0,5	0,76	1,4	0,1	2	
IRG5K50PM06E	50	1,8	1,4	0,51	1,4	0,25	1,45	Ultra-Fast
IRG5U75HH06E	75	2,5	1,5	0,38	1,4	0,5	1,06	
IRG5U100HH06E	100	2,5	2,5	0,31	1,5	0,5	1,06	
<b>1200 В</b>								
IRG7T50FF12E	50	1,9	6	0,44	2	1,5	0,87	Fast
IRG7T10PM12E	10	1,9	1,9	1,129	2	0,6	1,982	
IRG7T15PM12E	15	1,9	2,4	0,801	2	0,3	1,42	
IRG7T25PM12E	25	1,9	3,1	0,656	2,2	0,32	1,42	
IRG7T40PM12E	40	1,9	5,4	0,442	2	0,84	0,77	
IRG5U50HH12E	50	3,3	4,6	0,32	2,2	1,02	0,87	
IRG5U75HH12E	75	3,3	7,6	0,23	2,2	1,2	0,56	Ultra-Fast

\* Характеристики указаны для температуры кристалла 25 °С.  
Ток коллектора указан для температуры корпуса 80 °С.

Таблица 6. IGBT-модули в корпусе POWIR ECO 3

Наименование	IGBT				Диод			Серия
	$I_{кТ}$ , А	$U_{кз}$ (нас.), В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	$U_{прат.г}$ В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	
<b>600 В</b>								
IRG5K75PM06F	75	1,8	1,42	0,38	1,4	0,38	1,06	Standard
IRG5K100PM06F	100	1,8	3,7	0,31	1,5	0,14	1,06	
IRG5K100FF06F	100	1,8	3,7	0,31	1,5	0,14	1,05	
<b>1200 В</b>								
IRG7T50FF12F	50	1,9	6	0,44	2	1,5	0,87	Ultra-Fast
IRG7T75FF12F	75	1,9	8,8	0,33	2,2	1,5	0,56	
IRG7T100FF12F	100	1,9	14,6	0,26	2,2	1,7	0,41	
IRG7T150FF12F	150	1,9	22,5	0,19	2	3	0,35	

\* Характеристики указаны для температуры кристалла 25 °С.  
Ток коллектора указан для температуры корпуса 80 °С.

Таблица 7. IGBT-модули в корпусе POWIR ECO 3+

Наименование	IGBT				Диод			Серия
	$I_{кТ}$ , А	$U_{кз}$ (нас.), В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	$U_{прат.г}$ В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	
<b>1200 В</b>								
IRG7T150HF12J	150	1,9	171	0,147	2,2	2	0,29	Fast
IRG7T225HF12J	225	1,9	25,9	0,11	2,2	5,2	0,188	
IRG7T300HF12J	300	1,9	41,7	0,098	2,2	7,6	0,136	
IRG7T450HF12J	450	1,9	101,4	0,066	2,2	5,2	0,117	

\* Характеристики указаны для температуры кристалла 25 °С.  
Ток коллектора указан для температуры корпуса 80 °С.

Самые скромные показатели коммутируемых токов у IGBT-модулей в корпусе EZIRPACK 1. Максимальный ток для них составляет 30 А (табл. 8).

Как было сказано в начале статьи, вслед за IGBT-модулями на базе IGBT поколений Gen5 и Gen7 компания IR объявила о скором выпуске серии новейших модулей на IGBT поколения Gen8 (табл. 9). Эти устройства предназначены для приложений с рабочими напряжениями 1200 В и максимальными токами до 900 А! Различное корпусное исполнение и широкий спектр реализованных топологий предоставят разработчикам возможность выбрать оптимальный вариант для решения конкретной задачи.

Таблица 8. IGBT-модули в корпусе EZIRPACK 1

Наименование	IGBT				Диод			Серия
	$I_{кТ}$ , А	$U_{кз}$ (нас.), В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	$U_{прат.г}$ В	$E_{пер.г}$ мДж	$R_{th}$ кристалл-корпус, °С/Вт	
<b>600 В</b>								
IRG5K15FF06Z	15	1,76	0,74	0,6	1,4	0,06	1,56	Standard
IRG5K10PM06Z	10	1,8	0,34	1,14	1,4	0,1	2,31	
IRG5K15PM06Z	15	1,76	0,74	0,6	1,4	0,1	1,56	
IRG5K30PM06Z	30	1,8	0,53	0,63	1,4	0,12	1,8	
<b>1200 В</b>								
IRG7T10PM12Z	10	1,3	1,86	1,02	2	0,6	2,19	Fast
IRG7T15FF12Z	15	1,9	2,37	0,73	2	0,37	1,28	
IRG7T15PM12Z	15	1,9	2,37	0,73	2	0,37	1,28	

\* Характеристики указаны для температуры кристалла 25 °С.  
Ток коллектора указан для температуры корпуса 80 °С.

Таблица 9. Перспективные IGBT-модули Gen8 от International Rectifier

Наименование	Корпус	$I_{кТ}$ max	Примечание
<b>1200 В</b>			
IRG8T50HF12A	34 mm	50	полумост
IRG8T75HF12A		75	
IRG8T100HF12A		100	
IRG8T150HF12A		150	
IRG8T150CH12A		150	
IRG8T150CL12A	150	чоппер, нижнее плечо	
IRG8T400SG12B	62 mm	400	одиночный IGBT высокой мощности
IRG8T600SG12B		600	
IRG8T900SG12B		900	
IRG8T200HF12B		200	
IRG8T300HF12B		300	
IRG8T300HF12B + NTC	300	полумост со встроенным терморезистором (NTC)	
IRG8T450HF12B	EconoPACK 2	450	полумост
IRG8T50FF12E		50	
IRG8T75FF12E		75	
IRG8T100FF12E		100	
IRG8T200FF12F		200	
IRG8T150FF12F	EconoPACK 3	150	3-фазный мост
IRG8T100FF12F		100	
IRG8T100FF12V	EconoPACK 4	100	полумост
IRG8T150FF12V		150	
IRG8T200FF12V		200	
IRG8T200CL12V		200	
IRG8T200CH12V	EconoDUAL 2	200	чоппер, нижнее плечо
IRG8T200HF12J		200	
IRG8T6PM12Z + no brake	EasyPIM 1B	6	3-фазный мост со входным выпрямителем, без чоппера
IRG8T10PM12Z		10	
IRG8T10PM12Z + no brake		10	
IRG8T15PM12Z		15	

## Заключение

Компания International Rectifier, принадлежащая к числу наиболее известных производителей дискретных IGBT-транзисторов, создала и выпустила на рынок серию силовых IGBT-модулей в корпусах промышленного стандарта. В настоящее время специалистам доступно свыше 70 решений различной топологии и корпусного исполнения, охватывающих диапазон рабочих напряжений до 1200 В и обеспечивающих ток до 450 А. Применение передовых технологий изготовления IGBT-кристаллов и корпусирования обеспечивает модулям IR высокие технические параметры и конкурентные преимущества, а классическая цоколевка корпусов позволяет быстро и безболезненно перейти на модули IR и в существующих изделиях заказчика.

## Литература

1. [www.irf.com](http://www.irf.com)
2. High Power IGBT Modules Product Selection Guide. International Rectifier, 2014.