

Владимир Башкиров

# ТРАНЗИСТОРЫ TRENCH IGBT ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ

*Trench IGBT шестого поколения от компании International Rectifier — это существенно улучшенные технические характеристики и надежность в сочетании с привлекательной ценой.*

*Оцените их преимущества при производстве промышленных и бытовых проводов мощностью до нескольких киловатт, а также в промышленных источниках питания.*

## Особенности технологии и преимущества по отношению к предыдущим поколениям IGBT

Основные отличия в характеристиках транзисторов нового и предыдущих поколений обусловлены особенностями строения кристалла. Новые IGBT шестого поколения относятся к типу DS (Depletion Stop) Trench IGBT. Кристалл такого транзистора содержит вертикально расположенный затвор и слой, блокирующий носители (depletion stop) (рис. 1).

Лучшие тепловые характеристики транзисторов этого типа достигаются за счет минимальной толщины (70 мкм) пластин. Благодаря применению технологии trench, затвор расположен вертикально, что способствует существенному снижению площади ячейки. У транзисторов шестого

поколения площадь ячейки меньше по сравнению с предыдущими поколениями на 40%. Благодаря этому кристалл становится более компактным или существенно возрастает ток транзистора (до 60%) при равной площади кристалла. У вертикального затвора, в отличие от планарного, отсутствуют горизонтальные участки протекания тока. Ток течет к коллектору по кратчайшему пути, что обеспечивает снижение потерь на проводимость. В этом отношении транзисторы IR схожи с аналогами других производителей, но отличаются от них тем, что обладают более высокой комплексной эффективностью. А благодаря самому низкому уровню потерь всех видов, Trench IGBT занимают первое место и среди IGBT, производимых компаниями.

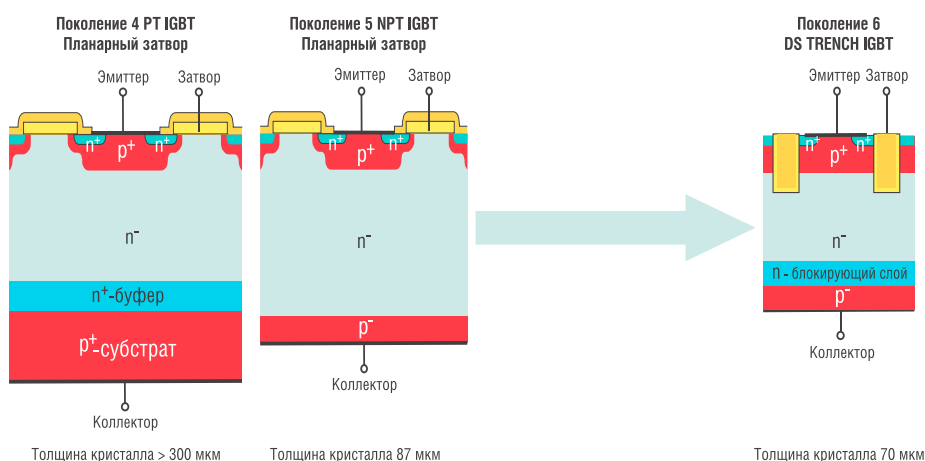


Рис. 1. Эволюция кристалла IGBT

# International IR Rectifier

**Высоковольтные драйверы сверхъярких светодиодов от IR** Возможными приложениями для этих драйверов являются архитектурная и декоративная подсветка, цветомузыка, наружная и внутренняя сигнализация. Нормированные на напряжение 200 и 600 В ИС серии **IRS254x** содержат понижающий гистерезисный регулятор с задержкой для управления средним значением тока с погрешностью не более 5% на основе точной оценки разницы между текущим напряжением и максимально допустимым напряжением. Внешний бутстрепный контур верхнего уровня управляет работой ключевого обратногоходового каскада на частотах до 500 кГц. Драйвер нижнего уровня используется при работе синхронного выпрямителя.

ИС серии **IRS254x** компенсируют вариации параметров светодиодов для реализации устройств управления с повышенной точностью и высокой внутренней стабильностью. Новые ИС обеспечивают микромощный режим старта с потреблением менее 500 мкА и паузу на переключение 140 нс. Другими особенностями новых драйверов являются режим рестарта, выключение без защелки, возможности реализации ШИМ-димминга. Микросхемы выпускаются в компактных 8-выводных бесвинтовых DIP- и SOIC-корпусах. Возможна поставка приборов на ленте.

Самое низкое падение на транзисторе в открытом состоянии позволяет рекомендовать их в качестве наиболее эффективных приборов для приложений, где потери на проводимость являются преваляющим фактором.

Вследствие расширения диапазона рабочих частот ШИМ, учет потерь на переключение в транзисторах при проектировании современных импульсных источников питания и электропривода играет не меньшую роль, чем учет потерь на проводимость. До последнего времени предлагаемые на рынке Trench IGBT по этому показателю

уступали NPT IGBT по потерям на переключение и по их суммарной мощности. Trench IGBT 6-го поколения производства IR разрабатывались так, чтобы все составляющие потерь на переключение были лучше, чем у предшественников. Энергия включения у них до 25% ниже, чем у PT IGBT поколения 4 и NPT IGBT поколения 5 во всем диапазоне токов коллектора. Основная доля в балансе потерь на переключение, благодаря наличию так называемого «хвоста», приходится на процесс выключения IGBT. У новых Trench IGBT путем уменьшения длины «хвоста» удалось сделать траекторию переключения более плавной, чем у NPT IGBT. Благодаря этому энергия выключения стала ниже на 10...20%, чем у NPT IGBT. Благодаря перечисленным преимуществам, а также более низкому заряду затвора (потери на управление), с появлением новых Trench IGBT отпала необходимость применять широкую номенклатуру транзисторов различных частотных диапазонов, оптимизированных для узкоспециализированных задач. То есть новые транзисторы являются универсальным средством решения широкого круга проблем.

Жесткие современные ограничения мощности помех, генерируемых преобразовательными устройствами, делают это показателем одним из самых актуальных. Низкий уровень излучаемых помех позволяет применять менее дорогие и более компактные сетевые фильтры, то есть понизить стоимость изделия. Уровень помех определяется плавностью изменения тока в режиме выключения на хвостовом участке.

Благодаря более компактным размерам ячейки и пониженным потерям, нагрузочная способность по току для кристалла с площадью, равной площади кристалла с планарным затвором, может повышаться до 60%. Более высокая токовая отдача Trench IGBT позволяет помещать кристаллы в компактные и менее дорогие корпуса транзисторов.

По устойчивости к ложному переключению Trench IGBT 6-го поколения занимают промежуточное положение между PT IGBT и NPT

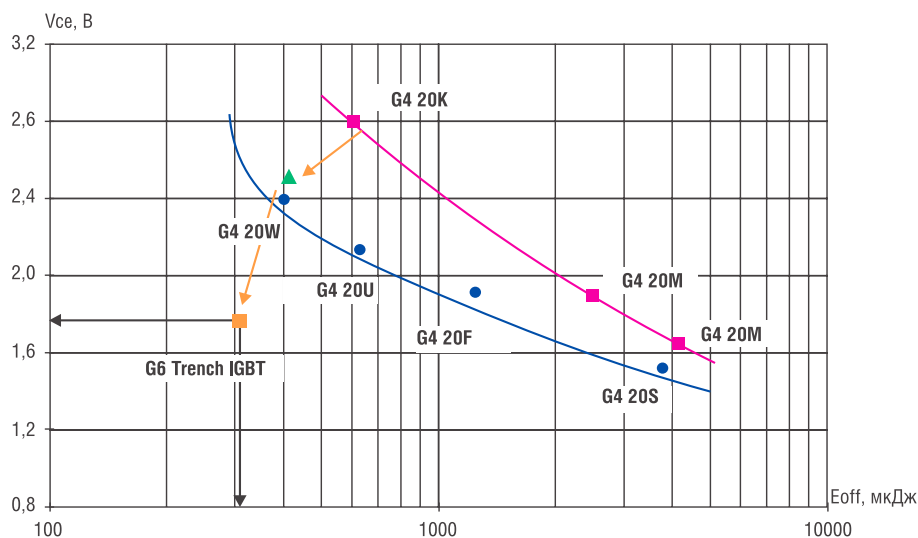


Рис. 2. Эволюция комплексной эффективности поколений IGBT

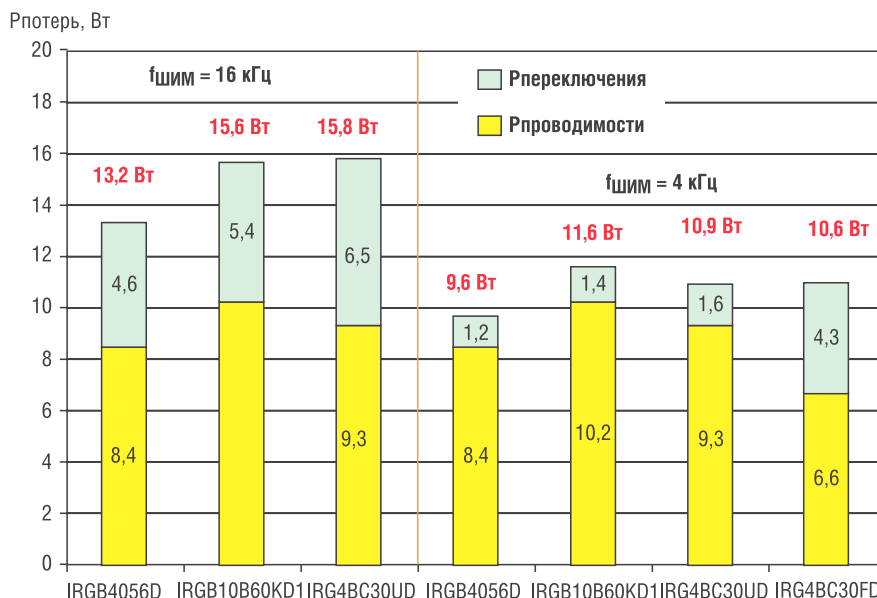


Рис. 3. Сравнение структуры потерь мощности инвертора при различных частотах ШИМ

IGBT. Паразитного включения Trench IGBT не происходит при скорости нарастания напряжения (dV/dt) 6...10 кВ/мкс в зависимости от тока коллектора, что выше, чем у NPT IGBT (4...8 кВ/мкс) но уступает PT IGBT (10...15 кВ/мкс). Аналогично новые транзисторы занимают промежуточное положение по устойчивости к паразитному выключению вследствие высокой скорости изменения тока (dI/dt). Для Trench IGBT граничная величина dI/dt равна 650 А/мкс, что близко к PT IGBT (700 А/мкс) и выше чем у NPT IGBT (350 А/мкс).

Еще одной важной особенностью IGBT является чувстви-

тельность к минимальной длительности импульса отпирания. Trench IGBT, как и PT IGBT четвертого поколения, способны полностью переключиться при длительности управляющего импульса менее 1 мкс. Для уверенного переключения NPT IGBT требуются импульсы длительностью более 1 мкс.

Все Trench IGBT способны выдерживать режим короткого замыкания до 5 мкс. Они нормируются на устойчивость к короткому замыканию в течение 5 мкс при отношении тока короткого замыкания к номинальному току, равном четырем. У NPT IGBT и PT IGBT это отношение составляет десять.

Таблица 1. Номенклатура Trench IGBT поколения 6

Типономинал	Корпус	Vces, В	Vce(on), В тип/макс	Ic, А 25°C/100°C	Icm, А	Pd, Вт 25С	Qgтип, нК	Eon, мкДж	Eoff, мкДж
IRGB4045DPBF	TO-220AB	600	1,7/2,00	12/6	20	77	13	56	122
IRGB4056DPBF	TO-220AB	600	1,55/1,85	24/12	48	140	25	75	225
IRGB4059DPBF	TO-220AB	600	1,75/2,05	8/4	16	56	9	35	75
IRGB4060DPBF	TO-220AB	600	1,55/1,85	16/8	32	99	19	70	145
IRGB4061DPBF	TO-220AB	600	1,65/1,95	36/18	72	206	35	95	350
IRGI4061DPBF	TO-220 FullPak	600	1,35/1,59	20/11	40	43	35	95	350
IRGP4062DPBF	TO-247AC	600	1,6/1,95	48/24	96	250	50	115	600
IRGP4063DPBF	TO-247AC	600	1,65/2,14	96/48	192	330	95	625	1275
IRGB4064DPBF	TO-220AB	600	1,6/1,91	20/10	40	101	21	29	200
IRGP4068D-EPBF	TO-247AC	600	1,65/2,14	96/48	192	330	95		1275
IRGP4068DPBF	TO-247AC	600	1,65/2,14	96/48	192	330	95		1275

Таблица 2. Возможные замены PT IGBT, NPT IGBT на Trench IGBT

Поколение 6		Поколение 5	Поколение 4		
Trench IGBT	Ic, А Tc = 100°C	NPT IGBT	PT IGBT		
IRGB4059DPBF	4,0	IRGB4B60KD1	IRG4BC10SD IRG4BC10KD		
		IRGB6B60KD	IRG4BC15MD IRG4BC15UD		
IRGB4060DPBF	8,0	IRGB8B60K	IRG4BC20SD IRG4BC20FD IRG4BC20MD IRG4BC20UD IRG4BC20KD		
			IRGB10B60KD	IRG4B30SD IRG4B30FD IRG4B30MD	
				IRGB15B60KD	IRG4BC30UD IRG4BC30KD
					IRGB15B60KD
				IRGB4062DPBF	
IRGB4063DPBF	48,0	IRGP30B60KD-E	IRG4PC50FD		

Для разработчиков преобразовательной техники наибольший интерес представляет то, как все перечисленные преимущества реализуются в росте эффективности инвертора.

Структура потерь мощности инвертора, используемого в электроприводе (рис. 3), указывает на то, что с Trench IGBT могут конкурировать «быстрые» IGBT четвертого поколения, но только на стандартной промышленной частоте ШИМ 4 кГц и ниже, и только по потерям на проводимость. При этом они проигрывают по балансу потерь мощности за счет более высоких потерь на переключение.

### Номенклатура Trench IGBT IR и рекомендации по замене транзисторов предыдущих поколений

Семейство DS Trench IGBT производства IR (поколения 6) поставляется в настоящее время в виде кристаллов и в стандартных корпусах. Характеристики транзисторов специфицированы при температурах кристалла вплоть до 175°C. Транзисторы нормированы на максимальное напряжение «коллектор-эмиттер» 600 В и выпускаются для диапазона токов коллектора Ic от 4 А до 48 А при температуре корпуса 100°C. Все транзисторы специфицированы на устойчивость к короткому замыканию в течение 5 мкс. Все корпусированные приборы выполнены по схеме Co-Pack (имеют встроенный антипараллельный ультрабыстрый диод). Новые транзисторы отличаются низкой полной энергией потерь Ets и низким падением напряжения. Пороговое напряжение отпирающего затвора находится в

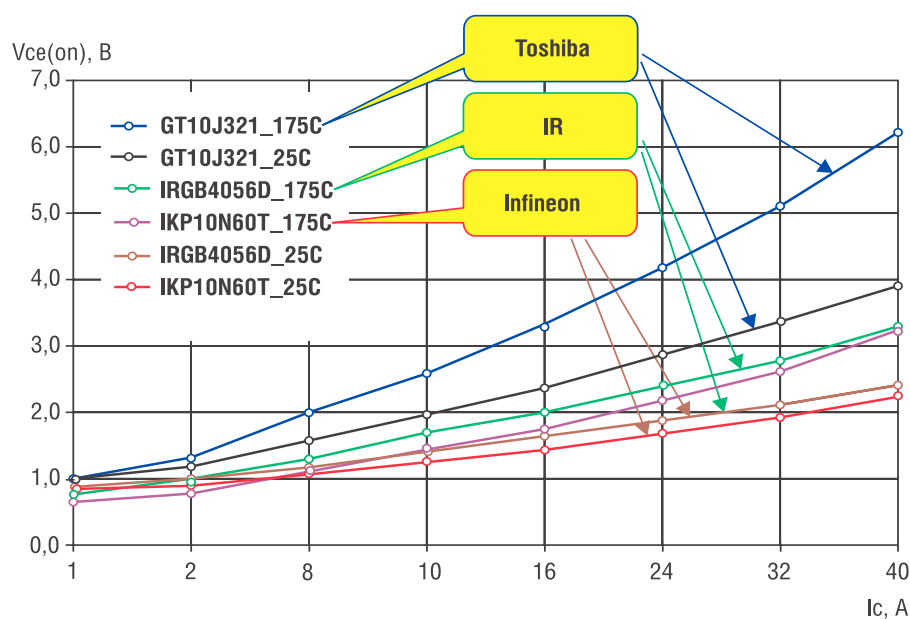


Рис. 4. Сравнение падения напряжения насыщения IGBT различных производителей

Таблица 3. Возможные замены PT IGBT, NPT IGBT на Trench IGBT

Производитель	Ic, А Tc = 100°C	Vdc = 400 В, Ic = 10 А, Rg = 68 Ом, Tj = 150°C							
		Типономинал	Td(on), нс	Tg, нс	Eon, мкДж	Tdoff, нс	Tf, нс	Eoff, мкДж	Ets, мкДж
Infineon	10,0	IKP10N60T	30	22	224	393	31	350	574
IR	12,0	IRGB4056D	41	26	265	170	20	255	520
Toshiba	10,0	GT10J321	64	45	368	355	20	306	674

Таблица 4. Сравнение параметров затвора Trench IGBT

Vdc = 400 В, Ic = 10 А, Tj = 25°C					
Производитель	Типономинал	Qgs, нК	Qgd, нК	Qgs/Qgd	Qg, нК
Infineon	IKP10N60T	2	35	0,06	62
IR	IRGB4056D	6	11	0,54	30

Таблица 5. Номенклатура PDP Trench IGBT

Типономинал	Корпус	Vces, В	Vce(on), В typ/max	Ic, А 25°C/100°C	Pd, Вт 25°C	Qg, нК typ	Epulse, мкДж	Irp, А
IRGP4050	TO-247AC	250	1,64/1,90	104/56	330	230		
IRGI4055PBF	TO-220 FullPak	300	1,25/1,45	28/14	39	62	975	205
IRGI4065PBF	TO-220 FullPak	300	1,10/1,35	36/18	46	62	975	205
IRGB4065PBF	TO-220AB	300	1,75/2,10	70/40	178	62	975	205
IRGP4065DPBF	TO-247AC	300	1,75/2,10	70/40	160	62	975	205
IRGP4065PBF	TO-247AC	300	1,75/2,10	70/40	178	62	975	205
IRGS4065PBF	D2-Pak	300	1,75/2,10	70/40	178	62	965	205
IRGB4055PBF	TO-220AB	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270
IRGP4055DPBF	TO-247AC	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270
IRGP4055PBF	TO-247AC	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270
IRGS4055PBF	D2-Pak	300	1,70/2,10	110/60	255	132	915	270

диапазоне 4...6,5 В. Все транзисторы выпускаются в бессвинцовом исполнении. Краткие технические характеристики устройств даны в таблице 1.

Trench IGBT 6 поколения, как и NPT IGBT, имеют прямоугольную зону безопасной работы. Антипараллельный сверхбыстрый диод специфицирован на токи, равноценные токам транзистора, что важно при использовании транзисторов в инверторах электропривода. Благодаря более низким потерям на переключение, они могут работать в более широком диапазоне частот ШИМ, чем транзисторы предыдущих поколений (до 30 кГц). Почти все перечисленные в таблице транзисторы универсальны. Они являются эффективной альтернативой в электроприводе и источниках питания как приборам NPT IGBT, так и приборам PT IGBT любого частотного диапазона — от низкочастотных до WARP. Характеристики транзисторов IRGP4068DPBF и IRGP4068D-EPBF оптимизирова-

ны для применения в резонансных источниках питания устройств индукционного нагрева (промышленных и бытовых). Возможные варианты замен транзисторов предыдущих поколений представлены в таблице 2.

### Сравнение Trench IGBT IR с аналогами других производителей

При проектировании нового поколения транзисторов компанией IR был учтен опыт других производителей с целью создания конкурентоспособной продукции.

По потерям на проводимость (пропорциональным Vce(on)) транзисторы IR уступают Infineon на 10-15%, но превосходят транзисторы Toshiba почти на 50% (рис. 4).

Что касается динамических потерь, то за счет большего времени задержки при включении Td и времени нарастания при включении Tg у транзисторов IR потери мощности на включение Eon примерно на 15% выше, чем у тран-

зисторов Infineon. Однако транзистор IR имеет в 2,3 раза более короткое время задержки при выключении Tdoff и на 50% более короткий «хвост» Tf, вследствие чего потери на выключение Eoff на 37% ниже. Поэтому полные потери на переключение Ets у транзисторов IR примерно на 10% ниже, чем у Infineon. По отношению к транзисторам Toshiba транзистор IR имеет преимущество как по всем составляющим потерь на переключение, так и по суммарной мощности потерь (до 30%).

Импульсный ток транзисторов Infineon ниже, чем у IR (кратность 3 и 4 соответственно).

Еще одной немаловажной характеристикой транзистора являются параметры затвора. От них зависят и мощность потерь на управление транзистором (стоимость реализации драйвера затвора), и опасность паразитного включения (усложнение схемы драйвера и повышение его стоимости). Результаты сравнения этих параметров приведены в таблице 4.

Транзисторы IR имеют вдвое более низкую мощность управления, отношение заряда «затвор-исток»  $Q_{gs}$  к заряду «затвор-сток»  $Q_{gd}$  у них несоизмеримо выше. Со снижением этого отношения вероятность паразитного включения (возможного отказа схемы) возрастает. Таким образом, транзисторы IR являются эффективной заменой продукции Toshiba во всех типах приложений, а транзисторы Infineon они могут заменить в приложениях, где важен, в первую очередь, полный баланс потерь или уровень потерь на переключение.

### PDP Trench IGBT IR

Транзисторы этого типа оптимизированы для применения в устройствах управления плазменными панелями. В силу особенностей плазменных панелей, представляющих собой с точки зрения управления емкостную нагрузку, ключевые приборы для таких устройств должны быстро включаться, обеспечивать высокие импульсные токи и иметь низкое падение

напряжения в открытом состоянии. Они могут быть нормированы на напряжение не выше 300 В. Номенклатура этого семейства IGBT представлена в таблице 5.

Параметр  $V_{ce(on)}$  в таблице представлен для максимального тока коллектора. В справочных листах он приведен для различных токов, и величина  $V_{ce(on)}$  может быть существенно ниже. Особенностью работы PDP IGBT объясняется появление в таблице и справочных листах специфических параметров  $E_{pulse}$  и  $I_{gr}$ .

$E_{pulse}$  характеризует энергию импульса тока, суммирующую потери проводимости и потери на включение. В справочных листах приведена ее зависимость от пикового тока коллектора. Умножив ее на количество импульсов в секунду, можно вычислить мощность, рассеиваемую в ключе. Например, у транзистора IRGB4055PBF энергия  $E_{pulse}$  равна 380 мкДж при токе 160 А. При частоте 10000 импульсов в секунду потери мощности на транзисторе составят 3,8 Вт. PDP IGBT оптимизированы

так, что  $E_{pulse}$  у них минимальна (в первую очередь благодаря очень низкому  $V_{ce(on)}$ ). Другой важной особенностью оптимизированных транзисторов является возможность обеспечивать высокие повторяющиеся пиковые токи коллектора (параметр  $I_{gr}$ ). Для этого в справочные листы введена зависимость  $I_{gr}$  от температуры корпуса. И, наконец, важной особенностью новых транзисторов является их устойчивость к паразитному включению, что обеспечивает низкую вероятность сквозных токов в стойке. Хотя транзисторы этого семейства оптимизированы для применения в плазменных панелях, но благодаря низким потерям проводимости и высоким импульсным токам они могут быть использованы в различных преобразовательных устройствах (источниках питания, электроприводе и т.д.).

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: [power.vesti@compel.ru](mailto:power.vesti@compel.ru).