

Мощные и эффективные IGBT седьмого поколения от IR

В статье представлена линейка 7-го поколения IGBT-транзисторов компании International Rectifier. Эти транзисторы найдут свое применение в приборах современной силовой электроники, где важны частотные характеристики и низкие потери проводимости.

Александр Донцов

I^GBT-транзисторы применяются в высоковольтных приборах, таких как сварочные аппараты, корректоры коэффициента мощности, инверторы, драйверы электродвигателей. Компания International Rectifier (IR), один из ведущих разработчиков и производителей силовых полупроводни-

ковых компонентов, предлагает новое (седьмое — G7/Gen7) поколение IGBT-транзисторов [1].

Основной особенностью IGBT-транзисторов является линейная зависимость потерь проводимости от тока, в отличие от MOSFET, имеющих квадратичную форму зависимости. Поэтому IGBT предпочтительнее применять в мощных высоковольтных приборах, что демонстрируют графики, приведенные на рис. 1. Уменьшению потерь проводимости в IGBT способствует также снижение значений параметра $V_{ce(on)}$, являющегося эквивалентом сопротивления канала MOSFET, с увеличением тока, протекающего через транзистор [2].

Здесь следует заметить, что IGBT-транзисторы являются низкочастотными приборами и проигрывают MOSFET по быстродействию. В отличие от MOSFET, способных работать на частоте в несколько мегагерц, рабочая частота IGBT не превышает 150 кГц (некоторые модели способны работать на частоте до 200 кГц.) На рис. 2 видно, что на частоте менее 10 кГц IGBT обеспечивает более высокий рабочий ток, чем MOSFET, при том же размере кристалла. Обычно IGBT имеют более высокую производительность при напряжении выше 300 В.

В настоящее время IR выпускает IGBT-транзисторы на базе различных технологий, представленных на рис. 3. Использование передовых технологий производства позволяет добиться высокого качества и требуемого соотношения основных параметров транзисторов, что определяет их области применения. С каждым новым поколением улучшаются характеристики компонентов, уменьшается время переключения транзистора и потери на проводимость. Переход от компонентов поколения G4, изготавливаемых по планарной РТ-технологии (punch-through), к компонентам G5, изготавливаемым по NPT-технологии (non-punch-through), сопровождается 55%-ным уменьшением потерь на переключение (параметр E_{tr}) и увеличением потерь проводимости до 1,5 раза. Таким образом, транзисторы G5 больше подходят для применения в схемах с более высокой рабочей частотой, чем G4, но менее пригодны в приложениях, где потери проводимости являются решающим фактором.

Все последующие поколения IGBT-транзисторов не являются планарными и выполняются

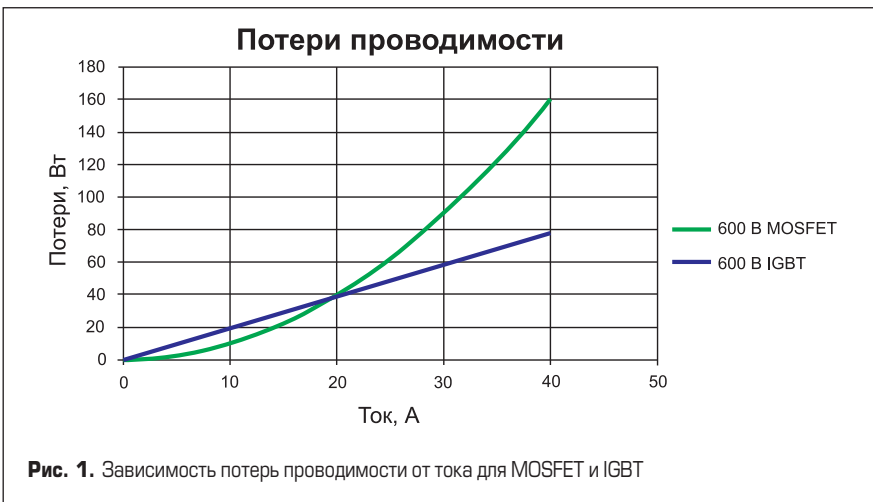


Рис. 1. Зависимость потерь проводимости от тока для MOSFET и IGBT

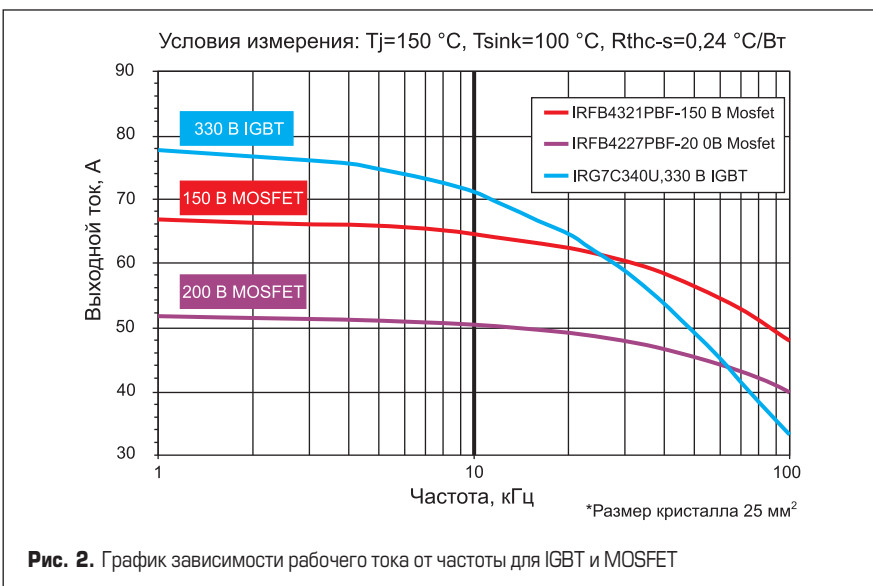


Рис. 2. График зависимости рабочего тока от частоты для IGBT и MOSFET

по Trench-технологии, при которой затвор транзистора формируется в специальной протравленной канавке. Новые технологии FS (Field Stop) Trench (поколение 6, G6) и Epi-Trench (поколение 7, G7) позволили создать IGBT, которые совмещают в себе достоинства предыдущих моделей и обладают низким значением E_{ts} без увеличения потерь проводимости. Кроме того, падение рабочего тока транзистора с увеличением рабочей частоты у транзисторов G7 выражено не так сильно, как у приборов предыдущих поколений или у IGBT-транзисторов других производителей.

Новое поколение — Gen7

Компания IR постоянно совершенствует IGBT, не только улучшая характеристики кристаллов, но и внедряя передовые технологии корпусирования транзисторов. Новые IGBT изготовлены на основе ультратонких пластин по технологии FS Trench. Совмещенные в одном корпусе с антипараллельным диодом, который имеет мягкий режим восстановления и низкое значение заряда обратного восстановления (Q_{rr}), и обладающие широкой (>10 мкс) зоной безопасной работы в режиме короткого замыкания, эти транзисторы подходят для работы в жестких промышленных условиях. Новое семейство IGBT перекрывает рабочий диапазон токов от 10 до 130 А.

Дополнительные достоинства транзисторов этого семейства — высокая максимальная рабочая температура $p-n$ -перехода (+150 °C) и положительная температурная зависимость параметра $V_{ce(on)}$, что облегчает их применение при параллельном включении. Все это позволяет снизить рассеиваемую мощность и достигнуть высокой плотности выходной мощности.

Транзисторы выпускаются в стандартных корпусах TO-247, корпусах TO-247 с удлиненными выводами (TO-247AD long lead), а также в мощном корпусе Super-247 (TO-274).

Основными областями применения IGBT-транзисторов седьмого поколения являются

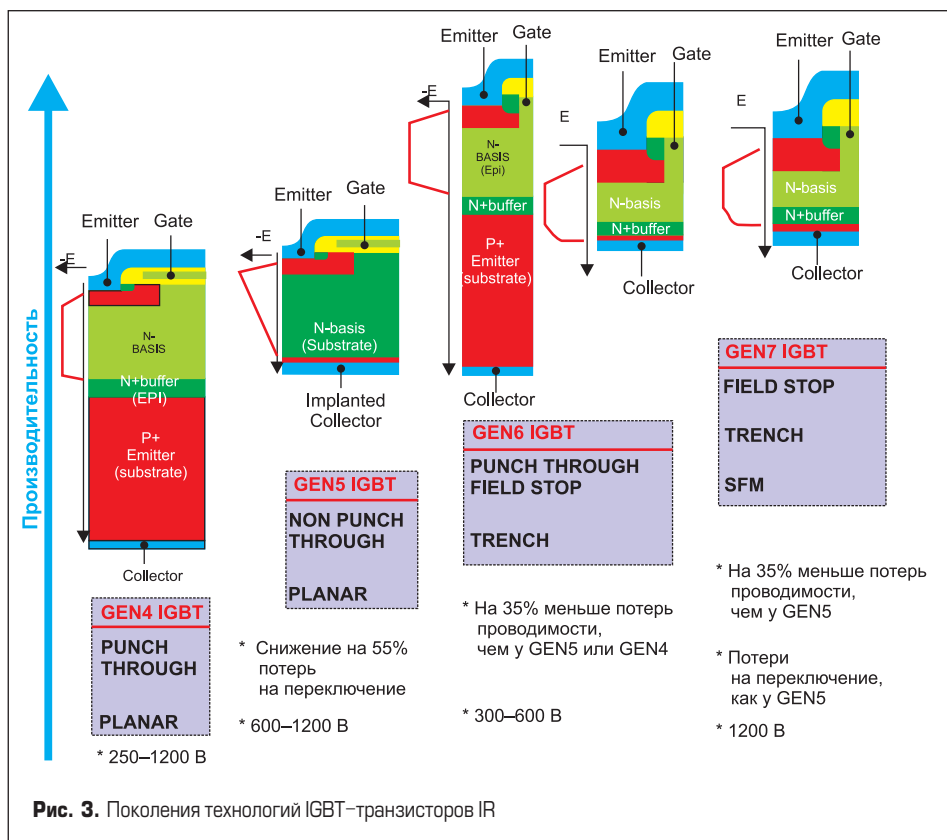


Рис. 3. Поколения технологий IGBT-транзисторов IR

корректоры коэффициента мощности, инверторы, драйверы моторов и сварочные аппараты. В таблице 1 показаны представители седьмого поколения IGBT IR. В настоящее время IGBT Gen7 рассчитаны только на напряжение 1200 В. Все транзисторы этой категории являются ультрабыстрыми.

Компоненты с маркировкой K10 подходят для управления электроприводом. Индекс «K» означает способность транзистора сохранять работоспособность при коротком замыкании (Sort Circuit Safe Operation Area, SCSOA). Этот термин введен компанией IR для транзисторов, которые имеют дополнительную защиту против короткого замыкания. Это свойство очень полезно при работе транзисторов на удаленную индуктивную нагрузку (электродвигатель). В этих услови-

ях длинные линии подвержены воздействию внешних помех, а случайные механические повреждения могут привести к короткому замыканию выводов транзистора.

Самым мощным представителем этих транзисторов является IRG7PSH73K10. Этот компонент имеет широкую область безопасной работы в режиме короткого замыкания, что позволяет ему выдерживать ток КЗ без разрушения кремниевой структуры и ухудшения рабочих характеристик в течение 10 мкс и обеспечивает рабочий ток до 130 А при $T_c = 100$ °C. Совокупность указанных параметров делает чрезвычайно эффективным применение этого транзистора в системах управления мощными двигателями, индукционных печах, сварочных аппаратах и других высоковольтных инверторах [3].

Таблица 1. Линейка IGBT-транзисторов Gen7 от IR

Наименование	Конфигурация	I_c , А (100 °C)	V_{ce-on} , В (тип.)	Частота, кГц	T_{scf} , мкс	E_{tsf} , мДж (тип.)	V_{fr} , В (тип.)	Корпус	
IRG7PH30K10	Дискретный транзистор	23	2,05	8–30	0	0,91	-	TO-247	
IRG7PH35U		35	1,9			1,68			
IRG7PH42U		60	1,7			3,29			
IRG7PH46U		75	1,7			4,45			
IRG7PH50U		90	1,7			5,8			
IRG7PSH73K10		130	2			12,3			TO-274
IRG7PH28UD1	Транзистор со встроенным диодом	18	1,9	8–30	0	0,9	1,15	TO-247	
IRG7PH30K10D		16	2,05			0,91	2		
IRG7PH35UD		25	1,9			1,68	2,8		
IRG7PH35UD1		25	1,9			1,15	1,15		
IRG7PH37K10D		25	1,9			1,6	2,4		
IRG7PH42UD		40	1,7			2	2		
IRG7PH42UD1		45	1,7			3,29	1,15		
IRG7PH42UD2		30	1,69			1,08	1,08		
IRG7PH44K10D		40	1,9			3,4	2,4		
IRG7PH46UD		57	1,7			4,45	3,1		
IRG7PH50K10D		50	1,9			4,2	2,4		
IRG7PSH50UD		70	1,7			5,8	3		
IRG7PSH54K10D		75	1,9			11,5	2,1		TO-274

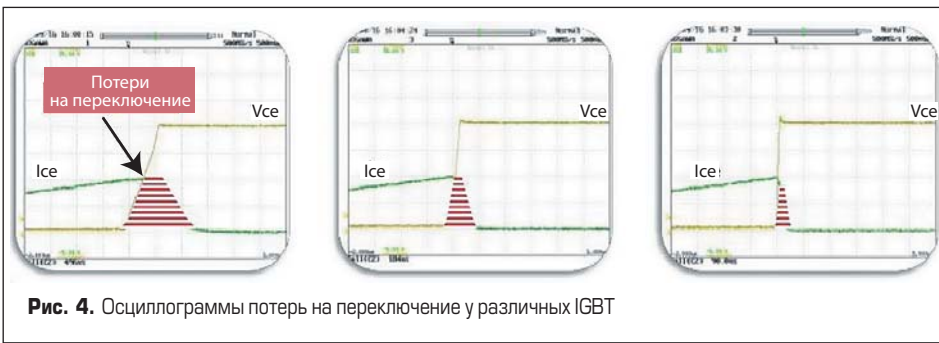


Рис. 4. Осциллограммы потерь на переключение у различных IGBT

Скоростные характеристики транзисторов Gen7

Как было отмечено выше, IGBT-транзисторы являются низкочастотными полупроводниковыми приборами с рабочей частотой до 200 кГц. Повышение рабочей частоты приводит к увеличению динамических потерь в транзисторе, что обусловлено энергией переключения транзистора, то есть энергией, которую необходимо передать транзистору для обеспечения его полноценного открытия или закрытия. Этот процесс поясняет рис. 4.

Потери на переключение транзистора определяются площадью заштрихованной фигуры, которая получается за счет пересечения эюры тока (I_{ce}), протекающего через транзистор, с эюрой напряжения коллектор-эмиттер (V_{ce}). На осциллограммах видно, что в зависимости от области применения IGBT можно подобрать компоненты с оптимальными частотными характеристиками и свести к минимуму потери на переключение. Здесь нужно учитывать, что при уменьшении потерь на переключение возрастают потери проводимости. Все это приводит к тому, что IGBT-транзисторы, в отличие от MOSFET, имеют строгую классификацию по дина-

мическим характеристикам. Пример подобной классификации, применяемой компанией International Rectifier для своих IGBT-транзисторов, представлен в таблице 2.

Транзисторы, произведенные по технологиям Trench и Field-Stop, имеют очень низкие статические потери и быстрые кристаллы со скоростью переключения до 150 кГц при рабочем токе более 100 А.

Для маркировки транзисторов седьмого поколения компания IR разработала удобную и эффективную систему присвоения наименования (Part Number System), представленную на рис. 5.

Маркировка «К» при обозначении скорости транзистора означает не максимальную скорость коммутации транзистора, а указывает на наличие SCSOA-области работы транзистора, гарантирующей сохранение его работоспособности при коротком замыкании. Скоростные характеристики таких транзисторов соответствуют классу Ultrafast (ультрабыстрые).

Заключение

IGBT-транзисторы седьмого поколения компании International Rectifier предназначены для различных электрических схем промышленного и бытового назначения.

Таблица 2. Классификация транзисторов IGBT IR по быстродействию

Тип	F_{sw} , кГц	$V_{ce(on)}$, В	E_{Tst} , мДж
S – Standard (стандарт)	<1	1,2	6,95
F – Fast (быстрые)	1–8	1,4	2,96
U – Ultrafast (ультрабыстрые)	8–30	1,7	1,1
W – Warp (сверхбыстрые)	>30	2,05	0,34

Высокие технические характеристики и надежность дополняет привлекательная цена, что, естественно, должно склонять разработчиков к выбору этих транзисторов. Также нужно учитывать, что малое падение напряжения на транзисторе в открытом состоянии позволяет рекомендовать их в качестве наиболее эффективных решений для приложений, где потери на проводимость являются весомым фактором.

При проектировании нового поколения транзисторов International Rectifier был учтен опыт других производителей. Перед разработчиками компании стояла цель: создать конкурентоспособную продукцию. Поэтому новые компоненты найдут свое применение при модернизации уже существующих приборов: ими можно заменить аналогичные транзисторы других производителей.

Литература

1. www.irf.com/product-info/igbt/
2. www.irf.com/technical-info/whitepaper/apec11igbt.pdf
3. www.compel.ru/2013/02/20/irg7psh73k10-moshhnyiy-1200v-igbt-s-zashhitoy-ot-kz/#axzz2ewPBTDLz

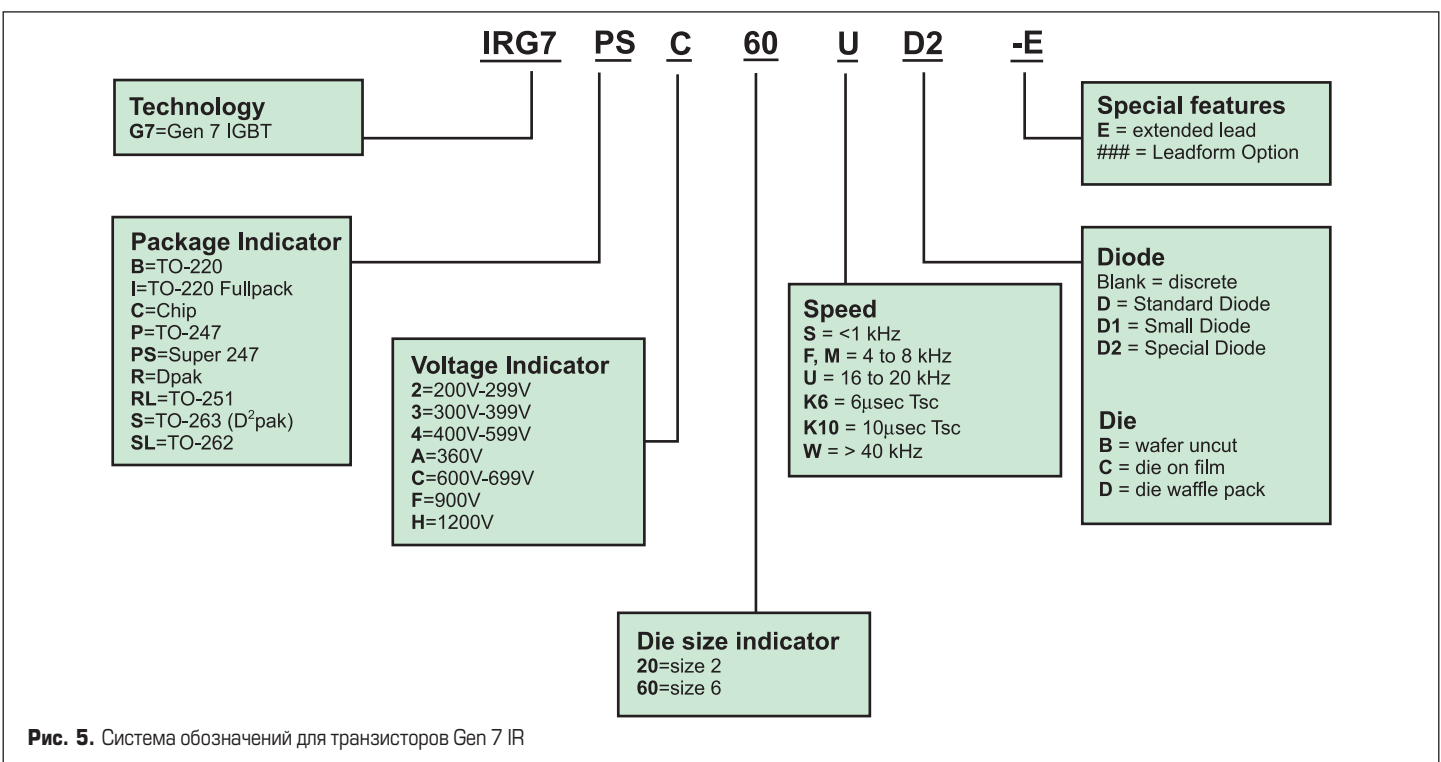


Рис. 5. Система обозначений для транзисторов Gen 7 IR