

GenX3 IGBT компании IXYS

Абдус Саттар
(Abdus Sattar)

Владимир Цуканов
(Vladimir Tsukanov)

Перевод: Иван Полянский

Развитие технологических процессов производства IGBT-транзисторов позволяет постоянно совершенствовать их параметры и снижать стоимость для конечного потребителя. Так, если сравнивать современные Trench Field Stop IGBT с изделиями 2–3-летней давности, то заметен существенный прогресс статических и динамических параметров. Но вместе с тем можно увидеть, что улучшение характеристик IGBT приводит к таким изменениям, как увеличение заряда затвора, снижение максимального напряжения на затворе и сужение области безопасной работы SCSOA. Разумеется, при проектировании все это потребует переработки защитных цепей схемы и создания дополнительных элементов безопасности, учитывающих влияние паразитных индуктивностей и ряда иных параметров.

Таким образом, проектирование высоконадежной техники на современной элементной базе потребует дополнительных затрат и новых элементов защиты, что отразится в итоговой стоимости изделия.

Новые XPT IGBT компании IXYS применяются именно в тех областях, где помимо хороших статических и динамических характеристик необходима и высокая надежность самих коммутирующих элементов. Вот почему именно четкое понимание механизмов, приводящих к выходу из строя IGBT-транзисторов в различных режимах эксплуатации, послужило основой для создания технологии XPT IGBT. Сегодня выпускается несколько семейств XPT IGBT (eXtremely light Punch Through): 600V XPT GenX3, 650V XPT GenX3, 650V XPT Trench GenX4, 900V XPT GenX3 и 1200V XPT GenX3 IGBT.

Поскольку XPT IGBT проектировались с учетом высоких требований к надежности, особенностями 600- и 650-В транзисторов являются:

- максимальная рабочая температура +175 °C и низкое тепловое сопротивление;
- «квадратная» область безопасной работы RBSOA и способность выдерживать большие значения

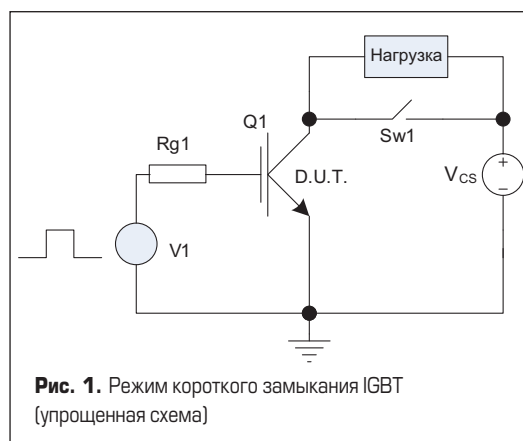


Рис. 1. Режим короткого замыкания IGBT (упрощенная схема)

лавинной энергии, в том числе при работе на индуктивную нагрузку;

- способность выдерживать короткое замыкание 10 мкс при температуре 150 °C и 360 В (SCSOA);
- положительный температурный коэффициент прямого падения напряжения dV_{cesat} и его малый разброс в партии;
- низкий заряд затвора и малая входная емкость при включении и выключении;
- низкое соотношение C_{res}/C_{ies} , что означает высокое допустимое напряжение на затворе при высоких рабочих температурах и малом сопротивлении затвора.

Для того чтобы продемонстрировать преимущества XPT IGBT, на примере семейства GenX3 рассмотрим особенности их применения в различных схемах.

Компания IXYS рекомендует разработчикам использовать эти транзисторы при температуре не выше 175 °C, что является максимально допустимой температурой кристалла. Если температура корпуса растет и приводит к повышению температуры кристалла до максимально допустимого уровня в течение длительного времени, это может вызвать необратимые изменения в элементах корпуса транзистора. Смысл максимально допустимой рабочей температуры 175 °C заключается в способности кристалла выдержать короткие импульсы мощности, приводящие к его разогреву до данной температуры, но не постоянный режим его работы. Тем не менее достичь данного максимального значения температуры удалось за счет снижения теплового сопротивления кристалла, возникшего из-за того, что транзисторы XPT IGBT выполнены по «тонкой» технологии с малой толщиной кристалла, что помогает им более эффективно отвести тепло на основание корпуса.

Широкая область безопасной работы RBSOA и способность подавлять выбросы напряжения добавляют надежности в режимах коммутации индуктивной нагрузки, когда при закрывании транзистора наблюдается высокий ток коллектора, а также в мостовых схемах. В данных приложениях транзисторы XPT IGBT способны работать при более высоких значениях di/dt и напряжении на коллекторе. Все это приводит к потенциальной возможности коммутации на более высоких частотах, при более высоких токах и выбросах напряжения или же упрощает проектирование защитных элементов схемы.

Наличие расширенной области безопасной работы при коротком замыкании SCSOA упрощает выбор временных параметров схемы защиты, что часто требуется в схемах управления электродвигателями при остановке ротора или же в преобразователях электроэнергии. Пример (рис. 1) показывает схему включения, когда короткое замыкание в нагрузке приводит к быстрому нарастанию тока коллектора IGBT.

По прошествии некоторого времени температура транзистора существенно увеличится под воздействием

Таблица 1. Сравнение транзисторов IXXH50N60C3D1 с IKW50N60H3 (компания Infineon)

IGBT-модуль, номер партии	Параметры, В/А при 25°С	$V_{CE(sat)}$, В	Q_G , нКл	t_{sc} SCSOA, мкс	C_{ies} , нКл	C_{gc}/C_{ge}	E_{AS} , мДж
IXXH50N60C3D1 Co-pack (TO-247)	600/100	2,3	64	10	2324	42/2278 = 0,0184	200
IKW50N60H3 Co-pack (TO-247)			315	5	2960	96/2864 = 0,0335	–

большой рассеиваемой мощности. Поэтому данный транзистор должен обладать возможностью коммутировать большой ток при одновременно высоком напряжении на коллекторе. Ключом к «выживанию» транзистора в таких условиях будет его способность выдержать большой ток на протяжении временного промежутка, необходимого схеме защиты для распознавания аварийной ситуации и выключения транзистора. GenX3 XPT IGBT обеспечивают 10 мкс короткого замыкания, что является достаточно консервативным значением на фоне других технологий, предлагающих лишь 5 мкс. При этом физически данная технология обеспечивает время короткого замыкания 20 мкс, что объясняет, почему IXYS не ограничивает количество циклов КЗ в процессе эксплуатации транзисторов. Максимальный ток ограничения короткого замыкания GenX3 XPT IGBT существенно ниже, чем у транзисторов Trench Field Stop, и мы не ожидаем изменений каких-либо их параметров даже после десятков тысяч циклов КЗ.

В то же время расширенная область безопасной работы FBSOA обеспечивает более высокую надежность в момент включения транзистора, когда особенно критично действие схемы управления и возможны ситуации, приводящие к снижению напряжения на затворе.

Положительный температурный коэффициент dV_{cesat}/dT и малый разброс этого параметра в партиях позволяет легко включать данные транзисторы в параллель. Применение обратных диодов, выполненных по технологии SONIC, упрощает процесс, поскольку данные диоды обладают положительным температурным коэффициентом dV_f/dT даже при сравнительно малом протекающем токе.

GenX3 IGBT имеют меньший заряд затвора Q_g и входную емкость C_{ies} по сравнению с Trench Field Stop IGBT (табл. 1). Меньшие значения указанных параметров обеспечивают сокращение времени задержки переключения, что упрощает проектирование драйвера управления в высокочастотных схемах и уменьшает влияние паразитных индуктивностей в цепях управления.

Малая величина емкости Миллера и емкости «затвор-эмиттер» в совокупности с высоким допустимым напряжением управления на затворе и низким собственным сопротивлением затвора обеспечивают транзисторам высокую устойчивость к скорости изменения напряжения dV_{ce}/dt и позволяют эффективно применять их при наличии помех, а также упрощать защитные цепи и делают их более устойчивыми к паразитному включению внешними воздействиями.

Технология GenX3 IGBT компании IXYS соответствует ведущим мировым стандартам производства IGBT и дополнена собственными разработ-

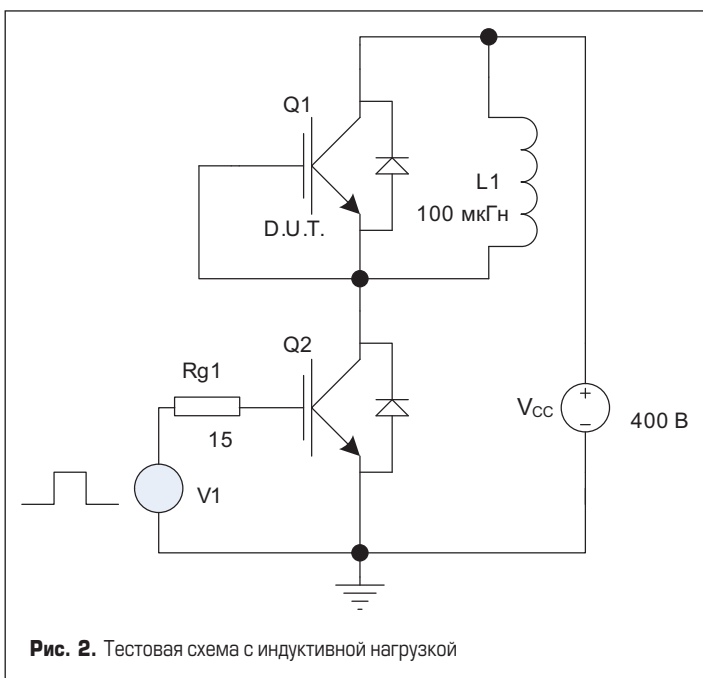


Рис. 2. Тестовая схема с индуктивной нагрузкой

ками в области топологии кристаллов и технологическими процессами. Данное семейство IGBT будет активно развиваться в ближайшее время.

Сегодня транзисторы GenX3 IGBT представлены в ряде модификаций для разных мощностей и скорости переключения (версии В и С), как в стандартных промышленных корпусах, так и в уникальных корпусах IXYS, в конфигурации со встроенным обратным диодом и без него. Вы легко сможете выбрать ключ с нужными параметрами динамических и статических потерь, скорости и характеристики восстановления обратного диода. Новые IGBT GenX3 могут быть определены по маркировке IXX — третья буква «X» указывает на принадлежность компонента к новому семейству. Дискретные транзисторы ориентированы на применение на частотах 5–30 кГц (серия В) и 30–60 кГц (серия С).

Сравнение с Trench Field Stop IGBT

В таблице 1 представлены параметры транзистора IXXH50N60C3D1 компании IXYS и транзистора IKW50N60H3 компании Infineon, сравнение характеристик сделано на основании официальной документации.

В таблице приведены параметры напряжения, тока, прямого падения напряжения, заряда затвора Q_g , области безопасной работы при КЗ и входная емкость транзистора C_{ies} . Среди прочих транзисторов данные IGBT наиболее близки также по размеру кристалла. Очевидно, что IXXH50N60C3 демонстрирует существенно более низкий заряд затвора, что приводит к меньшим потерям переключения. Возможность повышения скорости переключения транзистора определяется способностью установить нужный уровень напряжения на затворе, обладающем собственной емкостью $C_{ies} = C_{ge} + C_{gc}$. Таким образом, транзистор XPT IGBT обеспечивает более высокое быстродействие.

На рис. 2 показана упрощенная тестовая схема для испытаний с индуктивной нагрузкой. На рис. 3 представлены осциллограммы

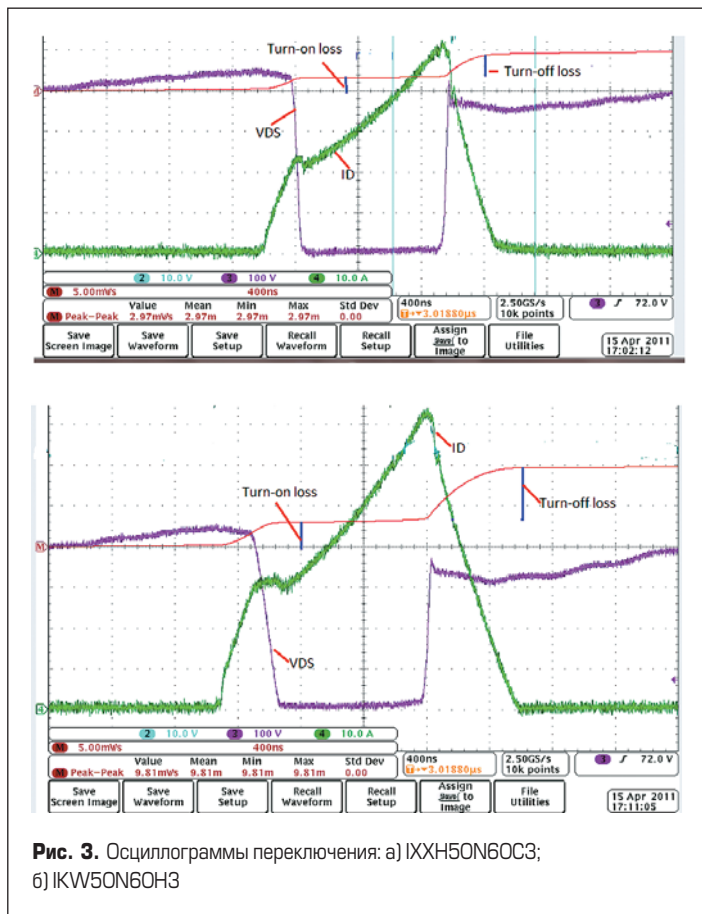


Рис. 3. Осциллограммы переключения: а) IXXH50N60C3; б) IKW50N60H3

Таблица 2. Потери в схеме с индуктивной нагрузкой IXXH50N60C3D1 и IKW50N60H3

Параметры измерения: $R_g = 5 \text{ Ом}$, $V_{CC} = 400 \text{ В}$, $I_c = 50 \text{ А}$, $L_1 \sim 100 \text{ мкГн}$							
Модуль	Turn-Off Delay Time $T_{d(off)}$, нс	Fall Time T_{fr} , нс	Turn-On Delay Time $T_{d(on)}$, нс	Rise Time T_{rr} , нс	Turn-Off Energy Loss E_{off} , мДж	Turn-On Energy Loss E_{on} , мДж	Total Energy Loss $E_{on} + E_{off}$, мДж
25 °C							
IXXH50N60C3D1	68	34	28	53	0,43	0,91	1,340
IKW50N60H3	225	30	32	50	0,485	0,93	1,415
125 °C							
IXXH50N60C3D1	76	30	27	51	0,515	1,4	1,915
IKW50N60H3	242	27	30	41	0,5	1,77	2,270

переключения. Все тесты проводятся при одинаковых параметрах: $V_{cc} = 400 \text{ В}$, $I_d = 50 \text{ А}$, $V_{gs} = 15 \text{ В}$ и индуктивность $L_1 = 100 \text{ мкГн}$.

В таблицу 2 сведены результаты данного теста: параметры включения и выключения IGBT при температуре 25 и 125 °C. Так, при температуре 25 °C суммарные потери IXXH50N60C3D1 составили 1,340 мДж, в то время как IKW50N60H3 — 1,415 мДж. При температуре 125 °C суммарные потери IXXH50N60C3D1 оказались равны 1,915 мДж, а IKW50N60H3 — 2,270 мДж. В режиме жесткой коммутации с индуктивной нагрузкой потери на включение превышают потери при закрывании транзистора, даже без учета потерь на закрывание обратного диода, которые возникают в момент включения. При этом причина потерь в момент включения объясняется присутствием MOSFET-структуры. Это означает, что быстрый драйвер управления может существенно снизить потери при включении IGBT. С другой стороны, потери при закрывании IGBT определяются зарядом, накопленным в структуре, что является причиной «затягивания» di/dt и dV/dt , а также наличием типичного для IGBT «хвоста» тока. Итоговое сравнение транзисторов по совокупности параметров включения и выключения показывает превосходство IXXH50N60C3D1.

Возможные применения

Выбор оптимального IGBT для конкретного приложения может занять достаточно много времени. В реальных приложениях IGBT могут испытывать перегрузки короткого замыкания или закрывания при подключенной индуктивной нагрузке. Область безопасной работы в режиме короткого замыкания SCSOA определяется областью безопасной работы при прямом токе (FBSOA) и областью безопасной работы при обратном токе RBSOA, что характерно для закрывания при индуктивной нагрузке. Способность транзистора выдерживать данные перегрузки и будет определять его надежность в конкретном проекте.

GenX3 IGBT оптимизированы с точки зрения минимизации потерь, увеличения эффективности преобразования и способны уменьшить размер применяемого радиатора и увеличить плотность компоновки

готового изделия. Возможные области их применения — источники бесперебойного питания UPS, частотный электропривод, инверторы напряжения DC/AC, сварочное оборудование, альтернативные источники электроэнергии, промышленные системы электрического питания, медицинская техника, DC/DC-преобразователи, корректоры коэффициента мощности и источники питания для осветительных приборов.

Транзисторы GenX3 IGBT предлагаются в двух версиях (В и С), оптимизированных для частот 5–30 кГц (В) и 30–60 кГц (С). Полная документация доступна на сайте www.ixys.com: вы можете ввести в строку поиска первые буквы новой серии «IXX», чтобы получить полный список всех доступных транзисторов.

Литература

1. Method of Making a Stable High Voltage Semiconductor Device. US Patent #5904544, Date of Patent: May 08, 1999. Inventors: Dr. Nathan Zommer IXYS Corporation, Santa Clara, CA.
2. Patent on Rugged IGBT Structure: Rugged and Fast Power MOSFET and IGBT. US Patent # 20030067034. Inventors: Dr. Vladimir Tsukanov and Dr. Nathan Zommer IXYS Corporation.
3. The Optimal IGBT for Motor Drive Applications-Drive With XPT IGBTs, an IXYS Application Note on XPT IGBTs (this title appeared on Bodo's Power, Europe) Application Note # IXAN0070 (visit www.ixys.com and navigate to IXYS Division → IXYS Power → Application Notes by Topics in the Technical Resources section).
4. IXYS Technical Paper on XPT IGBTs: 650V XPT IGBTs in an SMPD Package I. Imrie, E. Wysotzki, O. Zschieschang, A. Lashek-Enders. Bodo's Power, April 20–23, 2011.
5. TrenchStop-IGBT -Next Generation IGBT for Motor Drive Application A TrenchStop-IGBT App Note by Infineon, V1.0, October 2004.
6. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) Basics IXYS IGBT Basic Application Note # IXAN0063 (visit www.ixys.com and navigate to IXYS Division → IXYS Power → Application Notes by Topics in the Technical Resources section).