

TECHNICON —

ОТВЕТ НА ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Сегодня наша страна развернулась на Восток, и мир силовой электроники развернулся вместе с ней. Российские инженеры и конструкторы были вынуждены заменить силовые модули ведущих европейских и японских производителей китайскими аналогами. Однако этот процесс до сих пор сопряжен с множеством проблем, связанных с особенностями азиатского рынка силовой электроники. Из огромного количества китайских производителей только единицы способны выпускать продукцию надлежащего качества, гарантировать стабильность параметров, их соответствие технической спецификации и обеспечивать техническое сопровождение.

Специалисты не перестают удивляться тому факту, что под одним и тем же названием можно получить модули от разных фирм, с разными чипами и топологией DBC-подложки. Исключением стал Technicon — бренд, разработанный для тех, кто ценит качество и надежность, высокий уровень технической документации и квалифицированную инженерную поддержку.

Андрей Колпаков

info@technicon.asia

Вызовы современного рынка и концепции Technicon

Проблема № 1: что у них внутри?

Многие российские разработчики сталкивались с ситуацией, когда после успешных испытаний опытной партии китайских модулей параметры изделий в серийных поставках оказываются гораздо хуже. При этом зачастую от производителя не приходит никаких уведомлений об изменениях, а причина ухудшения объясняется тем, что вместо «импортных» кристаллов в серийных приборах использованы «локальные» чипы.

Бывают и более возмутительные примеры (рис. 1), когда в модулях с одним и тем же названием (и, соответственно, спецификацией) устанавливаются кристаллы разного типоразмера, DBC-подложка имеет разную топологию, что никак не отображается в обозначении силового ключа. Логично, что параметры таких компонентов заметно отличаются.

Концепция Technicon

- В силовых модулях Technicon используются чипы, разработанные на основе технологии 7-го поколения MPT FS (Multi-Pattern Trench Field Stop) и выпускаемые только на одной производственной линии, что обеспечивает высокую повторяемость и стабильность параметров.
- В силовых модулях Technicon используются изолирующие DBC-подложки, имеющие только одну топологию L, обеспечивающую оптимальное распределение тепла по поверхности базовой платы (рис. 2а). В варианте топологии I (рис. 2б), когда параллельные чипы IGBT и FWD расположены в ряд, тепловое сопротивление $R_{th(j-c)}$ ближайшего к центру модуля кристалла оказывается на 4–5% выше, что может привести к тепловому пробое в условиях предельных нагрузок.
- Модули Technicon имеют четкую систему обозначений, показывающую номинальные параметры, тип корпуса и тип кристалла. Файл «Type

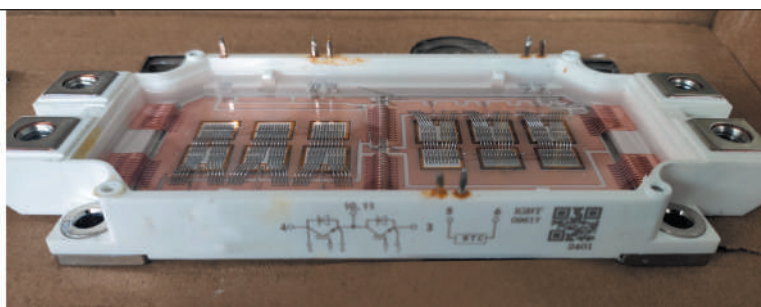
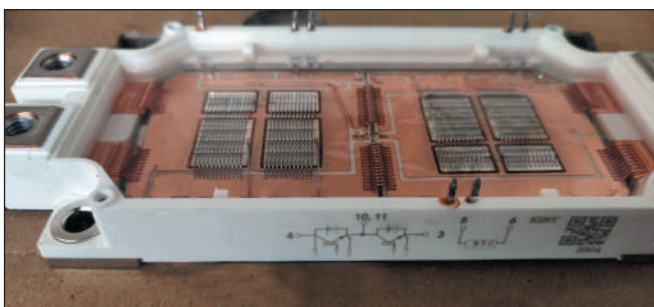


Рис. 1. Одно название (скрыто по соображениям толерантности), одна спецификация (datasheet) — разные чипы и топологии подложки, разные характеристики...

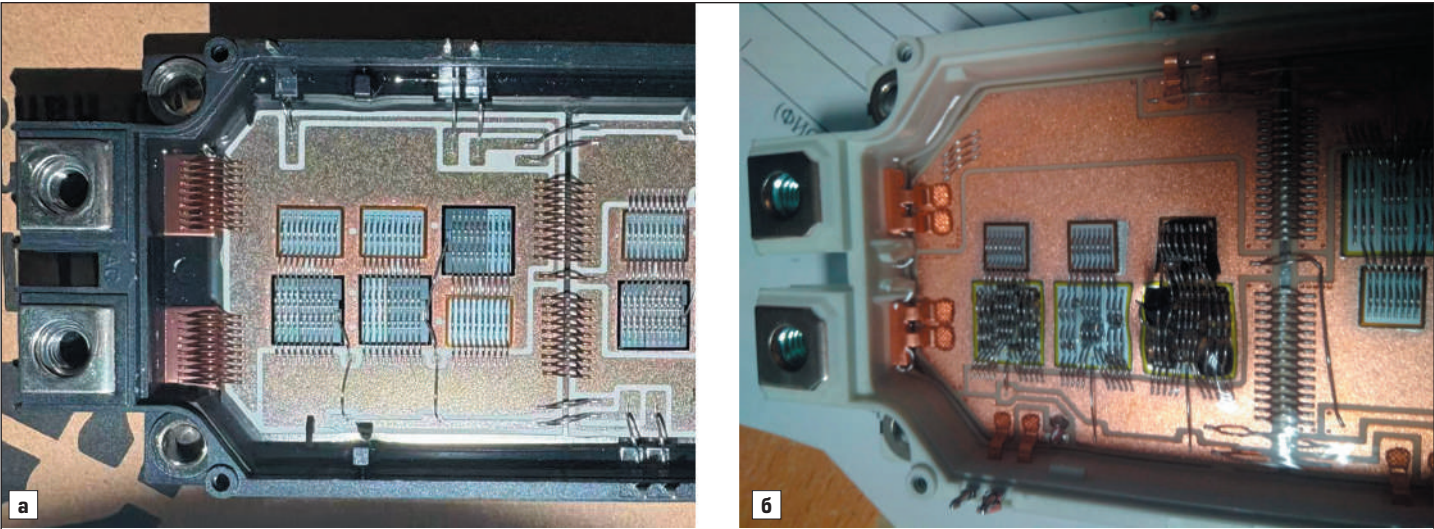


Рис. 2. Варианты топологии и расположение чипов на DBC подложке: а) топология L, б) топология I (виден тепловой пробой чипа, ближайшего к центру модуля)

designation system» с расшифровкой обозначений можно скачать на сайте компании Technicon [1] в разделе DOCs (рис. 3).

- О любых изменениях в документации или продукции Technicon информирует заказчиков, делая рассылки специальных уведомлений — PCN (Product Change Notification), также доступных на сайте [1].

Проблема № 2: надежность

Замена компонентов ведущих мировых производителей азиатскими аналогами вызвала резкий рост интенсивности отказов. Если типовой показатель FIT (Failures In Time) для стандартных IGBT Infineon, Semikron, Mitsubishi, Fuji находится на уровне 100, то при их замене продукцией китайских фирм количество выходов из строя резко выросло и в среднем (по информации от пользователей) может достигать 1–2% от общего количества и даже больше.

Причем это связано не только с низким уровнем производства и системы контроля качества. Например, в инверторах, где предусмотрено параллельное соединение IGBT, отказы, вызванные тепловым пробоем, объясняются очень большим разбросом параметров модулей, даже с одинаковым номером партии.

Напомним, что в прежние годы единственной рекомендацией производителей было использование параллельных компонентов с одним дата-кодом (то есть изготовленных в одинаковых условиях). Это гарантированно обеспечивало хорошее распределение токов (небаланс в пределах 3–5%) в параллельных цепях.

Кроме того, для надежной долговременной работы силовых ключей требуется тщательное соблюдение инструкций по монтажу и нанесению термопасты — эту информацию можно было найти на сайтах производителей. К сожалению, большинство китайских фирм такие документы не предоставляет.

Концепция Technicon:

- В процессе производства компоненты Technicon проходят 100%-ный контроль параметров, однако это правило соблюда-



Рис. 3. Стартовая страница сайта компании Technicon

ют все мировые лидеры. Тем не менее в системе обеспечения качества Technicon есть существенное отличие от общепринятых норм — некоторые стандартные модули, в частности IGBT в корпусе C5 (ED3), проходят проверку качества в соответствии с автомобильными стандартами, гораздо более жесткими, чем общепромышленные,

разница показана на рис. 4. Кстати, описание тестов на надежность и соответствующие стандарты также можно посмотреть на сайте Technicon.

- Также на сайте доступны для скачивания вся необходимая для проектирования и производства инструкции, в частности, руководства по монтажу, параллельному соеди-

TECHNICON Product Qualification Report			
Table 1 refers to qualification tests of following families of TECHNICON modules:			
• Automotive IGBT Trench Gen. 7 (1200V, 1700V) in cases C5, C6, C7			
• Automotive IGBT Gen. 7 (1200V) in cases AM ¹			
• Automotive IGBT Gen. 7 (750V) in cases AM ²			
Table 1:			
Test Description	Abbr.	Condition	Result
High Temperature Reverse Bias IEC 60749-9	HTRB	1000h; 80V/V _{CE(sat)} ; V _{GE} = 0V; T _{st} = T _{max}	PASS
High Temperature Gate Bias IEC 60749-8	HTGB	1000h; V _{GE} = ±V _{GE(sat)} ; V _{CE} = 0V; T _{st} = T _{max}	PASS
High Humidity High Temperature Reverse Bias IEC 60749-5	HSTRB	1000h; 85°C; 85%RH; V _{GE} = 0V; V _{CE} = 80V/V _{CE(sat)} ; V _{max} = 100V	PASS
High Temperature Storage IEC 60749-6	HTS	1000; T _{st}	PASS
Low Temperature Storage IEC 60749-4	LTS	1000; T _{st}	PASS
Thermal Shock Test AEC-Q101-25, IEC 60068-14	TST	T _{min} = T _{st} ; T _{max} = T _{st} ; 30min dwell; 100 cycles	PASS
Power Cycling (HRC) IEC 60749-34	PC (HRC)	I _{avg} ≤ I _{avg} ; I _{pk} ≤ I _{pk} ; ΔT = 100°C; 1000 cycles	PASS
Power Cycling (HRC) IEC 60749-34	PC (HRC)	I _{avg} ≤ I _{avg} ; I _{pk} ≤ I _{pk} ; ΔT = 100°C; 1000 cycles	PASS
Survival Vibration Test IEC 60068-2-6	SVT	100 – 2000Hz; 100 – 400Hz; 10 – 20 Hz; 10 – 20 Hz	PASS

TECHNICON Product Qualification Report			
Table 2 refers to qualification tests of following families of TECHNICON modules:			
• Standard IGBT Gen. 7 (1200V, 1700V) and Fast FS IGBT (1200V) in cases C1, C2			
Table 2:			
Test Description	Abbr.	Condition	Result
High Temperature Reverse Bias IEC 60749-9	HTRB	1000h; 80V/V _{CE(sat)} ; V _{GE} = 0V; T _{st} = T _{max}	PASS
High Temperature Gate Bias IEC 60749-8	HTGB	1000h; V _{GE} = ±V _{GE(sat)} ; V _{CE} = 0V; T _{st} = T _{max}	PASS
High Humidity High Temperature Reverse Bias IEC 60749-5	HSTRB	1000h; 85°C; 85%RH; V _{GE} = 0V; V _{CE} = 80V/V _{CE(sat)} ; V _{max} = 100V	PASS
High Temperature Storage IEC 60749-6	HTS	1000; T _{st}	PASS
Low Temperature Storage IEC 60749-4	LTS	1000; T _{st}	PASS
Thermal Shock Test AEC-Q101-25, IEC 60068-14	TST	T _{min} = T _{st} ; T _{max} = T _{st} ; 30min dwell; 100 cycles	PASS
Power Cycling (HRC) IEC 60749-34	PC (HRC)	I _{avg} ≤ I _{avg} ; I _{pk} ≤ I _{pk} ; ΔT = 100°C; 1000 cycles	PASS
Power Cycling (HRC) IEC 60749-34	PC (HRC)	I _{avg} ≤ I _{avg} ; I _{pk} ≤ I _{pk} ; ΔT = 100°C; 1000 cycles	PASS
Survival Vibration Test IEC 60068-2-6	SVT	100 – 2000Hz; 100 – 400Hz; 10 – 20 Hz; 10 – 20 Hz	PASS

Рис. 4. Испытания на надежность силовых модулей для транспортных и общепромышленных применений



Рис. 5. На сайте компании Technicon есть вся необходимая техническая документация — технические спецификации (datasheet) и руководства по применению



Рис. 6. Модули Technicon поставляются с предварительно нанесенной термопастой (опция M01) и отбором для параллельного соединения

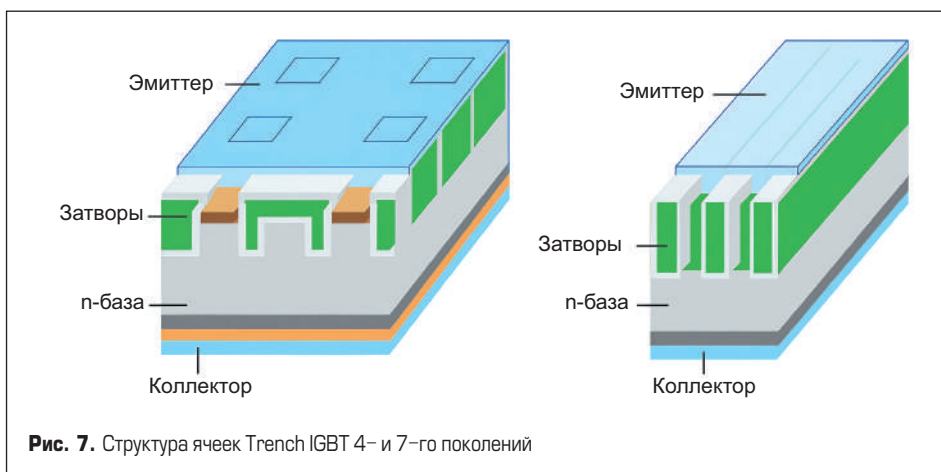


Рис. 7. Структура ячеек Trench IGBT 4- и 7-го поколений

нению IGBT, а также применению модулей с предварительно нанесенной термопастой (рис. 5).

- По запросу стандартные IGBT Technicon поставляются с нанесенной производителем высокоэффективной термопастой (рис. 6), эта опция обозначается как M01. Использование таких компонентов упрощает производственный процесс за счет исключения важного технологического этапа, обеспечивает повторяемость

и стабильность тепловых характеристик в течение срока службы, облегчает замену модулей при ремонте.

Силовые ключи Technicon в корпусах C1 (34 мм), C2 (62 мм) и C5 (ED3) по умолчанию отбираются по параметрам в группы для параллельного соединения. Группы имеют соответствующую маркировку, что указано в инструкции по параллельному включению IGBT, доступной на сайте. Это гарантирует хорошее распределение токов в параллельных цепях

и повышает надежность работы силовых инверторов в широком диапазоне рабочих режимов.

IGBT Gen.7 — революционная эволюция

Основные параметры, по соотношению которых определяются базовые свойства IGBT и его специализация, — это напряжение насыщения V_{ce_sat} , прямое падение на диоде V_f заряд затвора Q_g , энергия переключения E_{sw} и обратного восстановления E_{rr} . Наиболее распространенными технологиями IGBT являются NPT, SPT и Trench-FS, причем большинство современных силовых ключей производится по технологии Trench. Принципиальное отличие этого типа кристаллов состоит в структуре затвора, реализованного в форме глубокой канавки (Trench) в теле подложки (рис. 7а). В сочетании с модифицированной конструкцией эмиттера это позволяет оптимизировать распределение носителей в области подложки.

Все последние годы кристаллы Trench 4 совершенствовались, выпускались версии для различных применений, однако эти изменения не вносили существенных улучшений в базовые параметры силовых модулей. Разработка приборов 7-го поколения обозначила заметный прогресс технологии IGBT [2]. У новых чипов затвор имеет полосковую структуру с высокой плотностью ячеек, состоящих из параллельных активных и пассивных канавок (рис. 7б), поэтому такая структура получила название MPT (Multi-Pattern Trench). Это позволило увеличить количество носителей вблизи эмиттера и резко повысить проводимость в дрейфовой зоне. В результате прямое напряжение существенно снизилось (до 400 мВ для чипов 12-го класса), а динамические потери новых кристаллов остались примерно на том же уровне.

Благодаря уменьшению потерь проводимости, плотность мощности IGBT Gen.7 удалось повысить до 33% в зависимости от рабочих режимов. Дальнейшее увеличение этого показателя обусловлено тем, что (по заявлению производителей) температура $T_j = +175^\circ\text{C}$ допустима в условиях кратковременной перегрузки без ущерба для надежности. Уточним, что у модулей IGBT Trench 4 в спецификациях также указана предельная температура чипов $T_j = +175^\circ\text{C}$, однако тесты показали, что для обеспечения высоких показателей надежности перегрев кристаллов не должен превышать $T_j = +125^\circ\text{C}$ в номинальных режимах и $T_j = +150^\circ\text{C}$ в условиях кратковременных перегрузок.

Основные особенности IGBT Gen.7:

- напряжение насыщения V_{CEsat} снижено в среднем на 20%;
- предельная температура $T_{jmax} = +175^\circ\text{C}$ является допустимой в условиях кратковременной перегрузки;
- плотность мощности в пределах конструктива увеличена на 33%;
- допустимо отключение IGBT нулевым напряжением на затворе ($V_{GE_off} = 0$) без риска ложных срабатываний.

Одна из главных задач силовой электроники состоит в поиске компромисса между потерями переключения для высокочастотных применений и потерями проводимости для тех случаев, когда основной задачей становится максимальная отдача мощности. Важным критерием качества и надежности силовых ключей является равномерное распределение токов между параллельными чипами (или модулями) и отсутствие паразитных осцилляций при их коммутации. При разработке технологии IGBT 7 большое внимание также уделялось обеспечению совместимости с существующими компонентами 4-го поколения для простоты модернизации выпускаемого оборудования.

Параметры чипов IGBT MPT FS в первую очередь ориентированы на применение в моторных приводах средней мощности. Эти компоненты обеспечивают низкие потери переключения в условиях переходных процессов до 5 кВ/мкс — такая крутизна фронтов является предельной для электрических двигателей. Компания Technicon предлагает модули 7-го поколения, а также быстрые IGBT (Fast Trench) в стандартных промышленных корпусах C1 (34 мм), C2 (62 мм), C5 (ED3) и специализированном конструктиве для гибридного и электрического транспорта C6 (HPD). Силовые ключи с рабочим напряжением 1200 и 1700 В выпускаются в диапазоне рабочих токов 100–950 А. Посмотреть полную номенклатуру, а также скачать технические спецификации (datasheet) можно на сайте компании.

IGBT Gen.7: попробуем сравнить

Сравнение характеристик модулей, производимых различными фирмами (особенно европейскими и азиатскими), — неблагодарное дело. Опытные специалисты знают, что, например, такой важный параметр, как тепловое сопротивление R_{th} у разных производителей нормируется по-разному, что создает почву для махинаций и злоупотреблений со стороны недобросовестных продавцов. Однако для грамотных инженеров, знающих, как «читать datasheet между строк» [3], это не станет проблемой. Поэтому мы не будем сравнивать величины R_{th} , тем более что тепловое сопротивление $R_{th(c-s)}$ — в первую очередь характеристика конструктива, и не может сильно отличаться у модулей в корпусах 62 мм или Econo-Dual, производимых с применением стандартных технологий пайки и ультразвуковой сварки.

Толерантность не позволяет европейским производителям указывать конкретные названия сравниваемых компонентов, вместо этого они пишут Competitor 1, Competitor 2 и т. д. (то есть конкурент 1, конкурент 2). Не будем нарушать это правило, и сопоставим основные характеристики наиболее востребованного на рынке мощных приводов полумостового IGBT-модуля EconoDual 3 1200 В/450 А компании Technicon (TE450GB12C5R7) с одним из лучших европейских аналогов 4-го и 7-го поколения. Опытный специалист сразу поймет, о чем идет речь. Полученные результаты приведены в таблице.

Анализ параметров в таблице показывает, что статические потери IGBT TE450GB12C5R7

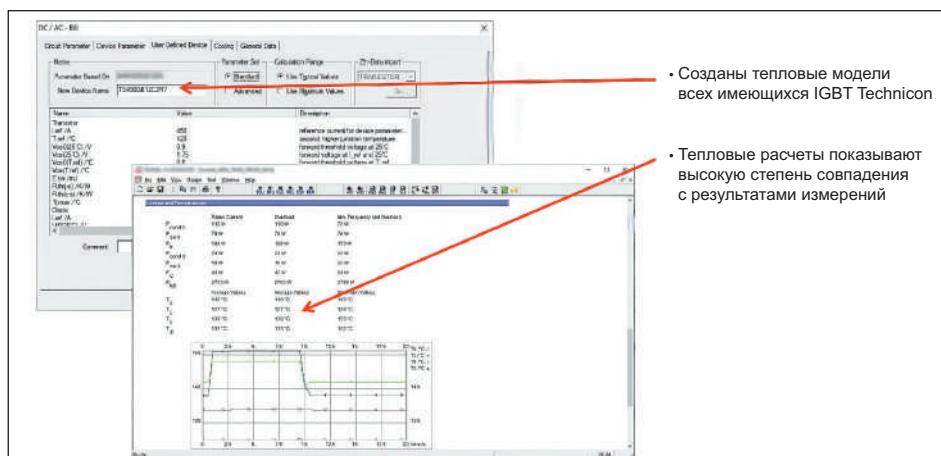


Рис. 8. Расчет тепловых режимов инвертора. Модель TE450GB12C2R7 создана на основе технической спецификации

• Созданы тепловые модели всех имеющихся IGBT Technicon

• Тепловые расчеты показывают высокую степень совпадения с результатами измерений

Таблица. Сравнительные характеристики TrenchIGBT 4- и 7-го поколения в корпусе Econo-Dual 3 (1200 В/450 А)

Тип модуля	$V_{CE(sat)}$, В & $T_j = +25^\circ\text{C}$	V_F , В & $T_j = +25^\circ\text{C}$	$E_{on}+E_{off}$, мДж & $T_j = +125^\circ\text{C}$	E_{rr} , мДж & $T_j = +125^\circ\text{C}$	Q_g , мкК
Competitor Gen.4	1,75	1,65	81,5	48,5	3,3*
Competitor Gen.7	1,5	1,8	100	27,5	7,2*
TE450GB12C5R7	1,51	2,0	84,5	22,5	4,1*

Примечание. *Величина Q_g IGBT Competitor нормирована для $V_{GE} = \pm 15$ В, TE450GB12C5R6 — для $V_{GE} = -10/+15$ В

находятся практически на уровне референтного модуля 7-го поколения, а у диода они несколько больше. Однако энергия потерь переключения IGBT и восстановления FWD у модуля Technicon меньше, что дает ему преимущество в определенных режимах работы. Также у TE450GB12C5R7 заметно ниже суммарный заряд затвора Q_g , что снижает мощность, рассеиваемую драйвером, и очень важно при параллельном соединении IGBT.

Напомним, что согласно договоренности ведущих производителей IGBT величина I_{Cnom} (также указываемая в названии модуля), определяется производителем чипа на основании технологических коэффициентов. То есть если в модуле установлено три параллельных кристалла с номинальным током 150 А, то в спецификации будет указано $I_{Cnom} = 450$ А. Реальный ток силового ключа в конкретных условиях применения определяется только путем теплового расчета для определенных режимов работы и охлаждения. На наш взгляд, лучшим инструментом для такого расчета является SEMISEL [4], тем более что локальные версии программы позволяют создавать тепловые модели на основе технических спецификаций модулей (рис. 8).

Компания Technicon предоставляет пользователям возможность провести сравнительный тепловой расчет инвертора, для чего необходимо определить основные рабочие режимы. Ввести исходные данные и задать интересующие вопросы можно на сайте компании.

Technicon: новые горизонты для производителей силовой электроники

Бренд Technicon создан для тех, кто ценит качество, надежность, высокий уровень техни-

ческой документации и квалифицированную инженерную поддержку.

Technicon это:

- Полный производственный цикл — от разработки до упаковки.
- 100%-ный контроль параметров и соответствие ISO/TS, AEC-Q.
- Модули IGBT Technicon уже успешно испытаны в жестких условиях — от приводов погружных насосов до тяговых приводов гибридных автомобилей.
- Модули IGBT Technicon поставляются с предварительно нанесенной высококачественной термопастой и отбором для параллельного соединения.
- Продукция Technicon обеспечена полным набором инженерной документации и техническим сопровождением — ни один вопрос клиента не останется без ответа.

По вопросу приобретения продукции Technicon и любым техническим проблемам можно обратиться: e-mail: info@technicon.asia; info@unirec.ru

Вся линейка продукции Technicon представлена в каталоге компании «ЮниРЭК»: https://unirec.ru/catalog/silovaya_elektronika/silovyye_moduli/igbt_moduli/?filter%5BPROPERTY_BRAND%5D%5B%5D=TECHNICON.

Литература

1. Материалы сайта www.technicon.asia
2. Винтрич А, Колпаков А. «IGBT Gen.7 — революционная эволюция» // Силовая Электроника. 2020. №1.
3. Колпаков А. Контрольная точка или как читать datasheet между строк. Часть 1 и 2 // Электронные Компоненты. 2006. № 6, 9.
4. Колпаков А. «SEMISEL 3.1 — новые возможности» // Силовая Электроника. 2008. № 3.