

IGBT-модули большой мощности

для тяговых преобразователей производства компании Infineon

Современные IGBT-модули находят широкое применение при создании неуправляемых и управляемых выпрямителей, автономных инверторов для питания двигателей постоянного и переменного тока средней мощности, преобразователей индукционного нагрева, сварочных аппаратов, источников бесперебойного питания и бытовой техники. Особую роль IGBT-модули играют в развитии городского и железнодорожного электротранспорта. Применение этих перспективных приборов в тяговом преобразователе позволяет повышать частоту переключения, упрощать схему управления, минимизировать загрузку сети гармониками и обеспечивать предельно низкие потери в обмотках трансформатора и дросселей.

Анатолий Юдин, к. т. н.

info@otkcm.ru

Тяговые преобразователи являются типичным примером применения современной силовой электроники на электротранспорте. Так как в тяговых сетях постоянного тока присутствуют значительные колебания напряжения, то при расчете преобразователей ориентируются на IGBT с повышенным уровнем напряжения. Например, при напряжении контактной сети 750 В приходится считаться со скачками до 1000 В и промежуточное звено конвертора рассчитывать на напряжение не менее 1100 В постоянного тока. Кроме того, следует учитывать, что в ходе эксплуатации сумма напряжений промежуточных контуров двух ветвей преобразователя больше, чем напряжение в контактной сети.

Прогресс в области применений IGBT на транспорте обусловлен появлением транзисторов с более высоким уровнем напряжения. Так, в вагонах трамваев, эксплуатируемых на сетях с напряжением контактной сети 600 и 750 В постоянного тока, стали использоваться IGBT на напряжение 1700 В. Для сетей метрополитена напряжением постоянного тока 1500 В были разработаны транзисторы IGBT на напряжение 3,3 кВ, которые заменяют запираемые тиристоры. Затем появились стандартные модули IHV/IHM, которые можно использовать для режима 6,5 кВ/600 А, а также переключать на режимы 3,3 кВ/1200 А и 1,7 кВ/2400 А. Эти модули позволили отказаться от параллельного соединения большого числа модулей на базе IGBT для реализации схем повышенной мощности.

В преобразователях электроподвижного состава дальнего сообщения применялись запираемые тиристоры с параметрами 4,5 кВ/3 кА. Если при питании от сети переменного тока напряжение промежуточного звена может быть выбрано в определенной степени произвольно, то для линий постоянного тока с напряжением в контактной сети 3 кВ необходим конвертор с напряжением промежуточного звена не менее 4 кВ. С появлением запираемых IGBT-транзисторов с рабочим напряжением 6,5 кВ стала возможной реализация преобразователя, в котором импульсный инвертор подключается непосредственно к напряжению контактной сети постоянного тока,

равному 3 кВ. В настоящее время для электроподвижного состава дальнего сообщения применяются модули IGBT с рабочим напряжением 6,5 кВ, с водяным охлаждением и параллельным соединением модулей.

При выборе транзисторов IGBT для преобразователей электротранспорта руководствуются требованием низких потерь в открытом состоянии, определяемых напряжением насыщения, а также низким уровнем коммутационных потерь. Кроме того, транзистор IGBT должен обеспечивать «жесткую» коммутацию активно-индуктивной нагрузки с продолжительным временем включения (при постоянной времени индуктивно-резистивной нагрузки, намного большей периода частоты коммутации). Особенностью такого режима переключения является высокий импульсный ток и напряжения на транзисторе во время включения и выключения. Соединенный с транзистором встречно-параллельный диод должен иметь «мягкую» характеристику восстановления для обеспечения минимального значения динамических потерь. При мягком восстановлении в схеме не возникает перенапряжений, вызванных спадом обратного тока диода.

В отличие от промышленных тяговые преобразователи на транзисторах IGBT в эксплуатации подвержены значительным и интенсивно изменяющимся термическим нагрузкам. При эксплуатации в течение года происходит 10^6 – 10^7 циклов изменения температуры транзисторов с перепадами от 15 до 40 К, на которые накладываются температурные провалы, вызванные эксплуатационными паузами. Эти скачки температуры оказывают большое влияние на проволочные подводы внутри транзистора и паяные соединения между керамической подложкой и пластиной теплоотвода. Для улучшения условий работы паяного соединения производители IGBT-модулей переходят от Al_2O_3 к керамике на базе AlN, обладающей лучшей теплопроводностью, и от меди к сплаву AlSiC в качестве материала теплоотвода.

В мире только несколько компаний разрабатывают и производят мощные высоковольтные IGBT-модули для тяговых преобразователей электротранс-

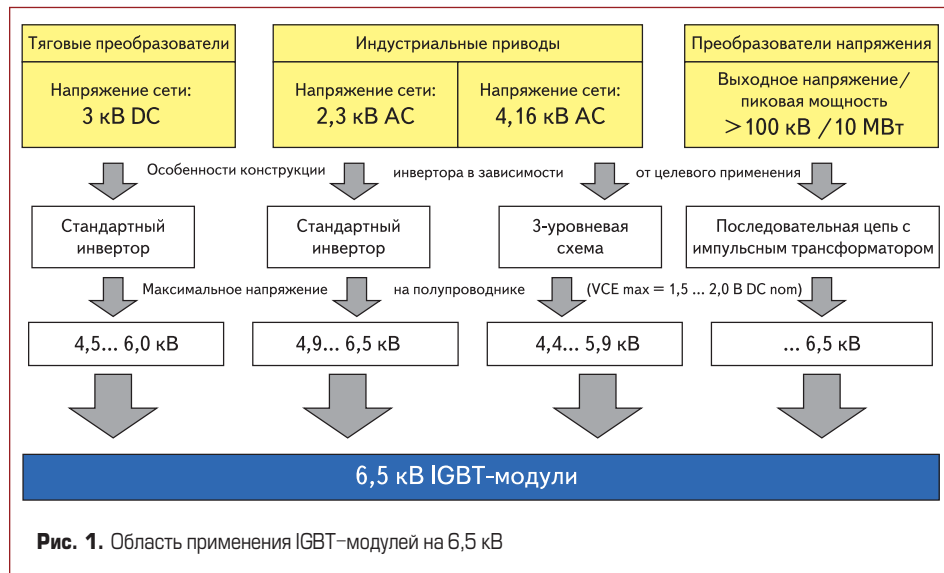
порта. С входом в состав Infineon компании Еурес для российских производителей и разработчиков тяговых преобразователей такие IGBT-модули стали еще доступнее. Рассмотрим основные особенности и перспективы развития модулей вышеуказанных классов напряжения, производимых в настоящее время этой компанией.

Компания Infineon при разработке номенклатуры IGBT-модулей класса 6,5 кВ прикладывает усилия для объединения преимуществ современных кристаллов высоковольтных IGBT и технологии их пакетирования. Новое поколение кристаллов Infineon для 6,5 кВ производится на основе NPT-технологии и имеет положительный температурный коэффициент напряжения насыщения, функцию защиты при коротком замыкании и высокую выносливость относительно перегрузки по току. Важнейшей задачей, которую компания ставит перед собой, является повышение устойчивости модулей к тепловой цикличности работы в жестких условиях среды. Например, для улучшения теплового распределения, повышения напряжения изоляции и защищенности от частичных разрядов Infineon все чаще применяет в своих модулях AlSiC опорные плиты и AlN-подложки.

Область применения IGBT-модулей на 6,5 кВ постоянно расширяется (рис. 1). До сих пор тяговые приложения, работающие от сети в 3 кВ DC, и промышленные приводы с напряжением сети от 2,3 кВ AC и выше чаще всего управляются посредством использования ГТО или IGCT. Если вместо этих тиристорных устройств использовать IGBT, то работу можно улучшить. Преимущества достигаются за счет более простого управления МОП-затвором, более простой системы охлаждения и высокой степени изоляции при полностью изолированном корпусе. Или же вместо используемых сейчас пар последовательно соединенных 3,3 кВ IGBT-модулей можно применить один ключ на 6,5 кВ, что упростит запуск, управление и улучшит изоляцию.

Модули тяговых преобразователей чаще всего работают от сети с номинальным напряжением постоянного тока 3 кВ. Эта сеть допускает броски напряжения +20%, но на практике из-за рекуперативного торможения они могут быть больше в несколько раз. Благодаря высокой возможности по запирающему напряжению модули на 6,5 кВ гарантируют большой запас прочности для индуктивных выбросов перенапряжения, обеспечивая коммутацию на уровне постоянного тока с напряжением 4500 В. В этих условиях безопасное выключение может срабатывать при скоростях нарастания тока di/dt до 10 кА/мкс и при паразитных индуктивных рассеиваниях до 200 нГ.

Вторым направлением применения модулей 6,5 кВ являются промышленные приводы среднего напряжения. Понятие среднего напряжения относительно. Оно зависит от промышленности, страны и приложения. Для приводов двигателей переменного тока этот диапазон простирается от 600 В до 15 кВ. В Европе, например, порогом такого класса напряжения является 1 кВ. На практике большинство существующих приводов среднего напряжения рабо-



туют в диапазоне от 2,3 до 7,2 кВ. Стандартные североамериканские средние напряжения — 2,3 и 4,16 кВ, а преобладающие напряжения сети в Европе и остальной части мира — 3,3 и 6,6 кВ. Типовыми приложениями привода для этого класса напряжения являются насосы, вентиляторы, компрессоры, экструдеры (машины для литья под давлением) и системы конвейеров, которые используются в различных отраслях промышленности.

Преобразователи для сети 2,3 кВ AC и соответственно напряжения сети 3,25 кВ DC могут проектироваться с ключами, работающими непосредственно с сетевым напряжением. Приложения с сетью 4,16 кВ AC (5,9 кВ шина DC) могут быть реализованы трехуровневой схемой с зафиксированной нейтральной точкой. При сохранении принципа модульной формы уже существующая конструкция инвертора для более низкого напряжения сети может легко быть адаптирована к новому классу напряжения.

Третьим направлением применения IGBT-модулей 6,5 кВ являются мощные импульсные преобразователи напряжения, которые получают все большее распространение во всем мире. Основной целью их применения является замена ламп тиратрона твердотельными модуляторами и обеспечение времени подъема и спада импульса в несколько наносекунд. Эти устройства должны быть способны переключать пиковую мощность порядка 10 МВт, питая клистроны и магнитные сердечники импульсами, в микросекундном временном интервале.

Номенклатура IGBT-модулей Infineon до 6500 В представлена в таблице 1. В ней отражены модули с кристаллом IGBT первого

поколения (KF-1) с температурой хранения -40 °С. Разработанные и производимые компанией Infineon IGBT-модули 6,5 кВ имеют три новых конструктивных варианта корпуса. Установочные размеры новых корпусов идентичны стандартным размерам существующих высоковольтных IHV корпусов, поэтому существующие конструкции силовых преобразователей могут быть легко приспособлены к новым модулям.

Модернизация осуществлена путем получения необходимых значений для величины воздушного зазора и длины пути утечки тока в соответствии с новым уровнем напряжения. Модули сконструированы в соответствии со стандартом EN50124-1 и соответствуют классификациям категории перенапряжения OV2, а также уровню загрязнения PD3. Исходя из номинального напряжения изоляции силового IGBT-модуля 10,2 кВ, для корпуса была выбрана конструкция с воздушным зазором в 26 мм и длиной пути утечки тока в 56 мм.

В настоящее время на 6,5 кВ появляются модули второго поколения с температурой хранения -55 °С (KF-2). Идут работы над третьим поколением (KE-3) и уже есть рабочие образцы на ток 750 А. В ближайшее время следует ждать модулей FZ600 с кристаллами первого и второго поколений на ток до 750 А, с рабочей температурой кристалла до +150 °С и с температурой хранения до -55 °С.

Если говорить о новых IGBT-модулях на 3,3 кВ, то у Infineon появились устройства на 1000 и 1500 А с двумя разными версиями кристаллов. Одна версия с пониженным уровнем напряжения насыщения, имеет в обозначении букву L. И другая версия для устройств с низ-

Таблица 1. IGBT-модули Infineon на 6500 В V_{CES} в корпусе IHV

Обозначение	$I_c (max), A$	$V_{CE} (sat) (typ), B$	Конфигурация
FZ200R65KF1	200,0	4,3	Одиночный ключ
FZ400R65KF1	400,0	4,3	Одиночный ключ
FZ600R65KF1	600,0	4,3	Одиночный ключ
FZ600R65KF2	600,0		Одиночный ключ
FZ750R65KE3	750,0		Одиночный ключ
FD200R65KF1-K	200,0	4,3	Чоппер
FD400R65KF1-K	400,0	4,3	Чоппер

Таблица 2. IGBT-модули Infineon на 3300 В V_{CES} в корпусах IHM/IHV

Технология	Обозначение	V_{CES} , В	I_C , А	$V_{CE(sat)}$, В	E_{on}/E_{off} , мДж	R_{thJC} , К/Вт	Корпус
Одиночные ключи							
IGBT ² стандартная	FZ800R33KF2C	3300	800	3,40	1920/1020	0,013	H_IH4
	FZ1200R33KF2C	3300	1200	3,40	2880/1530	0,0085	H_IH7
IGBT ³ низкие потери	FZ800R33KL2C	3300	800	3,00	2250/1250	0,013	H_IH4
	FZ1200R33KL2C	3300	1200	3,00	3150/1900	0,085	H_IH7
Высокая изоляция	FZ400R33KL2C_B5	3300	400	3,00	1200/600	0,026	H_IH10
	FZ800R33KL2C_B5	3300	800	3,00	2250/1250	0,013	H_IH11
	FZ1200R33KL2C_B5	3300	1200	3,00	3150/1900	0,0085	H_IH12
IGBT ³ (новый тип)	FZ1000R33HE3 ¹	3300	1000				H_IH4B
	FZ1500R33HE3 ¹	3300	1500				H_IH7B
	FZ1000R33HL3 ¹	3300	1000	2,4	2150/1950	0,013	H_IH4B
	FZ1500R33HL3 ¹	3300	1500	2,4	3200/2950	0,0085	H_IH7B
Чопперы							
IGBT ² стандартная	FD400R33KF2C	3300	400	3,40	730/510	0,026	H_IH4
	FD800R33KF2C	3300	800	3,40	1450/1000	0,013	H_IH7
	FD400R33KF2C-K	3300	400	3,40	730/510	0,026	H_IH4
	FD800R33KF2C-K	3300	800	3,40	1450/1000	0,013	H_IH4
Высокая изоляция	FD800R33KL2C-K_B5	3300	800	3,40	2250/1250	0,013	H_IH12
Сдвоенные ключи							
IGBT ² стандартная	FF200R33KF2C	3300	200	3,40	480/255	0,057	H_IH9
	FF400R33KF2C	3300	400	3,40	960/510	0,026	H_IH6

¹Tvj = 150 °C

Таблица 3. Тяговые IGBT-модули Infineon на 1700 В V_{CES} в корпусе IHM

Технология	Обозначение	V_{CES} , В	I_C , А	$V_{CE(sat)}$, В	E_{on}/E_{off} , мДж	R_{thJC} , К/Вт	Корпус
Сдвоенные ключи							
IGBT ³ низкие потери	FF400R17KF6C_B2	1700	400	2,60	180/150	0,016	H_IH2
	FF401R17KF6C_B2	1700	400	2,60	190/150	0,04	H_IH9
	FF600R17KF6C_B2	1700	600	2,60	270/220	0,026	H_IH2
	FF800R17KF6C_B2	1700	800	2,60	290/335	0,02	H_IH2
IGBT ³	FF400R17KE3_B2	1700	400	2,00	125/145	0,049	H_IH9
	FF600R17KE3_B2	1700	600	2,00	185/220	0,029	H_IH2
	FF800R17KE3_B2	1700	800	2,00	240/295	0,024	H_IH2
	FF1200R17KE3_B2	1700	1200	2,00	350/445	0,019	H_IH2
Одиночные ключи							
IGBT ³ низкие потери	FZ800R17KF6C_B2	1700	800	2,60	300/325	0,02	H_IH1
	FZ1200R17KF6C_B2	1700	1200	2,60	330/480	0,013	H_IH1
	FZ1600R17KF6C_B2	1700	1600	2,60	430/670	0,01	H_IH1
	FZ1800R17KF6C_B2	1700	1800	2,60	570/725	0,009	H_IH7
	FZ2400R17KF6C_B2	1700	2400	2,60	750/1060	0,007	H_IH7
IGBT ³	FZ1200R17KE3_B2	1700	1200	2,00	350/445	0,014	H_IH4
	FZ1600R17KE3_B2	1700	1600	2,00	445/600	0,012	H_IH4
	FZ1800R17KE3_B2	1700	1800	2,00	490/680	0,01	H_IH7
	FZ2400R17KE3_B2	1700	2400	2,00	610/920	0,008	H_IH7
	FZ3600R17KE3_B2	1700	3600	2,00	790/1450	0,008	H_IH7
IGBT ⁴ IHM В корпус	FZ1200R17HP4_B2 ¹⁾	1700	1200				H_IH4B
	FZ1600R17HP4_B2 ¹⁾	1700	1600				H_IH4B
	FZ1800R17HP4_B2 ¹⁾	1700	1800				H_IH7B
	FZ2400R17HP4_B2 ¹⁾	1700	2400				H_IH7B
	FZ3600R17HP4_B2 ¹⁾	1700	3600				H_IH7B
Чопперы							
IGBT ³ низкие потери	FD401R17KF6C_B2	1700	400	2,60	190/150	0,04	H_IH9
	FD600R17KF6C_B2	1700	600	2,60	270/220	0,026	H_IH2
	FD800R17KF6C_B2	1700	800	2,60	290/335	0,02	H_IH2
	FD1600/1200R17KF6C_B2	1700	1600	2,60	430/670	0,01	H_IH7
IGBT ³	FD600R17KE3_B2	1700	600	2,00	185/220	0,029	H_IH2
	FD800R17KE3_B2	1700	800	2,00	240/295	0,024	H_IH2
	FD1200R17KE3-K_B2	1700	1200	2,00	350/445	0,019	H_IH4

_B2: тяговый модуль (AlSiC)

¹⁾ Tvj = 125 °C, I_CRM = 2 × I_C

¹⁾ Tvj = 150 °C

ким уровнем паразитной индуктивности, маркируются буквой E. Обе версии рассчитаны на рабочую температуру кристалла +150 °C. Их температура хранения специфицирована на -55 °C. Напряжение изоляции составляет 6 кВ. Ожидается версия для транспортного применения с высоким напряжением изоляции 10,5 кВ (обозначение оканчивается на _B5). Все модули данного класса напряжения изготавливаются в корпусах IHM/IHV. Номенклатура данных модулей представлена в таблице 2.

Если обратиться к IGBT 1700 В, то здесь появились модули с кристаллами IGBT 4-го поколения с двумя версиями их оптимизации — версия P4 для корпусов высокой мощности и версия E4 для корпусов средней мощности. Здесь нет версии T4 для малых мощностей, так как для 1700 В на такую мощность нет рынка. Кристаллы IGBT 4-го поколения имеют максимальную рабочую температуру +150 °C. Повышение рабочей температуры кристаллов 4-го поколения (IGBT⁴) с 125 °C до 150 °C позволяет при той же самой площади кристалла для напряжений 1200 и 1700 В получать действующее значение тока на 20% больше, повысить вдвое устойчивость к энергетическим циклам и надежность IGBT в целом. Кроме того — позволяет оптимизировать динамические характеристики переключения в смысле мягкости переключения.

Для высоких мощностей у Infineon появились два новых корпуса для IGBT-модулей. Один из них IHM-B, а второй — PrimePACK. Новые продукты обладают большей надежностью, имеют более высокий КПД и более низкую цену. И в каждом новом семействе есть попытки снижения потерь мощности.

Новый корпус IHM-B предназначен для большой мощности. Он полностью совместим с корпусом предыдущего поколения IHM-A, но обладает повышенной способностью по числу энергетических циклов и может работать с кристаллами IGBT⁴ с рабочей температурой 150 °C. Этот корпус уже подготовлен к следующему поколению IGBT-кристаллов. В нем производятся IGBT-модули 1200 и 1700 В в конфигурации одиночного ключа на ток от 1400 до 3600 А. Из всей номенклатуры модулей на 1700 В в таблице 3 приведены данные только для модулей с AlSiC подложкой (в их обозначении присутствует _B2), предназначенных для тяговых преобразователей.

Следующий новый корпус — это PrimePACKTM с двумя версиями размеров. Один из них короче — PrimePACKTM-2, второй более длинный — PrimePACKTM-3. В этих двух корпусах есть IGBT-модули на 1200 и 1700 В, то есть используется один механический дизайн для двух классов напряжений. Благодаря большому количеству отверстий для крепления увеличена механическая стабильность. Модули в корпусе PrimePACKTM предназначены как для промышленных, так и для тяговых применений.

Усовершенствование конструкции (в частности, IGBT-кристаллы смещены ближе к точкам крепления подложки винтами к теплоотводу) дало снижение теплового сопротивления между подложкой и теплоотводом и дополнительно уменьшило на 60% внутреннюю паразитную индуктивность по сравнению со стан-

дартными модулями. Уменьшение паразитной индуктивности важно для повышения устойчивости к импульсам перенапряжения. Специальная топология разводки улучшила распределение тепла, что понизило тепловое сопротивление системы в целом. Предельная рабочая температура составляет +150 °C вместо +125 °C у модулей-предшественников. Нижняя граница температуры хранения у PrimePACK™ снижена с -40 до -55 °C.

Использование новых IGBT-модулей в мощных преобразователях позволяет увеличить номинальные токи примерно на 20% при том же обратном напряжении и таких же размерах модуля или рассеять такую же мощность в модулях сравнительно меньшего размера.

Модули PrimePACK™ имеют две модификации по размерам корпуса: 89×172 мм PrimePACK™-2 и 89×250 мм PrimePACK™-3. Оба модуля на 45% легче, чем аналогичные модули с такой же мощностью. Полумостовая конфигурация и модульность конструкции PrimePACK™ облегчают масштабирование мощности преобразователей путем использования модулей разных размеров или соединения однотипных модулей параллельно. И что еще важно, этот корпус рассчитан и для IGBT на 3,3 кВ.

Для PrimePACK™, как и для всех других типов модулей Infineon, имеются платы адаптеров. Они предназначены для ускорения процессов испытаний на этапе разработки и не продаются как продукты, а поставляются для поддержки проектов. Помимо самих плат могут поставляться и файлы с описанием адаптеров. Платы можно подправлять с учетом разрабатываемого проекта и самим производить. Например, набор MA300 + 2ED300C17-S + 2ED300E17-SFO представляет собой гибкий стартовый комплект привода для простого параллельного соединения модулей PrimePACK™.

Драйвер располагается на плате адаптера. Эта система позволяет управлять как единичным модулем, так и параллельным соединением до трех модулей.

Номенклатура продуктов в корпусе PrimePACK™ начинается с модулей на ток 450 А в корпусе PrimePACK™-2 и модулей на ток с 1000 А для корпуса PrimePACK™-3. В настоящее время уже есть устройства на 1400 А. В таблице 4 приведены данные

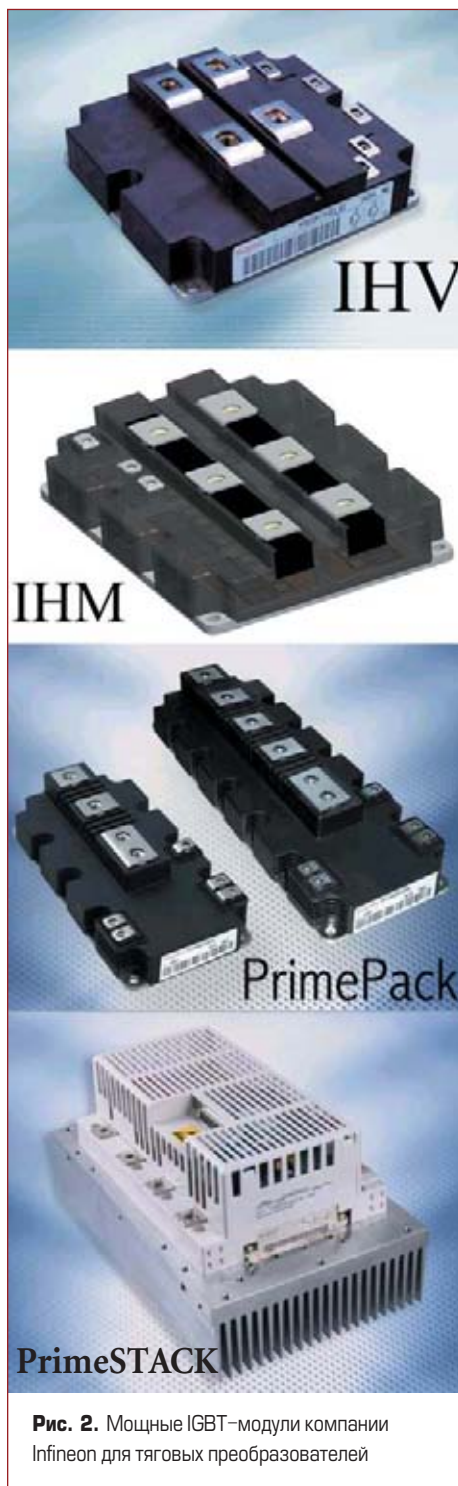


Рис. 2. Мощные IGBT-модули компании Infineon для тяговых преобразователей

для модулей в корпусе PrimePACK™ на напряжение 1200 и 1700 В.

Стоит отметить, что для PrimePACK™-2 на 900 А есть три версии: IE4, IP4 и IP4D. FF900R12IE4 с кристаллом средней мощности предназначен для приложений с быстрым переключением, например для высокочастотного UPS. У этого модуля очень низкие динамические потери, но для обеспечения низкой индуктивности конструкции требуется внешний дополнительный конденсатор. То есть снабженный конденсатор обязателен. Для приложений, где нет возможности установить такой конденсатор, в том же корпусе предлагается версия с кристаллом IGBT на большую мощность: FF900R12IP4. Этот модуль переключается медленнее. А в версии FF900R12IP4D имеется большой антипараллельный диод. Этот модуль предназначен для первичной стороны конвертора — для активного выпрямителя.

Внешний вид мощных IGBT-модулей компании Infineon для тяговых преобразователей показан на рис. 2.

При конструировании всех видов мощных преобразователей основными проблемами, решаемыми разработчиками, являются вопросы, связанные с управлением модулями и отводом рассеиваемой в виде тепла мощности. Учитывая это, компания Infineon разрабатывает и производит не только модули, но и сборки на их основе. Одним из последних предложений компании являются модульные силовые электронные блоки PrimeSTACK. Они включают стандартизированные базовые элементы, состав которых можно варьировать в зависимости от предъявляемых требований и решаемых задач. Доступный спектр таких продуктов простирается от прямоходового однофазового преобразователя с простейшими функциями для нескольких киловатт до полного комплекта 4-квadrантного 3-фазного инвертора с водяным охлаждением на мощность в 1 МВт с комплексом логической защиты.

PrimeSTACK состоят из следующих логических и физических компонентов:

- 1) Силовая секция строится на основе 62-миллиметровых IGBT-модулей Infineon.
- Используемые модули безусловно соответствуют управляемой мощности и заданной топологии схемы. Для классов напряжения 600, 1200 и 1700 В и номинальных токов модулей до 1600 А в PrimeSTACK сейчас имеются топологии:

- одиночный полумост — 1/2 B2I;
- однофазный мост — B2I;
- трехфазный мост с или без тормозящего чоппера — B6I.

- 2) Секция управления силовой частью на основе драйверов Infineon EiceDRIVER™, которые интегрированы в электронную схему PrimeSTACK. Вся электроника адаптирована в соответствии с выбранной топологией схемы силовой секции и применяемых IGBT-модулей.

- 3) Система защиты: в дополнение к базовым, которые обеспечиваются стандартной самозащитой, по требованию доступны дополнительные компоненты защиты. Следующие физические параметры отслеживают

Таблица 4. IGBT-модули Infineon в корпусе PrimePACK™

Обозначение ¹⁾	Конфигурация	Технология	V _{CEs} , В	I _c , А	V _{CE} (sat), В	E _{on} /E _{off} , мДж	R _{thjC} , К/Вт	Корпус
FF450R12IE4	Полумост	IGBT ⁺	1200	450				H_PP2
FF600R12IE4	Полумост	IGBT ⁺	1200	600				H_PP2
FF600R12IP4	Полумост	IGBT ⁺	1200	600				H_PP2
FF900R12IE4	Полумост	IGBT ⁺	1200	900				H_PP2
FF900R12IP4	Полумост	IGBT ⁺	1200	900				H_PP2
FF900R12IP4D	Полумост	IGBT ⁺	1200	900				H_PP2
FF1200R12IP4	Полумост	IGBT ⁺	1200	1200				H_PP3
FF1400R12IP4	Полумост	IGBT ⁺	1200	1400				H_PP3
FF450R17IE4	Полумост	IGBT ⁺	1700	450	2,0	180/120	0,054	H_PP2
FF650R17IE4	Полумост	IGBT ⁺	1700	650	2,0	300/205	0,036	H_PP2
FF1000R17IE4	Полумост	IGBT ⁺	1700	1000	2,0	390/295	0,024	H_PP3
FF1200R17IE4	Полумост	IGBT ⁺	1700	1200				H_PP3

¹⁾ Для всех в PrimePACK™ при: T_{vj} = 150 °C, I_{CRM} = 2 × I_c

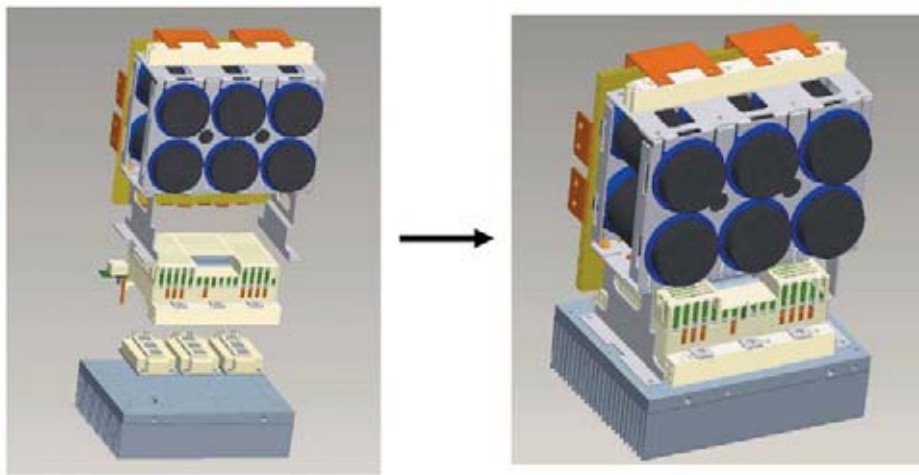


Рис. 3. Концепция Kit-set применения PrimeSTACK

ся и/или измеряются в реальном масштабе времени и предусмотрены в электронном интерфейсе PrimeSTACK в качестве значений аналогового напряжения:

- мониторинг тока нагрузки каждого логического фазового выхода (стандарт);
 - мониторинг короткого замыкания моста (стандарт);
 - мониторинг температуры с защитой от перегрева (стандарт);
 - мониторинг понижения напряжения питания контроллера, который служит надежному переключению IGBT (стандарт);
 - мониторинг напряжения шины DC, включая выключение при перенапряжении (опционально);
 - симуляция температуры перехода IGBT и аппаратная защита от кратковременного температурного перегрева (опционально).
- 4) Охладитель — в зависимости от приложения и требуемой мощности:

- радиатор с форсированным воздушным охлаждением (стандарт);
 - водяное охлаждение.
- 5) Конструкция шины DC для PrimeSTACK была разработана специальная — чтобы выполнить требования минимизации пространства в сочетании с обеспечением лучших тепловых и электрических характеристик. Шина DC состоит из следующих компонентов:
- бок конденсаторов (включая шинопровод);
 - электролитические конденсаторы;
 - снаберные конденсаторы;
 - разделительные резисторы.

Если требования по величине обеспечиваемой мощности не могут быть реализованы с помощью одного PrimeSTACK, то несколько PrimeSTACK можно соединять параллельно с/без секции шины DC. Опционально доступен специально разработанный параллельный интерфейс, а также шинопровод DC для соединения индивидуальных шин DC. Эта возможность обусловлена так называемой Kit-set

концепцией конструкции PrimeSTACK, которая отображена на рис. 3.

В зависимости от потребностей семейство продуктов PrimeSTACK можно разделить на три подсемейства:

- 1) PrimeSTACK;
- 2) PrimeSTACK IPM — семейство без верхнего радиатора;
- 3) PrimeSTACK System — полное системное решение.

Каждое из этих подсемейств содержит стандартно производимые компоненты. Как и в Kit-set, требуемые компоненты могут добавляться или уменьшаться. В ближайшее время комплекты PrimeSTACK будут доступны не только в стандартной версии, но и в версии для тяговых преобразователей.

Заклучение

За последние годы транзисторы IGBT стали широко применяться в тяговых преобразователях всего диапазона мощностей, а в новых разработках они будут полностью вытеснять запираемые тиристоры. Ни высокие напряжения сетей, ни чрезвычайно жесткие требования к рабочим характеристикам не являются сейчас препятствием для их применения. В результате заказчики получают рентабельные тяговые преобразователи, которые превосходят по таким показателям, как стоимость, надежность, габариты и масса, соответствующие системы на запираемых тиристорах. Компания Infineon обеспечивает производителей преобразователей модулями для большой мощности на все классы напряжений — 1200, 1700, 3300 и 6500 В. Все новые IGBT-модули Infineon имеют максимальную рабочую температуру 150 °С, а температура хранения снижена до -55 °С. Для всех новых модулей увеличена цикличность мощности. Все они выпускаются в новых корпусах.