

Силовые Press-Pack IGBT компании WESTCODE для тяговых электроприводов

Автор статьи: Юрий Коваль, руководитель технического отдела, фирма СЭА
E-mail: yurikov@sea.com.ua

IGBT -модули прижимной конструкции играют особую роль в развитии железнодорожного транспорта. Применение этих перспективных приборов с минимальным весом и габаритами в тяговом преобразователе позволило повысить частоту переключения, упростить схему управления, минимизировать загрузку сети гармониками и обеспечить предельно низкие потери в обмотках трансформатора и дросселей.



Структура IGBT

Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT - *Insulated Gate Bipolar Transistors*) - полностью управляемый полупроводниковый прибор, в основе которого трёхслойная структура. Его включение и выключение осуществляются подачей и снятием положительного напряжения между затвором и истоком. На рис. 1 приведено условное обозначение IGBT.

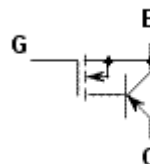
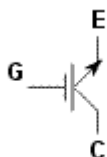


рис. 1. Условное обозначение IGBT **рис. 2. Схема соединения транзисторов в единой структуре IGBT**

IGBT являются продуктом развития технологии силовых транзисторов со структурой металл-оксид-полупроводник, управляемых электрическим полем (MOSFET-*Metal-Oxid-Semiconductor-Field-Effect-Transistor*) и сочетают в себе два транзистора в одной полупроводниковой структуре: биполярный (образующий силовой канал) и полевой (образующий канал управления). Эквивалентная схема включения двух транзисторов приведена на рис. 2. Прибор введён в силовую цепь выводами биполярного транзистора E (эмиттер) и C (коллектор), а в цепь управления - выводом G (затвор).

Таким образом, IGBT имеет три внешних вывода: эмиттер, коллектор, затвор. Соединения эмиттера и стока (D), базы и истока (S) являются внутренними. Сочетание двух приборов в одной структуре позволило объединить достоинства полевых и биполярных транзисторов: высокое входное сопротивление с высокой токовой нагрузкой и малым сопротивлением во включённом состоянии.

Преимущества прижимной конструкции IGBT

Наряду с развитием традиционной технологии паяной конструкции силовых модулей с изолированным основанием продолжает интенсивно развиваться технология прижимной конструкции IGBT- модулей (см. рис.3), подобная таблеточной конструкции тиристоров SCR (Silicon Controlled Rectifier) и GTO (Gate Turn-Off) - *press-pack technology*, в которой наряду с уменьшением более чем в 10 раз теплового сопротивления и габаритов значительно улучшены надёжность, термоциклоустойчивость [1]. Высоких параметров IGBT-модулей прижимной конструкции достигла компания Westcode.

Полное отсутствие проволочных соединений, сварки и пайки позволило принципиально улучшить режим эксплуатации силового кристалла. Каждый отдельный IGBT и диод выполнен в своей ячейке. Параллельное включение таких элементов позволяет получить нужные конечные характеристики модуля. На рис.3, показан модуль на 900 Ампер, 5200 Вольт. Электроды затворов выполнены в виде прижимных золотых контактов,

которые объединяются посредством общей печатной платы.

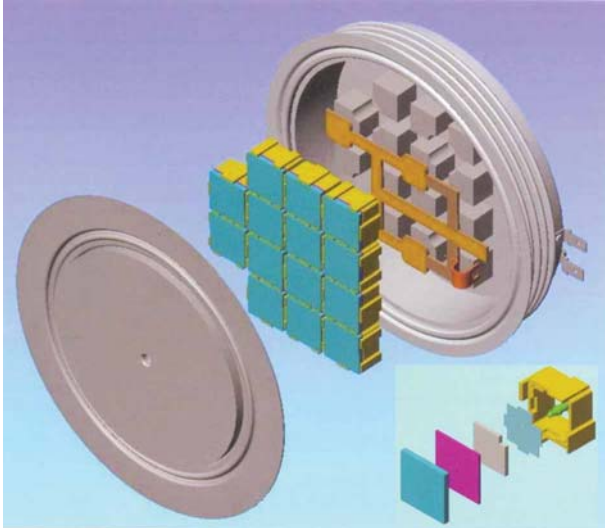


рис.3

Поскольку внутренние базовые элементы имеют одинаковую конструкцию для одного напряжения, то легко могут быть получены специальные конфигурации модуля в одном и том же корпусе. Границы определены только возможностями корпуса и величиной потерь, которые приведены на рис.4.

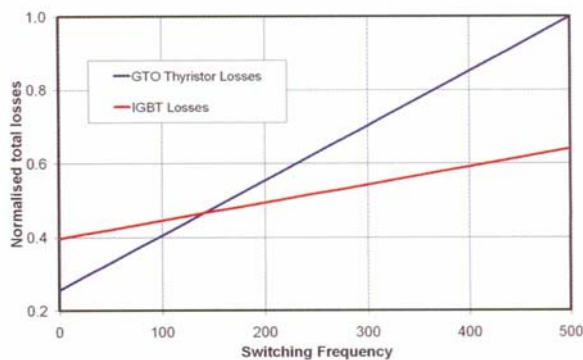


рис.4

Полученные характеристики надежности показывают значительное превосходство перед альтернативными методами изготовления модулей, в том числе и паяных конструкций. Отсутствие проволочных соединений, пайки и сварки устранило основную причину повреждения модулей в процессе эксплуатации: неравномерное распределение тока, термоудар и механическую деформацию от перегрева. IGBT-чипы изготовлены по РТ (punch through) технологии. IGBT - транзисторы, изготовленные по этой технологии, обладают высокой du/dt стойкостью, и обеспечивает надёжную работу приборов при предельных нагрузках по току и напряжению. Эти транзисторы имеют положительный температурный коэффициент напряжения насыщения, что позволяет успешно использовать IGBT- модули в параллельных соединениях. Внутренняя паразитная индуктивность затвора и эмитера значительно уменьшена по сравнению с обычными выводными IGBT модулями, что делает их более выносливыми при коротких замыканиях по выходной нагрузке. Принципиальным отличием данной технологии является возможность двухстороннего охлаждения кристалла и удвоение эффективности охлаждающей системы. В дополнение, прямое охлаждение эмиттерного контакта подразумевает наличие области безопасной работы SOA в характеристике модуля. Герметичный корпус предлагает другую опцию- возможность погружения модуля во фреон или масло для более эффективного охлаждения.

Использование в тяговом электроприводе

Press-pack IGBT позволяют произвести модернизацию существующего оборудования на GTO тиристорах. При этом может быть сохранена прежняя конструкция, схемы контроля и система охлаждения, с заменой только силовых модулей и драйверов управления. Press- Pack IGBT подходят как для приводов постоянного, так и переменного тока, поскольку там используется схожая топология. GTO тиристоры обычно характеризуются максимальным значением контролируемого анодного тока, в то время как IGBT

характеризуются номинальным значением постоянного тока коллектора при максимальной рассеиваемой мощности на заданной температуре. Однако, IGBT может контролировать двойной ток коллектора при включении и выключении. Это означает, что для замены GTO тиристора может быть использован IGBT, у которого токовая характеристика в 2 раза меньше. Рассмотрим для примера 2-х уровневый трехфазный преобразователь с ШИМ на GTO тиристорах. В данном проекте применены 500A Press-pack IGBT (WESTCODE T0500NA25E) для замены GTO тиристоров 1000A (WESTCODE G1000LL250). Нормализованные величины потерь преобразователя показали увеличение потерь проводимости до 150%, но сокращение потерь переключения до 32% по сравнению с GTO тиристорами. При этом, определяющими являются именно потери переключения, где IGBT имеют преимущество начиная с частоты 140 Гц (рис.4). В большинстве случаев, приводная техника работает на частотах более 150Гц, поэтому IGBT являются закономерным выбором для построения современного преобразователя. В дополнение отметим, что система крепления осталась без изменения, поскольку модули выполнены в одном конструктивном исполнении с GTO тиристорами.

Трамвай в Варшаве

Начиная с сентября 2003 года, Институт Электротехники Польши применяет Press-pack IGBT в трамвае в г. Варшава. При этом, для модернизации был заменен только драйвер управления и сам модуль, остальная электроника и конструкция осталась без изменения. Сейчас снятая с производства модель 2500В, 1200А СТО тиристора (WESTCODE WG12025) была заменена на 2500В, 500А IGBT (WESTCODE T0500NA25E). Эти примеры замены стали возможны лишь потому, что изделия были в идентичных корпусах. Каждый трамвай имеет два силовых преобразователя и лишь один был заменен на IGBT, при этом сохранилась полная функциональность всего оборудования.

Тяговый электропривод (Польский проект)

Немного более амбициозный проект был реализован в Польше для модернизации РКР локомотива (см. рис.5).



рис.5

Данный локомотив работает от контактной сети 3000 Вольт постоянного тока. Локомотив приводится в движение четырьмя двигателями, объединенными в две группы с последовательным соединением (см. рис.6). Потребляемая мощность нормализуется с помощью входного фильтра, включенного сразу после контактной сети. Напряжение контактной сети может быть увеличено до 4 кВольт с кратковременным значением 5 кВольт, поэтому были использованы последовательно соединенные IGBT на 5200 Вольт (WESTCODE T0850TA52B) с конденсатором для подавления пульсаций. Преобразователь состоит из трех идентичных модулей, каждый из которых состоит из двух последовательно соединенных IGBT и двух диодов. Модуль управляется драйвером C0030BG400 компании WESTCODE с оптическим интерфейсом и изоляцией 10 кВольт. RC снабберные цепи использованы совместно с диодами, IGBT работает без снабберных цепей. Один модуль контролирует ток двух последовательно соединенных двигателей, третий модуль используется для защиты от превышения напряжения. Каждый из модулей собран с использованием алюминиевых радиаторов с хорошей теплопроводностью и компактными размерами (см. рис.7). Устройство собрано из двух submodule: один состоит из IGBT, другой- из диодов, что позволило уменьшить собственную индуктивность конструкции и унифицировать систему крепления элементов. Система

охлаждения собрана в огнебезопасном GPO3 конструктиве в виде трубы, который обеспечивает прямое охлаждения элементов при отсутствии обдува критичных к воздействию поверхностей. При установке системы, два модуля, непосредственно управляющие моторами, были установлены перед трубой системы охлаждения, в то время как модуль контроля напряжения охлаждался естественной конвекцией. Ток двигателя контролировался с помощью ШИМ 400 Гц. Максимальный рабочий ток двигателя- 320А, пиковый ток- 400А. Привод управляется микропроцессором, который обеспечивает нужные функции управления, разгона и торможения двигателей.

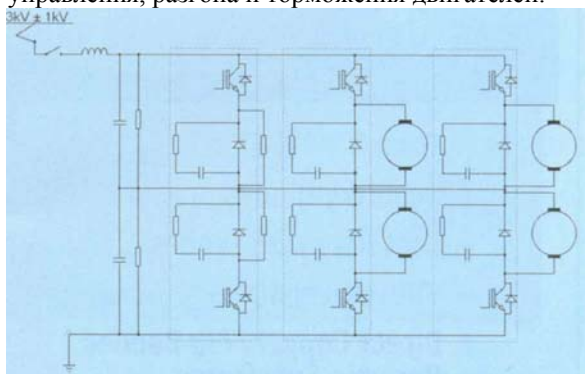


рис.6



рис.7

Преобразователь был протестирован вместе с системой управления и контроля лабораторией IEL в Варшаве (см. рис.7.), обеспечил заданные характеристики во всех режимах и был установлен в локомотив для дальнейшей работы.

Заключение

На сегодняшний день IGBT как класс приборов силовой электроники занимает, и будет занимать доминирующее положение для диапазона мощностей от единиц киловатт до единиц мегаватт. Силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором прижимной конструкции (Press-pack IGBT) компании WESTCODE (см. табл.1), выполненные в стандартных таблеточных керамических корпусах, позволяют использовать стандартную конструкцию модуля и системы охлаждения, обеспечивают самый высокий уровень надежности в эксплуатации, предоставляя следующий уровень производительности современных IGBT модулей.

Таблица 1

Наименование IGBT	VCES	Ic	ICM	Vce(sat) Ic=Ic	EON Дж	EOFF Дж	V _F I _F =I _C	IDM	tdrr	Qdr	T _{JM}	R _{THJS} Диод К/В	Размеры, Диаметр x высота, мм	
	В	А	А	В		В	А	мксек	мкК	°С	IGBT К/В			
T0160NA45A	4500	160	310	3.8	0.5	0.42	4.5	400	0.96	340	125	0.056	0.092	74*26
T0160NA52A	5200	160	320	4.1	0.4	0.33	4.3	400	0.25	340	125	0.056	0.092	74*26
T0250NA45E	4500	250	400	4.5	0.72	0.84	нет	нет	нет	нет	125	0.042	нет	74*26
T0250NA52E	5200	250	520	4.5	0.64	0.53	нет	нет	нет	нет	125	0.042	нет	74*26
T0360NA25A	2500	360	720	3.6	0.75	0.34	2.5	250	0.93	285	125	0.054	0.073	74*26

T0500NA25E	2500	500	1000	3.3	0.8	0.5	нет	нет	нет	нет	125	0.0386	нет	74*26
T0650TA52A	5200	650	1300	5.1	1.7	1.4	4.1	1600	2.3	1400	125	0.016	0.039	112*26
T0900TA52E	5200	900	1800	4.6	2.1	1.9	нет	нет	нет	нет	125	0.012	нет	112*26
T1200TA25A	2500	1200	2400	3.75	2.5	1.4	3	670	1.5	830	125	0.0169	0.0292	112*26
T1500TA25B	2500	1500	3000	3.5	3.1	2.0	нет	нет	нет	нет	125	0.0136	нет	112*26
T1500TA25E	2500	1500	3000	3.4	3.3	1.7	нет	нет	нет	нет	125	0.0132	нет	112*26

Сокращения: V_{CES} – максимальное напряжение между коллектором и эмитером, I_C – максимальный DC ток коллектора при температуре 125°C, I_{CM} – максимальный импульсный ток коллектора, $V_{ce(sat)}$ – напряжение насыщения между коллектором и эмитером, E_{ON} – энергия включения, E_{OFF} – энергия выключения, V_F – падение напряжение на диоде в прямом направлении, I_{DM} – прямой ток диода, t_{drr} – время восстановления диода, Q_{dr} – заряд на восстановление диода, T_{JM} – максимальная температура выводов, R_{thjs} – тепловое сопротивление между выводами и радиатором

По вопросам заказа IGBT, диодов, тиристоров и предохранителей компании Westcode (www.westcode.com), а также технической поддержки по ним обращайтесь к официальному дистрибьютору в Украине - фирме СЭА, тел 044 575-94-00, e-mail: info@sea.com.ua, www.sea.com.ua.

Литература:

[1]. F.Wakeman, K.Billett, R.Irons и M.Evans, ‘Electromechanical characteristics of a bondless pressure contact IGBT’ APEC 1999, pp. 312-317