

Сборки компании Westcode

В настоящее время одним из самых быстроразвивающихся направлений рынка силовой электроники в России является рынок электроприводов и мощных преобразователей, обладающий значительным потенциалом и хорошими перспективами. Это подтверждает и возрастающий интерес отечественных производителей силовой преобразовательной и приводной техники, в том числе и спецтехники, к зарубежной элементной базе.

Алексей Лебедев

albm@argussoft.ru

Ряд западных компаний с целью упрощения задачи выбора необходимых элементов из всего многообразия существующих компонентов на мировом рынке стал применять комплексный метод решения задачи — собственно, не одной, а ряда задач, которые всплывают в процессе разработки нового оборудования. В результате, были разработаны универсальные сборки, которые, по сути, являются фундаментальной основой для построения целого спектра мощного преобразовательного оборудования. Решения такого рода предназначены для реализации комплексных задач, таких как преобразование энергии, управление различными типами двигателей, защита оборудования от перегрузок по току и напряжению, проектирование системы охлаждения, обеспечение необходимого уровня интеграции в оборудование как силовых блоков в целом, так и их узлов.

Компания Westcode была основана в 1920 году в Великобритании, и в настоящее время занимается разработкой и поставкой силовых полупроводников большой мощности. Специалисты Westcode осуществляют разработку и производство специализированных модулей по заданию заказчика с применением новейших методов тестирования. Компания входит в состав корпорации IXYS и осуществляет полную техническую поддержку и сервис своим заказчикам через авторизованных дистрибьюторов. Обладая богатейшим опытом в области проектной работы с заказчиками, Westcode имеет возможность не только оказывать всестороннюю поддержку,

но и принимать непосредственное участие при реализации самых сложных проектов.

Стандартные сборки, поставляемые компанией Westcode

Модульные решения Westack — воплощение новой концепции компании Westcode для решения комплексных задач, суть которой заключается в использовании базового блока для построения целого ряда силового оборудования (рис. 1). Данные блоки представляют собой линейку выпрямительных мостов, могут включать в себя один или два типа силовых элементов, диод или тиристор и иметь различное схемотехническое исполнение:

- однофазные управляемые и полуправляемые мосты;
- трехфазные управляемые и полуправляемые мосты;
- шестифазные управляемые и полуправляемые мосты с межфазными трансформаторами.

Особенности этих блоков:

1. Возможно производство сборок на заказ. Разработка сборки под проект заказчика в соответствии с ТЗ, с предоставлением по запросу всей конструкторской документации.
2. Система охлаждения. Каждая секция сборки имеет принудительное воздушное охлаждение. Применяются малошумящие вентиляторы на 115/230 В переменного тока, защищенные от перегрузок за счет использования встроенных плавких пре-

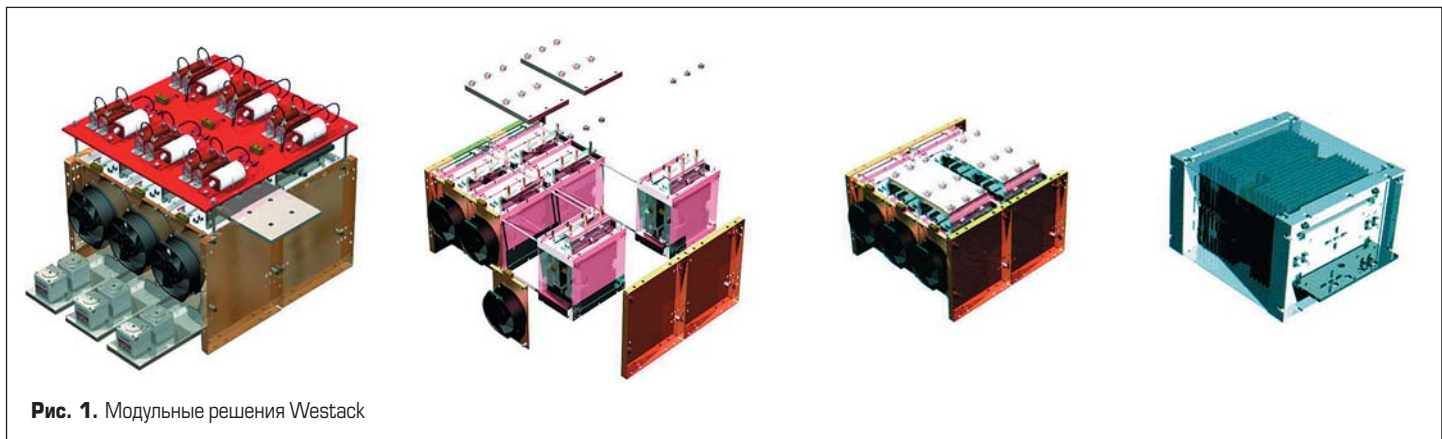


Рис. 1. Модульные решения Westack



Рис. 2. Полупроводниковые предохранители Westcode



Рис. 3. Плата управления IGBT-модулем

дохранителей. Также возможно охлаждение жидкостью (ионизированная вода или масло).

3. Защитные функции. Для защиты от перенапряжений применяются снабберные RC-цепи; для защиты от тока короткого замыкания — полупроводниковые предохранители (рис. 2).
4. Управление. Для ряда сборок компания Westcode разработала специальные управляющие платы. В частности, для сборок с использованием IGBT прижимной конструкции выпущена серия мощных драйверов с функциями защиты (рис. 3).

По рыночным сегментам все выполненные проекты можно условно классифицировать следующим образом: приводы различной мощности, индукционный нагрев, транспорт-



Рис. 5. Конструктивное исполнение сборки для индукционного нагрева



Рис. 6. Готовая сборка с использованием пластиковых модулей

ное применение, плавные пускатели, источники питания, сварочное оборудование и др. (диаграмма на рис. 4).

Среди поставляемых на рынок решений компании Westcode, следует выделить основные типы сборок: однофазные и трехфазные инверторы, коммутаторы, решения для импульсной мощности, стеки (рис. 5, 6, 7). По желанию заказчика Westcode может осуществлять сортировку по параметрам всех поставляемых приборов, например, по объемному заряду обратного восстановления для реализации последовательного соединения тиристоров.

В рамках одного из отечественных проектов компания Westcode разработала транзис-



Рис. 7. Высоковольтный коммутатор, выполненный по заказу для CERN

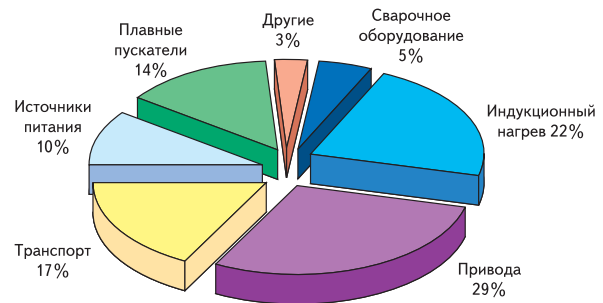


Рис. 4. Процентное соотношение реализованных проектов по областям применения

торно-диодную сборку для управления мощным приводом. Описание проведенных испытаний и их результаты приведены ниже.

Протокол испытаний транзисторно-диодной сборки фирмы Westcode

Транзисторно-диодная сборка (чоппер), предназначенная для преобразователя напряжения и состоящая из прижимного устройства с тремя охладителями, диода E2500VF250, IGBT-транзистора T1200TA25E (рис. 8) и драйвера C0030BG400 предоставлена для проведения испытаний компанией Westcode.



Рис. 8. мощный IGBT-транзистор капсульного типа

Паспортные данные приборов:

- диод E2500VF250: $V_{RRM} = 2500$ В, $I_{F(AV)M} = 2516$ А, $di/dt = 3000$ А/мкс;
- транзистор T1200TA25E: $U_{CES} = 2500$ В, $I_{C(DC)} = 1141$ А.

Испытания проводились на стенде НТЦ «Синтез» ФГУП НИИЭФА им. Д. Ф. Ефремова в октябре 2006 года специалистами «СПБ-Лаборатория» ОАО ВНИИСТ и НТЦ «Синтез» ФГУП НИИЭФА им. Д. Ф. Ефремова.

Электрическая схема и состав оборудования для проведения испытаний представлены на рис. 9.

Регулирование тока в нагрузке (дроссель L1) осуществлялось изменением длительности открытого состояния IGBT-транзистора в диапазоне 0–7 мкс.

Изменение скорости спада прямого тока в диоде осуществлялось изменением величины резистора драйвера в цепи затвора, а так же изменением индуктивности шин между конденсатором C1 и входными клеммами чоппера.

В процессе испытаний контролировались и регистрировались следующие параметры:

- напряжение питания;
- ток нагрузки (амперметр на шунте);

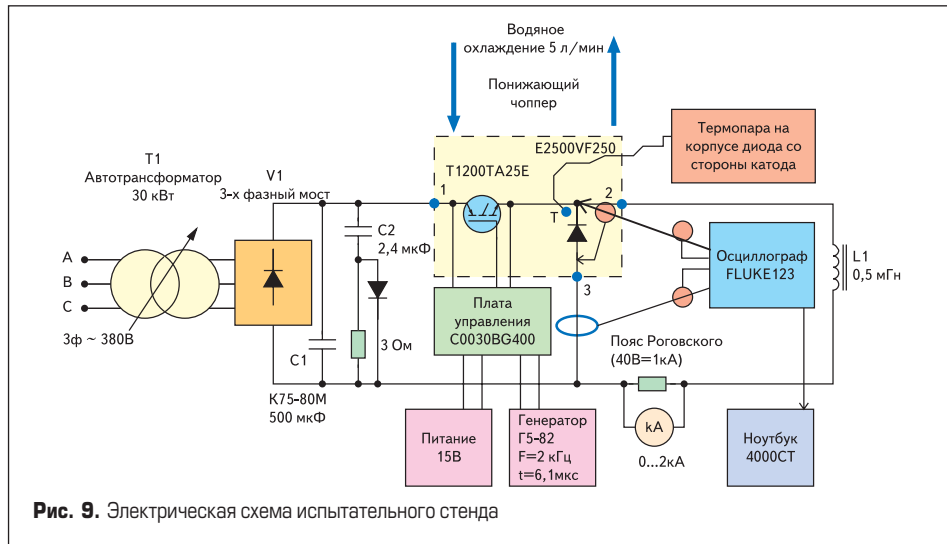


Рис. 9. Электрическая схема испытательного стенда

Таблица 1

№	Входной ток, А	Входное напряжение, В	Максимальное напряжение на диоде, В	Длительность импульса, мкс	Частота, кГц	di/dt, А/мкс	t _д , °С
1	700	400	460	5	2	963	38
2	500	500	600	4	2	1000	–
3	750	450	500	5	2	1000	36
4	800	460	510	5	2	1000	39
5	850	500	550	5	2	1000	40
6	920	540	620	5	2	1150	43

Таблица 2

№	Входной ток, А	Входное напряжение, В	Максимальное напряжение на диоде, В	Длительность импульса, мкс	Частота, кГц	di/dt, А/мкс	t _д , °С
1	500	280	380	5	2	1000	–
2	600	300	380	5	2	1125	–
3	700	380	400	5	2	1200	–
4	800	440	480	5	2	1250	–
5	920	470	550	5	2	1350	43

Таблица 3

№	Входной ток, А	Входное напряжение, В	Максимальное напряжение на диоде, В	Длительность импульса, мкс	Частота, кГц	di/dt, А/мкс	t _д , °С	t _{вхв} , °С	t _{выхв} , °С
1	920	480	500	5	2	1350	50	11,9	22,7
2	920	430	480	4	4	1350	53	11,3	30
3	700	270	400	5	2	1250	35	11,3	17,4
4	800	300	410	5	2	1350	38	11,3	18,6
5	920	350	460	5	2	1500	43	11,3	18,5
6	1000	500	500	4	2	2000	47	11,3	21,8

- осциллограмма тока через диод в процессе записи диода;
- осциллограмма напряжения на диоде в момент его записи;
- температура корпуса диода.

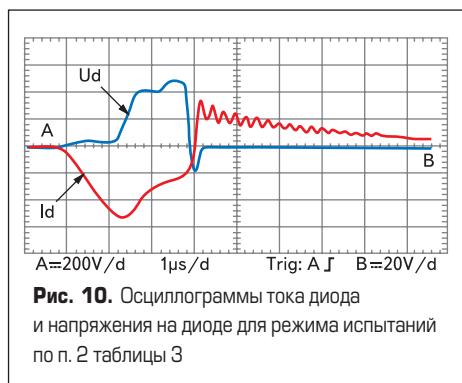


Рис. 10. Осциллограммы тока диода и напряжения на диоде для режима испытаний по п. 2 таблицы 3

Температура корпуса диода фиксировалась при помощи термопары, подсоединенной к корпусу диода со стороны катода.

Температура корпуса транзистора контролировалась, но не регистрировалась, так как

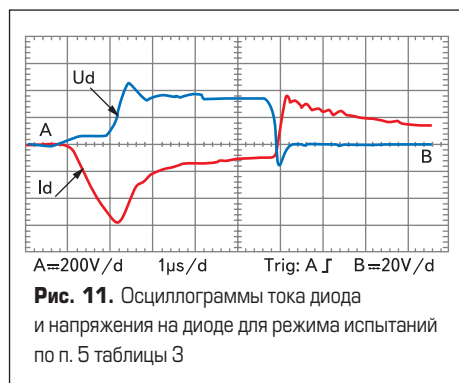


Рис. 11. Осциллограммы тока диода и напряжения на диоде для режима испытаний по п. 5 таблицы 3

длительность его работы на периоде очень мала (меньше 10 мкс) и статические потери в транзисторе незначительны, в виду чего температура корпуса мало изменяется.

В процессе проведения испытаний расход охлаждающей жидкости поддерживался неизменным и составлял 4,6 л/мин.

Отсутствие недопустимых перенапряжений (амплитудой более 2 кВ) на транзисторе и диоде обеспечивалось использованием защитной цепи RCD.

Испытания проводились при напряжении питания до 550 В.

Целью испытаний являлось определение возможности работы и технических характеристик предоставленной транзисторно-диодной сборки в режимах со скоростью спада тока в диоде не более $di/dt = 1500$ А/мкс и средним значением тока через диод не более 1500 А на частотах 2 и 4 кГц. Приведенные параметры режимов работы приборов в процессе испытаний не превышают номинальных значений параметров, заявленных производителем полупроводниковых приборов, а именно: для диода E2500VF250 — $V_{RRM} = 2500$ В, $I_{F(AV)M} = 2516$ А, $di/dt = 3000$ А/мкс, для IGBT-транзистора T1200TA25E — $U_{ces} = 2500$ В, $I_{C(DC)} = 1141$ А.

Алгоритм проведения испытаний заключался в плавном подъеме входного напряжения при фиксированной скважности работы транзисторного ключа. При выходе на каждую из фиксированных площадок значения тока снимались параметры работы ключа.

Значение скорости спада тока в диоде di/dt вычислялось по линейной аппроксимации осциллограмм спада тока диода на участке $0,1-0,9 I_{max}$.

После стационарной работы ключа на площадке, в течение 5–20 мин, в зависимости от режима, контролировалось установившееся значение температуры корпуса диода. Затем осуществлялся переход на следующее значение тока площадки. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 1.

Для дальнейшего увеличения скорости спада тока в диоде произведено уменьшение входной паразитной индуктивности ошиновки. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

С целью дальнейшего увеличения скорости спада тока в диоде произведено уменьшение сопротивления резистора в цепи затвора IGBT-транзистора с 3,9 до 1,95 Ом. В ходе испытаний также было произведено двукратное увеличение рабочей частоты (до 4 кГц). Результаты испытаний представлены в таблице 3.

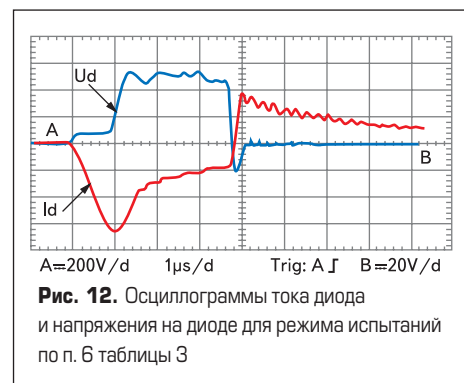


Рис. 12. Осциллограммы тока диода и напряжения на диоде для режима испытаний по п. 6 таблицы 3

На рис. 10 представлены осциллограммы тока диода и напряжения на диоде для режима испытаний по п. 2 таблице 3, при этом $f = 4$ кГц, длительность открытого состояния ключа $\Delta t = 4$ мкс, величина сопротивления в цепи затвора $R_d = 3,9$ Ом, ток нагрузки $I_n = 920$ А.

На рис. 11 представлены осциллограммы тока диода и напряжения на диоде для режима испытаний по п. 5 таблице 3, при этом $f = 2$ кГц, длительность открытого состояния ключа $\Delta t = 5$ мкс, величина сопротивления в цепи затвора $R_d = 1,95$ Ом, ток нагрузки $I_n = 920$ А.

На рис. 12 представлены осциллограммы тока диода и напряжения на диоде для режима испытаний по п. 6 таблице 3, при этом $f = 2$ кГц, длительность открытого состояния ключа $\Delta t = 4$ мкс, величина сопротивления в цепи затвора $R_d = 1,95$ Ом, ток нагрузки $I_n = 1000$ А.

На приведенных осциллограммах нулевая линия помещена по центру экрана. Нулевое значение тока диода в начале осциллограммы

обусловлено тем, что его измерение осуществлялось с использованием пояса Роговского, который измеряет только динамическую составляющую тока.

Все испытания проводились ведущим специалистом компании СПБ-Лаборатория ОАО ВНИИСТ Чайкой В. М. и руководителем отдела силовых преобразователей НТЦ «Синтез» ФГУП НИИЭФА Рошалём А. Г.

Результаты проведенных испытаний показали, что представленная для испытаний транзисторно-диодная сборка надежно работала в режимах со следующими предельными параметрами:

а) для $f = 4$ кГц; $U_n = 550$ В; $I_d = 1000$ А; $dI/dt = 1350$ А/мкс;

б) для $f = 2$ кГц; $U_n = 550$ В; $I_d = 1000$ А; $dI/dt = 2000$ А/мкс.

Экспериментально полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности дальнейшего внедрения и последующего приме-

нения сборок с использованием IGBT-транзисторов. Это подтверждает и тот факт, что тенденция интенсивного роста рыночного сегмента IGBT-модулей в целом продолжает сохраняться. Возрастающий интерес у конечного потребителя обуславливается нераскрытым до конца потенциалом данного класса устройств, необходимостью их дальнейшего изучения на предмет определения предельных возможностей в конкретных приложениях.

Литература

1. Power Semiconductor Application Book IXYS Corporation 2002.
2. Press-Pack IGBTs for Traction Application PEE journal 2004.
3. Application of Press-Pack IGBTs in Traction Refurbishment APEC 2005.
4. www.westcode.com