

Силовые диоды, транзисторы и модули

компании Microsemi

Активная деятельность Microsemi на рынке электронных компонентов, включающая в себя как производство новых устройств, так и поглощение профильных компаний, выпускающих интересные и перспективные изделия, приводит к тому, что ассортимент выпускаемой компанией продукции постоянно расширяется. В настоящее время спектр предлагаемых Microsemi полупроводниковых устройств простирается от обычных дискретных полупроводниковых приборов до высокоинтегрированных ИС, выполняющих функции обработки, передачи и хранения информации. Но у многих разработчиков название Microsemi ассоциируется, прежде всего, с силовыми диодами, транзисторами и модулями на их основе.

Константин Верхулевский

info@icquest.ru

Введение

Силовая электроника — интенсивно развивающаяся область науки и техники. Компоненты, разрабатываемые в этом сегменте промышленности, находят применение практически во всех сферах человеческой деятельности — от добывающих отраслей до транспорта и связи. Приборы силовой электроники представляют собой мощные электронные устройства, работающие, как правило, в импульсных режимах и позволяющие изменением алгоритмов их переключения управлять усредненными значениями мгновенной мощности по требуемым законам. Наблюдаемый в последние годы на мировом рынке повышенный спрос на изделия силовой электроники и соответствующая активность в области их разработок и производства обусловлены тем, что именно они во многих случаях являются основой для создания современного высокотехнологичного оборудования [1].

Модернизация силовых полупроводниковых устройств идет по пути повышения энергоэффективности (обеспечения минимальных потерь мощности), быстродействия и надежности с одновременным уменьшением массо-габаритных характеристик при максимально возможной мощности. Прогресс в современной силовой электронике тесно связан со значительным улучшением параметров мощных, практически «идеальных» ключей на базе полевых транзисторов (MOSFET) и биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), быстродействующих диодов и силовых модулей. В основном, это достигается совершенствованием технологий изготовления и использованием широкозонных ма-

териалов (карбида кремния, нитрида галлия) при создании мощных приборов с требуемыми характеристиками.

В области напряжений 200–1000 В рынок уверенно завоевывают MOSFET, модули и интеллектуальные силовые ИС на их основе, вытесняя биполярные транзисторы. Это, в первую очередь, связано с отличными эксплуатационными характеристиками MOSFET: высокой скоростью коммутации, низкими статическими и динамическими потерями, малой мощностью управления, высокой стойкостью к перегрузкам. Область применения MOSFET — преобразователи частоты и напряжения мощностью до 10 кВт с частотами преобразования до единиц МГц.

Большую популярность приобретают IGBT. Удачное сочетание их свойств и MOSFET (малая мощность управления, высокая скорость коммутации, прямоугольная область безопасной работы, способность работать параллельно без выравнивающих элементов, малое падение напряжения в открытом состоянии, высокое предельное напряжение) делают эти транзисторы также практически «идеальными» силовыми ключами. Параметры IGBT постоянно улучшаются производителями (прямое падение напряжения с 4 В у первого поколения уменьшилось в настоящее время до 1,2 В у четвертого поколения, аналогично предельная частота переключения увеличилась с 5 до 150 кГц и более). Самая распространенная область применения IGBT — схемы инверторов напряжения, включая многоуровневые, с рабочими напряжениями до нескольких кВ и токами порядка 100 А. Данные преобразователи используются в электроприводах различного назначения, в мощ-

ных системах генерирования электрической энергии постоянного и переменного тока, в мощных преобразователях автомобилей, а также в различных видах сварочного оборудования.

По мнению зарубежных аналитиков, к числу наиболее перспективных также относится производство силовых модулей. Для улучшения технико-экономических показателей силовых электронных устройств (конвертеров, регуляторов и др.) используются интегрированные силовые ключи, объединенные по типовым, наиболее распространенным схемам преобразования параметров электрической энергии. На основе последовательного и параллельного соединений транзисторов создаются модули ключей с двунаправленной проводимостью, работающие в цепях постоянного и переменного тока. Введение дополнительных схем защиты от воздействия высоких напряжений и температур повышает надежность и длительность эксплуатации. Из основных областей применения можно отметить гибридные системы электропитания (ветроэлектроэнергетика, солнечная электроэнергетика), сварочные агрегаты, устройства регулирования электроприводов постоянного и переменного тока, источники бесперебойного питания промышленного оборудования.

Microsemi Corporation, как разработчик высоконадежных дискретных компонентов для космической, военной и авиационной областей, большое внимание уделяет улучшению их обочих параметров транзисторов и их предельных характеристик. Продукция силовой электроники компании применяется в различных системах электропитания: вычислительных комплексах, базовых станциях беспроводной связи, промышленных системах, медицинских приборах, лазерах, в оборудовании для производства полупроводников, сварочных аппаратах и системах электропитания для аэрокосмической отрасли [2]. Рассмотрим далее основные группы изделий, уделяя особое внимание новинкам [3].

Силовые диоды

Компанией Microsemi выпускается пять различных семейств кремниевых диодов с быстрым восстановлением (FRED), а также ряд диодов на основе SiC. Диоды данных серий отличаются высокой скоростью переключения и мягким восстановлением, обеспечивающим минимизацию потерь при коммутации. Они разработаны для высококачественных решений, работающих в широком диапазоне напряжений, и удовлетворяют самым жестким требованиям, предъявляемым к мощным высоковольтным устройствам. Выпускаются одиночные и сдвоенные диоды на напряжения 200–1700 В и токи 15–100 А, их основные рабочие характеристики представлены в таблице 1.

Серия DL характеризуется низким значением прямого напряжения (V_F) и ультрамягким восстановлением. Она позиционируется для выпрямительных и резонансных схем. Диоды D-серии, предназначенные для применения

Таблица 1. Отличительные характеристики отдельных серий кремниевых силовых диодов Microsemi

Силовые IGBT-модули с SiC-диодами							
Повышающий чоппер							
V _{RRM} , В	Тип IGBT	I _C , А (при T _C = 80 °C)	V _{CE(on)} , В	Тип корпуса	NTC*	Номенклатура	
600	NPT	50	2,1	SOT-227	–	APT50GF60JCU2	
1200	NPT	15	3,2	SOT-227	–	APT15GF120JCU2	
		25	3,2	SOT-227	–	APT25GF120JCU2	
		50	3,2	SP1	есть	APTF50DA120CT1G	
	TRENCH 4 FAST	25	2,05	SOT-227	–	APT25GLQ120JCU2	
		40	2,05	SOT-227	–	APT40GLQ120JCU2	
Двойной чоппер							
1200	TRENCH 4 FAST	40	2,05	SP3F	есть	APTGLQ40DDA120CT3G	
Силовые MOSFET и CoolMOS-модули с SiC-диодами							
Одиночный ключ + последовательный FRED и параллельный SiC-диоды							
V _{DSS} , В	Тип MOSFET	R _{DS(on)} , мОм	I _D , А (при T _C = 80 °C)	Тип корпуса	NTC*	Наименование	
1000	MOS7	65	110	SP6	опция	APTM100UM65SCAVG	
1200		100	86	SP6	опция	APTM120U10SCAVG	
Чоппер							
500	MOS8	65	43	SOT-227	–	APT58M50JCU2	
		45	38	SOT-227	–	APT50N60JCCU2	
600	CoolMOS	24	70	SP1	есть	APTC60SKM24CT1G	
		18	107	SP4	есть	APTC60DAM18CTG	
900	CoolMOS	120	25	SOT-227	–	APT33N90JCCU2	
		60	44	SP1	есть	APTC90DAM60CT1G	
		60	44	SP1	есть	APTC90SKM60CT1G	
1000	MOS8	330	20	SOT-227	–	APT26M100JCU2	
		330	20	SOT-227	–	APT26M100JCU3	
1200	MOS8	560	15	SOT-227	–	APT20M120JCU2	
		560	15	SOT-227	–	APT20M120JCU3	
		300	23	SP1	есть	APTM120DA30CT1G	
Полумост + последовательные FRED и параллельные SiC-диоды							
500	MOS7	38	67	SP4	есть	APTM50AM38SCTG	
		24	110	SP6	–	APTM50AM24SCG	
600	CoolMOS	35	54	SP4	есть	APTC60AM35SCTG	
		24	70	SP4	есть	APTC60AM24SCTG	
		18	107	SP6	–	APTC60AM18SCG	
900	CoolMOS	60	44	SP4	есть	APTC90AM60SCTG	
800	CoolMOS	150	21	SP4	есть	APTC80A15SCTG	
		100	32	SP4	есть	APTC80A10SCTG	
		75	43	SP6	–	APTC80AM75SCG	
1000	MOS7	130	49	SP6	–	APTM100A13SCG	
Мост + последовательные FRED и параллельные SiC-диоды							
500	MOS7	75	34	SP4	есть	APTM50HM75SCTG	
600	CoolMOS	70	29	SP4	есть	APTC60HM70SCTG	
		45	38	SP4	есть	APTC60HM45SCTG	
800	CoolMOS	290	11	SP4	есть	APTC80H29SCTG	
900	CoolMOS	120	23	SP4	есть	APTC90H12SCTG	
1000	MOS7	450	14	SP4	есть	APTM100H45SCTG	
Три полумоста							
600	CoolMOS	24	87	SP6-P	есть	APTC60TAM21SCTPAG	
1000	MOS7	350	50	SP6-P	есть	APTM100TA35SCTPG	
Силовые модули на основе SiC MOSFET							
V _{DSS} , В	Технологии	R _{DS(on)} , мОм	I _D , А (при T _C = 80 °C)	Тип корпуса	NTC*	Наименование	
Треухуровневый инвертор Т-типа							
600/1200	IGBT и SiC MOSFET	110	20	SP3F	есть	APTMCI20HR11CT3G	
		40	50	SP3F	есть	APTMCI20HRM40CT3G	
Треухуровневый инвертор							
600	SiC MOSFET	110	20	SP3F	есть	APTMCI20AM55CT1AG	
		55	40	SP3F	есть	APTMCI20AM55CT3AG	
		14	160	SP6	–	APTMCI20TLM14CAG	
Полумост							
1200	SiC MOSFET	55	40	SP1	есть	APTMCI20AM55CT1AG	
		25	80	SP3	есть	APTMCI20A25CT3AG	
		20	108	SP1	есть	APTMCI20AM20CT1AG	
		16	102	D3	–	APTMCI20AM16CD3AG	
		12	150	SP3	есть	APTMCI20AM12CT3AG	
		9	200	SP3	есть	APTMCI20AM09CT3AG	
		8	200	D3	–	APTMCI20AM08CD3AG	
		50	59	SP1	есть	APTSM120AM55CT1AG	
		25	118	SP3	есть	APTSM120AM25CT3AG	
		17	178	D3	–	APTSM120AM14CD3AG	
		11	268	D3	–	APTSM120AM09CD3AG	
		10	293	SP6	есть	APTSM120AM08CT6AG	
		1700	60	40	SP1	есть	APTMCI70AM60CT1AG
			30	80	SP1	есть	APTMCI70AM30CT1AG
Три полумоста + параллельные SiC-диоды							
1200	SiC MOSFET	33	60	SP6-P	есть	APTMCI20TAM33CTPAG	
		17	100	SP6-P	есть	APTMCI20TAM17CTPAG	
		12	150	SP6-P	есть	APTMCI20TAM12CTPAG	
		33	89	SP6-P	есть	APTMCI20TAM33CTPAG	
Повышающий чоппер							
1200	SiC MOSFET	40	50	SOT-227	–	APT50MC120JCU2	

Примечание: * — встроенный датчик температуры с отрицательным температурным коэффициентом.

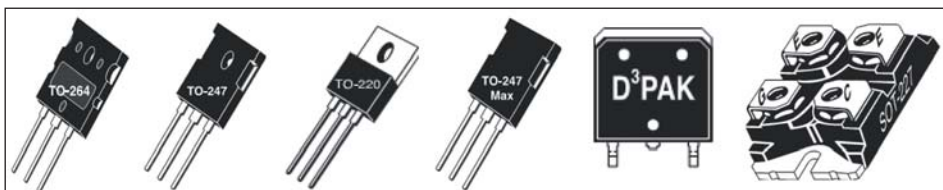


Рис. 1. Внешний вид корпусов силовых диодов компании Microsemi

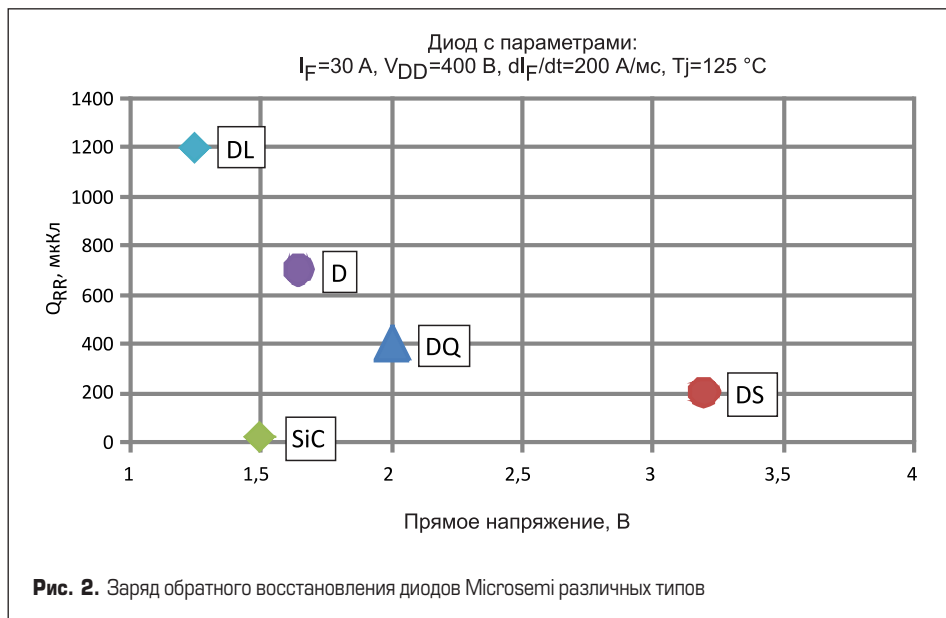


Рис. 2. Заряд обратного восстановления диодов Microsemi различных типов

в импульсных источниках питания со средними частотами переключения, рассчитаны на напряжения 200, 300, 400, 600, 1000 и 1200 В. Используемая в производстве запатентованная технология платинового легирования понижает уровень токов утечки и улучшает надежность работы при повышенных температурах. Компоненты DQ-серии с рабочим напряжением 600, 1000 и 1200 В и широким диапазоном номинальных мощностей отличаются низким зарядом обратного восстановления (Q_{RR}) и используются в устройствах с высокой частотой коммутации. Высокоскоростные диоды серии DS предназначены для применения в высококачественных корректорах коэффициента мощности, где время обратного восстановления должно быть минимальным.

Кремниевые диоды Шоттки, обозначаемые литерой S в шифре компонента, рассчитаны на напряжение 200 В. Благодаря своей конструкции, они обладают малым напряжением V_F (менее 1 В) и низкими потерями при восстановлении. Малый разброс значений прямого напряжения упрощает параллельное соединение диодов. Корпуса с допустимой температурой эксплуатации $+175\text{ °C}$ разработаны с использованием пассивации для повышения надежности в условиях повышенной влажности (рис. 1).

В последнее время наблюдается повышенный интерес к диодам Шоттки на основе карбида кремния (SiC). Как известно, существенный вклад в потери источников электропитания вносит эффект обратного восстановления

мощных высоковольтных диодов [4]. Это особенно актуально для мостовых инверторов, работающих на индуктивную нагрузку. Большие токи при обратном восстановлении диодов также являются причиной возникновения радиопомех, что требует применения экранирования, увеличивающего массу и габариты устройства. Использование FRED позволяет лишь частично снизить влияние указанных проблем, оптимальным же решением является внедрение диодов Шоттки на основе карбида кремния (рис. 2).

Ключевое преимущество SiC-диодов Шоттки от Microsemi заключается в их исключительных динамических характеристиках, основной причиной которых является отсутствие тока обратного восстановления. Вместо этого существует лишь незначительный ток, вызванный зарядом емкости перехода Q_C и не зависящий от скорости нарастания тока. В результате это приводит к уменьшению прогнозируемых потерь на переключение в типичных применениях импульсной силовой электроники [5].

Еще одно преимущество SiC-диодов над традиционными кремниевыми — высокая плотность мощности при очень малых размерах кристалла, получаемая благодаря трехкратному выигрышу по проводимости. Следствием этого является повышение КПД, особенно на малых нагрузках и высоких частотах переключения (более 500 кГц), а также уменьшение габаритов внешних индуктивных компонентов (например, в ККМ дроссель повышающего преобразователя является одним из основных компонентов, определяющих массо-габаритные характеристики). Также использование в качестве материала основы SiC с более высоким напряжением пробоя позволило значительно увеличить уровни рабочих напряжений.

SiC-диоды компании Microsemi серий SCE и SCD с диапазоном максимальных рабочих токов 10–30 А и максимальными обратными напряжениями 650, 1200 и 1700 В выпускаются в популярных малогабаритных корпусах для планарного и сквозного монтажа (таблица 2). Компоненты могут успешно применяться в импульсных источниках питания — инверторах, корректорах коэффициента мощности и другом высоконадежном силовом оборудовании различного назначения.

Из основных характеристик следует отметить малый ток утечки (типичное значение 10 мкА), полученный благодаря широкой запрещенной зоне SiC, а также низкое тепловое сопротивление переход-корпус, не превышающее для ряда моделей $0,7\text{ °C/Вт}$. Падение напряжения имеет положительный температурный коэффициент, что значительно упрощает использование диодов при их параллельном включении, так как в этом случае не требуются согласующие резисторы для выравнивания их токов.

Таблица 2. Основные параметры SiC-диодов Шоттки компании Microsemi

Артикул	Серия диодов	V_R , В (макс.)	I_F , А (сред.)	V_F , В (при $T = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$)	P_{DISS} , Вт (макс.)	Q_C , нКл (при $T = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Тип корпуса
Одиночные							
APT10SCE170B	SCE	1700	10	1,5	214	88	TO-247
APT10SCD120B	SCD	1200	10		125	22	TO-247
APT10SCD120K		1200	10		125	22	TO-220
APT20SCD120B		1200	20		208	66	TO-247
APT20SCD120S		1200	20		208	66	D ³ PAK
APT30SCD120B		1200	30		291	200	TO-247
APT30SCD120S		1200	30		291	200	D ³ PAK
APT10SCD65K		650	10		63	80	TO-220
APT20SCD65K		650	20		114	100	TO-220
APT30SCD65B		650	30		156	150	TO-247
Двойные (с общим катодом)							
APT10SCD120BCT	SCD	1200	2×10	1,5	125	30	TO-247
APT10SCD65KCT		650			63	80	TO-220

Силовые транзисторы

Биполярные транзисторы с изолированным затвором компании Microsemi предна-

значены для высококачественных решений в широком диапазоне напряжений и мощностей. Диапазон частот работы транзисторов — от нескольких килогерц в низкочастотных применениях до 150 кГц в импульсных источниках питания с высокой удельной мощностью (рис. 3).

Microsemi предлагает несколько семейств IGBT, изготовленных по трем технологиям: Punch-Through (PT), Non-Punch-Through (NPT) и FieldStop (FS). Все транзисторы выпускаются в типовых корпусах для монтажа в отверстия (TO-220, TO-247, T-MAX, TO-264 или SOT-227). Наряду со стандартными устройствами, с целью упрощения разработки, доступны модели со встроенными антипараллельными диодами DQ или SiC-серий. В таблице 3 приведены отличительные особенности различных технологий изготовления IGBT-транзисторов.

Семейство силовых транзисторов Power MOS 7PT, рассчитанное на максимальное рабочее напряжение 1200 В, в спецификации обозначается литерами GU или GP. Низкий заряд затвора компонентов данной серии (порядка 100 нКл) приводит к уменьшению мощности, необходимой для переключения, и, соответственно, к повышению быстродействия. Малый хвостовой ток сводит к минимуму потери на переключение и позволяет достичь высоких рабочих частот. К типовым применениям относятся преобразователи солнечной энергии, сварочные аппараты, зарядные устройства и индукционные нагреватели, а также высококачественные импульсные источники питания промышленного оборудования.

IGBT Field Stop с номинальными напряжениями V_{CES} , равными 600 или 1200 В, обозначаются литерами GN в наименовании компонента. Разработанные для использования в режимах жесткого и мягкого переключения на частотах до 30 кГц, они обладают малыми потерями на электропроводность, что является полезным свойством для низкочастотных применений, в которых наиболее значимыми являются как раз потери проводимости. Параллельное включение устройств не вызывает затруднений благодаря малому разбросу напряжения коллектор–эмиттер и положительному температурному коэффициенту напряжения. Среди других значимых характеристик можно отметить устойчивость к коротким замыканиям.

Семейство силовых транзисторов Power MOS 8 включает в себя как IGBT, так и полевые транзисторы. IGBT-устройства производятся на основе технологий PT и NPT. В транзисторах данной серии применяется полосковая алюминиевая структура затвора с очень низким внутренним эквивалентным сопротивлением (доли Ом), гораздо меньшим, чем у устройств с поликремниевым затвором. С учетом крайне малого заряда затвора достигается более высокая скорость переключения и очень низкие динамические потери, при этом отсутствует необходимость использования мощного драйвера. Полосковая структура затвора более устой-

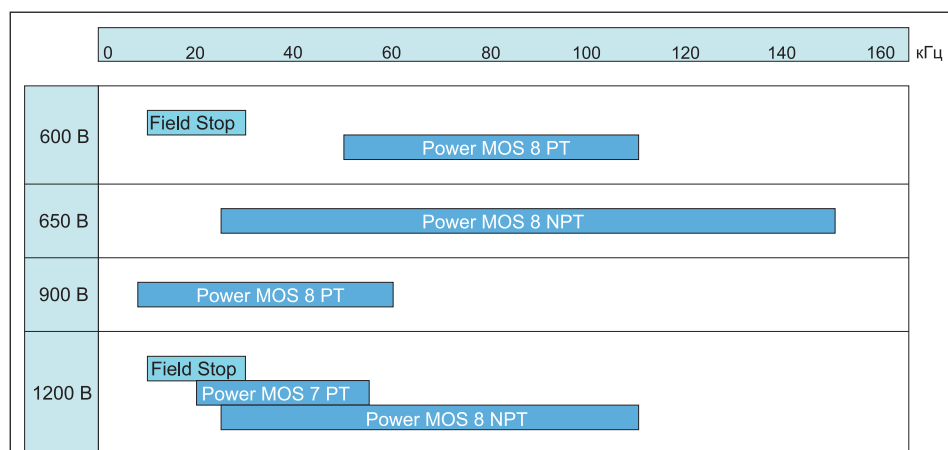


Рис. 3. Рекомендуемые рабочие диапазоны частот IGBT Microsemi

Таблица 3. Сравнительные особенности технологий изготовления IGBT Microsemi

Параметр	PT	NPT	Field Stop
Потери при переключении	Низкие; малый хвостовой ток; значительное увеличение E_{off} * с ростом температуры	Средние; длинный хвостовой ток с большой амплитудой; умеренное увеличение E_{off} * с ростом температуры	Низкие; малый хвостовой ток; умеренное увеличение E_{off} * с ростом температуры
Потери на электропроводность	Низкие, незначительно уменьшаются с ростом температуры	Средние, увеличиваются с ростом температуры	Низкие, увеличиваются с ростом температуры
Параллельное включение	Трудоемкое, необходима сортировка изделий по $V_{ce(on)}$	Простое	Простое

Примечание: E_{off} — импульсная энергия выключения

чива к дефектам, которые неизбежно возникают во время производства, и улучшает выносимость и надежность устройства, особенно в режиме работы транзистора при высоком токе и высокой температуре. Оптимизированные значения входной емкости и емкости Миллера ограничивают максимальную скорость нарастания напряжения и тока в момент переключения и способствуют «чистой» коммутации с меньшим уровнем электромагнитного излучения. Низкие значения $R_{DS(on)}/V_{CE(on)}$ обеспечивают малые потери проводимости, высокий КПД и меньший уровень тепловых потерь.

Полевые высоковольтные (500–1200 В) N-канальные транзисторы семейства Power MOS 8 подразделяются на MOSFET и FREDFET. Они оптимизированы для работы на высоких частотах в режимах жесткого и мягкого переключения. Основные применения — корректоры коэффициента

мощности, установки индукционного нагрева и электродуговой сварки, источники питания промышленного оборудования и многие другие устройства мощностью до 500 Вт. MOSFET имеют внутренний антипараллельный диод, который пропускает обратный ток. Он обладает медленным восстановлением, что приводит к снижению надежности в схемах с переключением в момент нулевого напряжения (ZVS).

Транзисторы FREDFET (Fast-Reverse Epitaxial Diode Field-Effect Transistor) — это MOSFET со встроенным диодом с минимальным временем обратного восстановления (t_{rr}), обеспечивающим высокую устойчивость к dv/dt и высокую надежность в мостовых схемах. Некоторым минусом является незначительно большее сопротивление $R_{DS(on)}$ при рабочих напряжениях выше 800 В по сравнению с MOSFET с аналогичными характеристиками (табл. 4).

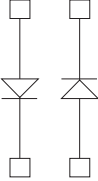
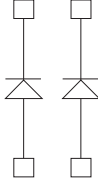
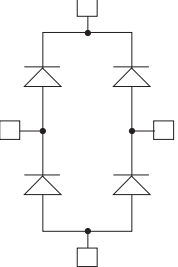
Таблица 4. Основные параметры SiC MOSFET-устройств Microsemi

Артикул	Тип канала	$V_{BR(DSS)}$, В	I_D , А (пост.)	$R_{DS(on)}$, мОм (при $V_{GS} = 20$ В)	P_{Diss} , Вт (макс.)	Тип корпуса
APT70SM70B	N	700	70	53	300	TO-247
APT70SM70S						D3PAK
APT70SM70J					165	SOT-227
APT25SM120B		1200	25	140	175	TO-247
APT25SM120S						D3PAK
APT40SM120B			40	80	273	TO-247
APT40SM120S						D3PAK
APT40SM120J					165	SOT-227
APT80SM120B			80	40	625	TO-247
APT80SM120S						D3PAK
APT80SM120J					273	SOT-227
APT5SM120B		1700	5	800	63	TO-247

Таблица 5. Матрица силовых модулей Microsemi

Топологии схем модулей	IGBT (600–1700 В)	MOSFET (75–1200 В)	Диодные (300–1700 В)	Комбинированные Si-SiC (600 и 1200 В)	SiC-модули (600 и 1200 В)
Ассиметричный мост	X	X			
Повышающая/Понижающая	X	X			
Повышающий/понижающий чоппер	X	X		X	X
С общим анодом			X		
С общим катодом			X		
Двойной повышающий/понижающий чоппер	X	X		X	
Два транзистора с общим истоком	X	X			
Два диода					X
Мост	X	X	X		X
Мост + PFC	X	X		X	
Мост + выпрямительный диодный мост	X	X		X	
Мост + последовательные и параллельные диоды		X		X	
Многофазный PFC	X	X			
Линейный одиночный и двойной ключ		X			
Полумост	X	X	X		X
Интеллектуальный полумост	X				
Полумост + PFC		X		X	
Полумост + последовательные и параллельные диоды		X		X	
Одиночный ключ	X	X	X		
Одиночный ключ + последовательные и параллельные диоды		X		X	
Одиночный ключ + последовательные диоды	X	X			
трехуровневый инвертор	X				X
трехуровневый инвертор Т типа	X			X	
трехфазный мост	X		X		
Три двоянных транзистора с общим истоком	X	X			
Три полумоста	X	X		X	

Таблица 6. Диодные модули Microsemi на основе SiC

Два диода					
V_R , В	I_F , А (при $T_c = +100\text{ }^{\circ}\text{C}$)	V_F , В (при $T_J = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Тип корпуса	Конфигурация	
					
600	20	1,6	SOT-227	APT2X20DC60J	APT2X21DC60J
	30			APT2X30DC60J	APT2X31DC60J
	40			APT2X40DC60J	APT2X41DC60J
	50			APT2X50DC60J	APT2X51DC60J
	60			APT2X60DC60J	APT2X61DC60J
1200	20			APT2X20DC120J	APT2X21DC120J
	40			APT2X40DC120J	APT2X41DC120J
	50			APT2X50DC120J	APT2X51DC120J
	60			APT2X60DC120J	APT2X61DC120J
Четыре диода					
600	20	1,6	SP1	APTDC20H601G	
	40		SP1	APTDC40H601G	
	40		SOT-227	APT40DC60HJ	
1200	10		SOT-227	APT10DC120HJ	
	20		SP1	APTDC20H1201G	
	20		SOT-227	APT20DC120HJ	
	40		SP1	APTDC40H1201G	
	40		SOT-227	APT40DC120HJ	

Бюджетные полевые транзисторы семейства CoolMOS производятся по технологии фирмы Infineon Technologies. Предназначенные для работы в импульсных источниках питания, они изготавливаются в различных стандартных корпусах.

Новые высоковольтные SiC MOSFET-устройства разработаны на основе запатентованной технологии с целью повышения энергоэффективности ключевых схем. Их отличительная особенность и в то же время основное преимущество — значительно более низкое удельное сопротивление исток–сток в открытом состоянии ($R_{DS(on)}$) по сравнению с кремниевыми полевыми транзисторами.

Компоненты отличаются высоким напряжением пробоя (до 1700 В), а максимальный ток стока достигает величины 70 А. Малый заряд затвора, а также его низкое сопротивление минимизируют потери энергии на переключение и обеспечивают отличные динамические характеристики. Коммутация нагрузки происходит под действием управляющего напряжения затвора V_{gs} , лежащего в пределах от -10 до $+25$ В.

Из других особенностей можно отметить низкий уровень собственного электромагнитного шума и устойчивость к коротким замыканиям. Типовые применения включают в себя импульсные источники питания с различными топологиями силовых преобразователей напряжения (повышающие, понижающие, обратноходовые, несимметричные мосты), корректоры коэффициента мощности, схемы управления электроприводами, инверторы и т. д.

Силовые модули

Компания Microsemi выпускает широкую номенклатуру стандартных силовых полупроводниковых модулей, а также специализированных изделий, разрабатываемых по индивидуальному заказу. Переход к созданию высокоинтегрированных модулей позволяет за счет максимально плотной компоновки элементов значительно уменьшить габариты конечного устройства, следствием чего является существенное уменьшение влияния паразитных активных и реактивных элементов на параметры устройства [6]. Это, в свою очередь, обеспечивает безопасную работу на высоких частотах, повышает КПД и снижает уровень возможных электромагнитных помех, упрощая требования к внешним фильтрам. Поскольку в процессе производства модуля все внутренние соединения задаются маской, достигается исключительная повторяемость термических и электрических параметров — как для серии, так и для партии в целом.

Серия стандартных силовых модулей Microsemi с широким выбором конструктивно-технологического исполнения включает устройства всех самых распространенных конфигураций ключевых схем (табл. 5). Их производство основано на использовании кристаллов IGBT, MOSFET,

а также силовых диодов (FRED и SiC), выпускаемых компаниями.

Особого внимания заслуживают компоненты, выполненные на основе SiC-технологии изготовления. Характеристики SiC-модулей слабо подвержены влиянию изменений температур эксплуатации вследствие более высокой температуры перехода (+175 °C). Это обеспечивает долговременную надежность полупроводниковых приборов, работающих в жестких условиях эксплуатации. Всю предлагаемую SiC-линейку можно разделить на диодные и транзисторные модули. Первая группа состоит из двух отдельных диодов, включаемых как в одном направлении, так и встречно, либо из четырех диодов, образующих выпрямительный мост (табл. 6).

Все вышесказанное о преимуществах SiC-диодов, а именно — превосходные рабочие характеристики на повышенных частотах эксплуатации, низкий уровень шума и потеря при переключениях, в полной мере относится и к диодным модулям. Объединение в одном малогабаритном корпусе нескольких элементов позволяет сократить занимаемое на печатной плате место. Изолированные корпуса SOT-227 и SP1с возможностью непосредственного монтажа радиатора обладают напряжением изоляции вывод-корпус 2500 и 4000 В соответственно.

Вторая группа представляет собой транзисторные модули, состоящие либо полностью из SiC-элементов, либо с применением таковых для улучшения ключевых характеристик разрабатываемого устройства. Силовые SiC-модули для промышленного диапазона температур выполнены по различным электрическим конфигурациям и предлагаются в низкопрофильных корпусах, внешний вид которых показан на рис. 4. В большинстве из них используется подложка из нитрида алюминия, которая обеспечивает наличие электрической изоляции схемы модуля от теплоотвода и улучшает теплопередачу к его системе охлаждения, при этом некоторые модули содержат интегрированные датчики температуры, позволяющие обеспечить дополнительную защиту от превышения максимальной температуры эксплуатации. Предельное рабочее напряжение достигает величины 1700 В. В таблице 7 приведены основные технические характеристики и доступные электрические конфигурации предлагаемых устройств (новинки отмечены цветом).

Ключевыми особенностями изделий являются высокоскоростная коммутация с низкими потерями, малая входная емкость, незначительные требования к схемам драйверов и минимальная паразитная индуктивность, что в сумме позволяет создавать высокоэффективные силовые устройства. Основные сферы применения включают импульсные источники питания, высоковольтные ККМ и умножители напряжения, мощные инверторы, преобразователи для солнечных батарей, промышленные электропривода и другое силовое оборудование.

Таблица 7. Транзисторные SiC модули компании Microsemi

Силовые IGBT модули с SiC диодами							
Повышающий чоппер							
V _{RRM} , В	Тип IGBT	I _C , А (при T _C = +80 °C)	V _{CE(on)} , В	Тип корпуса	NTC*	Артикул	
600	NPT	50	2,1	SOT-227	–	APT50GF60JCU2	
1200	NPT	15	3,2	SOT-227	–	APT15GF120JCU2	
		25	3,2	SOT-227	–	APT25GF120JCU2	
		50	3,2	SP1	есть	APTF50DA120CT1G	
	TRENCH 4 FAST	25	2,05	SOT-227	–	APT25GLQ120JCU2	
		40	2,05	SOT-227	–	APT40GLQ120JCU2	
Двойной чоппер							
1200	TRENCH 4 FAST	40	2,05	SP3F	есть	APTGLQ40DDA120CT3G	
Силовые MOSFET и CoolMOS модули с SiC-диодами							
Одиночный ключ + последовательный FRED и параллельные SiC-диоды							
V _{DSS} , В	Тип MOSFET	R _{DS(on)} , мОм	I _D , А (при T _C = +80 °C)	Тип корпуса	NTC*	Артикул	
1000	MOS7	65	110	SP6	опция	APTM100UM65SCAVG	
1200		100	86	SP6	опция	APTM120U10SCAVG	
Чоппер							
500	MOS8	65	43	SOT-227	–	APT58M50JCU2	
600	CoolMOS	45	38	SOT-227	–	APT50N60JCCU2	
		24	70	SP1	есть	APTC60SKM24CT1G	
		18	107	SP4	есть	APTC60DAM18CTG	
900	CoolMOS	120	25	SOT-227	–	APT33N90JCCU2	
		60	44	SP1	есть	APTC90DAM60CT1G	
		60	44	SP1	есть	APTC90SKM60CT1G	
1000	MOS8	330	20	SOT-227	–	APT26M100JCU2	
		330	20	SOT-227	–	APT26M100JCU3	
		560	15	SOT-227	–	APT20M120JCU2	
1200	MOS8	560	15	SOT-227	–	APT20M120JCU3	
		300	23	SP1	есть	APTM120DA30CT1G	
Полумост + последовательные FRED и параллельные SiC-диоды							
500	MOS7	38	67	SP4	есть	APTM50AM38SCTG	
		24	110	SP6	–	APTM50AM24SCG	
600	CoolMOS	35	54	SP4	есть	APTC60AM35SCTG	
		24	70	SP4	есть	APTC60AM24SCTG	
		18	107	SP6	–	APTC60AM18SCG	
900	CoolMOS	60	44	SP4	есть	APTC90AM60SCTG	
800	CoolMOS	150	21	SP4	есть	APTC80A15SCTG	
		100	32	SP4	есть	APTC80A10SCTG	
		75	43	SP6	–	APTC80AM75SCG	
1000	MOS7	130	49	SP6	–	APTM100A13SCG	
Мост + последовательные FRED и параллельные SiC-диоды							
500	MOS7	75	34	SP4	есть	APTM50HM75SCTG	
600	CoolMOS	70	29	SP4	есть	APTC60HM70SCTG	
		45	38	SP4	есть	APTC60HM45SCTG	
800	CoolMOS	290	11	SP4	есть	APTC80H29SCTG	
900	CoolMOS	120	23	SP4	есть	APTC90H12SCTG	
1000	MOS7	450	14	SP4	есть	APTM100H45SCTG	
Три полумоста							
600	CoolMOS	24	87	SP6-P	есть	APTC60TAM21SCTPAG	
1000	MOS7	350	50	SP6-P	есть	APTM100TA35SCTPG	
Силовые модули на основе SiC MOSFET							
VDSS, В	Технологии	RDS(on), мОм	ID, А (при TC = +80 °C)	Тип корпуса	NTC*	Наименование	
Трехуровневый инвертор T-типа							
600/1200	IGBT и SiC MOSFET	110	20	SP3F	есть	APTMCI120HR11CT3G	
		40	50	SP3F	есть	APTMCI120HRM40CT3G	
Трехуровневый инвертор							
600	SiC MOSFET	110	20	SP3F	есть	APTMCI60TL11CT3AG	
		55	40	SP3F	есть	APTMCI60TLM55CT3AG	
		14	160	SP6	–	APTMCI60TLM14CAG	
Полумост							
1200	SiC MOSFET	55	40	SP1	есть	APTMCI120AM55CT1AG	
		25	80	SP3	есть	APTMCI120A25CT3AG	
		20	108	SP1	есть	APTMCI120AM20CT1AG	
		16	102	D3	–	APTMCI120AM16CD3AG	
		12	150	SP3	есть	APTMCI120AM12CT3AG	
		9	200	SP3	есть	APTMCI120AM09CT3AG	
		8	200	D3	–	APTMCI120AM08CD3AG	
		50	59	SP1	есть	APTSM120AM55CT1AG	
		25	118	SP3	есть	APTSM120AM25CT3AG	
		17	178	D3	–	APTSM120AM17CD3AG	
		11	268	D3	–	APTSM120AM09CD3AG	
		10	293	SP6	есть	APTSM120AM08CT6AG	
		1700	60	40	SP1	есть	APTMCI170AM60CT1AG
			30	80	SP1	есть	APTMCI170AM30CT1AG
Три полумоста + параллельные SiC-диоды							
1200	SiC MOSFET	33	60	SP6-P	есть	APTMCI120TAM33CTPAG	
		17	100	SP6-P	есть	APTMCI120TAM17CTPAG	
		12	150	SP6-P	есть	APTMCI120TAM12CTPAG	
		33	89	SP6-P	есть	APTMCI120TAM33CTPAG	
Повышающий чоппер							
1200	SiC MOSFET	40	50	SOT-227	–	APT50MC120JCU2	

Примечание: * — встроенный датчик температуры с отрицательным температурным коэффициентом.



Заключение

Компания Microsemi предлагает широкую линейку высоковольтных дискретных и модульных компонентов в различном корпус-

ном исполнении, отвечающую современным требованиям рынка силовой электроники. Нарботанные в компании технологии производства, высокий уровень стандартизации, максимальная гибкость и адаптируемость вы-

пускаемой продукции к различным применениям дают возможность выбора оптимального решения по соотношению цена/производительность.

Литература

1. Ланцов В. Успехи, трудности и проблемы на пути развития силовой электроники в России // Силовая электроника. 2008. № 1.
2. www.microsemi.com.
3. www.microsemi.com/document-portal/doc_download/14813-power-semiconductors-power-modules-and-rf-power-mosfets-catalog
4. Полищук А. Высоковольтные диоды Шоттки из карбида кремния в источниках электропитания с преобразованием частоты // Компоненты и технологии. 2004. № 5.
5. Верхулевский К. Дискретные и модульные компоненты на основе карбида кремния, производимые компанией Microsemi // Силовая электроника. 2015. № 2.
6. Верхулевский К. Новые силовые модули компании Microsemi на основе карбида кремния // Компоненты и технологии. 2013. № 4.