

# Высокотемпературные компоненты Microsemi —

## надежность в экстремальных условиях эксплуатации

Проектирование высокотемпературных электронных устройств тесно связано с решением целого комплекса сложных задач, включающих в себя моделирование и расчет тепловых режимов, выбор и обоснование применяемых материалов и типов корпусного исполнения, организацию технологических процессов производства и многое другое. Компания Microsemi имеет специализированное подразделение, ориентированное на разработку изделий, используемых в экстремальных условиях. Для оборудования, предназначенного для авиационной и оборонной промышленности, а также для добывающей, химической и перерабатывающей, компания Microsemi предлагает ряд изделий с диапазоном рабочих температур  $-65...+230\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которые и будут рассмотрены в данной статье.

**Константин Верхулевский**

info@icquest.ru

### Введение

При проектировании высоконадежного оборудования необходимо учитывать влияние сложных условий окружающей среды. Экстремальные условия эксплуатации (резкие перепады температур, вибрации, акустические шумы, линейные ускорения, механи-

ческие удары и т. д.) предъявляют повышенные требования к механической надежности и долговременной стабильности рабочих характеристик [1]. Одним из основных дестабилизирующих факторов является воздействие пониженных или повышенных температур эксплуатации, выходящих за пределы общепринятых стандартных рабочих диапазонов (рис. 1).

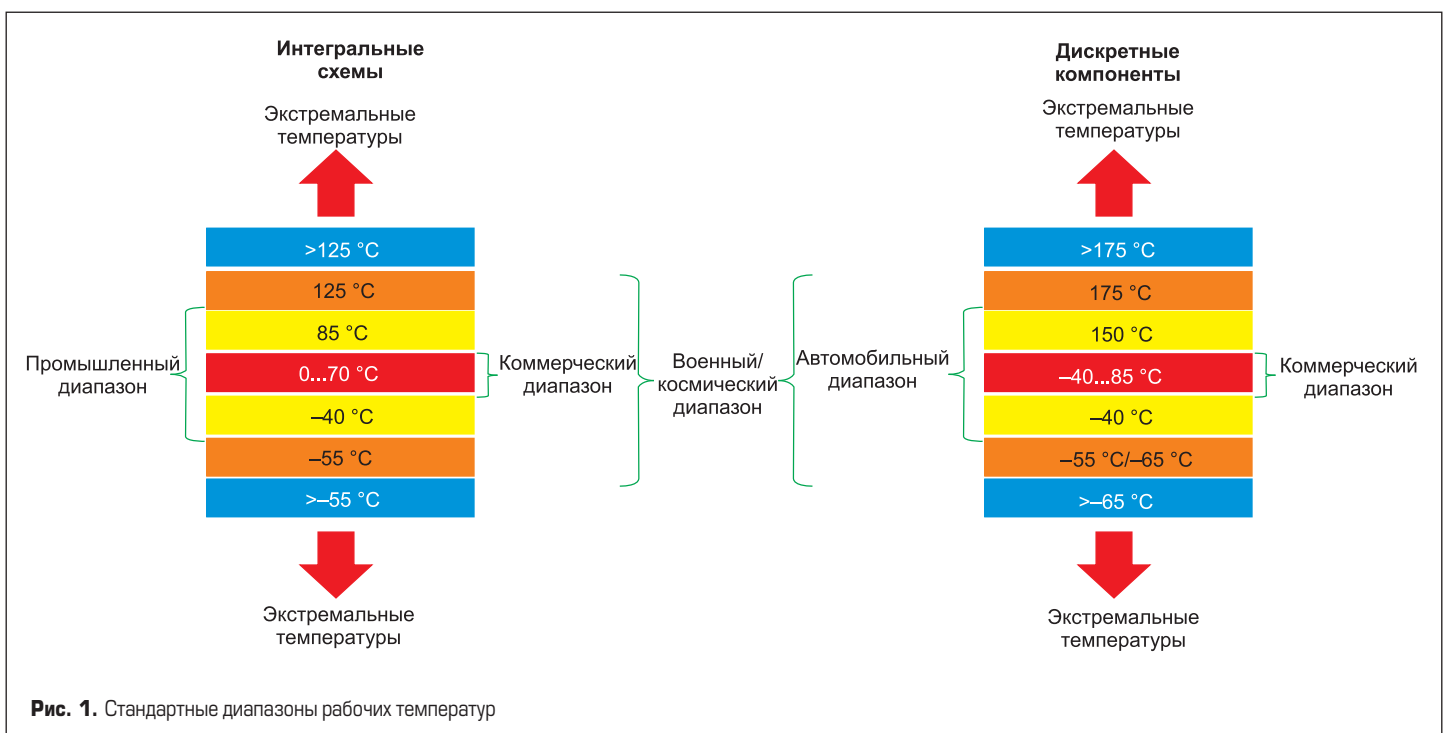


Рис. 1. Стандартные диапазоны рабочих температур

Таблица 1. Результаты сравнительных испытаний Si- и SiC-компонентов

Количество отказов	Количество тестируемых устройств	Длительность тестирования, ч	Температура тестирования, °C	Температура эксплуатации, °C	Ширина запрещенной зоны, эВ	Интенсивность отказов (FIT, на миллиард часов наработки)	Средняя наработка на отказ (MTTF), лет
0	22	1000	150	55	1,1*	160	714
0	22	1000	150	55	3,2**	33	3497
0	22	1000	260	55	3,2**	0,2	571224
0	400	1000	300	175	1,1*	44	2603
0	125	1000	300	175	3,2**	45	2518
0	7000	1000	300	260	1,1*	45	2527
0	5000	1000	300	260	3,2**	47	2446

Примечания. \* — Si ( $E_g = 1,1$  эВ); \*\* — SiC ( $E_g = 3,2$  эВ).

Повышенная температура, воздействующая на все без исключения типы компонентов электронной схемы, резко сокращает срок службы оборудования и повышает вероятность выхода из строя полупроводниковых приборов. Это объясняется тем, что все реакции имеют физико-химическую природу и при повышенных температурах протекают быстрее. Косвенными причинами тепловых повреждений являются электрические перегрузки и электростатические разряды, приводящие к перегоранию или плавлению проводников. Чтобы предотвратить отказы компонентов из-за чрезмерного нагрева, следует выполнять тепловой анализ проекта так же тщательно, как и анализ электрических схем, а при моделировании — оценивать весь диапазон температур в реальных условиях эксплуатации.

Снизить температуру переходов полупроводниковых приборов во время функционирования аппаратуры можно посредством специальных теплоотводов, охлаждающих вентиляторов или просто отверстий в корпусе, создающих естественную вентиляцию воздуха. Более надежным способом, обеспечивающим функционирование аппаратуры в данных условиях, является применение отдельного класса высокотемпературных устройств, разработанных преимущественно на основе новых широкозонных полупроводниковых материалов. Такие электронные компоненты, предназначенные для эксплуатации в очень жестких температурных условиях, применяются в автомобильной электронике, авионике, аппаратуре для нефте- и газодобывающих станций, а также в нефте- и газоперекачивающих трубопроводных системах и др. Например, для узлов, используемых в условиях Заполярья, где располагаются многочисленные станции добычи и перекачки нефти и газа, типовой температурный диапазон окружающей среды составляет  $-60 \dots +50$  °C. Получается, что отрицательные температуры эксплуатации лежат ниже границы военного диапазона, с другой стороны, максимальные положительные температуры, например для блоков управления погружными насосами и буровыми головками, часто достигают 175 °C, что также заметно выше верхней границы диапазона.

### Высокотемпературная продукция Microsemi

Компания Microsemi — известный производитель высоконадежных полупровод-

никовых дискретных устройств, модулей и интегральных схем, используемых в военной, космической, авиационной и тяжелой промышленности. Компоненты Microsemi покрывают растущую потребность в полупроводниковых изделиях с увеличенной удельной мощностью, повышенной надежностью, высокими значениями рабочих напряжений и значительными температурами эксплуатации. Сегмент высокотемпературных устройств занимает важное место в номенклатуре продукции компании.

При производстве изделий, предназначенных для экстремальных условий эксплуатации, Microsemi использует различные запатентованные технические решения и современные технологические процессы, проводит широкий перечень квалификационных испытаний, а в качестве материала в настоящее время активно применяет широкозонные полупроводниковые материалы. Новое поколение полупроводников с большой шириной запрещенной зоны, включающее в себя карбид кремния (SiC) и нитрид галлия (GaN), благодаря присущим им особенностям, является лучшей альтернативой для высокотемпературной электроники. Уникальные свойства этих материалов (большая ширина запрещенной зоны, высокие значения подвижности носителей заряда и скоростей их насыщения, большие коэффициенты теплопроводности и т. д.) обеспечивают создание на их основе приборов с рекордными значениями мощности, напряжения и тока [2].

Один из наиболее перспективных и распространенных материалов — карбид кремния. Он широко используется для улучшения рабочих характеристик модульных конструкций, а именно быстродействия, предельных коммутируемых токов и напряжений, статических и динамических потерь. Приборы силовой электроники на основе SiC позволяют радикально уменьшить габариты и массу преобразовательного оборудования, а также увеличить надежность его работы за счет более высоких частот преобразования, более высокой температуры перехода и упрощенной системы охлаждения. Высокая рабочая температура и радиационная стойкость делают карбид кремния практически незаменимым материалом для разработки полупроводниковых приборов, работающих в жестких условиях эксплуатации, в частности для оборонной и космической промышленности.

Высокая стабильность характеристик, а также незначительное влияние, которое оказы-

вает изменение рабочих температур, обеспечивают превосходную долговременную надежность изделий. Проведенные эксперименты показывают, что применение карбида кремния гарантирует более высокую надежность, чем при использовании кремниевой технологии изготовления (табл. 1).

Высокотемпературная продукция Microsemi отличается большим разнообразием корпусного исполнения. Доступны стандартные герметичные и негерметичные изделия в металлических, керамических и пластиковых корпусах, а также компоненты с повышенной надежностью, сертифицированные на соответствие требованиям военных стандартов и прошедшие ряд дополнительных тестов (JAN, JANTX, JANTXV и JANS). Наиболее многочисленными являются приборы из высокотемпературного пластика, позволяющего снизить стоимость готового изделия. Группу высокотемпературных компонентов Microsemi можно разделить на несколько типов (табл. 2).


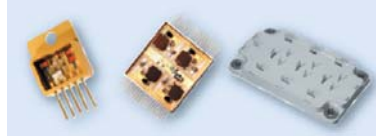

Высокотемпературные компоненты Microsemi широко используются в устройствах, подвергающихся в процессе эксплуатации жесткому воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. В числе наиболее популярных областей применения:

- буровые установки (скважинные исследования в процессе бурения, аппаратура телеметрии);
- геотермальные электростанции;
- системы управления авиационными двигателями;
- схемы распределения энергии (бортовое оборудование гражданской и военной авиации);
- автотранспорт;
- химическое производство;
- космическая аппаратура.

### Дискретные компоненты

Среди дискретных компонентов, прежде всего, стоит отметить группу стандартных кремниевых диодов, тестируемых на воздействие температур в диапазоне  $-65 \dots +230$  °C, отличающихся низкой стоимостью и широкой номенклатурой [3]. В маркировку таких устройств добавляется обозначение HT (High Temperature). Например, выпрямительный диод со сверхбыстрым обратным восстановлением MSC1N5811HT и его уменьшенный вариант MSC1N5806HT, изготавливаемые в миниатюрных корпусах с аксиальными выводами и гер-

Таблица 2. Основные группы высокотемпературных компонентов Microsemi

Группа компонентов	Тип	Диапазон рабочих температур, °C	Внешний вид
Дискретные компоненты	Диоды, полевые и биполярные транзисторы	-65...+230	
ИС и модули управления питанием	Линейные и импульсные преобразователи напряжения, одно- и трехфазные силовые модули (мостовая или полумостовая конфигурация)	-65...+225	
Реле и датчики	Одно- и двухполюсные реле, датчики давления	-55...+220	

метизируемые тугоплавким стеклом, широко применяются в высоконадежном оборудовании буровых установок, сейсмографов и т. д. Диоды MSC1N5806HT и MSC1N5811HT с временем обратного восстановления 25 и 30 нс и пиковым обратным напряжением 150 В рассчитаны

на максимальный рабочий ток 2,5 и 6 А соответственно (рис. 2). Они характеризуются низким тепловым сопротивлением, составляющим не более 36 °C/Вт (переход/вывод), и высокими значениями максимально допустимых токов перегрузки — 35 и 150 А. Помимо этих моде-

лей, компания Microsemi предлагает множество других компонентов с различными уровнями рабочих токов и скоростями обратного восстановления в корпусах для поверхностного и сквозного монтажа. Все компоненты проходят обязательные выходные квалификационные испытания по методам, изложенным в стандарте MIL-STD-750.

Малосигнальные биполярные транзисторы MSC2N2907AHT (*n*-типа) и MSC2N2222AHT (*p*-типа) с максимальной температурой эксплуатации 230 °C изготавливаются в корпусах TO-18 и сертифицируются на соответствие требованиям стандарта JEDEC. Обладающие высокой скоростью ( $t_{\text{вкл/выкл}} = 40/300$  нс), транзисторы уменьшают потери на переключение и позиционируются для использования в импульсных цепях. Максимальные характеристики для MSC2N2907AHT и MSC2N2222AHT: напряжение коллектор-эмиттер 60 (50) В и ток коллектора 600 (800) мА соответственно.

Серия высокоскоростных диодов Шоттки с допустимой температурой эксплуатации 175 °C изготавливается на основе карбида кремния и выпускается в герметичных малогабаритных корпусах для планарного и сквозного монтажа (табл. 3). В настоящее время доступны одиночные диоды либо их пары в трех конфигурациях, представленных на рис. 3.

Рассматриваемые компоненты выгодно отличаются высокой скоростью переключения, не зависящей от температуры эксплуатации. Их можно успешно использовать в импульсных источниках питания и другом высоконадежном силовом оборудовании военного и авиационного применения. Из основных характеристик стоит отметить максимальное обратное напряжение 600 и 1200 В, рабочий ток до 30 А, практически нулевое время обратного восстановления, а также низкое тепловое сопротивление, не превышающее для ряда моделей 5 °C/Вт. Кроме того, диоды данной серии способны функционировать без потери качества в условиях воздействия радиационного излучения, при этом максимально допустимая накопленная доза (TID) превышает 100 крад.

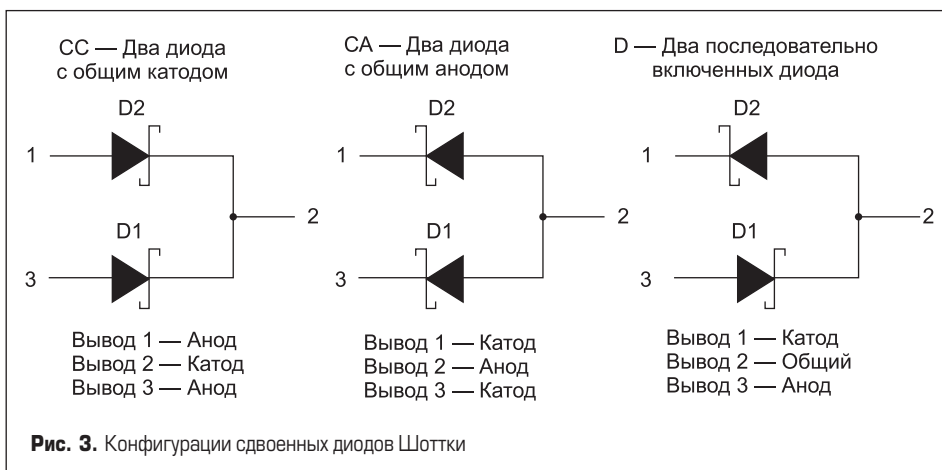
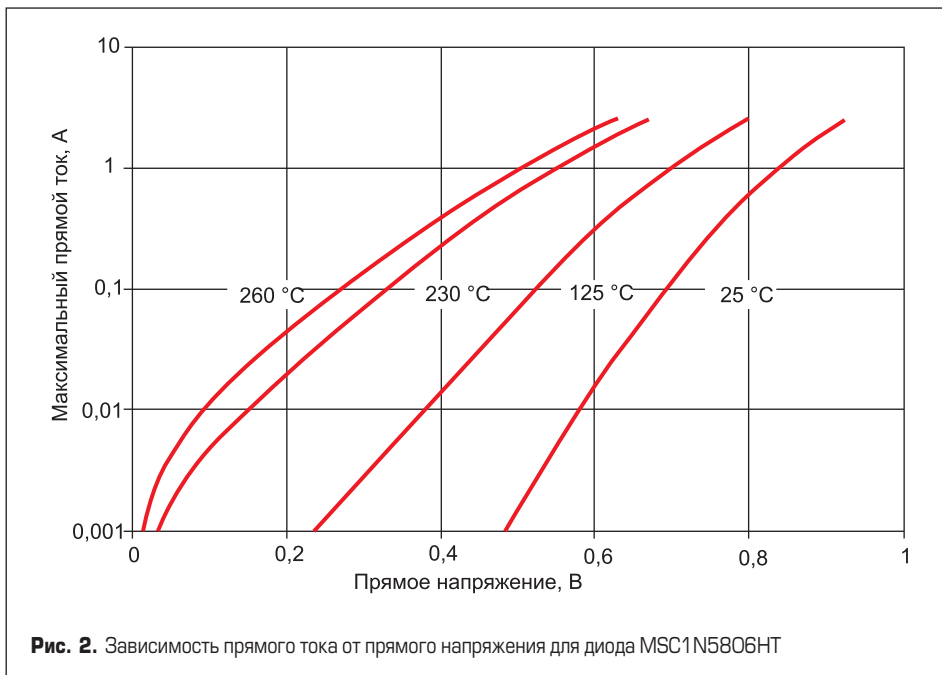


Таблица 3. Основные характеристики высокотемпературных диодов Шоттки компании Microsemi

Наименование	Рабочий ток, А	Максимальное напряжение, В	Описание	Тип корпуса	
MSICSN5120CA	5	1200	SiC сдвоенный диод Шоттки	TO-257	
MSICSN5120CC				TO-257	
MSICSN5120D				TO-257	
MSICSS5120CC				U3	
MSICSN5120			SiC диод Шоттки	TO-257	
MSICSS5120				U4	
MSICST5120				TO-39	
MSICX5120				TO-257	
MSICSN1060CA	10	600	SiC сдвоенный диод Шоттки	TO-257	
MSICSN1060CC				TO-257	
MSICSN1060D				TO-257	
MSICSS1060CC			U3		
MSICSN1060			SiC диод Шоттки	TO-257	
MSICSS1060				U4	
MSICST1060		TO-39			
MSICSN10120CA		10	1200	SiC сдвоенный диод Шоттки	TO-257
MSICSN10120CC					TO-257
MSICSN10120D					TO-257
MSICSS10120CC				U3	
MSICSN10120				SiC диод Шоттки	TO-257
MSICSS10120	U4				
MSICST10120	TO-39				
MSICSE30120CA	30		1200	SiC сдвоенный диод Шоттки	TO-258
MSICSE30120CC					TO-258
MSICSE30120D				TO-258	
MSICSF30120				TO-254	
MSICSS30120			SiC диод Шоттки	U1	
MSICST30120		TO-3			

Для выявления скрытых дефектов все компоненты данной серии подвергаются ряду жестких выходных испытаний, включающих в себя:

- термоциклирование — 500 циклов -55...+175 °С;
- испытания температурным шоком — 20 циклов -195...+150 °С;

- термоэлектротренировку на протяжении 1000 ч;
- проверку герметичности изделия (с контролем рабочих параметров до и после тестов);
- измерение максимальных электрических параметров;
- полный спектр испытаний согласно стандарту MIL-STD-750 (воздействие постоян-

Таблица 4. Высокотемпературные диодные модули компании Microsemi

Наименование	Описание	V <sub>обр</sub> , В	V <sub>пр</sub> , В	I <sub>пр</sub> , А	Корпус		
APT06DC60HJ	Диодный мост	600	1,6	6	SOT-227		
APTDC10H601G				10	SP1		
APTDC20H601G				20	SP1		
APT40DC60HJ				40	SOT-227		
APTDC40H601G				40	SP1		
APT10DC120HJ				1200	10	SOT-227	
APT20DC120HJ		20	SOT-227				
APTDC20H1201G		20	SP1				
APT40DC120HJ		40	SOT-227				
APTDC40H1201G		40	SP1				
APT2X20DC60J		Два диода (антипараллельных)	600		1,6	20	SOT-227
APT2X21DC60J		Два диода (параллельных)		20		SOT-227	
APT2X30DC60J	Два диода (антипараллельных)	30		SOT-227			
APT2X31DC60J	Два диода (параллельных)	30		SOT-227			
APT2X40DC60J	Два диода (антипараллельных)	40		SOT-227			
APT2X41DC60J	Два диода (параллельных)	40		SOT-227			
APT2X50DC60J	Два диода (антипараллельных)	50		SOT-227			
APT2X51DC60J	Два диода (параллельных)	50		SOT-227			
APT2X60DC60J	Два диода (антипараллельных)	60		SOT-227			
APT2X61DC60J	Два диода (параллельных)	60		SOT-227			
APTDC902U601G	Два диода (параллельных)	1200		1,6		90	SP1
APT2X21DC120J	Два диода (параллельных)					20	SOT-227
APT2X20DC120J	Два диода (антипараллельных)		20		SOT-227		
APT2X30DC120J	Два диода (антипараллельных)		30		SOT-227		
APT2X31DC120J	Два диода (параллельных)		30		SOT-227		
APT2X40DC120J	Два диода (антипараллельных)		40		SOT-227		
APT2X41DC120J	Два диода (параллельных)		40		SOT-227		
APT2X50DC120J	Два диода (антипараллельных)		50		SOT-227		
APT2X51DC120J	Два диода (параллельных)		50		SOT-227		
APT2X60DC120J	Два диода (антипараллельных)		60		SOT-227		
APT2X61DC120J	Два диода (параллельных)		60		SOT-227		
APTDC902U1201G	Два диода (параллельных)		90		SP1		

ного ускорения, механических вибраций, ударов и т. д.).

Проводимое тестирование позволяет обеспечить высокое качество готовой продукции и гарантировать значительный срок активной эксплуатации.

Высокотемпературные карбид-кремниевые MOSFET-транзисторы APT40SM120B и APT50SM120B — новые силовые высоковольтные элементы, гарантирующие стабильное функционирование в жестких условиях окружающей среды, в том числе и при повышенных температурах [4]. Они выгодно отличаются высокой скоростью переключения и низким уровнем собственного электромагнитного шума.

Транзисторы выполнены в герметичных корпусах TO-247 и D<sup>3</sup>PACK. Они обладают низким значением температурного сопротивления кристалл-корпус 0,55 °С/Вт и проходят обязательное тестирование в широком диапазоне температур -55...+175 °С. Максимальная рассеиваемая мощность применяемых корпусов составляет 273 Вт. Напряжение пробоя компонентов достигает величины 1200 В, максимальный рабочий ток не превышает 40 и 50 А для APT40SM120B и APT50SM120B соответственно. Коммутация нагрузки происходит под действием управляющего напряжения затвора V<sub>gs</sub>, лежащего в пределах -10...+25 В. Сопротивление открытого канала транзисторов APT40SM120B и APT50SM120B составляет 80 и 50 мОм при температуре +25 °С и увеличивается до 1,5 и 1,8 Ом при максимальных температурах эксплуатации. Типовые применения включают в себя импульсные источники питания с различными топологиями силовых преобразователей напряжения (повышающие, понижающие, обратноточковые, несимметричные мосты), корректоры коэффициента мощности, схемы управления электроприводами, инверторы и т. д.

### Силовые модули

Силовые модули на основе карбида кремния получили свое активное развитие вследствие увеличения мощности силовых устройств. Они нашли применение в тех схемах, в которых нельзя было использовать дискретные компоненты из-за их недостаточной мощности либо сложности реализации самой схемы [5]. Переход к созданию высокоинтегрированных силовых модулей позволяет повысить производительность, а также, благодаря максимально плотной компоновке элементов, значительно уменьшить габариты конечного устройства. Вследствие этого существенно снижается влияние паразитных элементов на параметры устройства и увеличивается эффективность системы в целом.

Новая линейка компонентов представлена преимущественно диодными модулями, разработанными с применением карбид-кремниевой технологии изготовления. Они состоят из двух отдельных диодов, включаемых как в одном направлении, так и встречно, либо из четырех диодов, образующих выпрямительный мост. Также выпускаются

Таблица 5. Высокотемпературные комбинированные модули компании Microsemi

Наименование	Применяемые технологии	V <sub>dssr</sub> , В	I <sub>d</sub> , А при T <sub>c</sub> = 80°С	R <sub>ds(on)</sub> , мОм	P <sub>dissr</sub> , Вт	NTC*	Корпус	
<b>Трехуровневый инвертор T-типа</b>								
ARTMC120HR11CT3G	IGBT и SiC MOSFET	1200	18	98	100	Есть	SP3F	
ARTMC120HRM40CT3G			48	34	240	Есть	SP3F	
<b>Трехуровневый инвертор</b>								
ARTMC60TL11CT3AG	SiC MOSFET	1200	21	98	125	Есть	SP3F	
ARTMC60TLM55CT3AG			42	49	250	Есть	SP3F	
ARTMC60TLM14CAG			160	13	1000	Нет	SP6	
<b>Полумостовая конфигурация</b>								
ARTMC120AM08CD3AG	SiC MOSFET	1200	190	8	1100	Нет	D3	
ARTMC120AM09CT3AG			220	9	1250	Есть	SP3F	
ARTMC120AM12CT3AG			165	12	925	Есть	SP3F	
ARTMC120AM16CD3AG			98	16	625	Нет	D3	
ARTMC120AM20CT1AG			108	17	600	Есть	SP1	
ARTMC120AM25CT3AG			78	25	500	Есть	SP3F	
ARTMC120AM55CT1AG			42	49	250	Есть	SP1	
ARTMC170AM30CT1AG			1700	80	30	700	Есть	SP1
ARTMC170AM60CT1AG				40	60	350	Есть	SP1
<b>Три полумоста</b>								
ARTMC120TAM12CTPAG	SiC MOSFET	1200	165	12	925	Есть	SP6-P	
ARTMC120TAM17CTPAG		1200	110	17	625	Есть	SP6-P	
ARTMC120TAM33CTPAG		1200	58	33	370	Есть	SP6-P	
<b>Повышающие модули</b>								
APT50MC120JCU2	SiC MOSFET	1200	54	34	300	Нет	SOT-227	
APT100MC120JCU2			108	17	600	Нет	SOT-227	

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

комбинированные решения, представляющие собой высоковольтные SiC IGBT- и MOSFET-транзисторы, объединенные в одном корпусе с диодами. Для улучшения динамических характеристик, а именно для уменьшения потерь на включение транзистора в 2 раза, вместо широко применяемых диодов с быстрым восстановлением (FRED) используются SiC-диоды. Встроенные диоды обладают практически нулевым временем обратного восстановления, минимальными потерями на переключение и высокой рабочей температурой перехода (175 °С). Максимальное рабочее напряжение достигает 1700 В. Ряд модулей имеют интегрированные датчики температуры, позволяющие обеспечить защиту от превышения максимальной температуры эксплуатации. В табл. 4 и 5 приведены основные технические характеристики и доступные электрические конфигурации предлагаемых силовых модулей.

Из основных особенностей изделий всего семейства нужно отметить низкие потери при коммутации, малую входную емкость, незначительные требования к схемам драйверов, а также минимальную паразитную индуктивность. Малогабаритные и низкопрофильные корпуса изготавливают из высокотемпературного пластика и герметизируют высокотемпературным гелем. Все это позволяет соз-

давать высокоэффективные силовые устройства, которые можно успешно применять в мощных импульсных источниках питания, электроприводах, источниках бесперебойного питания, солнечных инверторах, буровом оборудовании и в других высоковольтных промышленных устройствах, где требуется высокая надежность.

Также для управления рассмотренными выше ключевыми элементами компания Microsemi выпускает изолированные драйверы затворов с диапазоном рабочих температур -55...+225 °С, максимальным током 15 А и временем фронта/спада не более 12 нс.

### Модули питания

Семейство высоконадежных источников питания состоит из DC/DC-преобразователей типа POL (серия MHP856x), гальванически изолированных модулей SA50-28/120 и SA30-100 с высокой выходной мощностью, линейных регуляторов MHL117x, выполненных по гибридной технологии, и линейных стабилизаторов напряжения MHL860x/MHL870x со сверхмалым падением напряжения. Компоненты данных серий, отличающиеся превосходной радиационной стойкостью (значение суммарной дозы поглощенного ионизирующего излучения достигает 300 крад),

разработаны для формирования стабильного выходного напряжения в жестких условиях окружающей среды. Основная область их применения — космические и военные проекты [6].

Малогабаритные преобразователи типа POL (point-of-load), размещаемые в непосредственной близости от питаемого функционального узла, представлены семейством MHP856x. Они имеют диапазон входных напряжений 4,5–16,0 В постоянного тока, выходное напряжение фиксированное либо регулируемое в пределах 0,5–4,0 В с погрешностью установки, не превышающей 1% (табл. 6). Низкий уровень пульсаций и шумов обеспечивается встроенными фильтрами на входе и выходе, а выходной ток может достигать 18 А (для четырехканальных преобразователей MHP8566A и MHP8567A). Максимальная гибкость эксплуатации обеспечивается широким набором вспомогательных и защитных функций: параллельного включения, плавного запуска для уменьшения токовой перегрузки при включении, внешней синхронизации частоты преобразования, дистанционного включения/выключения, контроля тока, защиты от перегрузки и короткого замыкания. Высокое значение КПД (до 87%) в широком диапазоне выходных мощностей уменьшает проблемы, связанные с рассеиваемой тепловой мощностью. В зависимости от количества выходных каналов, а также от величины выходного тока применяются три вида компактных металлических корпусов: 5-выводный MO-078 (27×32×8 мм), 16-выводный SIP (35,3×36×9,8 мм) и 42-выводный Flatpack (82,5×82,5×11,2 мм).

Радиационно-стойкие гальванически изолированные DC/DC-преобразователи SA50-28, SA50-120 и SA30-100 характеризуются высокой выходной мощностью (до 50 Вт) и КПД свыше 86%. Различные модификации отличаются входными напряжениями, адаптированными для стандартных шин питания на 28 и 100 В, а также разными комбинациями выходного напряжения и тока. Преобразователи изготавливаются в унифицированном металлическом корпусе, имеют от одного до трех выходных каналов со значениями напряжений +3,3/+5,0 В (4/6 А), ±12/±15 В (1/1,25 А) и возможностью их регулировки в пределах ±10%. Они позиционируются для применения в качестве высокостабильных источников питания ПЛИС, DSP, микроконтроллеров, центральных процессоров, а также других цифровых и аналоговых компонентов, применяемых в оборудовании космического и военного назначения. Радиационная стой-

Таблица 6. Основные характеристики POL-преобразователей Microsemi

Наименование	U <sub>пит</sub> , В	U <sub>вых</sub> , В	I <sub>вых max</sub> , А	Тип корпуса			Дополнительные функции			Примечание
				MO-078	SIP	Flatpack	Вывод Enable	Параллельное включение	Внешняя синхронизация	
MHP8565A	5	0,5–4,0	3,5	+			+			Малогабаритный
MHP8565P				+				+		Малогабаритный
MHP8564A					+			+		
MHP8564F				+			+			
MHP8564R				+			+			
MHP8564S				+			+			
MHP8566A		1,0–3,3	18			+	+	+	+	4 выхода
MHP8567A	12	0,5–10,0				+	+	+	+	4 выхода

Таблица 7. Основные характеристики твердотельных реле Microsemi

Наименование	Число каналов	Конфигурация	$V_{вх}$ , В	$I_{раб}$ , А	$V_{раб}$ , В	$T_{ID}$ , крад	$R_{\theta j-c}$ , °C/Вт	Корпус
MHS2501DF	2	SPST-NO	3,3–5,0	1	250	>300	1,25	Flatpack-16
MHS2501KF	8							Flatpack-64
MHS2501OF	1							Flatpack-8
MHS2501QF	4							Flatpack-32
MHS2505CR	2	SPST-NC		5				SIP-8 с радиатором
MHS2505CS		SIP-8						
MHS2505DR		SPST-NO						SIP-8 с радиатором
MHS2505DS								SIP-8
MHS2505SR	1	SPDT		SIP-8 с радиатором				
MHS2505SS				SIP-8				

кость по общей накопленной дозе достигает 100 крад, что соответствует требованиям стандартов MIL-STD-1547B и MIL-STD-461.

Для питания устройств, требовательных к уровню шумов, компания Microsemi предлагает линейные стабилизаторы положительного напряжения MHL860x и MHL870x со сверхмалым падением напряжения, выполненные в герметичных корпусах MO-078 и SIP-7. Их отличительная особенность — высокая точность выходного напряжения, сохраняющаяся в условиях воздействия переменной температуры, радиации и других дестабилизирующих факторов. Обладающие радиационной стойкостью до 300 крад, данные устройства позиционируются для применения в аппаратуре космических аппаратов в качестве локализованных к нагрузке стабилизаторов, а также для дополнительной стабилизации напряжения после DC/DC-преобразователей. Они оптимизированы для входных напряжений величиной +5,0 и +3,3 В, падение напряжения не превышает 0,4 В для 3-А версии и 0,6 В для 5-А. При этом выходное напряжение может быть фиксированным либо регулируемым в пределах от 1,265 до 4,0 В. Из дополнительных опций стоит отметить возможность дистанционного отключения и наличие встроенной защиты от превышения заданной температуры.

В настоящее время семейство линейных преобразователей с регулируемым выходом представлено сериями линейных стабилизаторов положительного (MHL117x) и отрицательного (SGR137x) напряжений, а также регулятором SGR117A с рекордным показателем TID. Все компоненты, сертифицированные на основе требований стандарта MIL-PRF-38534 (Класс К) для применения в аппаратуре космических аппаратов и военном оборудовании, изготавливаются в виде герметизированных модулей в малогабаритных корпусах D-Pack (MHL117x) и TO-3, TO-66, TO-39, TO-257 (SGR137x и SGR117A). Это прекрасный выбор для устройств, где требуются высокая радиационная стойкость и стабильное выходное напряжение с малым уровнем шума.

Минимальная накопленная доза, при которой начинают проявляться радиационные эффекты, составляет не менее 100 крад. Серия MHL117x с максимальным выходным током 1,5 А характеризуется широким диапазоном входных напряжений (до 40 В). Регулировка выходного напряжения в пределах 1,25–37,0 В с погрешностью установки не более 1% осуществляется двумя внешними резисторами. Выходное напряжение серии SGR137x может принимать значения в диапазоне –1,25...–36 В с погрешностью в 1% при входных 40 В. Регулятор SGR117A представляет собой вы-

соконадежную радиационно-стойкую версию широко известных LM117A и LM117. Он гарантирует стабильное выходное напряжение 1,25–36,0 В и ток нагрузки до 1,5 А при суммарной поглощенной дозе радиации до 1000 крад.

### Твердотельные реле и датчики давления

Высокотемпературные твердотельные реле серии MHS, нормированные на высокое напряжение изоляции между входом и выходом (свыше 1 кВ), отличаются стабильным сопротивлением во включенном состоянии в течение всего срока эксплуатации и высокой надежностью. Кроме того, у них не происходит дребезга контактов, в отличие от электромеханических реле [7]. Такие малогабаритные устройства успешно применяются в космических аппаратах, спутниках и авиационных системах гражданского и военного назначения, а также на нефтепромыслах. В настоящее время доступны как одно-, так и многоканальные компоненты с нормально-замкнутыми и нормально-разомкнутыми контактами (табл. 7).

Для управления используются логические сигналы с уровнем 3,3 или 5 В, при этом максимальное коммутируемое напряжение не должно превышать 250 В.

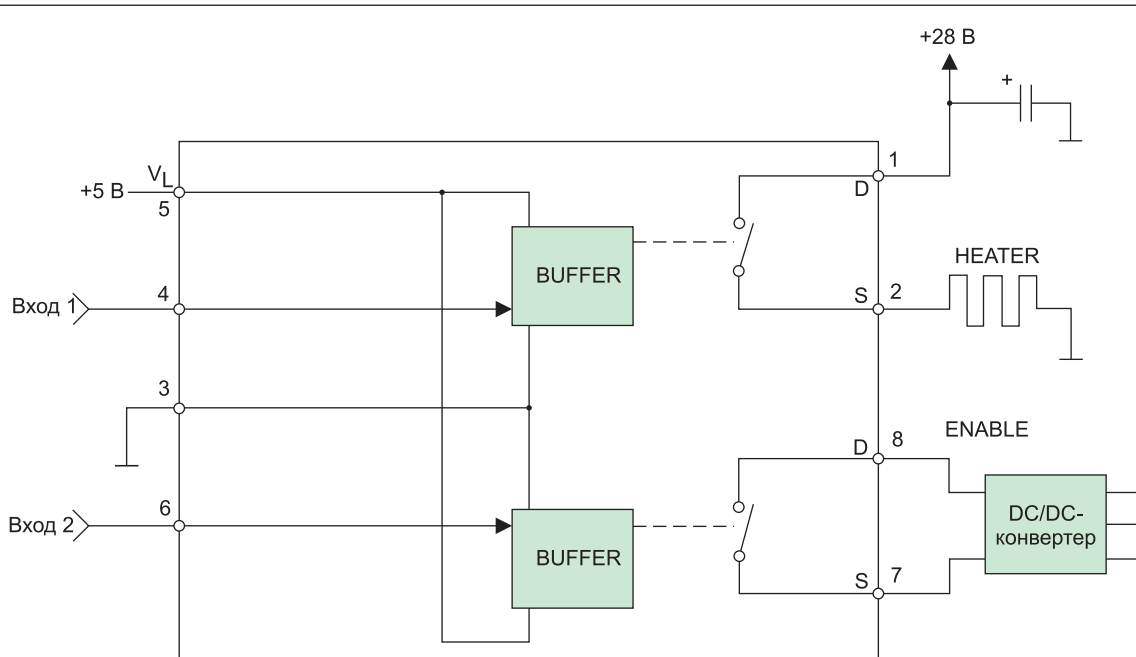


Рис. 4. Типовая схема применения твердотельных реле Microsemi



**Рис. 5.** Высокотемпературные датчики давления Microsemi

Минимальная накопленная доза, при которой начинают проявляться радиационные эффекты, составляет не менее 300 крад. Кроме того, гарантирована высокая стойкость к возникновению одиночных событий, например отсутствие вторичного пробоя транзисторов в результате перехода в состояние высокого потребления тока (SEB) при линейных потерях энергии (ЛПЭ) ионов менее 85 МэВсм<sup>2</sup>/мг. Все реле данного семейства подвергаются всесторонним испытаниям и соответствуют требованиям стандартов MIL-Q-9858, MIL-I-45208, MIL-STD-1520, MIL-STD-1535, MIL-STD-45662. На рис. 4 показана типовая схема применения высокотемпературных реле Microsemi.

Высокотемпературные датчики давления выпускаются в герметичных стальных корпусах, обеспечивающих надежное функционирование в широком диапазоне рабочих темпе-

ратур  $-40...+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 5). Изготавливаемые на основе моста Уитстона, датчики обладают превосходной долговременной температурной стабильностью. За год их эксплуатации возможное изменение показаний не превышает 0,5%. Типовые диапазоны номинальных значений измеряемого давления от 0 до 100 psi, 150, 500, 1000, 1500, 3000, 4000, 5000, 6000, 10 000 и 15 000 psi. Также возможна перестройка диапазонов на заводе-изготовителе по требованию заказчика.

Погрешность измерения во всем рабочем диапазоне давлений не превышает  $\pm 0,2\%$ . Предельно допустимое превышение рабочего давления составляет 200% от номинала без нарушения работоспособности и 500% с выходом датчика из строя. Измеряемой средой могут быть газ или жидкости, в том числе нефтепродукты. Для питания датчика требуется внешний источник постоянного тока с напряжением 15 В. Из дополнительных опций стоит отметить наличие встроенного демпфера и выхода резистивного термосопротивления для контроля рабочей температуры датчика. Технологическое подсоединение — фланцевое, со стандартными резьбами NPT 1/4" или другими (по специальному заказу).

Датчики давления Microsemi применяются:

- при геофизических исследованиях в скважинах;
- в буровых установках на нефтяных промыслах;
- для дозирования высоковязких веществ;
- в двигателях внутреннего сгорания;
- в производстве полимеров.

## Заключение

Разнообразные компоненты компании Microsemi, рассмотренные выше, различаются своими техническими характеристиками и предназначением, но имеют одну важную общую черту — долговременную стабильность функционирования независимо от воздействия температур окружающей среды. Широкая линейка высокотемпературной продукции позволяет сделать оптимальный выбор для решения различных задач при разработке оборудования ответственного назначения, применяемого в экстремальных условиях эксплуатации.

## Литература

1. Wainwright Simon, McHugh Martin. Extreme environment activity // Product Portfolio. 2012. March. [www.microsemi.com](http://www.microsemi.com).
2. [www.microsemi.com](http://www.microsemi.com).
3. Peddireddy Durga. Down hole drilling // Product Portfolio. 2013. [www.microsemi.com](http://www.microsemi.com).
4. Silicon carbide power MOSFET APT40SM120 // Technical Datasheet. 2013. April. [www.microsemi.com](http://www.microsemi.com).
5. Верхулевский К. Новые силовые модули компании Microsemi на основе карбида кремния // Компоненты и технологии. 2013. № 4.
6. Верхулевский К. Радиационно-стойкие источники питания для высоконадежных применений // Компоненты и технологии. 2012. № 11.
7. 5 Amp solid state relays // Technical Datasheet. 2014. January. [www.microsemi.com](http://www.microsemi.com).