

# MOSFET-транзисторы

## Vishay Siliconix

**Силовые MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) — одни из самых востребованных в настоящее время ключевых элементов, используемых для преобразования электрической энергии. Они находят широкое применение в каскадах DC/DC-преобразователей, для коммутации и распределения цепей питания, управления электроприводом и в цепях защиты. Siliconix, подразделение компании Vishay, является одним из лидеров в разработке и производстве силовых полупроводниковых продуктов, обеспечивающих высокую эффективность преобразования электрической мощности. В секторе низковольтных мощных MOSFET компания Vishay Siliconix — бренд № 1 в мире, так как она играет важную роль в секторе портативных электронных устройств, обеспечивая высокий уровень эффективности преобразования энергии при питании от батарей.**

Александр САМАРИН

### Введение

В секторе силовых компонентов для конвертеров напряжения импульсных источников питания Vishay Siliconix лидирует на рынке технологических процессов TrenchFET. Компания разработала инновационные методы корпусирования, обеспечивающие высокую плотность монтажа при улучшенном теплоотводе для мощных силовых приборов, работающих при больших токах (PowerPAK, PolarPAK). Разработанные компанией технологии корпусирования (ChipFET, MICRO FOOT, PowerPAK SC-70, PowerPAK SC-75) обеспечивают производство компактных полевых транзисторов с малой площадью футапринта. Компания выпускает семейства приборов с интеграцией нескольких силовых устройств в одном корпусе (SkyFET, PowerPAIR). К последним разработкам компании относится и серия полевых транзисторов DrMOS со встроенным драйвером затвора. Приборы предназначены для применения в импульсных источниках

питания PC, серверов и других компьютерных систем.

Портфолио Vishay Siliconix содержит и высоковольтные планарные MOSFET, которые выпускаются по технологии International Rectifier. Мощные Vishay Siliconix MOSFET предназначены для сектора промышленной автоматики, например для применения в электроприводах, преобразователях, источниках питания для коммутаторов и маршрутизаторов. Ряд продукции компании за счет использования специализированных технологических процессов ориентирован на такие сектора, как медицина, автомобильная электроника, а также военный сектор.

### MOSFET-транзисторы Vishay Siliconix

Siliconix выпускает в настоящее время более 1500 типов полевых транзисторов, используя свыше 30 типов корпусов, включая семейства корпусов MICRO FOOT и PowerPAK. Особое место занимает продук-

ция, ориентированная на сектора ответственного применения, для которых необходимы высоконадежные компоненты: это автомобильная электроника (200 типов), военная электроника (три типа) и медицинская аппаратура (преимущественно для имплантируемых устройств — два типа приборов).

### Параметры полевых транзисторов

Эффективность преобразования определяется уровнем потерь мощности на силовом ключе в процессе работы. Плотность мощности определяется отношением максимального коммутируемого тока, приведенного к корпусу или к площади, занимаемой корпусом прибора на плате. Ключевыми параметрами, от которых зависит эффективность работы MOSFET-транзисторов, являются сопротивление в открытом состоянии  $R_{DS(on)}$ , максимальный ток через транзистор  $I_D$  и  $Q_G$  — заряд затвора. Потери мощности определяются двумя составляющими: статической и динамической. Статические потери обусловлены падением напряжения на сопротивлении открытого канала. Динамические потери зависят от характера переключения, влияния паразитных составляющих и потерь в цепях управления по затвору.

Повысить плотность мощности можно при усовершенствовании двух составляющих — структуры кристалла и технологии корпусирования. Эволюция развития транзистора от планарной до Trench-технологии сопровождалась значительным сокращением площади кристалла, что привело к снижению сопротивления канала в открытом состоянии  $R_{DS(on)}$ . Уменьшение этого параметра, в свою очередь, отразилось на снижении потерь мощности и улучшении процесса

### Основные вехи в истории компании Siliconix:

- 1962 год. Образование Siliconix. Первая продукция — JFET-транзисторы.
- 1975 год. Компания освоила коммерческий выпуск мощных MOSFET.
- 1993 год. Компания представила первый промышленный образец мощного MOSFET, изготовленного по технологии Trench.
- 1998 год. Vishay приобрела часть активов Semiconductor Business Group, компании TEMIC (Telefunken).

Поглощение Telefunken (80,4% активов подразделения Siliconix) сразу обеспечило Vishay значительное усиление позиций на рынке дискретных полупроводниковых продуктов. Портфолио Vishay значительно расширилось за счет добавления широкой номенклатуры MOSFET, диодов, оптоэлектронных компонентов, а также силовых аналоговых микросхем. В 2005 году Vishay выкупила оставшуюся долю (19,6%) активов Siliconix. Подразделение Siliconix сейчас базируется в сердце Кремниевой долины (Santa Clara Highway 101). Соседями Siliconix являются такие компании, как Intel, Nvidia, Yahoo, McAfee и Cisco.

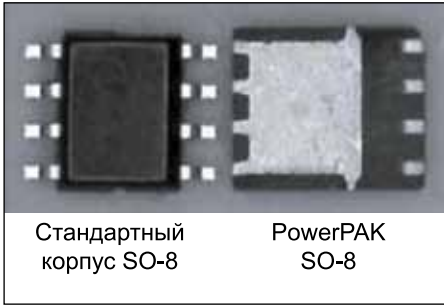


Рис. 1. Сравнение корпусов SO-8 и PowerPAK SO-8

Таблица 1. Сравнение значений теплового сопротивления у стандартных корпусов DPAK и SO-8 с новым корпусом PowerPAK SO-8

	DPAK	PowerPAK SO-8	Standard SO-8
Тепловое сопротивление корпуса $R_{th(j-c)}$ , °C/Вт	1,2	1	16

рассеяния тепла, что позволило производителям повысить плотность мощности.

**Технология корпусирования — основной фактор повышения производительности MOSFET**

Рост эффективности корпусов силовых МОП-транзисторов для поверхностного монтажа до настоящего времени обеспечивался развитием уже известных типов корпусов по двум основным направлениям. Первое из них — разработка различных вариантов корпусов на базе корпуса SO-8. Второе направление — разработка вариантов приборов с многорядным расположением шариковых контактов в корпусах типа BGA или бескорпусных Flip-Chip.

Чтобы снизить активное сопротивление и улучшить теплопередачу, разработчики при создании вариантов корпуса SO-8 шли вначале по пути увеличения количества развариваемых к выводам и кристаллу проволок из золота или алюминия. Затем на смену им пришло крепление кристалла медными зажимами-клипсами, что попутно позволило улучшить отвод тепла к утолщенным выводам корпуса, дополнительно рассеивающим тепло. За последние несколько лет производители MOSFET сделали существенные

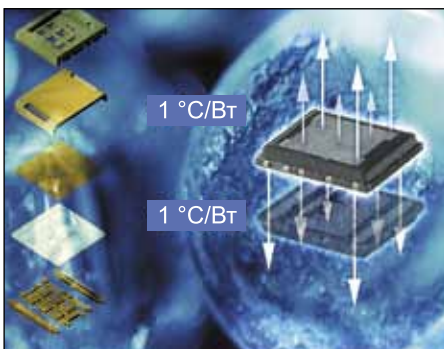


Рис. 2. Конструкция корпуса PolarPAK

Таблица 2. Базовые параметры полевых транзисторов в корпусах PowerPAK

Тип	$V_{DS}$ , В	$V_{GS}$ , В	$R_{DS(on)}$ max, Ом		$Q_G$ , нКл		$Q_{GS}$ , нКл		$Q_{GS}/Q_{GS}$	$R_G$ (тип.), Ом	$V_{th}$ (тип.), В	ДПТ	
			$V_{GS} = 10$ В	$V_{GS} = 4,5$ В	$V_{GS} = 10$ В	$V_{GS} = 4,5$ В	$V_{GS} = 10$ В	$V_{GS} = 4,5$ В					
PowerPAK SO-8													
SiRA00DP	30	20	0,001	0,00135	147	66	26	8,6	0,33	1,35	1,6	118	71
SiRA02DP	30	20	0,002	0,0027	78	34,3	13,6	4,1	0,3	1,05	1,6	125	74
SiRA04DP	30	20	0,00215	0,0031	51	22,5	8,6	4	0,47	1,25	1,6	88	56
SiRA06DP	30	20	0,0025	0,0035	51	22,5	8,6	4	0,47	1,25	1,6	102	63
SiRA10DP	30	20	0,0037	0,005	34	15,4	5,8	2,6	0,5	1,7	1,6	95	63
SiRA12DP	30	20	0,0043	0,006	29,5	13,6	5,2	2,6	0,5	1,7	1,6	101	65
SiRA14DP	30	20	0,0051	0,0085	19,4	9,4	4	1,8	0,45	1,65	1,6	79	64
SiRA34DP	30	20	0,0067	0,0098	16,7	8	2,8	1,8	0,47	1,25	1,1	112	78
SiRA18DP	30	20	0,0075	0,012	14,3	6,9	2,8	1,6	0,57	1,6	1,2	86	66
PowerPAK 1212-8													
SiSS00DN	30	20	0,0019	0,0027	56	26	9,9	4,6	0,47	1	1,6	84	56
SiSA04DN	30	20	0,00215	0,0031	51	22,5	8,6	4	0,47	1,25	1,6	88	56
SiSA476DN	30	20	0,0025	0,0035	51	22,5	8,6	4	0,47	1,25	1,6	102	63
SiSA10DN	30	20	0,0037	0,005	34	15,4	5,8	2,6	0,45	1,7	1,6	95	63
SiSA12ADN	30	20	0,0043	0,006	29,5	13,6	5,2	2,6	0,50	1,7	1,6	101	65
SiSA14DN	30	20	0,0051	0,0085	19,4	9,4	4	1,8	0,45	1,65	1,1	82	64
SiSA18ADN	30	20	0,0075	0,012	14,3	6,9	2,8	1,6	0,57	1,6	1,8	86	66
SiSA322DNT	30	20	0,0075	0,012	14,3	6,9	2,8	1,6	0,57	1,6	1,8	86	66
PowerPAK 6X5													
SiZ916DT	1	30	20	0,0064	0,01	17	7,2	3,6	0,94	0,26	2,5	1,8	90
	2	30	20	0,0013	0,00175	106	45	23,2	5	0,22	1	1,7	111

улучшения в корпусировании транзисторов, сохранив при этом низкие значения сопротивления во включенном состоянии и минимизировав паразитные параметры.

**Корпус PowerPAK**

PowerPAK разработан на базе стандартного корпуса SO-8. В корпусе PowerPAK SO-8 используются те же самые футпринт и цоколевка, что и в стандартном корпусе SO-8 (рис. 1). Это позволяет без проблем применять новые семейства приборов в корпусах PowerPAK для прямой замены приборов в корпусах SO-8.

Будучи безвыводным корпусом, PowerPAK SO-8 лишь использует посадочное место SO-8, занимая и пространство выводов SO-8. Это позволяет разместить внутри кристалл большего размера, чем в SO-8. (А фактически там можно разместить кристалл даже большего размера, чем в корпусе DPAK.)

На нижней поверхности кристалла выполнены площадки для соединительных выводов, которые обеспечивают малое контактное сопротивление при пайке и низкое те-

пловое сопротивление подложки кристалла. И наконец, высота корпуса также меньше, чем у корпуса SO-8, что обеспечивает дополнительное преимущество.

Расположение выводов (сток, исток, затвор) и размеры площадок приборов с двумя транзисторами в корпусе PowerPAK SO-8 те же самые, что и у аналогичных приборов в корпусах SO-8.

В таблице 1 приведено сравнение значений теплового сопротивления у корпусов DPAK, SO-8 и PowerPAK. Можно заметить, что тепловое сопротивление корпуса PowerPAK в 16 раз меньше, чем у SO-8, и даже меньше, чем у DPAK.

Базовые параметры полевых транзисторов в корпусах типа PowerPAK представлены в таблице 2.

**Корпус PolarPAK с двусторонним охлаждением**

На рис. 2 представлена конструкция корпуса PolarPAK, а на рис. 3 — топология его выводов. Эффективный теплоотвод с обеих сторон корпуса обеспечивает возможность

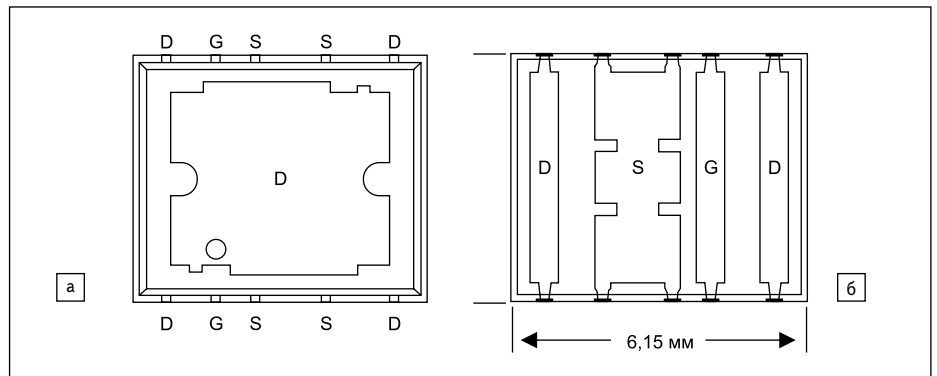


Рис. 3. Топология выводов в корпусе PolarPAK: а) вид сверху; б) вид снизу

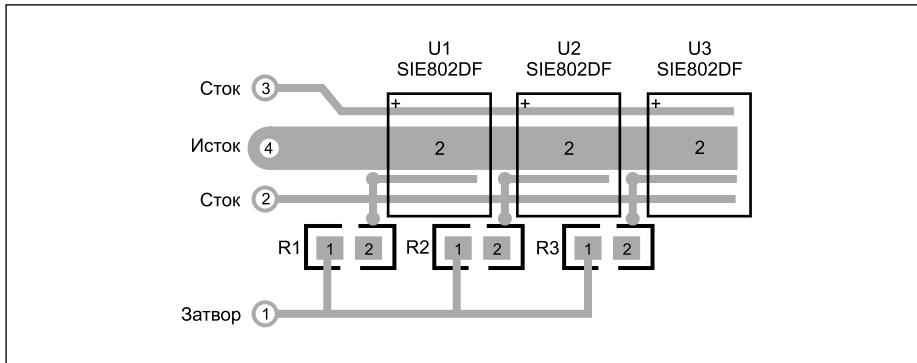


Рис. 4. Параллельное включение транзисторов в корпусах PolarPAK для увеличения мощности

Таблица 3. Основные параметры полевых *n*-канальных транзисторов в корпусах PolarPAK

Тип	$V_{DS}$ , В	$V_{GS}$ , В	$R_{DS(on)}$ , Ом			$Q_g$ , нКл	
			$R_{DS(on)}$ , Ом			$Q_g$ , нКл	
			$V_{GS} = 10$ В	$V_{GS} = 4,5$ В	$V_{GS} = 2,5$ В	$V_{GS} = 10$ В	$V_{GS} = 4,5$ В
SIE820DF	20	12	—	0,0035	0,0064	95	43
SIE822DF	20	20	0,0034	0,0055		52	24
SIE882DF	25	20	0,0014	0,0018		96	46
SIE878DF	25	20	0,0052	0,0068		24	11,2
SIE848DF	30	20	0,0016	0,0022		92	43
SIE860DF	30	20	0,0021	0,0028		70	34
SIE862DF	30	20	0,0032	0,0041		48	23
SIE844DF	30	20	0,007	0,0100		29	13,1
SIE868DF	40	20	0,0023	0,0029		95	45
SIE832DF	40	20	0,0055	0,0070		51	25
SIE876DF	60	20	0,0061			51	
SIE818DF	75	20	0,0095	0,0125		63	33
SIE854DF	100	20	0,0142			50	
SIE804DF	150	20	0,038			70	46
SIE836DF	200	30	0,13			27	
SIE726DF	30	20	0,0024	0,0033		105	50

удвоения плотности тока ( $> 60$  А). Это происходит благодаря следующим факторам:

- Стандартные размеры корпуса гарантируют технологичность монтажа и надежность.
- Диапазон рабочего напряжения приборов в корпусе PolarPAK — от 20 до 200 В.
- Единый тип футпринта и цоколевки транзисторов, работающих в диапазоне напряжений  $\leq 100$  и  $\geq 150$  В. Приведем основные параметры PolarPAK.
- Выводная рамка и пластиковый корпус обеспечивают:
  - лучшую защиту кристалла и высокую надежность прибора;
  - высокую технологичность производства;
  - фиксированный футпринт и цоколевку вне зависимости от размеров кристалла для транзисторов с рабочим напряжением менее 100 В.
- Двустороннее охлаждение корпуса с низкими тепловыми сопротивлениями (для верхней и нижней крышки оно одинаково и равно  $1$  °C/Вт).
- Возможность увеличения суммарной мощности за счет простого запараллеливания приборов (рис. 4). Это происходит благодаря малой индуктивности выводов и печатных дорожек на плате.

- Низкая паразитная индуктивность выводов корпуса гарантирует высокую эффективность преобразования энергии, особенно при работе на высокой частоте.
- Удвоение плотности тока (более 60 А) позволяет уменьшить площадь, размеры и стоимость устройства.
- Корпус имеет такую же площадь футпринта, что и стандартный корпус SO-8.
- Низкий профиль (0,8 мм), что в два раза меньше, чем у SO-8.

В таблице 3 приведены основные параметры *n*-канальных транзисторов в корпусах PolarPAK.

#### Корпус PowerPAK ChipFET

В серии новых приборов, реализованных в корпусе PowerPAK ChipFET, представлены одноканальные, двухканальные и одноканальные со встроенным диодом Шоттки МОП-транзисторы с напряжением пробоя от 12 до 20 В. Одноканальные *p*-канальные МОП-транзисторы семейства PowerPAK

ChipFET характеризуются тепловым сопротивлением  $30$  °C/Вт при максимальном сопротивлении в открытом состоянии  $0,021$  Ом (одноканальная версия) или  $0,064$  Ом (двухканальная версия). Этот показатель на 50% лучше, чем у аналогичных устройств в корпусе TSOP-6.

МОП-транзисторы в корпусах PowerPAK ChipFET обеспечивают тепловое сопротивление, которое на 75% ниже, чем у приборов в стандартном корпусе SO-8. Установочная площадь на плате уменьшена на 30%, а высота профиля составляет всего 0,8 мм. Транзисторы в этих корпусах имеют более высокую удельную мощность, чем аналогичные в корпусах SO-8, при максимальной рассеиваемой мощности 3 Вт.

Исполнения транзисторов в таком корпусе рекомендуются в качестве альтернативы MOSFET-транзисторов в корпусе TSOP-6. Доступна *p*-канальная версия со встроенным диодом Шоттки в одном корпусе, которая ориентирована для применения в качестве ключа нагрузки в портативных устройствах или же в качестве синхронного выпрямителя тока в DC/DC-конвертерах. Такие ключи могут найти применение в приводах двигателей жестких дисков или же в игровых приставках.

МОП-транзисторы семейства PowerPAK ChipFET совместимы по выводам с другими аналогичными приборами в стандартном корпусе ChipFET. Топология корпуса PowerPAK ChipFET представлена на рис. 5.

Рекомендуется применять приборы в этих корпусах вместо аналогичных в корпусах TSOP-6 и SO-8 для тех приложений, в которых требуется обеспечить меньшее тепловое сопротивление корпуса и посадочное место (футпринт) с меньшей площадью.

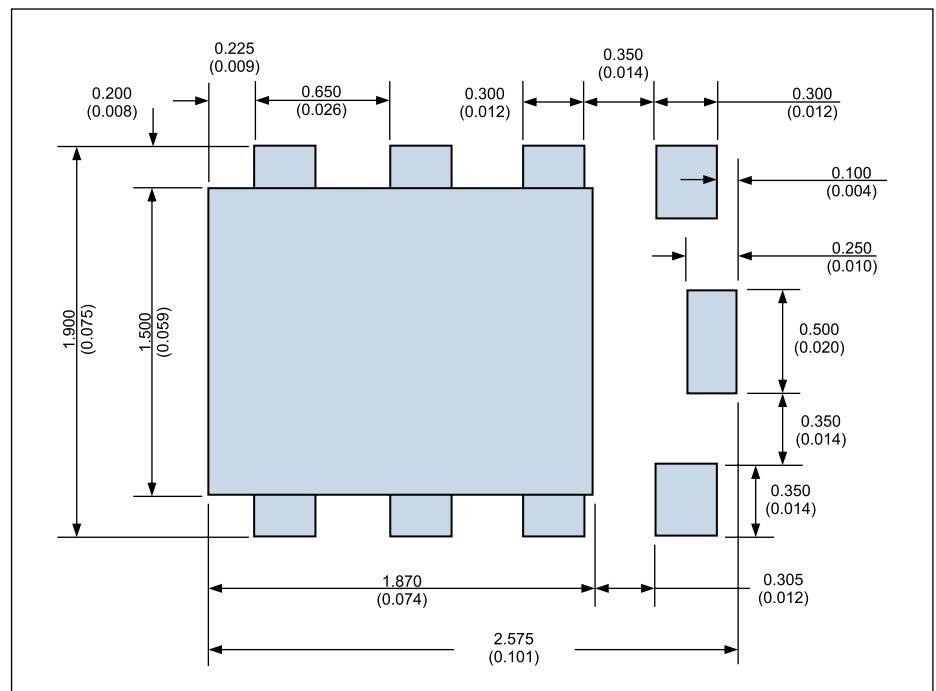


Рис. 5. Топология корпуса PowerPAK ChipFET

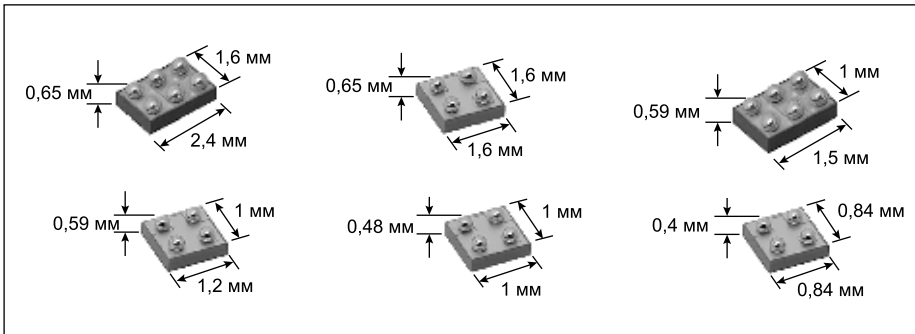


Рис. 6. Варианты корпусов MICRO FOOT с шариковыми выводами



Рис. 7. Топология выводов полевого транзистора в корпусе MICRO FOOT

Таблица 4. Основные параметры полевых транзисторов в корпусах MICRO FOOT

Тип	Габариты, мм	Шаг, мм	Максимальная высота, мм	V <sub>DS</sub> , В	V <sub>GS</sub> , В	R <sub>DS(on)</sub> , Ом				
						V <sub>GS</sub> = 4,5 В	V <sub>GS</sub> = 2,5 В	V <sub>GS</sub> = 1,8 В	V <sub>GS</sub> = 1,5 В	V <sub>GS</sub> = 1,2 В
n-канальный транзистор										
Si8100DB	2,4×1,6	0,8	0,65	25	20	0,0124				
Si8424CDB	1,6×1,6	0,8	0,65	8	5	0,02	0,021	0,023	0,028	0,045
Si8416DB	1,5×1	0,5	0,59	8	5	0,023	0,025	0,03	0,04	0,095
Si8406DB	1,5×1	0,5	0,59	20	8	0,033	0,037	0,042		
Si8466EDB	1×1	0,5	0,548	8	5	0,043	0,046		0,060	0,090
Si8472DB	1×1	0,5	0,548	20	8	0,044	0,05	0,056	0,070	
Si8802DB	0,8×0,8	0,4	0,4	8	5	0,054	0,06	0,068	0,086	0,135
Si8806DB	0,8×0,8	0,4	0,4	12	8	0,043	0,05	0,065		
Si8812DB	0,8×0,8	0,4	0,4	20	8	0,059	0,065	0,085		
Si8810EDB	0,8×0,8	0,4	0,4	20	8	0,072	0,079	0,092	0,125	
Si8800EDB	0,8×0,8	0,4	0,4	20	8	0,08	0,09	0,105	0,15	
Si8808DB	0,8×0,8	0,4	0,4	30	8	0,095	0,105	0,12	0,165	
p-канальный транзистор										
Si8439DB	1,6×1,6	0,8	0,650	-8	5	0,025	0,030	0,037	0,061	0,125
Si8425DB	1,6×1,6	0,8	0,650	-20	10	0,023	0,027	0,040		
Si8487DB	1,6×1,6	0,8	0,650	-30	12	0,035	0,045			
Si8483DB	1,5×1	0,5	0,590	-12	10	0,026	0,035	0,055	0,092	
Si8499DB	1,5×1	0,5	0,590	-20	12	0,032	0,046	0,12		
Si8497DB	1,5×1	0,5	0,590	-30	12	0,053	0,071			
Si8469DB	1×1	0,5	0,548	-8	5	0,064	0,076		0,115	0,18
Si8489EDB	1×1	0,5	0,548	-20	12	0,054	0,082			
Si8461DB	1×1	0,5	0,548	-20	8	0,1	0,118	0,14	0,205	
Si8805EDB	0,8×0,8	0,4	0,400	-8	5	0,068	0,088		0,155	0,29
Si8817DB	0,8×0,8	0,4	0,400	-20	8	0,076	0,1	0,145	0,32	
Si8809DB	0,8×0,8	0,4	0,400	-20	8	0,09	0,119	0,155		

Основные параметры PowerPAK ChipFET:

- Компактное посадочное место с площадью 3×1,8 мм.
- Корпус тоньше на 48% (толщина — 0,8 мм).
- Максимальная мощность рассеяния корпуса — до 3 Вт.

Этот тип корпуса можно использовать для размещения различных n- и p-канальных транзисторных конфигураций: одного кристалла или же двух кристаллов транзисторов, а также для транзистора со встроенным диодом Шоттки.

**Технология корпусирования MICRO FOOT**

Для полевых транзисторов компания Vishay Siliconix также использует технологию бескорпусных приборов MICRO FOOT с шариковыми выводами WL-CSP (wafer-level chip scale packaging). Эта технология корпусирования особенно актуальна для портативных приборов с батарейным питанием, поскольку позволяет уменьшить площадь печатной платы устройства, улучшить температурный режим и уменьшить паразитные

эффекты, присущие приборам с рамочными выводами. Например, полевой транзистор Si8902EDB в 6-выводном корпусе MICRO FOOT со столбиковыми выводами имеет размеры 1,6×2,4 мм, обеспечивая те же параметры, что и аналогичный прибор в корпусе TSSOP-8. При этом транзистор в корпусе MICRO FOOT имеет на 80% меньшую площадь футпринта и он в два раза тоньше.

Технология кристалла MICRO FOOT та же самая, что используется для рамочных корпусных приборов для поверхностного монтажа.

На рис. 6 представлены варианты корпусов MICRO FOOT с шариковыми выводами, а на рис. 7 — топология выводов полевого транзистора в таком корпусе.

В таблице 4 приведены основные параметры полевых транзисторов в корпусах MICRO FOOT.

**Корпус Little FOOT**

Это стандартный 6-выводный корпус SC-89 для поверхностного монтажа. На рис. 8 показана цоколевка полевого транзистора для исполнения в корпусе SC-89. Размеры корпуса — 1,6×1,6 мм, а его толщина — 0,6 мм.

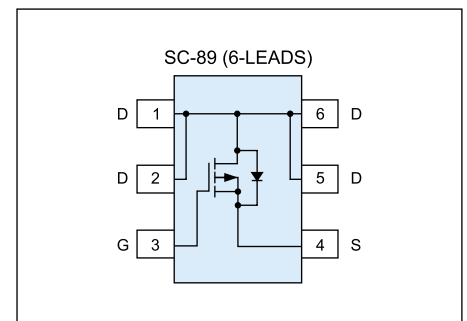


Рис. 8. Транзистор Si1037X в корпусе SC-89

**p-канальные полевые транзисторы Gen III**

Разработанная компанией технология p-канальных полевых транзисторов обеспечила существенное уменьшение (в два раза) сопротивления в открытом состоянии R<sub>DS(on)</sub>. Для корпуса типа SO-8 удалось снизить сопротивление до 2 мОм.

p-канальные транзисторы выпускаются как в мощных корпусах PowerPAK SO-8, так и в миниатюрных PowerPAK SC-75 (1,6×1,6 мм) и MICRO FOOT (1,5×1 мм). Низкие потери за счет снижения сопротивления открытого канала позволили увеличить не только эффективность преобразования энергии, но и время работы от батареи.

**Семейство SkyFET**

Семейство полевых n-канальных транзисторов SkyFET отличается встроенным диодом Шоттки. Эти приборы изготавливаются в корпусах PowerPAK или PolarPAK. Наличие

встроенного диода Шоттки позволяет увеличить уровень интеграции при реализации различных преобразователей напряжения или же ключевых устройств, а также сократить площадь и размер устройства. В таблице 5 приведены параметры  $n$ -канальных транзисторов SkyFET.

### Транзисторные сборки в одном корпусе

Транзисторные сборки (пара полевых транзисторов в едином корпусе) позволяют уменьшить площадь, занимаемую прибором, сохраняя тот же высокий ток и такое же низкое сопротивление открытого канала, что и у двух дискретных транзисторов в отдельных корпусах. Кроме того, при использовании транзисторных сборок значительно упрощается топология печатной платы, уменьшается паразитная индуктивность печатных трасс и увеличивается эффективность преобразования. Транзисторные сборки можно использовать как в высоковольтных ступенях конвертеров, так и в выходных

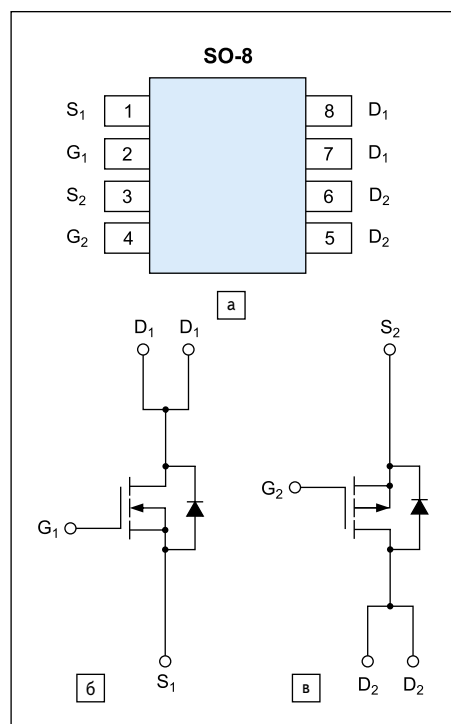


Рис. 9. Транзисторная сборка комплементарной пары силовых полевых транзисторов:

- а) вид сверху;  
б)  $n$ -канальный полевой транзистор;  
в)  $p$ -канальный полевой транзистор

Таблица 6. Параметры транзисторов комплементарной сборки Si9942DY

	$V_{DS}$ , В	$R_{DS(on)}$ , Ом	$I_D$ , А
n-канальный транзистор	20	0,125 при $V_{GS} = 10$ В	$\pm 3$
		0,25 при $V_{GS} = 4,5$ В	$\pm 2$
p-канальный транзистор	-20	0,2 при $V_{GS} = -10$ В	$\pm 2,5$
		0,35 при $V_{GS} = -4,5$ В	$\pm 2$

Таблица 5. Семейство SkyFET  $n$ -канальных транзисторов ( $V_{DS} = 30$  В,  $V_{GS} = 20$  В) со встроенным диодом Шоттки

Тип	Корпус	$R_{DS(on)}$ при 10 В, Ом	$Q_G$ при 10 В, нКл	$Q_{GS}$ , нКл	$Q_{GD}$ , нКл	$I_D$ max, А	$P_D$ max, Вт
SiE726DF	PolarPAK	0,0024	105	22	12	60	125
SiZ790DT	PowerPAIR 6×3,7	0,0047	36	5,7	5	35	48
SiS778DN	PowerPAK 1212-8	0,005	27,5	3,1	4,4	35	52
SiS782DN	PowerPAK 1212-8	0,0095	20,3	2,8	3,2	16	41
SiS780DN	PowerPAK 1212-8	0,0135	16,3	2,2	2	18	27,7
Si7792DP	PowerPAK SO-8	0,0021	90	11,8	12,6	60	104
SiR798DP	PowerPAK SO-8	0,00205	86	12,5	12,8	60	83
SiR774DP	PowerPAK SO-8	0,0026	58	7,6	9,4	40	62,5
SiR788DP	PowerPAK SO-8	0,0034	50	6,8	7,8	60	48
Si7774DP	PowerPAK SO-8	0,0038	44	5,8	6,1	60	48
Si7748DP	PowerPAK SO-8	0,0048	61	10,2	7,3	50	56
Si7772DP	PowerPAK SO-8	0,013	18,5	2,8	2	35,6	29,8
Si4628DY	SO-8	0,003	58	8,3	7,5	38	7,8
Si4774DY	SO-8	0,0095	20,3	2,8	3,2	16	5
Si4712DY	SO-8	0,013	18,5	2,8	2	14,6	5
Si4776DY	SO-8	0,016	11,6	1,5	1,9	11,9	4,1

ключач. Сопротивление открытого канала в таких сборках менее 3 мОм, максимальный ток — до 30 А. Для транзисторных сборок предназначены три типа корпусов: 3×3, 6×3,7 и 6×5 мм.

Компания Vishay Siliconix производит сборки полевых транзисторов с разной конфигурацией:

- два  $n$ -канальных транзистора;
- комплементарная пара транзисторов.

### Комплементарная пара транзисторов в едином корпусе

$n$ - и  $p$ -канальные транзисторы полностью независимы и имеют отдельные выводы. На рис. 9 показана цоколевка сборки комплементарных транзисторов в стандартном корпусе SO-8. А в таблице 6 приведены параметры транзисторов комплементарной сборки Si9942DY.

### Сборка двух $n$ -канальных полевых транзисторов

Типовой конфигурацией транзисторной сборки двух  $n$ -канальных транзисторов является схема полумоста. Транзисторы рассчитаны на типовое напряжение 30 В. Технология транзисторов — TrenchFET Gen IV.

На рис. 10 показана полумостовая конфигурация  $n$ -канальной транзисторной сборки.

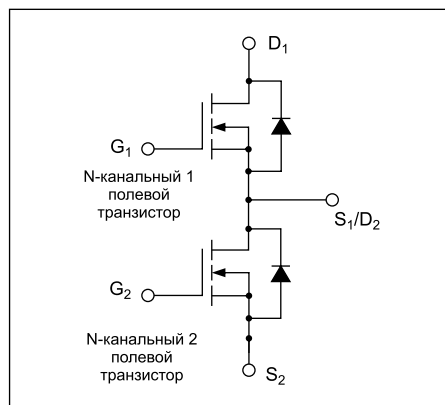


Рис. 10. Полумостовая конфигурация  $n$ -канальной транзисторной сборки

### Семейство PowerPAIR

Семейство PowerPAIR представлено сборками двух мощных  $n$ -канальных полевых транзисторов. Они соединены по схеме полумоста, но имеют ассиметричные параметры. Приборы ориентированы для применения в низковольтных DC/DC суперкомпактных конвертерах нового поколения. Несимметричность параметров верхнего и нижнего транзисторов полумоста как раз и обусловлена спецификой применения. Транзисторы пары отличаются быстродействием и сопротивлением открытого канала. Верхний транзистор полумоста имеет более высокое быстродействие, чем нижний. У верхнего транзистора также меньше сопротивление открытого канала. Для этого семейства используются корпуса со следующими размерами: 3×3, 6×3,7 и 6×5 мм. Например, 30-В транзисторная сборка SiZ300DT семейства PowerPAIR выполнена в форм-факторе 3×3 мм, а SiZ910DT имеет размер 6×5 мм. Прибор SiZ300DT предназначен для DC/DC-конвертеров с рабочим током до 10 А, в то время как SiZ910DT больше подходит для приложений с током свыше 20 А. Площадь корпуса PowerPAIR 3×3 мм примерно в три раза меньше площади корпуса PowerPAIR 6×5 мм.

Три новых прибора в форм-факторе PowerPAIR 6×3,7 мм позволили расширить портфолио приборов этой серии, при этом одновременно произошло увеличение рабочего напряжения с 20 до 30 В.

Новый прибор SiZ728DT — первый в семействе PowerPAIR 6×3,7 мм с рабочим напряжением 25 В. Прибор SiZ790DT в том же форм-факторе имеет встроенный диод Шоттки. SiZ730DT имеет самое низкое сопротивление  $R_{DS(on)}$  среди всего семейства 30-В PowerPAIR с размерами 6×3,7 мм.

### Семейство батарейных коммутаторов

Приборы этого семейства содержат пару  $p$ -канальных полевых транзисторов и отличаются схемой смещения уровня и встроенными драйверами затвора (рис. 11). По сути, это силовая микросхема аналогового комму-

татора, предназначенного для подключения источников питания в приборах с батарейным питанием.

Управление коммутацией (рис. 12) осуществляется по команде управляющего устройства логическими низкоуровневыми сигналами стандартной логики.

**Семейство транзисторов с низким пороговым напряжением на затворе**

Характеристики семейства транзисторов оптимизированы для применения в портативных электронных системах с низковольтной логикой. Применение этой серии позволяет исключить установку дополнительных схем смещения уровней сигналов и управлять включением транзисторов сигналами с уровнем 1,5 В. Малое сопротивление открытого ключа, а также отсутствие дополнительных схем смещения уровней управляющих сигналов позволяют уменьшить потребление и продлить время работы устройства от батареи питания. Серия представлена *n*- и *p*-канальными приборами в компактных корпусах с размерами до 0,8×0,8 мм.

Области применения нового семейства транзисторов: включение/отключение нагрузки, управление усилителем НЧ в батарейном устройстве, управление зарядным устройством для сотовых телефонов, MP3-плееров, цифровых камер и других портативных приборов.

В таблице 7 приведены базовые параметры MOSFET-транзисторов с нормируемым низким управляющим напряжением на затворе.

**Технология ThunderFET для высоковольтных транзисторов**

*n*-канальные транзисторы этой серии с пробивным напряжением 150 В можно использовать как в первичной ступени преобразователей напряжения, так и в выходных каскадах конвертеров с синхронным выпрямлением. Область применения: DC/AC-инверторы, повышающие конвертеры для телекоммуникационной аппаратуры, инверторы для солнечных батарей и приводы

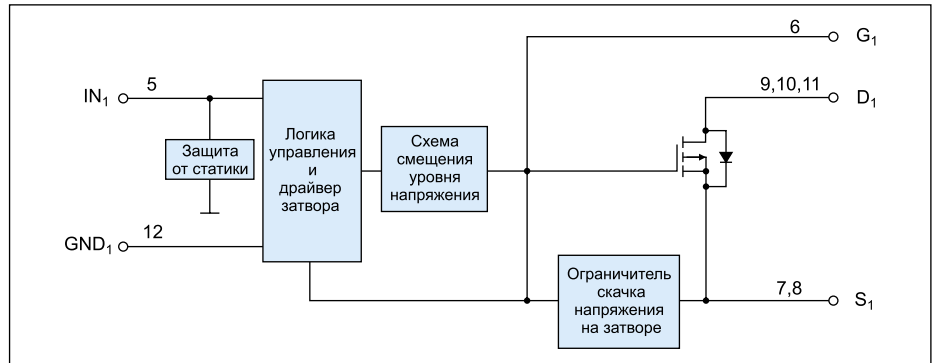


Рис. 11. Структура прибора Si4720 на базе p-канального полевого транзистора со схемой смещения уровня и интегрированным драйвером затвора

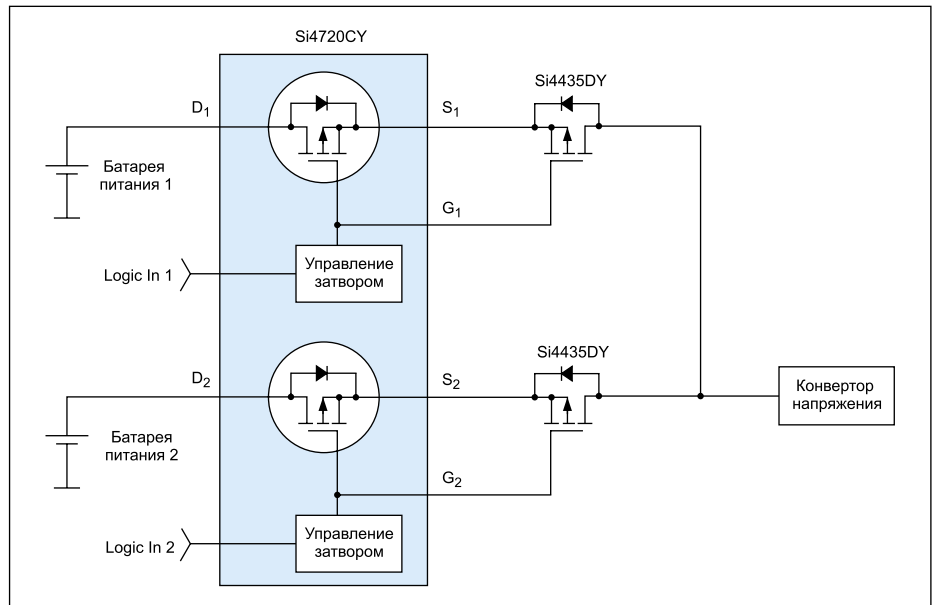


Рис. 12. Схема коммутации источников напряжения в приборе с батарейным питанием

коллекторных двигателей. В этих приложениях транзисторы SiR872ADP обеспечивают на 45% меньшее сопротивление в открытом состоянии по сравнению с приборами предыдущего поколения, что позволяет существенно уменьшить потери энергии и улуч-

шить эффективность всей системы преобразования энергии.

Ключевым параметром для оценки эффективности применения транзистора в конвертере является коэффициент добротности (FOM), который выражается произведением: значение сопротивления канала в открытом состоянии умножается на значение заряда затвора. Например, для прибора SiR872ADP величина этого параметра — 563 мОм/нКл при 10 В и 524 мОм/нКл при 7,5 В. Уменьшение параметра добротности соответствует снижению потерь проводимости и динамических потерь.

**Серия транзисторов SQ для экстремальных условий эксплуатации**

В этой серии используется специальная технология для повышения надежности и уменьшения количества дефектных приборов.

Технологический процесс оптимизирован. Приборы класса automotive соответствуют требованиям стандарта AEC-Q10. Верхняя граница рабочего температурного

**Таблица 7.** Базовые параметры MOSFET-транзисторов с нормируемым низким управляющим напряжением на затворе

Транзистор	Корпус	Конфигурация	V <sub>DS</sub> , В	R <sub>DS(on)</sub> при 1,2 В, Ом	I <sub>D</sub> max, А	P <sub>D</sub> max, Вт
Si8805EDB	MICRO FOOT 0,8×0,8	SINGLE P	-8	0,29	3,1	0,9
Si8802DB	MICRO FOOT 0,8×0,8	SINGLE N	8	0,135	3,5	0,9
Si8469DB	MICRO FOOT 1×1	SINGLE P	-8	0,18	4,6	1,8
Si8466EDB	MICRO FOOT 1×1	SINGLE N	8	0,09	5,4	1,8
Si8416DB	MICRO FOOT 1,5×1	SINGLE N	8	0,095	16	13
Si8439DB	MICRO FOOT 1,6×1,6	SINGLE P	-8	0,125	9,2	2,7
Si8424CDB	MICRO FOOT 1,6×1,6	SINGLE N	8	0,045	10	2,7
SiA920DJ	PowerPAK SC-70	DUAL N	8	0,11	4,5	7,8
SiA419DJ	PowerPAK SC-70	SINGLE P	-20	0,113	12	19
SiA427ADJ	PowerPAK SC-70	SINGLE P	-8	0,095	12	19
SiA436DJ	PowerPAK SC-70	SINGLE N	8	0,036	12	19
SiB914DK	PowerPAK SC-75	DUAL N	8	0,48	1,5	3,1
SiB417AEDK	PowerPAK SC-75	SINGLE P	-8	0,23	9	13
SiB404DK	PowerPAK SC-75	SINGLE N	12	0,065	9	13
Si1489EDH	SC70-6	SINGLE P	-8	0,19	2	2,8
Si1011X	SC89-3	SINGLE P	-12	2,475	0,48	0,19
Si2329DS	SOT-23	SINGLE P	-8	0,12	6	2,5
Si2342DS	SOT-23	SINGLE N	8	0,075	6	2,5
SiB437EDKT	ThinPowerPAK SC-75	SINGLE P	-8	0,18	9	13

диапазона — +175 °С. Используется Trench-технология с вертикальным затвором, обеспечивающая ультранизкое сопротивление канала в открытом состоянии для транзисторов с *n*- и *p*-каналами. Есть опции компактных корпусов.

### Полевые транзисторы для медицинских приложений

Vishay выпускает серию транзисторов, ориентированную специально на сектор медицинских имплантируемых приборов. Основная особенность этих приборов — гарантированное высокое качество и надежность, которые необходимы для столь ответственных приложений. Высокая надежность обеспечивается организацией специального технологического процесса с тотальным контролем всех приборов, а также за счет организации инспекции качества операций, тестирования и применения термоциклирования для выявления потенциально дефектных приборов.

Портфолио приборов этой категории содержит *n*- и *p*-канальные конфигурации, включая:

- одиночные транзисторы;
- двойные;
- пары *n*- и *p*-канальных транзисторов.

Размеры корпусов — до 1,6×1,6 мм. Типы используемых корпусов — PowerPAK SC-75, PowerPAK SC-70, SOT-23, TSOP-6, PowerPAK 1212-8, SO-8, PowerPAK SO-8L, DPAK, D2PAK, а также TO-220.

Продукция этой категории может иметь индекс А или В.

- Приборы категории А предназначены для использования в высоконадежной медицинской аппаратуре (табл. 8).
- Продукция категории В соответствует требованиям стандарта AEC-Q101 для автомобильных приложений и может применяться в медицинских приборах, для которых необходима повышенная надежность, но их отказ не приводит к фатальным результатам.

Приложения — медицинские имплантируемые приборы:

- системы дозированной подачи медикаментов;
- дефибрилляторы;
- пэйсмейкеры;
- слуховые аппараты.

### HiRel MOSFET

Компания Vishay уже 30 лет производит высоконадежные силовые компоненты и микросхемы для военного сектора и сектора аэрокосмических приложений. Корпуса силовых компонентов полностью соответствуют требованиям стандартов MIL-PRF-19500 и MIL-PRF-38535. Специально для применений, где предъявляются особые требования к надежности, безопасности и стойкости к воздействиям окружающей среды, Vishay

Таблица 8. Транзисторы категории А для ответственных медицинских приложений

Тип \ Конфигурация	Корпус	Канал	$V_{DS}$ , В	$V_{GS}$ , В	$R_{DS(on)}$ при 4,5 В, Ом	$Q_G$ при 4,5 В, нКл	$Q_{GS}$ , нКл	$Q_{GD}$ , нКл	$I_D$ max, А	$P_D$ max, Вт	$V_{GS(th)}$ min, В
SMMA511DJ Пары <i>n</i> - и <i>p</i> -канальных транзисторов	PowerPAK SC-75	<i>p</i>	-12	8	0,07	4,55	0,8	1,4	4,5	6,5	0,4
		<i>n</i>	12		0,04	4,5	0,6	0,8			
SMMB912DK Пара <i>n</i> -канальных транзисторов	PowerPAK SC-75	<i>n</i>	20	8	0,216	1,2	0,3	0,15	1,5	3,1	0,4

Таблица 9. Полевые транзисторы HiRel Vishay Siliconix с военной приемкой

Тип	$V_{DS}$ , В	$V_{GS}$ , В	$R_{DS(on)}$ при $V_{GS} = 10$ В, Ом	Корпус
2N6660	60	20	3	TO-205AD(TO-39)
2N6661	90	20	4	TO-205AD(TO-39)

Siliconix выпускает специальный класс высоконадежных (HiRel) полевых транзисторов. Рабочий температурный диапазон этих транзисторов — -55...+125 °С. Линейка приборов этого класса представлена всего двумя транзисторами: 2N6660 и 2N6661. В таблице 9 приведены параметры этих транзисторов, на рис. 13 — цоколевка полевого транзистора в корпусе TO-39.

### Области применения полевых транзисторов Vishay Siliconix

Автомобильный сектор:

- Электронный блок управления дизельными и бензиновыми двигателями.
  - Блок управления ксеноновым светом.
  - Кондиционеры.
  - Электроусилитель рулевого управления.
- Промышленная автоматика:
- Электроприводы.
  - Измерители мощности.
  - Электронный балласт для источников света.
  - Платежные терминалы.
  - Бесперебойные источники питания.
  - Преобразователи энергии для ветрогенераторов.

Компьютерный сектор:

- Струйные принтеры.
  - Ноутбуки.
  - Импульсные источники питания.
  - Планшеты.
- Медицина:
- Глюкометры.
- Бытовая электроника:
- ЖК-телевизоры.
  - Портативные медиаплееры.
- Телеком:
- Мобильные телефоны.
  - Источники питания, сетевые адаптеры.
  - Адаптеры абонентской линии.
  - xDSL-модемы/маршрутизаторы.
  - XDSL-сплиттеры.

### Поддержка разработки

На сайте компании представлена библиотека температурных моделей (R-C thermal Model Parameters) для большинства выпу-

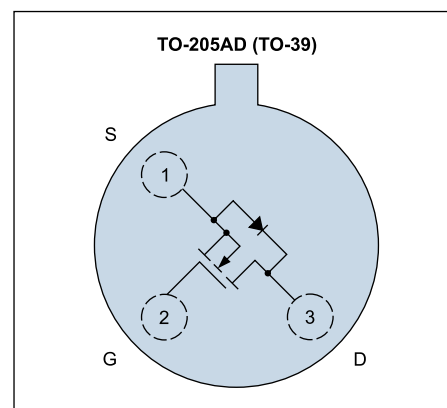


Рис. 13. Цоколевка полевого транзистора в корпусе TO-39

скаемых полевых транзисторов. Для облегчения проектирования печатных плат разработчику предоставляется библиотека готовых футпринтов для всех типов корпусов полевых транзисторов, что позволяет избежать ошибок, возникающих при самостоятельном создании футпринта. Есть библиотека Spice-моделей для широкого спектра транзисторов. Для моделирования режимов мощных MOSFET Vishay Siliconix разработала новую версию программного симулятора ThermoSim 3.0, с временным разрешением до 1 нс, что значительно повышает надежность процесса проектирования. ■

### Литература

1. SiZ916DT Dual N-Channel 30 V (D-S) MOSFETs. Datasheet Vishay Siliconix. 2012.
2. Power MOSFETs. Medical Approved Process Flow and Devices for Implantable Applications. Vishay Siliconix. 2012.
3. Automotive level qualification requirements for discrete product. (Per AEC-Q101). 2010.
4. Power MOSFETs. PolarPAK. Vishay Siliconix. 2012.
5. Hi-Rel Components. Long-Time Supplier for High-Reliability Applications. Vishay Siliconix. 2012.
6. SkyFET. Integrated MOSFET and Schottky Diode Solution. 2012.
7. 1.2 V Rated MOSFETs. Industry's First Load Switches Designed for On-Resistance Ratings at 1.2 V. 2012.
8. Battery Disconnect Switch. Vishay Siliconix. 2011.