

Вячеслав Гавриков (г. Смоленск)

ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА СИЛОВЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПЛАНАРНЫХ КОРПУСАХ PQFN



Современные силовые компоненты, выполненные в PQFN-корпусах, имеют меньшую индуктивность, меньшее сопротивление выводов и способны отводить значительное количество тепла. Однако, конструктивные особенности корпуса делают процесс монтажа и контроля качества пайки более сложным. Ответственные производители, такие как International Rectifier, предоставляют рекомендации по выполнению посадочных мест и трафаретов, что существенно упрощает процесс разработки устройств.

Стремление разработчиков электроники уменьшить размеры компонентов, снизить сопротивление и индуктивность выводов привело к созданию целого ряда безвыводных корпусов. Одним из них стал **PQFN** (*Power Quad Flat No-Lead*). Это пластиковый корпус, предназначенный для поверхностного монтажа. Выводы в нем распложены с нижней стороны и представляют собой контактные площадки (рисунок 1).

Один из выводов выполнен в виде массивного теплоотводящего контакта. Именно на нем расположен кристалл (рисунок 2). Этим достигается не только наилучший отвод тепла от кристалла, но и снижается индуктивность контакта и его сопротивление. Остальные выводы корпуса разварены на кристалл с помощью проводников. Вся конструкция покрыта пластиком.

Транзисторы в корпусе PQFN, обладая отличными характеристиками, находят применение в самых различных областях: в промышленной и мобильной электронике, в автомобильной и коммерческой технике. Однако монтаж и контроль пайки таких компонентов является более сложным техническим процессом по сравнению с монтажом компонентов, выполненных в обычных выводных корпусах.

Особенности монтажа корпусов PQFN

Выбор материала печатной платы и типа финишного покрытия контактных площадок. PQFN-корпус разработан для использования с платами из стеклотекстолита (например, FR-4). Тип финишного покрытия может быть выбран из стандартного набора. Необходимо учитывать, что параметры покрытия контактных площадок могут оказывать существенное влияние на качество пай-

ки, поэтому необходим обязательный конечный контроль качества паяных соединений.

Особенности разработки посадочных мест для PQFN-корпусов. При проектировании посадочных мест следует особое внимание уделять размерам контактных площадок и способу выполнения паяльной маски.

Увеличение размеров контактных площадок приводит к улучшению электрических характеристик (уменьшение индуктивности, сопротивления). Однако, значительное уменьшение расстояний между площадками может привести к коротким замыканиям при растекании паяльной пасты.

Как правило, при проектировании посадочного места для большой теплоотводящей площадки используется маска без зазоров (**SMD** – *solder-mask-defined*), для остальных выводов используется маска с зазором (**NSMD** – *non-solder-mask-defined*), см. рисунок 3. Маска без зазора позволяет ограничить растекание паяльной пасты, что эффективно препятствует возникновению коротких замыканий между большой контактной площадкой и другими выводами корпуса. Для обычных выводов корпуса маска с зазором не ограничивает растекание пасты, что увеличивает площадь

поверхности контакта, делая его более надежным.

Таким образом, проектирование посадочного места является сложной задачей. Производители, в том числе и International Rectifier, часто предлагают рекомендуемые посадочные места (рисунок 4). Стоит помнить, что рекомендуемый вариант посадочного места строго соответствует рекомендуемому шаблону. Если используется другой шаблон, размеры контактных площадок следует также корректировать.

Особенности разработки трафаретов. Для нанесения паяльной пасты используется трафарет. Именно трафарет обеспечивает дозирование паяльной пасты и ее размещение на плате. Чем больше окна в трафарете, тем больше наносится пасты.

При излишке пасты она может выдавливаться за границы контактных площадок и вызывать короткие замыкания. При недостатке паяльной пасты паяное соединение может быть непрочным. Еще одним негативным результатом избытка пасты может стать смещение компонента. При установке на плату корпус оказывается как бы на «подушке» из паяльной пасты (рисунок 5), при расплавлении пасты силы поверхностного натяжения могут сместить компонент. Чтобы такого не происходило, трафарет разбивают на секции (рисунок 6). В итоге необходимо искать оптимальный вариант размеров и количества окон в трафарете.

Важным параметром трафарета является толщина. Диапазон толщин составляет 0,100...0,250 мм. Лучшие результаты дает толщина в пределах



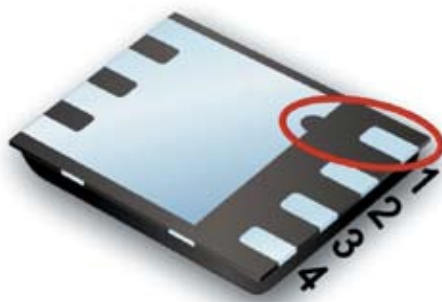
Рис. 1. Внешний вид PQFN с одной контактной площадкой



Рис. 2. Внутренняя структура PQFN корпуса на примере полевого транзистора



а)



б)

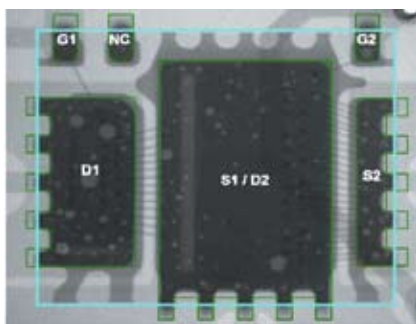
Рис. 7. Нумерация выводов корпуса PQFN



Рис. 8. Параллельное расположение компонентов



а)



б)

Рис. 9. Пример качественно выполненной пайки

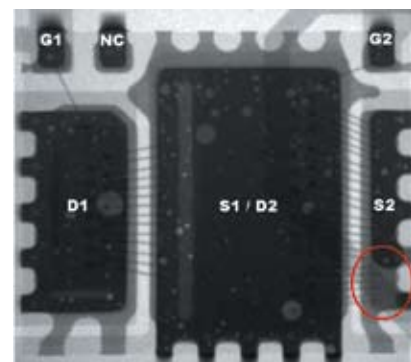


Рис. 10. Пример недостатка припоя

при помощи воздуха или плитки и местный разогрев при помощи воздуха или инфракрасного паяльника.

После монтажа любого устройства необходимо провести контроль качества пайки. Для безвыводных корпусов он имеет свои особенности.

Контроль качества пайки корпусов PQFN

Соблюдение вышеизложенных правил и рекомендаций значительно снижает риск возникновения некачественной пайки, однако не исключает его полностью. Всегда существует, хоть и малая, вероятность возникновения брака. Есть несколько типовых видов брака:

- Сдвиг корпуса при пайке. Так как расположение выводов корпуса несимметрично, то возникающие при пайке

силы поверхностного натяжения могут сместить корпус по оси X или Y.

- Перекос корпуса. Такой брак возможен под действием сил натяжения, особенно при неравномерности нанесения паяльной пасты (рисунок 6). В результате этого корпус расположен не горизонтально.

- Выдавливание припоя за границы контактных площадок как наружу, так и под корпус. При этом возможно возникновение внешних и внутренних коротких замыканий.

- Наличие пустот под корпусом. При плавлении паяльной пасты под корпус могут проникать газы и образовывать пустоты. В этом случае площадь паяного контакта снижается, что может катастрофически сказаться на теплоотдаче и электрических свойствах соединения.

- Плохой контакт (непропай) может возникать как при простой нехватке паяльной пасты, так и при перекосе корпуса. В результате контакт оказывается припаянным только частично.

Для обнаружения таких недостатков необходимо проводить контроль пайки. Особенности конструкции PQFN таковы, что методов контроля, применяемых для обычных компонентов, оказывается недостаточно. Помимо общепринятого визуального осмотра, используется рентгеновский метод контроля.

Методы контроля качества пайки

Визуальный осмотр является простейшим и широко распространенным методом контроля. Он может проводиться как без помощи дополнительного оборудования, так и при помощи ав-

Таблица 1. Критерии отбраковки паяных соединений

Тип брака	Критерий отбраковки
Смещение корпуса	Чрезмерное смещение выводов относительно контактных площадок: при перекрытии менее чем 75% для выводов затвора или истока при перекрытии менее 50% для выводов стока
Перекас или поворот корпуса	Поворот корпуса на 180 градусов Перекас корпуса относительно платы более чем на 3 градуса
Выдавливание припоя, замыкания между выводами	Наличие коротких замыканий между выводами корпуса Наличие больших капель припоя, которые могут привести к короткому замыканию
Пустоты под корпусом	Площадь пайки составляет менее 75%
Недостаток припоя	Площадь пайки составляет менее 75% Наличие незапаянных выводов

Таблица 2. Транзисторы в корпусе PQFN

Наименование	Корпус	Тип	Uси макс, В	Uзи макс, В	Rси макс, мОм			Iс, А (при TA)		Qg, нКл (тип)	Pd, Вт TA=25°C
					Uзи=2,5 В	Uзи=4,5 В	Uзи=10 В	25°C	70°C		
P-MOSFET											
<u>IRFH9310</u>	PQFN 5 x 6 A	P-тип	-30	20		7,1	4,6	-21	-17	58	3,1
<u>IRFHM9331</u>	PQFN 3 x 3	P-тип	-30	25			14,6	-11	-9	16	2,8
<u>IRFHS9301</u>	PQFN 2 x 2	P-тип	-30	20		65	37	-6	-4,8	6,9	2,1
<u>IRLHS2242</u>	PQFN 2 x 2	P-тип	-20	12	53	31		-7,2	-5,8	12	2,1
N-MOSFET											
<u>IRFH6200</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	20	12	1,5	0,99		45	36	155	3,6
<u>IRLHM620</u>	PQFN 3,3x3,3	N-тип	20	12	3,5	2,5		26	21	52	2,7
<u>IRLHS6242</u>	PQFN 2 x 2	N-тип	20	12	15,5	11,7		10	8,3	14	1,98
<u>IRLH6224</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	20	12	4	3		28	22	86	3,6
<u>IRFH4201</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	25	20		1,25	0,95	49		46	3,5
<u>IRFH5250</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	25	20		1,75	1,15	45	31	52	3,6
<u>IRFHS8242</u>	PQFN 2 x 2	N-тип	25	20		21	13	9,9	8	4,3	2,1
<u>IRFH4234</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	25	20		7,3	4,6	22		8,2	3,5
<u>IRFH8311</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		3,2	2,1	32	26	30	3,6
<u>IRFH8318</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		4,6	3,1	27	21	41	3,6
<u>IRFH8316</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		4,3	2,95	27	21	30	3,6
<u>IRFHS8342</u>	PQFN 2 x 2	N-тип	30	20		25	16		7,1	4,2	2,1
<u>IRFH3702</u>	PQFN 3 x 3	N-тип	30	20		11,8	7,1	16	12	9,6	2,8
<u>IRFHM831</u>	PQFN 3,3x3,3	N-тип	30	20		12,6	7,8	14	11	7,3	2,5
<u>IRLHM630</u>	PQFN 3,3x3,3	N-тип	30	12	4,5	3,5		21	17	41	2,7
<u>IRFHM830</u>	PQFN 3,3x3,3	N-тип	30	20		6	3,8	21	17	31	2,7
<u>IRFH5301</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	30	20		2,9	1,85	35	28	37	3,6
<u>IRFHM8326</u>	PQFN 3,3x3,3	N-тип	30	20		6,7	4,7	19	15	20	2,8
<u>IRFH5300</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	30	20		2,1	1,4	40	32	50	3,6
<u>IRFH7914</u>	PQFN 5 x 6 A	N-тип	30	20		13	8,7	15	12	8,3	3,1
<u>IRFH8334</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		13,5	9	14	12	7,1	3,2
<u>IRFH7934</u>	PQFN 5 x 6 A	N-тип	30	20		5,1	3,5	24	19	20	3,1
<u>IRFH7932</u>	PQFN 5 x 6 A	N-тип	30	20		3,9	3,3	25	20	34	3,4
<u>IRFHM8329</u>	PQFN 3,3x3,3	N-тип	30	20		8,8	6,1	16	13	26	2,6
<u>IRFH5302</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	30	20		3,5	2,1	32	26	29	3,6
<u>IRFH8321</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		6,8	4,9	21	17	19,4	3,4
<u>IRFH7936</u>	PQFN 5 x 6 A	N-тип	30	20		6,8	4,8	20	16	17	3,1
<u>IRLHS6342</u>	PQFN 2 x 2	N-тип	30	12	19,5	15,5		8,7	6,9	11	2,1
<u>IRFH8324</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		6,3	4,1	23	18	14	3,6
<u>IRFH8337</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		18,9	12,8	12	9,7	4,7	3,2
<u>IRFH8330</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		9,9	6,6	17	14	9,3	3,3
<u>IRFH5304</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	30	20		6,8	4,5	22	17	16	3,6
<u>IRFH5306</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	30	20		13,3	8,1	15	13	7,8	3,6
<u>IRFH8325</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	30	20		7,2	5	21	17	15	3,6
<u>IRFH3707</u>	PQFN 3 x 3	N-тип	30	20		17,9	12,4	12	9,4	5,4	2,8
<u>IRLH5034</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	40	16		3,2	2,4	29	23	82	3,6
<u>IRFH5104</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	40	20			3,5	24	19	53	3,6
<u>IRFH5204</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	40	20			4,3	22	18	42	3,6
<u>IRFH7004</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	40	20			1,4			129	

Таблица 2. Транзисторы в корпусе PQFN (окончание)

Наименование	Корпус	Тип	Uси макс, В	Uзи макс, В	Rси макс, мОм			Iс, А (при TA)		Qg, нКл (тип)	Pd, Вт TA=25°C
					Uзи=2,5 В	Uзи=4,5 В	Uзи=10 В	25°C	70°C		
<u>IRFH7446</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	40	20			3,3			65	
<u>IRLH7134</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	40	16		4,9	3,3	26	21	39	3,6
<u>IRFH5004</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	40	20			2,6	28	23	73	3,6
<u>IRFH7440</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	40	20			2,4			92	
<u>IRFH5406</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	60	20			14,4	11	9	23	3,6
<u>IRFH5106</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	60	20			5,6	21	17	50	3,6
<u>IRLH5036</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	60	16		5,5	4,4	20	16	44	3,6
<u>IRFH5006</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	60	20			4,1	21	17	67	3,6
<u>IRFH5206</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	60	20			6,7	16	13	40	3,6
<u>IRFH7107</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	75	20			8,5	14	11	48	3,6
<u>IRFH5207</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	75	20			9,6	13	11	39	3,6
<u>IRFH5007</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	75	20			5,9	17	13	65	3,6
<u>IRFH7110</u>	PQFN 5 x 6 E	N-тип	100	20			13,5	11		58	3,6
<u>IRFH5210</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	100	20			14,9	10	8,1	39	3,6
<u>IRLH5030</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	100	16		9,9	9	13	11	44	3,6
<u>IRFH5053</u>	PQFN 5 x 6 A	N-тип	100	20			18	9,3	7,4	24	3,1
<u>IRFH5010</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	100	20			9	13	11	65	3,6
<u>IRFH5110</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	100	20			12,4	11	9	48	3,6
<u>IRFH5015</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	150	20			31	10	8,2	33	3,6
<u>IRFH5215</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	150	20			58	5	4	20	3,6
<u>IRFH5220</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	200	20			99,9	3,8	3	20	3,6
<u>IRFH5020</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	200	20			55	5,1	4,1	36	3,6
<u>IRFH5025</u>	PQFN 5 x 6 B	N-тип	250	20			100	3,8	3,1	37	3,6

Таблица 3. Сдвоенные транзисторы и транзисторы с диодом Шоттки

Наименование	Корпус	Тип	Uси, В (макс)	Uзи, В (макс)	Rси макс, мОм			Iс, А (при TA)		Qg, нКл (тип)	Pd, Вт TA=25°C
					Uзи=2,5 В	Uзи=4,5 В	Uзи=10 В	25°C	70°C		
<u>IRFHS9351</u>	PQFN 2x2	2xP-тип	-30	20	—	290	170	-2,3	-1,5	1,9	1,4
<u>IRLHS6276</u>	PQFN 2x2	2xN-тип	20	12	62	45	—	4,5	3,6	3,1	1,5
<u>IRFHM8363</u>	PQFN3,3x3,3E	2xN-тип	30	20	—	20,4	14,9	11	—	15	2,7
<u>IRLHS6376</u>	PQFN 2x2	2xN-тип	30	12	82	—	—	3,6	2,9	2,8	1,5
<u>IRFH7911</u>	PQFN 5x6 C	2xN-тип	30	20	—	14,5	8,6	13	10	8,3	2,4
<u>IRFHM792</u>	PQFN3,3x3,3E	2xN-тип	100	20	—	—	195	2,3	1,8	4,2	2,3
<u>IRFH5250D</u>	PQFN 5x6 B	N-тип с диодом Шоттки	25	20	—	2,2	1,4	40	32	39	3,6
<u>IRFHM830D</u>	PQFN3,3x3,3E	N-тип с диодом Шоттки	30	20	—	7,1	4,3	20	16	13	2,8
<u>IRFH5302D</u>	PQFN 5x6 B	N-тип с диодом Шоттки	30	20	—	3,7	2,5	29	23	26	3,6

томатических установок. Он позволяет определять правильность расположения компонента (предотвращать смещения и перекося корпуса), обнаруживать короткие замыкания, образовавшиеся при выдавливании припоя. Отчасти с помощью осмотра можно определить качество припайки боковой части выводов. Однако основная часть пайки остается скрытой под корпусом и не доступна для внешнего осмотра. Для обнаружения скрытых недостатков используют рентгеновский метод.

Рентгеновский метод является единственным надежным способом обнаружения скрытых недостатков, таких как внутренние пустоты, недостаток припоя, внутренние короткие замыкания, смещения корпуса. Хотя существуют сложные автоматические комплексы с трехмерным рентгеновским сканированием, для определения качества пайки хватает и двухмерного.

Визуальный осмотр качественно припаянного компонента (рисунок 9а) не обнаруживает сильных перекосов и смещений корпуса. Припой должен равномерно покрывать видимую часть выводов без существенного выдавливания из-под корпуса. Рентгеновский снимок (рисунок 9б) подтверждает правильность расположения корпуса. Места, покрытые припоем, имеют более темный цвет. Припой на снимке должен покрывать большую центральную площадку и остальные выводы. Светлых пятен, соответствующих пузырькам воздуха и пустотам, должно быть как можно меньше. Выдавленный припой и короткие замыкания при качественной пайке отсутствуют.

При некачественном монтаже (рисунок 10) рентгеновское сканирование может явно показать недостаток припоя — непокрытый пайкой вывод имеет более светлый цвет.

Критерии отбраковки изделий

Существуют рекомендации по отбраковке некачественных паяных соединений (таблица 1). Анализ этих рекомендаций показывает, что неприемлемой считается пайка, у которой соотношение площадей «пайка/контакт» составляет менее чем 50% для большого теплоотводящего контакта и 75% — для остальных. Наличие коротких замыканий, смещение или перекося корпуса более чем на 3 градуса также считаются недопустимыми.

PQFN-транзисторы от International Rectifier

International Rectifier, являясь одним из лидеров силовой полупроводниковой техники, выпускает широкий спектр силовых транзисторов, в том числе — в корпусах PQFN. Несмотря на малые

размеры, предельная мощность таких транзисторов составляет единицы ватт.

Силовые P-MOSFET способны коммутировать напряжения до 30 В и проводить токи до 21 А (таблица 2). Транзистор **IRLH2242** предназначен для работы с логическими уровнями 3,3 В.

Выпускаются N-MOSFET-транзисторы на напряжения до 250 В и токи в десятки ампер (таблица 2). Ряд транзисторов предназначен для управления непосредственно от логических уровней напряжения и имеет сопротивление открытого канала в единицы мОм при напряжении «затвор-исток» 2,5 В.

Выпускаются не только одиночные транзисторы, но и сдвоенные P и N-MOSFET (таблица 3).

Транзисторы со встроенным диодом Шоттки в PQFN-корпусах способны работать с напряжениями до 30 В и протекающими токами вплоть до 40 А.

Заключение

Для достижения низкого уровня брака необходимо выполнять рекомендации по выполнению посадочных мест и трафаретов. Кроме того, монтаж и контроль качества пайки для компонентов, использующих высокотехнологичные PQFN-корпуса, требует дополнительного рентгеновского контроля. Чтобы упростить труд разработчиков, International Rectifier предоставляет варианты исполнения посадочных мест и шаблоны трафаретов для своих PQFN-транзисторов.

Литература

1. Application Note AN-1136. Discrete Power Quad Flat No-Lead (PQFN) and Power SO-8 Board Mounting Application Note. 2012. www.irf.com
2. Application Note AN-1154 Discrete Power Quad Flat No-Lead (PQFN) and Power SO-8 Inspection Application Note. 2011. www.irf.com
3. А. Коробенков, П. Агафонов. Монтаж QFN без дефектов. Поверхностный монтаж. №2, 2012
4. А. Нисан. Стандарты IPC по проектированию и сборке плат с компонентами с контактными площадками на нижней стороне корпуса. Электроника №1, 2012
5. Datasheets по представленным компонентам, взяты с официального сайта International Rectifier www.irf.com.

Новые 1200V IGBT с защитой от короткого замыкания

Компания **International Rectifier** представила семейство высоконадежных сверхбыстрых **1200 V IGBT**, оптимизированных для задач управления промышленными двигателями и построения систем бесперебойного питания.

Новые IGBT изготовлены с применением ультратонких пластин по технологии Field-stop Trench (покрытие Gen7), обеспечивающей низкие потери проводимости и переключения. Совмещенные в одном корпусе с антипараллельным диодом, имеющим мягкий режим восстановления и низкое значение заряда обратного восстановления (Q_{rr}), и обладающие широкой (>10 мкс) зоной безопасной работы в режиме короткого замыкания, эти транзисторы идеально подходят для работы в жестких условиях промышленного применения.

Новое семейство IGBT перекрывает рабочий диапазон токов от 10 до 50 А. Дополнительными достоинствами семейства являются высокая максимальная рабочая температура р-п перехода +150°C и положительная температурная зависимость параметра $V_{ce(on)}$, что облегчает применение транзисторов при параллельном включении. Все это позволяет снизить рассеиваемую мощность и достигнуть высокой плотности выходной мощности.

Транзисторы доступны для заказа в стандартных корпусах TO-247 и с удлиненными выводами (TO-247AD long lead), а также в самом мощном корпусе Super-247 (TO-274). Имеется возможность заказа отдельных кристаллов транзисторов.

Транзисторы перекрывают диапазон рабочих токов от 16 до 50 А (в корпусе TO-220) и от 65 до 130 А (в корпусе TO-247) — ток нормирован для температуры корпуса 100°C. Естественно, что с ростом токовых характеристик у транзисторов наблюдается ухудшение динамических потерь: самый «слабый» транзистор из серии — IRG7PH30K10D обладает энергией переключения 0,9 мДж и обеспечивает ток 16 А, самый мощный представитель — IRG7PSH73K10 — 18,4 мДж при токе 130 А.

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка —
e-mail: power.vesti@compel.ru