

# Кирилл Автушенко (КОМПЭЛ) ДОРОГУ МОЛОДЫМ! – НОВЫЕ СЕМЕЙСТВА СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ОТ IR



**Силовые MOSFET – «визитная карточка» компании International Rectifier.** За время, прошедшее с момента прошлой публикации в нашем журнале на эту тему, компания IR продолжала совершенствование своей основной продукции. Результат – появление линейки **StrongIRFet** с рекордно низким сопротивлением открытого канала и максимальным током до 240 А.

Транзистор является самым массовым электронным компонентом после резисторов и конденсаторов. Масштабы рынка MOSFET впечатляют, и многие компании не прочь откусить от этого пирога как можно большую часть. Это требует от компаний-лидеров постоянного развития технологий производства кристаллов MOSFET и их корпусирования, чтобы расширять области применения MOSFET и продолжать удерживать лидирующие позиции на рынке.

Основными направлениями развития MOSFET являются уменьшение сопротивления открытого канала  $R_{ds(on)}$ ; снижение емкости и заряда затвора  $Q_g$  для высокочастотных применений, например, в импульсных источниках питания (ИИП); а также улучшение таких малозаметных на первый взгляд параметров, как тепловое сопротивление, паразитная индуктивность, емкость выводов и т.д.

Все указанные характеристики достигаются как путем совершенствования технологии производства кристаллов, так и разработкой новых типов корпусов для транзисторов, т.к. корпус вносит значительный вклад в окончательные значения сопротивления канала, паразитных емкостей и теплового сопротивления транзистора.

## Современные кремниевые технологии MOSFET от IR

Многочисленные области применения MOSFET требуют обеспечения оптимальности транзистора с точки зрения различных характеристик. Так как многие характеристики транзисторов антагонистично взаимосвязаны, это требует разработки различных методов производства кристаллов и их корпусирования для достижения оптимального

значения требуемого параметра. Компания International Rectifier является разработчиком нескольких технологий производства кремниевых кристаллов (рисунок 1).

В данной статье мы не будем рассматривать давно всем известные технологии, появившиеся до поколения Gen 12.5x. Предметом нашего разговора станут те семейства и технологии, которые появились относительно недавно и сейчас стремительно выходят на мировой рынок. Это, возможно уже известное читателю, семейство StrongIRFET (Gen 12.7) – семейство транзисторов с минимальным сопротивлением канала и выдающимися токовыми характеристиками. Это и новое семейство 300 В транзисторов, также обладающих малым

сопротивлением, являющимся самым низким для приборов подобного класса. Помимо упомянутых, мы рассмотрим новинки, представленные семейством транзисторов в корпусах DirectFET, обладающих минимальным добавочным сопротивлением, отличными характеристиками по теплоотводу и паразитной индуктивности. Все эти решения уже доступны на рынке электронных компонентов и успели снискать себе поклонников в инженерной среде.

Дальнейшее развитие технологий будет направлено на получение транзисторов со сбалансированными характеристиками проводимости и переключения, оптимизированных по так называемой FOM (Figure of Merit), представляющей собою оптимальное значение произведения сопротивления транзистора на заряд затвора ( $R_{ds(on)} \cdot Q_{gate}$ ). Данные решения будут представлены в виде двух семейств N-канальных транзисторов на среднее (60...200 В) и низкое (20...30 В) напряжение.

Кроме того, технологии поколения Gen 12.7 вскоре позволят выйти на рынок 60 В и 75 В семейству StrongIRFET,

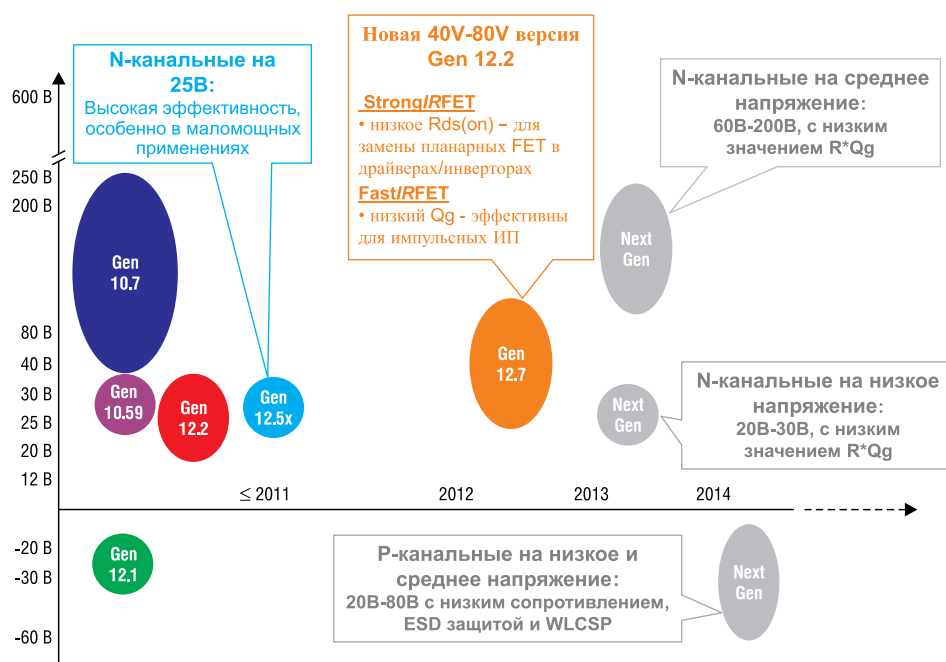


Рис. 1. Эволюция кремниевых технологий IR для производства MOSFET

Таблица 1. Семейство 40 В транзисторов с наименьшим сопротивлением – StrongIRFET

Наименование	Корпус	Rds(on)max при 10 В, мОм	Id max при Tc=25°C, А	Тип. Qg, нКл
<u>IRFS7434TRL7PP</u>	D2-7	1,00	240	210
<u>IRFS7437TRL7PP</u>		1,40	195	150
<u>IRFS7437TRLPBF</u>	D2-Pak	1,80	195	150
<u>IRFS7440TRLPBF</u>		2,50	120	90
<u>IRFR7440TRPBF</u>	D-Pak	2,40	90	89
<u>IRFR7446TRPBF</u>		3,90	120	65
<u>IRF7946TRPBF</u>	DirFET M-Can	1,40	90	141
<u>IRFH7004TRPBF</u>	PQFN	1,40	100	130
<u>IRFH7440TRPBF</u>		2,40	85	90
<u>IRFH7446TRPBF</u>		3,30	85	65
<u>IRFB7430PBF</u>	TO-220	1,30	195	300
<u>IRFB7434PBF</u>		1,60	195	216
<u>IRFB7437PBF</u>		2,00	195	150
<u>IRFB7440PBF</u>		2,50	120	90
<u>IRFB7446PBF</u>		3,30	120	62
<u>IRFP7430PBF</u>		TO-247	1,30	195
<u>IRFSL7437PBF</u>	TO-262	1,80	195	150
<u>IRFSL7440TRLPBF</u>		2,50	120	90

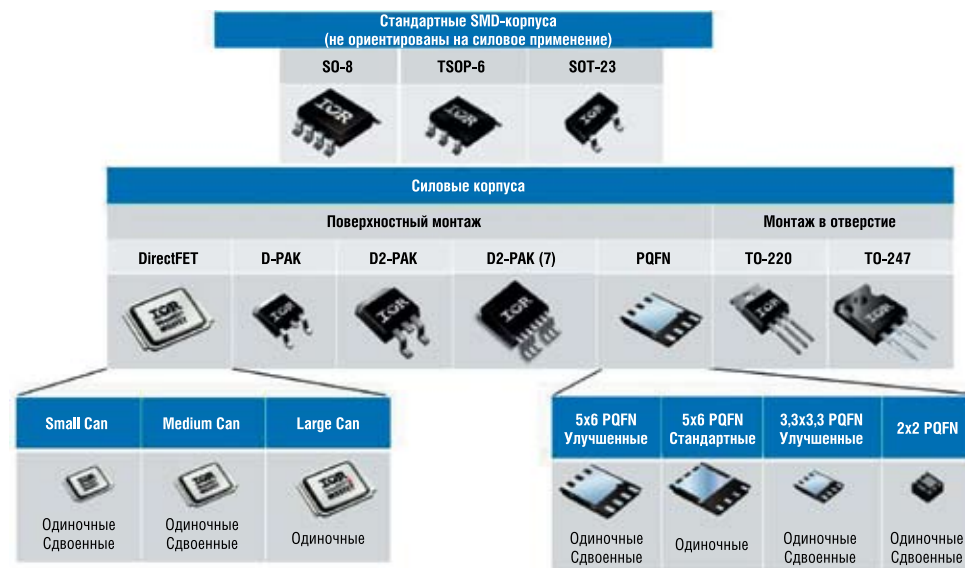


Рис. 2. Варианты корпусирования транзисторов IR

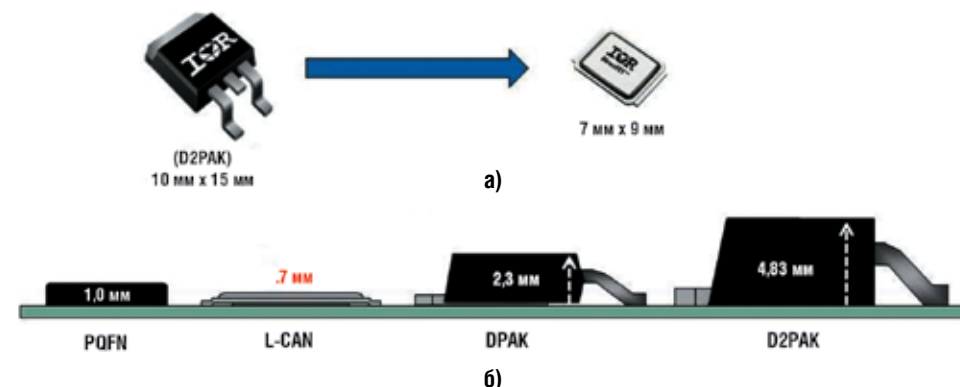


Рис. 3. Габариты корпуса DirectFET в сравнении с другими SMD-корпусами: по площади (а), по высоте (б)

а также семейству быстродействующих транзисторов FastIRFET, у которых будет сведен к минимуму заряд затворного слоя Qg и которые изначально будут доступны в варианте на напряжение 100 В.

### Технологии корпусирования MOSFET

Конечные рабочие характеристики транзистора складываются из характеристик кристалла и значений паразитных параметров, вносимых корпусом. Кроме того, именно конструкция корпуса определяет максимальный ток, который транзистор может обеспечить без разрушения, возникающего вследствие теплового пробоя.

Весь спектр корпусов, в которых компания IR выпускает свои транзисторы, представлен на рисунке 2. Помимо широко известных корпусов, применяемых также и другими производителями, International Rectifier применяет ряд корпусов собственной разработки, обладающих исключительными характеристиками и позволяющих максимально раскрыть возможности кристаллов транзисторов.

Таковыми корпусами являются DirectFET и аналог корпуса TO-262 с расширенными выводами (TO-262WL), позволяющими в значительной мере увеличить рабочий ток транзистора. На рисунке 3 проводится сравнение габаритных характеристик транзисторов в корпусе D2-PAK и DirectFET, обеспечивающих одинаковый рабочий ток. Легко видеть, что применение корпуса DirectFET позволяет значительно

Таблица 2. Новое семейство транзисторов в силовом корпусе TO-247

Наименование	$V_{DSS}$ , В	$I_d$ max при $T_c=25^\circ\text{C}$ , А	$I_d$ max при $T_c=100^\circ\text{C}$ , А	$R_{ds(on)}$ max при 10 В, мОм	Тип. Qg, нКл
<b>IRFP4368PBF</b>	75	350	195	1,85	380
<b>IRFP4468PBF</b>	100	290	195	2,6	360
<b>IRFP4568PBF</b>	150	171	125	5,9	151
<b>IRFP4668PBF</b>	200	130	92	9,7	161
<b>IRFP4768PBF</b>	250	93	66	17,5	180
<b>IRFP4868PBF</b>	300	70	49	32	180

уменьшить массогабаритные характеристики конечного устройства.

Благодаря широким выводам максимальный ток, который можно «снять» с транзистора в корпусе TO-262WL, достигает 240 А. Особенности же этих корпусов подробно описаны в статье [1].

### Новые линейки силовых MOSFET

Познакомившись в общих чертах с технологиями производства и корпусирования транзисторов IR, перейдем к подробному рассмотрению новых семейств.

#### Семейство StrongIRFET

Одним из наиболее интересных семейств, преимуществе которого уже успели оценить многие разработчики, является семейство транзисторов StrongIRFET, выполненных по кремниевой технологии Gen 12.7. При разработке и производстве этого семейства основной упор был сделан на уменьшении сопротивления канала и обеспечении максимально возможного тока транзистора. Как видно из таблицы 1, максимальное значение сопротивления транзистора в стандартном корпусе TO-220 может составлять 1,3 мОм. Применение же специализированных корпусов, обладающих малым добавочным сопротивлением, например, семивыводного корпуса D2-Pak, позволяет уменьшить значение этого параметра до 1 мОм (максимальное значение). В настоящее время семейство представлено транзисторами с максимальным напряжением 40 В.

Основными областями применения данного семейства являются 12 и 24 В системы управления двигателями постоянного тока, а также системы коммутации и защиты аккумуляторных батарей. Соответствие транзисторов промышленному стандарту позволяет с успехом применять их для построения промышленного ручного и автоматического инструмента, а также электрокаров и электропогрузчиков.

В планах компании – расширить семейство 60 и 75 В линейками. Некоторые представители 75 В линейки уже проходят окончательное тестирование и ближе к концу лета 2013 года должны

Таблица 3. Семейство 300 В транзисторов с наименьшим сопротивлением в отрасли

Наименование	$R_{ds(on)}$ max при 10 В, мОм	$I_d$ max при $T_c=25^\circ\text{C}$ , А	Тип. Qg, нКл	Корпус
<b>IRFB4137PBF</b>	69	38	83	TO-220
<b>IRFP4137PBF</b>	69	38	83	TO-247
<b>IRFP4868PBF</b>	32	70	180	TO-247

появиться в виде инженерных образцов. Как показывают предварительные оценки, сопротивление данных транзисторов не будет превышать единиц мОм.

#### Семейство силовых транзисторов IRFP4x68 в корпусе TO-247

Еще одним новым семейством транзисторов, которые могут похвастаться низким сопротивлением, является IRF4x68, кристаллы которого выполнены по технологии Gen 10.7 и упакованы в мощный корпус TO-247. Семейство охватывает широкий диапазон рабочих напряжений транзистора – от 75 до 300 В – и обеспечивает рабочие токи до 195 А. Удобная система наименований (*Part Numbering System*) позволяет легко ориентироваться среди представителей семейства – вторая цифра в наименовании строго указывает на рабочее напряжение транзистора. Состав семейства приведен в таблице 2.

Именно корпус TO-247, обладая отличными характеристиками по отводу тепла, и позволяет обеспечить столь высокий рабочий ток. Однако для того, чтобы в полной мере раскрыть эти преимущества, необходимо приложить некоторые дополнительные усилия. Так, теплоотвод от поверхности транзистора (а значит и кристалла) будет лучше, если при креплении корпуса на радиатор пользоваться специальными термопастами и осуществлять крепление при помощи специальных клипс. Подробно эти аспекты применения данных транзисторов рассматриваются в статье [2].

#### Новые 300 В транзисторы с наименьшим сопротивлением в отрасли

Для построения выходных каскадов высокоэффективных преобразователей питания компания IR выпустила серию

300 В транзисторов, обладающих наименьшим в отрасли сопротивлением открытого канала (таблица 3). Данное семейство немногочисленно и состоит из трех представителей – все это мощные транзисторы в корпусах, предназначенных для сквозного монтажа на печатную плату: TO-220 и TO-247.

Помимо отличных характеристик проводимости, данные транзисторы обладают также выдающимися характеристиками для высокочастотных применений. Семейство в скором времени расширится за счет появления нового транзистора **IRFPS4888PBF**, который будет поставляться в наиболее мощном выводном корпусе Super-247 (другое название TO-274) и будет обладать сопротивлением не более 14,5 мОм. Ток транзистора будет достигать 110 А в рабочем режиме. Инженерные образцы должны появиться в октябре-ноябре 2013 года.

#### Транзисторные новинки в корпусах DirectFET

Как было отмечено выше, полные значения параметров транзистора складываются из параметров самого кристалла и корпуса. Свой вклад в сопротивление открытого транзистора вносят выводы корпуса и проводники, которыми осуществляется распайка кристалла на выводы. Описанная ситуация представлена на рисунке 4. В части (а) рисунка приводятся различные методы распайки кристалла на выводы: с применением медных проводников, на базе медной клипсы и в корпусе DirectFET. В правой части (б) данного рисунка показано реальное увеличение сопротивления транзистора для каждого из этих методов. Если принять добавочное сопротивление при распайке проводниками за 100%, то доля добавочного сопротивления корпуса DirectFET составит только 12%,

Таблица 4. Семейство новых 30 В транзисторов в корпусах DirectFET типоразмеров 3x4 и 5x6 мм

Наименование (без суффикса)	$I_d$ max при $T_c=25^\circ\text{C}$ , А	$R_{ds(on)}$ max при 10 В, мОм	Тип. Qg, нКл	Размер корпуса	Особенность
<b>IRF8301</b>	192	1,7	51	Medium	FETKY*
<b>IRF8302</b>	190	1,8	35	Medium	FETKY
<b>IRF8304</b>	170	2,2	28	Medium	—
<b>IRF8306</b>	140	2,5	25	Medium	FETKY
<b>IRF8308</b>	150	2,5	28	Medium	—
<b>IRF8327</b>	60	7,3	9,2	Small	—

\* FETKY – имеется встроенный быстродействующий антипараллельный диод Шоттки.

Таблица 5. Семейство мощных DirectFET-транзисторов в корпусах с размерами 7x9 мм

Наименование	$V_{DSS}$ , В	$I_d$ max при $T_c=25^\circ\text{C}$ , А	$R_{ds(on)}$ max при 10 В, мОм	Тип. Qg, нКл	Размер корпуса
<b>IRF6718L2</b>	25	270	0,7	64	L6
<b>IRF7739L1</b>	40	270	1,0	220	L8
<b>IRF7748L1</b>	60	148	2,2	147	L6
<b>IRF7749L2</b>	60	200	1,5	200	L8
<b>IRF7759L2</b>	75	160	2,3	200	L8
<b>IRF7769L1</b>	100	124	3,5	200	L8
<b>IRF7769L2</b>	100	124	3,5	200	L8
<b>IRF7779L2</b>	150	67	11,0	97	L8
<b>IRF7799L2</b>	250	35	38,0	110	L8

Таблица 6. Миниатюрные логические транзисторы, оптимальные для управления 10 В

Наименование	$V_{DSS}$ , В	Корпус	$R_{ds(on)}$ max, мОм		$I_d$ max при $T_a=25^\circ\text{C}$ , А
			при 10 В	при 4,5 В	
<b>IRF9383M</b>	-30	DirectFET MX	2,9	4,8	22
<b>IRFHS9301</b>		PQFN 2x2	37	60	6
<b>IRFHS9342</b>		TSOP-6	40	66	5,8
<b>IRLML9301</b>		SOT-23	64	103	3,6
<b>IRFHS9351</b>		Dual PQFN 2x2	170	290	2,3
<b>IRFHS8242</b>	25	PQFN 2x2	13	21	9,9
<b>IRLML8244</b>		SOT-23	24	41	5,8
<b>IRFHS8342</b>	30	PQFN 2x2	16	25	10
<b>IRFHS8342</b>		TSOP-6	19	29	8,2
<b>IRLML0030</b>		SOT-23	27	40	5,3

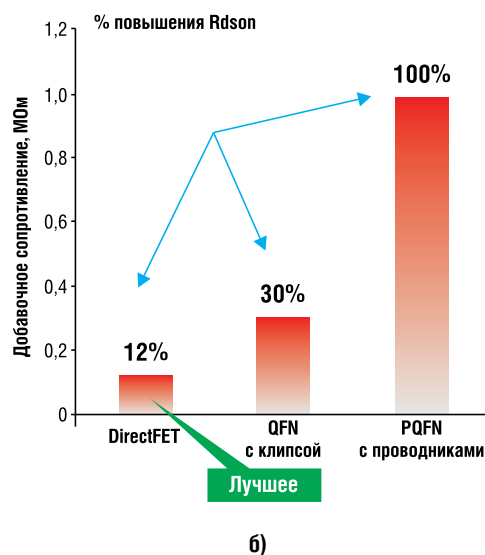
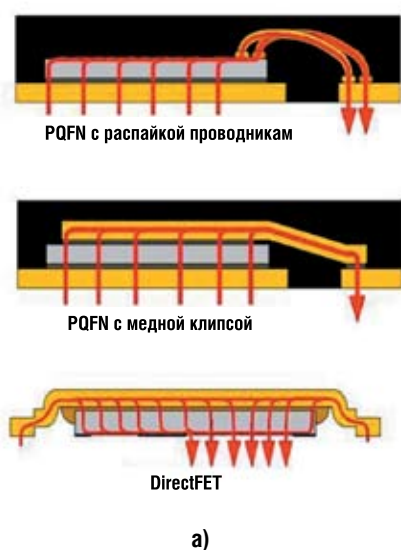


Рис. 4. Методы внутренней распайки кристалла (а) и добавочное сопротивление транзистора (б)

а следовательно, при использовании одного и того же кристалла результирующее сопротивление во втором случае будет значительно меньше.

Вторым аспектом, определяющим выгодные характеристики транзисторов в корпусе DirectFET, является его низкое температурное сопротивление.

Дело в том, что верхняя крышка корпуса транзистора является его стоком, что позволяет отводить тепло непосредственно с кристалла. Контакт других областей кристалла с выводами также осуществляется напрямую. Это позволяет добиться сверхнизких коэффициентов температурного сопротивления: теплоотвод на поверхность печатной платы осуществляется с коэффициентом  $1^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , а на верхнюю крышку – лишь с немного большим,  $1,4^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Все это позволяет отводить тепло от кристалла настолько эффективно, что корпуса размером 7x9 мм обеспечивают ток до 195 А без применения внешнего радиатора (естественно, печатная плата должна быть спроектирована с соответствующими контактными площадками для осуществления теплоотвода).

Для сравнения, на рисунке 56 приведены соответствующие коэффициенты теплоотвода для стандартных SMD-корпусов.

В таблицах 4 и 5 приводятся характеристики новых транзисторов в корпусах DirectFET, появившихся в последнее

Таблица 7. Миниатюрные логические транзисторы, оптимальные для управления 4,5 В

Наименование	V <sub>VDSS</sub> , В	Корпус	Макс. R <sub>ds(on)</sub> , мОм		Id макс. при Ta=25°C, А
			при 4,5 В	при 2,5 В	
<u>IRLTS2242</u>	-20	TSOP-6	32	55	6,9
<u>IRLHS2242</u>		PQFN 2x2	31	53	7,2
<u>IRLML2244</u>		SOT-23	54	95	4,3
<u>IRLHS6242</u>	20	PQFN 2x2	11,7	15,5	10
<u>IRLML6244</u>		SOT-23	21	27	6,3
<u>IRLHS6276</u>		Dual PQFN 2x2	45	62	4,5
<u>IRLMS2002</u>	30	TSOP-6	30	45	6,5
<u>IRLHS6342</u>		PQFN 2x2	16	20	8,7
<u>IRLTS6342</u>		TSOP-6	17,5	22	8,3
<u>IRLML6344</u>		SOT-23	29	37	5
<u>IRLHS6376</u>		Dual PQFN 2x2	63	82	3,6

время и представляющих, по нашему мнению, наибольший интерес для разработчиков. Среди корпусов среднего размера (5x6 мм) лидером является транзистор IRF8301, обладающий сопротивлением 1,7 мОм и способный обеспечить ток более 190 А. Некоторые транзисторы снабжены встроенным быстродействующим диодом Шоттки, позволяющим во многих применениях обойтись без дополнительно внешнего компонента, что уменьшает габариты конечного изделия и удешевляет его.

Корпуса размером 7x9 мм (таблица 5) вообще могут обладать сопротивлением менее 1 мОм и способны обеспечить ток до 270 А (при соответствующем теплоотводе).

### Логические транзисторы в миниатюрных корпусах

Транзисторы с логическим управлением в миниатюрных корпусах, типа SOT-23, TSOP-6 и подобных, никогда не позиционировались в качестве силовых ключей, и их токовые характеристики не были камнем преткновения для производителей. Это связано с малыми габаритами корпусов, неспособных рассеять большую мощность. Однако массовость применения подобных транзисторов в любых электронных устройствах делает достойным внимания суммарные потери мощности в них. Значительное уменьшение сопротивления открытого канала логических транзисторов позволило увеличить их токовые характеристики и повысить общий КПД устройства. В сочетании с миниатюрными размерами корпусов, эти достижения позволили логическим транзисторам плотно обосноваться на рынке маломощных бюджетных портативных приборов.

Транзисторы с логическим управлением могут открываться под воздействием минимальных входных напряжений (от 1,8 В в некоторых реализациях), но наиболее распространенными являются семейства, управляемые напряжением 2,5 и 4,5 В. В таблицах 6 и 7 приводятся наименования и основные характеристики современных логических транзисто-

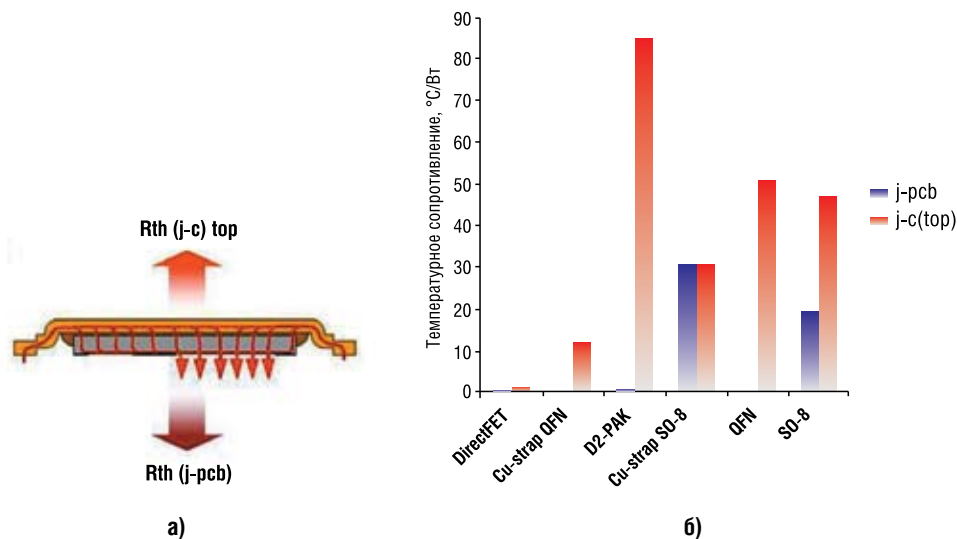


Рис. 5. Тепловое сопротивление корпуса DirectFET: пути отвода тепла (а) и их температурное сопротивление (б)

ров компании IR. Низкое сопротивление позволяет «снимать» с транзистора в корпусе размером 2x2 мм ток до 10 А (при напряжении на затворе 10 В). А в случае применения проприетарного корпуса DirectFET — до 22 А, что вполне сопоставимо с токами маломощных силовых ключей.

Низкое напряжение открытия (многие из представленных транзисторов могут управляться напряжением от 1,8 В), и высокий коммутируемый ток делают логические транзисторы IR оптимальным решением для маломощных устройств с батарейным питанием.

### Заключение

Применение различных современных технологий производства кремниевых пластин в сочетании с оригинальной технологией их корпусирования позволяет транзисторам MOSFET компании IR занимать одно из лидирующих мест на мировом рынке силовых компонентов. Транзисторы IR находят применение в любых электронных устройствах, позволяя добиться высоких выходных токов системы и обеспечить ей отличные характеристики по КПД. Транзисторы новых семейств StrongIRFET и DirectFET

обладают минимальным сопротивлением открытого канала (менее 1 мОм) и позволяют разрабатывать компактные силовые приборы за счет небольших размеров элементов и возможности отводить от них тепло без применения громоздких радиаторов. Все это позволяет сократить сроки разработки конечного изделия и добиться существенного снижения его себестоимости.

### Литература

1. Соломатин Максим. Новые MOSFET компании IR: широкие выводы, увеличенный ток // Новости Электроники, 2011, №10, 5-10 сс.
2. Автушенко К., Голубцов М. Семейство MOSFET с ультранизким R<sub>ds(on)</sub> в корпусе TO-247 компании International Rectifier // Компоненты и Технологии, 2013, №4, 132-134 сс.
3. Материалы семинаров «International Rectifier Seminars — June 2013».

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