

Олег Стариков (КОМПЭЛ), Андрей Никитин

НОВЫЕ N-КАНАЛЬНЫЕ MOSFET-ТРАНЗИСТОРЫ В КОРПУСАХ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО СТАНДАРТА

Компания **International Rectifier (IR)** является признанным мировым лидером в разработке и производстве **MOSFET-транзисторов**. Отличительной особенностью MOSFET-транзисторов последних лет является сочетание ультранизкого сопротивления открытого канала и высокие динамические характеристики. В статье рассматриваются новые изделия,полнившие линейку **N-канальных MOSFET** в последнее время.

Выпускаемые в течение последних лет MOSFET-транзисторы в корпусах с высокой тепловой эффективностью DirectFET [1], [2] являются визитной карточкой компании IR, подтверждающей ее лидерство в этом сегменте рынка силовой электроники. Отдавая должное безусловной перспективности этой технологии, необходимо отметить, что новые изделия силовой электроники, выпущенные в традиционных стандартных корпусах (как для поверхностного, так и для выводного монтажа), также будут востребованы рынком на протяжении длительного времени.

Технология TrenchFET полевых транзисторов нового поколения

Традиционно мощные MOSFET-транзисторы выпускались по так называемой планарной технологии. Начиная с 2000-х годов компания International Rectifier предлагает на рынок транзисторы, изготовленные по новой, траншейной (Trench) технологии. Не углубляясь в тонкости микроэлектроники, отметим основное различие — затвор

TrenchFET-транзистора выполнен не в виде наслоения на пластину, а в виде канавки или траншеи, что иллюстрируется рисунком 1.

Это позволяет, с одной стороны, добиться более высокой плотности размещения элементов, с другой — снизить сопротивление открытого канала RDS(ON) и уменьшить значение заряда затвора QG.

Кристалл силового MOSFET-транзистора характеризуется двумя обобщенными показателями качества:

1. Удельное сопротивление канала R_{xAA} (произведение сопротивления открытого канала на площадь активной зоны ячейки). Он характеризует компактность и цену кристалла.

2. Комплексный показатель потерь R_{xQG} (произведение сопротивления открытого канала на заряд затвора). Показатель учитывает уровень потерь проводимости и потерь переключения.

Динамика изменения этих параметров на примере 30-вольтовых MOSFET-транзисторов IR представлена на рисунке 2 (индексы 4,5 обозначают, что значение сопротивления открытого

канала дано для управляющего напряжения на затворе V_{GS} = 4,5 В).

Benchmark MOSFET-транзисторы компании International Rectifier

Чтобы не запутаться в иностранных терминах, уточним, что TrenchFET — это технология, по которой выполнен транзистор, а упомянутая выше DirectFET — технология корпусирования. Одно не мешает другому.

Benchmark MOSFET — это не некая новая технология, а своего рода «знак качества». То есть отнесение изделия к этой категории говорит о том, что по своим параметрам оно соответствует лучшим изделиям в отрасли и является «эталонным в своем классе».

Для чего это нужно? В настоящий момент IR выпускает более 170 N-канальных транзисторов со статусом Active (стадия активного действующего производства) только в корпусе TO-220AB (не считая снимаемых с производства и тех, которые не рекомендованы к применению в новых разработках). Одних только 100-вольтовых транзисторов — почти 30 наименований. Оптимальный выбор требуемой модели становится для разработчика проблемой. В этом смысле индекс Benchmark MOSFET — подсказка, что данное изделие по совокупности показателей является предпочтительным.

Выбор MOSFET-транзистора обычно проводят по следующим основным показателям:

1. Пробивное напряжение V_{BRD} — максимальное напряжение между выводами стока и истока при закрытом состоянии транзистора.

2. Ток стока I_D — максимальное значение тока, протекающее по каналу «исток-сток» при открытом состоянии транзистора. Обращаем внимание: значение зависит от температуры кристалла, поэтому в спецификациях (datasheet) указываются не только значения для нескольких точек (обычно 25 и 100°C), но и приводится график зависимости.

3. Сопротивление открытого канала «исток-сток» R_{DS(ON)}. Опять же обращаем внимание: параметр зависит от величи-

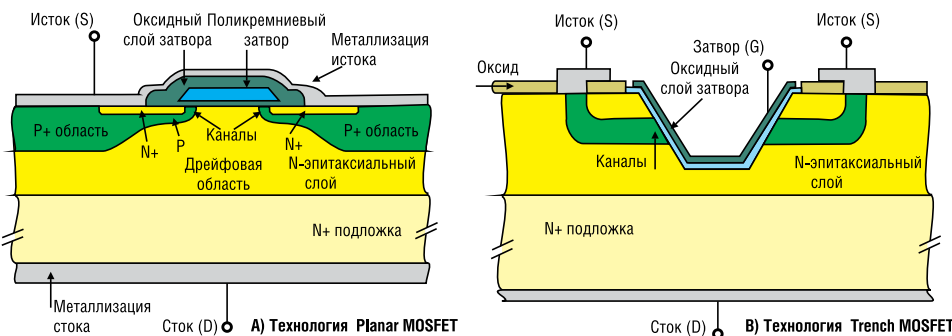


Рис. 1. Структура N-канальных MOSFET-транзисторов, выполненных по планарной и Trench-технологиям

Таблица 1. Линейка 30-вольтовых N-канальных MOSFET-транзисторов компании IR

| Модель | V_{BRD} , max, В | V_{GS} , max, В | $R_{DS(ON)}$, max, мОм | I_D , А | Q_G , тип, нК | RxQ , мОм x нК |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------------|-----------|-----------------|------------------|
| IRL2703 | 30 | 16 | 40,0 | 24 | 10,0 | 400 |
| IRL3303 | 30 | 16 | 26,0 | 34 | 17,3 | 450 |
| IRL3103 | 30 | 16 | 12,0 | 56 | 22,0 | 264 |
| IRF3707Z | 30 | 16 | 9,5 | 59 | 9,7 | 92 |
| IRLB8721 | 30 | 20 | 8,7 | 62 | 7,6 | 66 |
| IRF3707 | 30 | 20 | 12,5 | 62 | 19,0 | 238 |
| IRF3708 | 30 | 12 | 12,0 | 62 | 24,0 | 288 |
| IRF3709Z | 30 | 20 | 6,3 | 87 | 17,0 | 107 |
| IRF3709 | 30 | 20 | 9,0 | 90 | 27,0 | 243 |
| IRLB8748 | 30 | 20 | 4,8 | 92 | 15,0 | 72 |
| IRL2203N | 30 | 16 | 7,0 | 100 | 40,0 | 280 |
| IRL8113 | 30 | 20 | 6,0 | 105 | 23,0 | 138 |
| IRL3803 | 30 | 16 | 6,0 | 120 | 93,3 | 560 |
| IRL3803V | 30 | 16 | 5,5 | 140 | 50,7 | 279 |
| IRLB8743 | 30 | 20 | 3,2 | 150 | 36,0 | 115 |
| IRL7833 | 30 | 20 | 3,8 | 150 | 38,0 | 144 |
| IRL3713 | 30 | 20 | 3,0 | 200 | 75,0 | 225 |
| IRF3703 | 30 | 20 | 2,8 | 210 | 209,0 | 585 |
| IRF1503 | 30 | 20 | 3,3 | 240 | 130,0 | 429 |
| IRLB3813 | 30 | 20 | 2,0 | 260 | 57,0 | 111 |
| IRF2903Z | 30 | 20 | 2,4 | 260 | 160,0 | 384 |

ны управляющего напряжения «затвор-сток» V_{GS} . Как правило, максимальное значение этого напряжения лежит в пределах 12...20 В. Но пороговое напряжение, при котором через канал начинает протекать ток, будет ниже (1,5...4 В). В спецификациях даются, как правило, значения для точек 4,5 и 10 В.

4. Заряд затвора Q_G . Характеризует величину входной емкости транзистора (то есть, сумму паразитных емкостей «затвор-сток» и «затвор-исток» $C_{GD} + C_{GS}$), напрямую влияющей на время включения-выключения транзистора.

5. Цена.

Первые два параметра являются, по сути, начальными условиями выбора и вытекают из требований технического задания на узел. Зная требования схемы и заложив разумный запас, разработчик определяет допустимый диапазон этих значений и, как следствие, список изделий, допустимых для применения в его разработке.

Остальные три параметра – атрибуты конкретного изделия. Значение сопротивления открытого канала непосредственно связано с теплом, которое будет рассеиваться на приборе. Отсюда – наличие или отсутствие радиатора, сложные или простые механизмы отвода тепла, большие или малые габариты и, как следствие, высокая или низкая цена конечного прибора.

Значение заряда затвора определяют динамические характеристики узла, то есть максимально возможную частоту коммутации нагрузки. Для каких-то приложений это может быть не очень критично. Но, например, для импульсных источников питания – весьма важно. Кроме того, длительные пере-

ходные процессы увеличивают энергопотребление и, следовательно, выделяемое тепло.

Вывод: минимизация комплексного показателя потерь RxQ_G – необходимое условие правильного выбора. И цена не должна быть выше.

Компания International Rectifier не только позиционирует изделия из категории «эталонных» как оптимальное решение для новых разработок, но и рекомендует их в качестве прямой замены ранее выпущенным изделиям, как собственным (не обязательно снимаемым с производства), так и изделиям других производителей. Здесь необходимы пояснения. Под «прямой заменой» разработчики привыкли понимать изделие,

идентичное заданному по электрическим, механическим и климатическим параметрам. То есть, прямой аналог. Возникает вопрос: откуда прямой аналог новому изделию с «лучшими в своем классе» параметрами? В нашем случае под «прямой заменой» надо понимать следующее: изделие из категории «эталонных» может быть использовано вместо применяемых ранее без корректировки схемы и изменения конструкции. То есть, замена не повлияет на «электрические» режимы работы схемы, и при этом выделяемое тепло будет меньше, а динамические характеристики – не хуже.

В материалах компании IR [3] представлена номенклатура «эталонных»

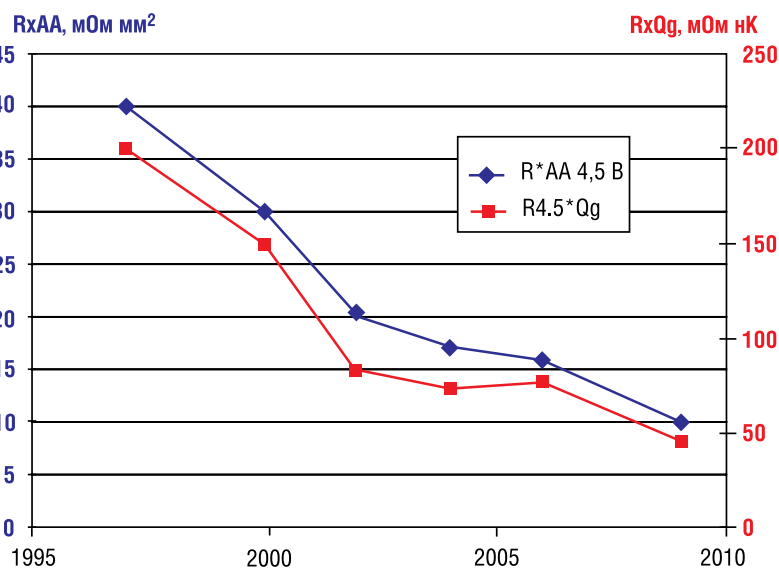


Рис. 2. Эволюция показателей качества 30-вольтовых N-канальных MOSFET-транзисторов компании IR

Таблица 2. Линейка 150- и 200-вольтовых MOSFET-транзисторов (корпус TO-220AB)

| Модель | V_{BRD} , max, В | V_{GS} , max, В | $R_{DS(ON)}$, max, мОм | I_D , А | Q_G , тип, нК | R_{xQ} , мОм x нК |
|------------|--------------------|-------------------|-------------------------|-----------|-----------------|---------------------|
| IRL3215 | 150 | 16 | 166 | 12 | 21 | 3436 |
| IRFB4019 | 150 | 20 | 95 | 17 | 13 | 1235 |
| IRF3315 | 150 | 20 | 70 | 21 | 63 | 4431 |
| IRFB23N15D | 150 | 30 | 90 | 23 | 37 | 3330 |
| IRFB33N15D | 150 | 30 | 56 | 33 | 60 | 3360 |
| IRFB4615 | 150 | 20 | 39 | 35 | 26 | 1014 |
| IRFB5615 | 150 | 20 | 39 | 35 | 26 | 1014 |
| IRFB41N15D | 150 | 30 | 45 | 41 | 72 | 3240 |
| IRF3415 | 150 | 20 | 42 | 43 | 133 | 5599 |
| IRFB52N15D | 150 | 30 | 32 | 60 | 60 | 1920 |
| IRFB61N15D | 150 | 30 | 32 | 60 | 95 | 3040 |
| IRFB4321 | 150 | 30 | 15 | 83 | 71 | 1065 |
| IRFB4115 | 150 | 20 | 11 | 104 | 77 | 847 |
| IRF630N | 200 | 20 | 300 | 9 | 23 | 6990 |
| IRFB17N20D | 200 | 30 | 170 | 16 | 33 | 5610 |
| IRFB4103 | 200 | 30 | 165 | 17 | 25 | 4125 |
| IRFB4020 | 200 | 20 | 100 | 18 | 18 | 1800 |
| IRF640N | 200 | 20 | 150 | 18 | 45 | 6705 |
| IRFB23N20D | 200 | 30 | 100 | 24 | 57 | 5700 |
| IRFB4620 | 200 | 20 | 73 | 25 | 25 | 1813 |
| IRFB5620 | 200 | 20 | 73 | 25 | 25 | 1813 |
| IRFB31N20D | 200 | 30 | 82 | 31 | 70 | 5740 |
| IRFB42N20D | 200 | 30 | 55 | 43 | 91 | 5005 |
| IRFB38N20D | 200 | 30 | 54 | 44 | 60 | 3240 |
| IRFB260N | 200 | 20 | 40 | 56 | 150 | 6000 |
| IRFB4227 | 200 | 30 | 26 | 65 | 70 | 1820 |
| IRFB4127 | 200 | 20 | 20 | 76 | 100 | 2000 |

Benchmark MOSFET-транзисторов компании IR.

Перейдем к рассмотрению новинок.

Серия «эталонных» 30-вольтовых MOSFET-транзисторов для промышленных приложений

В августе 2009 года компания International Rectifier объявила о выпуске четырех новых 30-вольтовых MOSFET-транзисторов для промышленных приложений в корпусе TO-220AB: IRLB8721*, IRLB8743, IRLB8748 и IRLB3813. Транзисторы относятся к самому новому поколению приборов IR, выполненных по Trench-технологии. Изделия ориентированы для применения в источниках бесперебойного питания, инверторах, низковольтных электроприборах, ORing-приложениях. Крайне низкие значения заряда затвора позволяют новым устройствам увеличить срок автономной работы от батареи в источниках бесперебойного питания или электроприборах. Компания IR утверждает, что новые MOSFET-транзисторы являются прямыми заменами или обновлениями существующих 30-вольтовых устройств в корпусе TO-

* Здесь и далее суффикс PBF (например, IRLB8721PBF), указывающий на «бессвинцовые технологии», опущен.

220AB. Рассмотрим линейку 30-вольтовых N-канальных транзисторов (технические характеристики приведены в таблице 1) и сравним параметры новых и ранее выпущенных приборов.

Мы видим что, четверка новых приборов дифференцирована по величине коммутируемого тока: до 60, 90, 150 и 260 А, что позволяет производителю вы-

раза по сравнению с остальными приборами. Что касается цены: IRLB8721 дешевле в 2,2...2,5** раза.

Транзисторы с коммутируемым током до 90 А в линейке IR были представлены изделиями IRF3709Z и IRF3709. Среди новых приборов им соответствует IRLB8748. Значение комплексного показателя потерь снижено в 1,5 и 3,4

В настоящий момент IR выпускает более 170 N-канальных активных транзисторов только в корпусе TO-220AB (не считая снимаемых с производства и тех, которые не рекомендованы к применению в новых разработках). Одних только 100-вольтовых транзисторов – почти 30 наименований. Оптимальный выбор требуемой модели становится для разработчика проблемой. В этом смысле индекс Benchmark MOSFET – подсказка, что данное изделие по совокупности показателей является предпочтительным.

брать оптимальный для своего изделия прибор.

Транзистор IRLB8721 может рассматриваться в качестве замены следующих изделий: IRL3103, IRL3707, IRL3707Z и IRL3708. Мы видим, что новый прибор имеет лучшие значения как по сопротивлению открытого канала, так и по заряду затвора. Комплексный показатель потерь улучшен на 30% по сравнению с IRL3707Z и снижен в 3,5...4

раза, соответственно. Цена – в 2,3 и 2,6 раза.

Среди изделий с коммутируемым током до 150 А новый транзистор

** При сравнении цен использованы данные, которые на момент подготовки статьи были открыто размещены на официальном сайте компании производителя www.irf.com.

IRLB8743 может заменить IRL3803V и IRL7833. Комплексный показатель потерь снижен в 1,2 и 2,4 раза, а цена — в 2,2 и 2,6 раза, соответственно.

И наконец, среди изделий с током до 260 А сравним IRLB3813 с IRF1503 и IRF2903Z. Комплексный показатель потерь снижен в 3,9 и 3,5 раза, а цена — в 1,8 и 2,3 раза, соответственно.

Новые «эталонные» 150- и 200-вольтовые MOSFET-транзисторы

Также в августе 2009 года компания International Rectifier анонсировала новые 150- и 200-вольтовые MOSFET-транзисторы: IRx4615 и IRx4620, соответственно. Транзисторы выпускаются в корпусе D2-Pak для поверхностного монтажа (префикс IRFS) и корпусах для пайки в отверстие TO-220AB и TO-262 (префиксы IRFB и IRFSB, соответственно). Они коммутируют ток до 35 и 25 А, характеризуются крайним низким значением заряда затвора и предназначаются для промышленных приложений, таких как импульсные источники питания, источники бесперебойного питания, инверторы, приводы двигателей постоянного тока.

Кроме того, International Rectifier выпустила транзисторы IRx5615 и IRx5620, основные параметры которых аналогичны IRx4615 и IRx4620. Транзисторы IRx56xx специально разработаны для приложений цифрового звуковоспроизведения, в частности, для усилителей звуковой частоты класса D. Их параметры оптимизированы с целью повышения КПД усилителя, снижения уровня электромагнитных помех и нелинейных искажений.

Рассмотрим линейки 150- и 200-вольтовых транзисторов IR (технические характеристики которых приведены в таблице 2) и сравним параметры новых и ранее выпущенных приборов.

Анализ таблицы показывает, что новые приборы IRFB4615 и IRFB5615 могут быть предложены в качестве замены таким изделиям, как IRFB33N15D и IRFB41N15D, а IRFB4620 и IRFB5620 — для замены транзистора IRFB23N20D. Однако отметим, что максимально допустимое значение управляющего напряжения V_{GS} у новых приборов равно 20 В (вместо 30 В у ранее выпускавшихся). Следовательно, анализ электрической схемы все же необходимо провести. Вывод: комплексный показатель потерь снижен в три и более раз. Цена IRFB46xx незначительно, но — ниже, чем у предыдущих изделий. Для IRFB56xx экономия составляет 30...40%.

Небольшое отступление от темы

Возникает вполне разумный вопрос. Если новые изделия имеют лучшие параметры и дешевле, то в чем смысл тех

изделия, с которыми мы их сравнивали? Какова их ниша?

Заметим, эти изделия были разработаны пять и более лет назад и их характеристики соответствовали тому моменту времени. Кроме того, компания IR проводит политику фокусирования усилий на тех направлениях, где она имеет преимущества перед другими производителями компонентов силовой электроники. Именно массивное внедрение технологии TrenchFET в новых изделиях позволило скачкообразно улучшить технические характеристики и снизить себестоимость.

Что касается ниши ранее разработанных транзисторов, необходимо определить, идет ли речь о новых разработках или о прямой замене на Benchmark MOSFET в серийно выпускаемых потребителем изделиях.

Причин использовать ранее выпущенные транзисторы в новых разработках, вероятно, нет, кроме каких-то очень специфичных изделий и очень специфичных параметров.

Что касается прямой замены, для серьезного конечного производителя это связано, как минимум, с корректировкой конструкторской документации. Если заменяемая позиция в изделии не является ценообразующей, то овчинка может не стоить выделки. Для ответственных применений (военная техника и не только) подобная замена может повлечь за собой проведение повторных испытаний, подтверждающих выполнение требований технического задания, или подтверждение тактико-технических характеристик. А это — затраты, и серьезные. Собственно, в этом и заключается ответ на вопрос о нише «ранних» изделий.

Вывод: целесообразность применения «эталонных» изделий в новых разработках сомнения не вызывает. Возможность использования их прямой замены не вызывает сомнений с технической точки зрения, но требует вдумчивого анализа с точки зрения финансовой.


Заключение

В линейке MOSFET-транзисторов International Rectifier выделена категория Benchmark MOSFET — «изделия с эталонными в своем классе параметрами». То есть, те изделия, в которых соотношения «качество — технические характеристики — цена» позволяют отнести их не только к лучшим в номенклатуре IR, но и к лучшим в отрасли.

Качество (то есть, надежность изделий и соответствие их заявленным параметрам) продукции IR сомнений не вызывает. Не умаляя достоинств других производителей и их продукции, нельзя не согласиться — International Rectifier является мировым лидером в производстве элементной базы для силовой электроники.

Разработка технологии TrenchFET и внедрение ее в новых изделиях позволило добиться образцовых технических характеристик для тех параметров (сопротивление открытого канала и заряд затвора), которые в первую очередь влияют на потребительские свойства приборов. Это достигнуто не только без увеличения цен на продукцию, но и при существенном снижении цены в новых изделиях.

Литература

1. В. Башкиров, Новые семейства высокоэффективных низковольтных MOSFET, Новости электроники, №18, 2008
2. Шевченко В. Транзисторы в корпусах DirectFET компании International Rectifier // Chip News Украина, 2006, №1.
3. Benchmark MOSFETs. Product Selection Guide // материал компании International Rectifier. 

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

**НОВЫЕ MOSFETs С ЗАТВОРОМ,
УПРАВЛЯЕМЫМ ЛОГИЧЕСКИМ УРОВНЕМ,
в корпусах d2pak**

IRLS3034 ($B_{vds}=40$ В)
IRLS3036 ($B_{vds}=60$ В)
IRLS4030 ($B_{vds}=100$ В)



LOGIC LEVEL