Перспективные полевые МОП-транзисторы DTMOS, U-MOS

компании Toshiba Semiconductor

Юрий Петропавловский

Компания Toshiba Semiconductor (TSC), входящая в группу Toshiba Corporation, является одним из крупнейших мировых производителей дискретных полупроводниковых приборов и микросхем. В июле 2011 г. в группе была проведена внутрифирменная реорганизация с образованием компании The Semiconductor & Storage Company, в состав которой вошла TSC и подразделение приборов для хранения информации. Компания располагает центрами разработки полупроводниковых систем (Semiconductor System Engineering Center) и микроэлектроники. Производственные мощности компании расположены не только в Японии, но и в Малайзии, Таиланде, Китае и на Филиппинах. Компания разрабатывает и выпускает широкий спектр микросхем различного назначения и дискретных полупроводниковых приборов, в том числе силовых транзисторов и микросхем для управления двигателями и источников питания.

В каталоги компании 2013 г. включены силовые полевые транзисторы средней и большой мощности, IGBT, комбинированные сборки транзисторов и диодов различного типа, а также MOSFET для автомобильных приложений. В категорию низковольтных (30–250 В) полевых транзисторов включены приборы на основе технологии U-MOS, а в категорию высоковольтных (600 В) — на основе технологии DTMOS [1].

Полевые транзисторы U-MOS выполнены на основе технологии с вертикальным затвором (Trench MOS). Компания разработала уже несколько поколений транзисторов U-MOS, параметры которых постоянно улучшались. На рис. 1 показаны диаграммы, отражающие снижение удельного сопротивления открытого канала $R_{on\,A}$ для различных поколений U-MOS транзисторов с P-каналом (розовая линия) и N-каналом (синяя линия). Полевые транзисторы U-MOS VIII-H относятся к восьмому поколению низковольтных Trench MOS-транзисторов и характеризуются одними из лучших в отрасли параметрами энергоэффективности. Структура кристалла транзистора U-MOS VIII-H приведена на рис. 2, ее основной особенностью является вертикальное расположение канала. К известным преимуществам транзисторов Trench MOS относятся уменьшенное значение $R_{DS\,on}$, большая плотность тока на единицу площади кристалла и более высокая устойчивость к лавинному пробою, чем у приборов, выполненных по планарной технологии.

Приборы U-MOS VIII-H обеспечивают значительно лучший компромисс между сопротивлением $R_{DS\,on}$ и входной емкостью C_{iss} в сравнении с Trench MOSFET 4-го поколения U-MOS IV, обладают по-

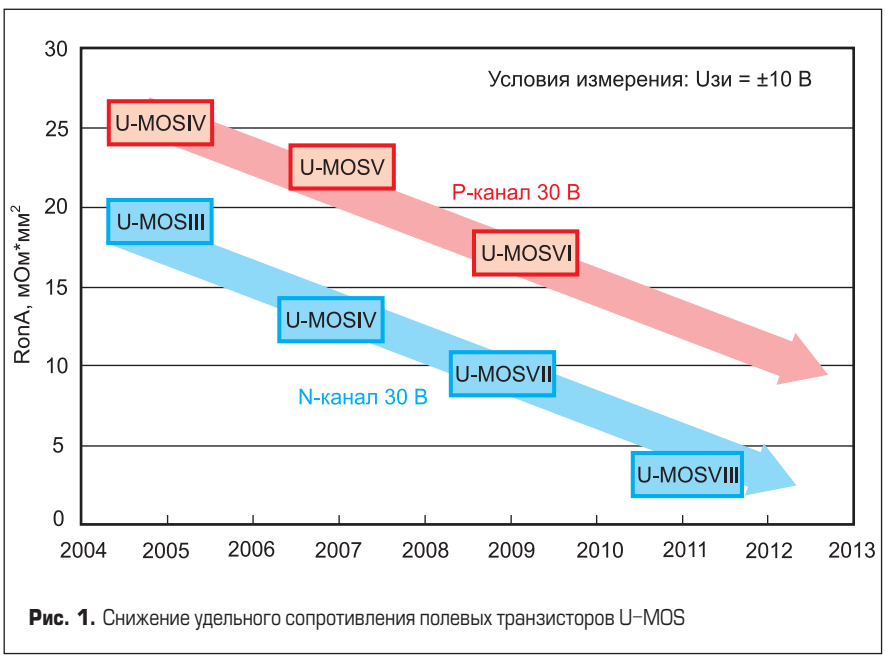

Рис. 1. Снижение удельного сопротивления полевых транзисторов U-MOS

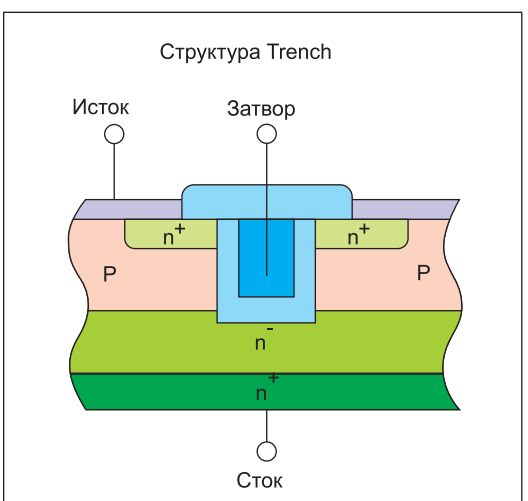

Рис. 2. Структура Trench MOS

вышенной устойчивостью к лавинному пробою и меньшим уровнем излучений. Сопротивление потерь на единицу площади кристалла $R_{on\,A}$ в сравнении с типичными N-канальными МОП-транзисторами примерно вдвое меньше. Для определения эффективности преобразования энергии в источниках питания на полевых транзисторах часто используется показатель $R_{on}{\times}C_{iss}$, для U-MOS VIII-H он примерно на 60% меньше, чем у приборов U-MOS IV.

Для сравнения специалисты компании провели измерения эффективности AC/DC-преобразователя с выходным напряжением 19,5 В при $U_{сети}$ = 100 В/60 Гц, выполненного на полевых транзисторах различных производителей. Зависимости эффективности преобразования от величины выходного тока испытываемого преобразователя приведены на рис. 3. В тестировании были использованы транзисторы TK65E10N1 (U-MOS VIII-H, 100 В/4 мОм) и IPP045N10N3 (Infineon, 100 В/3,9 мОм), а также группа приборов IRFB4410ZGPbF (International Rectifier), FDP047N10 (Fairchild), PSMN5R6-100PS (NXP). Как видно из диаграмм, эффективность преобразователя на транзисторах Toshiba и Infineon самая высокая в группе испытуемых приборов, а при малых нагрузках TK65E10N1 лучше, но уступает IRFB4410ZGPbF. Основные области применения транзисторов U-MOS VIII-H — AC/DC- и DC/DC-преобразователи для широкого спектра промышленных и потребительских приложений, средств связи и оборудования для информационных технологий. Специально для автомобильных приложений компания выпускает ряд приборов с максимальной температурой канала до +175 °C в соответствии с требованиями стандарта AES-Q101 и с защитными стабилитронами между затвором и истоком. Транзисторы выпускаются в корпусах DPAK (TO-252), TO-220SM/SIS (TO-263/SC-67), TO-3P (SC-65), TSON Advance (MO-240), PS-8.

Высоковольтные полевые транзисторы DTMOS выполнены на основе технологии Super-Junction, компании разработала уже четыре поколения приборов с данной технологией и постоянно улучшающимися параметрами. На рис. 4 приведены диаграммы, показывающие снижение удельного сопротивления открытого канала транзисторов $R_{on\,A}$ для различных поколений МОП-транзисторов с *n*-каналом серий π-MOS, DTMOS. Приборы DTMOS IV относятся к четвертому поколению высоковольтных полевых транзисторов со структурой Super-Junction, приведенной на рис. 5. Данная структура увеличивает напряжения пробоя за счет применения вертикально ориентированного пакета из слоев *n*- и *p*-типов для формирования обедненного слоя, что обеспечивает равномерное распределение электрического поля вдоль *p*-*n*-переходов. Структура Super-Junction обычно обеспечивает и более низкие значения потерь проводимости в сравнении с другими структурами.

При производстве приборов DTMOS IV используется однофазная эпитаксиальная технология (Single-epi Process) для формирования в пакетах слоев *p*-типа. Наиболее часто используемая многофазная эпитаксиальная технология (Multi-epi Process), в сравнении с однофазной, чувствительна к изменениям концентрации легирующих примесей на стыках *p*-*n*-переходов за счет термодиффузии. Кроме того, при однофазной эпитаксии формируется дополнительный пакет слоев *n*- и *p*-типов (рис. 6), что позволяет уменьшить размеры кристалла или увеличить производительность прибора. Однофазная эпитаксиальная технология позволяет также сократить производственный цикл при изготовлении кристаллов транзисторов, так как эпитаксиальный рост слоев *p*-типа в пакетах производится только один раз [2].

Потери проводимости, определяемые в основном $R_{DS\,on}$, у приборов DTMOS IV

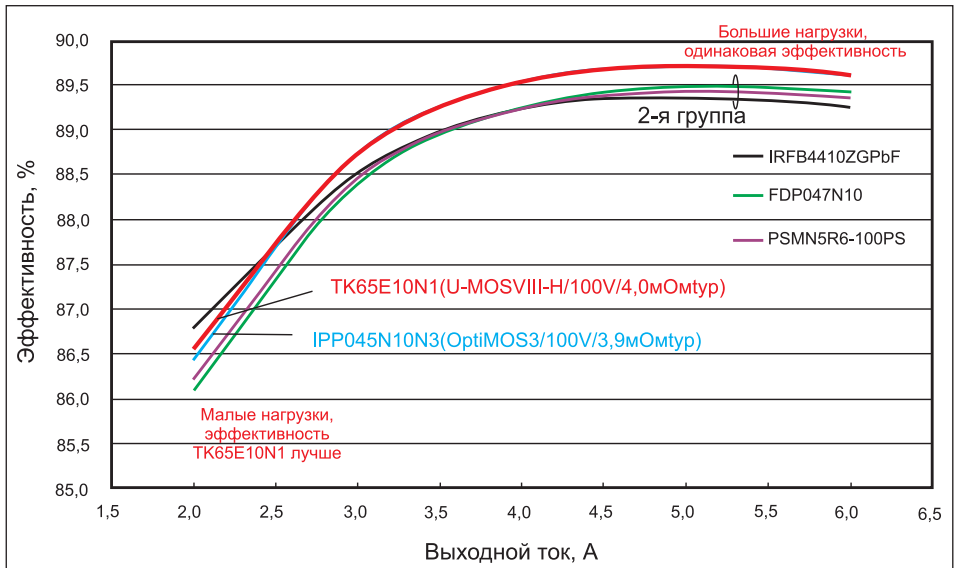

Рис. 3. Эффективность преобразователя напряжения

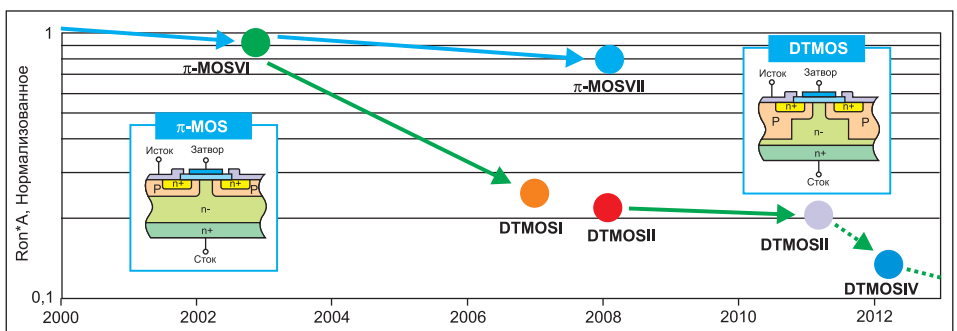

Рис. 4. Снижение удельного сопротивления транзисторов DTMOS

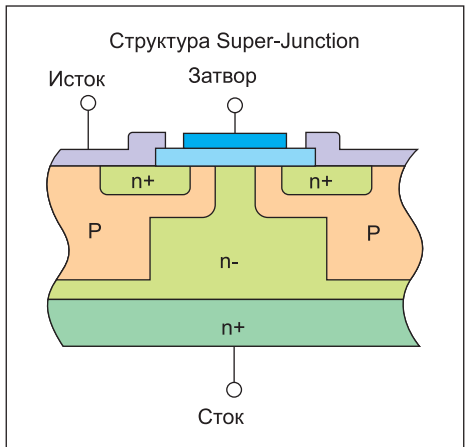

Рис. 5. Структура Super-Junction

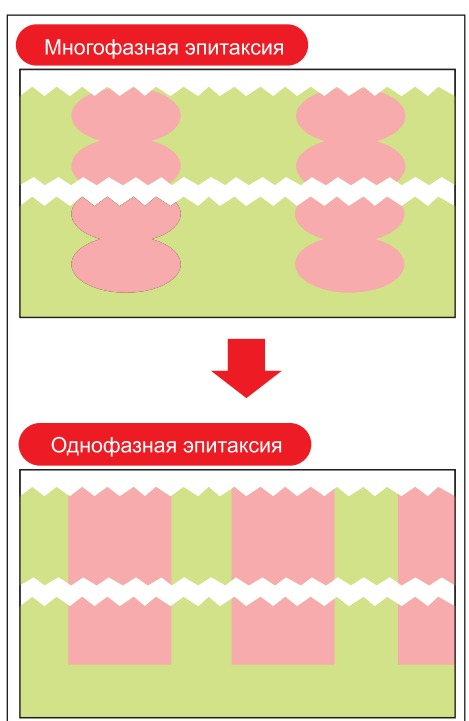

Рис. 6. Технологии эпитаксии

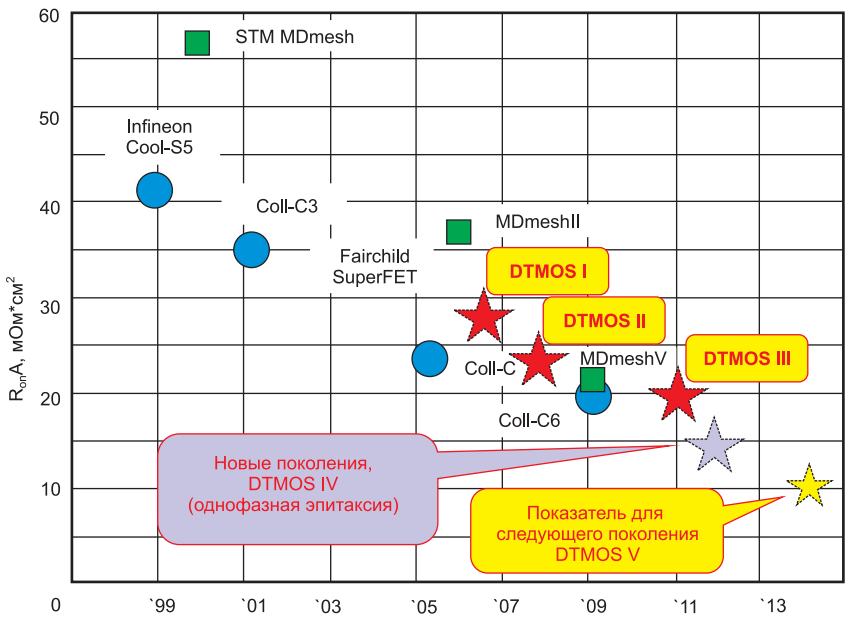

Рис. 7. Сравнение приборов различных производителей

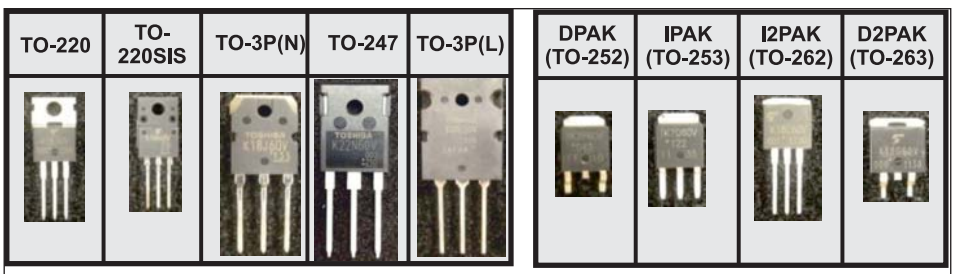

Рис. 8. Корпуса приборов

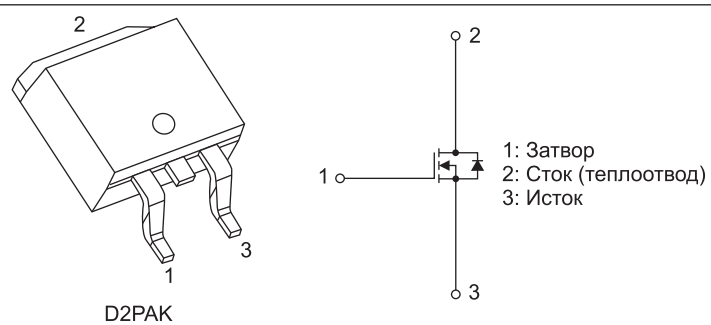

Рис. 9. Корпус D2PAK

снижены примерно на 30% по сравнению с предыдущим поколением DTMOS III. Кроме того, приборы нового поколения характеризуются меньшим сопротивлением потерь на единицу площади, например, при T = +125 °C их сопротивление $R_{on\,A}$ на 10% меньше, чем у транзисторов DTMOS III, а потери переключения E_{oss} — на 12%. Компания последовательно, в течение ряда лет, снижает удельное сопротивление $R_{on\,A}$ выпускаемых высоковольтных полевых транзисторов. На рис. 7 показаны диаграммы, иллюстрирующие этот процесс в сравнении с приборами компаний Infineon (Cool-MOS), Fairchild (SuperFET), STMicroelectronics (MDmesh).

Классификационные параметры полевых транзисторов DTMOS IV из каталога TSC 2013 г. приведены в таблице 1. В таблицу включены перспективные приборы DTMOS IV на напряжение $U_{си}$ = 600/650 В и приборы DTMOS IV с быстрыми диодами ($U_{си}$ = 600/650 В) [3]. В таблицу 1 вошли только приборы со статусом MP («массовая продукция»), транзисторы со статусом ES («экспериментальная серия») и разрабатываемые типы приборов в таблицу не включены. Внешние виды транзисторов в различных корпусах показаны на рис. 8а, б. Классификационные параметры полевых транзисторов U-MOS VIII-H со статусом MP приведены в таблице 2 (прочерки в графах таблицы означают отсутствие опубликованных спецификаций на соответствующие приборы на момент написания статьи). Рассмотрим особенности некоторых приборов, приведенных в таблицах 1 и 2, более подробно.

Приборы DTMOS IV

TK20G60W (Datasheet 2013 г.) предназначен для применения в импульсных преобразователях напряжения и выполнен в корпусе D2PAK с неизолированным выводом стока (рис. 9). Основные особенности и параметры транзистора (за исключением приведенных в таблице 1):

- Низкое сопротивление открытого канала: типовое значение $R_{DS\,on}$ = 0,13 Ом, однако его величина существенно зависит от температуры кристалла и тока стока. На рис. 10 приведена

Таблица 1. Классификационные параметры полевых транзисторов DTMOS IV

$U_{си}$, В	I_c, А	$R_{DS\,on\,макс}$, Ом	$Q_з$, нК	t_{rr}, нс	C_{iss}, пФ	тип (корпус), начало массового производства
600	5,4	0,9	10,5		380	TK5P60W (TO-252), TK5Q60W (TO-253), TK5A60W (TO220SIS)/февр. 2013
	6,2	0,75–0,82	12		390	TK6P60W (TO-252),TK6Q60W (TO-253), TK6A60W (TO220SIS)/февр. 2013
	7	0,6	13		490	TK7P60W (TO-252),TK7Q60W (TO-253), TK7A60W (TO220SIS)/февр. 2013
	8	0,5	16		530	TK8P60W (TO-252), TK8Q60W (TO-253), TK8A60W (TO220SIS)/февр. 2013
	9,8	0,38–0,43	20		700	TK10P60W (TO-252), TK10Q60W (TO-253). TK10E60W (TO-220), TK10A60W (TO220SIS)/февр. 2013
	11,5	0,3–0,34	25		890	TK12P60W (TO-252), TK12Q60W (TO-253), TK12E60W (TO-220), TK12A60W (TO220SIS), TK12J60W (TO-3 (N)/февр. 2013
	15	0,19	38		1350	TK16G60W (TO-263), TK16E60W (TO-220), TK16A60W (TO220SIS), TK16J60W (TO-3P(N), TK16N60W (TO-247)янв./февр. 2013
	29	0,16	50		1700	TK20G60W (TO-263), TK20E60W (TO-220), TK20A60W (TO220SIS), TK20J60W (TO-3P(N), TK20N60W (TO-247)/февр. 2013
	30,9	0,088	86		3000	TK31E60W (TO-220), TK31A60W (TO220SIS), TK31J60W (TO-3P(N), TK31N60W (TO-247)/2012, янв./февр. 2013
	38,8	0,065	110		4100	TK39A60W (TO-220SIS), TK39J60W (TO-3P(N), TK39N60W (TO-247)/2012, янв./февр. 2013
	61,8	0,038	180		6500	TK62J60W (TO-3P(N), TK62 N60W (TO-247)/явн./февр. 2013
	100	0,018	360		15000	TK100L60W (TO-3P(L)/февр. 2013
650	13,7	0,25	38		1350	TK14A65W (TO-220SIS)/март 2013
600 с быстрым диодом	7	0,6	13	50	490	TK7P60W5 (TO-252), TK7A60W5 (TO220SIS)/II кв. 2013
	8	0,5	16	60	530	TK8P60W5 (TO-252), TK8A60W5 (TO220SIS)/II кв. 2013
	15,8	0,19	43	100	1350	TK16G60W5 (TO-263), TK16E60W5 (TO-220), TK16J60W5 (TO-3P(N), TK16N60W5 (TO-247)/II кв. 2013
	15,8	0,19	43	100	1350	TK16A60W5 (TO220SIS)/2012
	30,8	0,088	106	135	3000	TK31A60W5 (TO-3P(N)/2012, TK31N60W5 (TO-247)/II кв. 2013
	38,8	0,065	135	150	4100	TK39J60W5 (TO-3P(N)/2012, TK39N60W5 (TO-247)/II2 кв. 2013
650 с быстрым диодом	13,7	0,25	40		1350	TK14A65W5 (TO220SIS)/II кв. 2013

зависимость $R_{DS\,on}$ от температуры окружающей среды при различных токах стока.

- Пониженное пороговое напряжение затвора V_{th} — 2,7–3,7 В. Входная характеристика прибора при $U_{си}$ = 10 В приведена на рис. 11.
- Мощность рассеяния $P_{расс}$ при $T_{корп}$ = +25 °С — 165 Вт, максимальный импульсный ток стока 80 А.
- Максимальная температура кристалла — 150 °С.
- Тепловое сопротивление канал-корпус $R_{th\,(ch\text{-}c)}$ — 0,757 °С/Вт.
- Сопротивление затвора Rз (при отключенном стоке на частоте 1 МГц) — 1,5 Ом.
- Динамические характеристики (схема измерения приведена на рис. 12):
  - длительность фронта t_r — 25 нс;
  - длительность спада t_f — 6 нс;
  - время включения t_{on} — 50 нс;
  - время выключения t_{off} — 100 нс;
  - скорость нарастания выходного напряжения dV/dt — не менее 50 В/нс.
- Параметры внутреннего (обратного) диода:
  - прямое напряжение $U_д$ ($V_{DS\,f}$) при I_c = 20 А — –1,7 В;
  - время восстановления обратного сопротивления t_{rr} — 290 нс (при I_c = 10 А, $-dI_{си}/dt$ =50 А/мкс);
  - пиковый прямой ток $I_{д\,пик}$ (пиковый обратный ток стока I_{drp}) — 23 А.

Таблица 2. Классификационные параметры полевых транзисторов U-MOS VIII-H со статусом MP

Тип прибора	$U_{си}$, В	I_c, А	$P_{расс}$, Вт	$R_{DS\,on}$, МОм	$Q_з$, нК	C_{iss}, пФ	Корпус	MP
TK30E06N1	60	30	53	12,2	16	1050	TO-220	2012
TK30A06N1	60	30	25	12,2	16	1050	TO-220SIS	
TK40E06N1	60	40	67	8,4	23	1700	TO-220	
TK40A06N1	60	40	30	8,4	23	1700	TO-220SIS	
TK58E06N1	60	58	110	4,4	46	3400	TO-220	
TK58A06N1	60	58	35	4,4	46	3400	TO-220SIS	
TK100E06N1	60	100	255	1,9	140	10500	TO-220	
TK100A06N1	60	100	45	2,2	140	10500	TO-220SIS	
TK35E08N1	80	35	72	10	25	1700	TO-220	
TK35A08N1	80	35	30	10	25	1700	TO-220SIS	
TK46E08N1	80	46	103	6,9	37	2500	TO-220	
TK46A08N1	80	46	35	6,9	37	2500	TO-220SIS	
TK72E08N1	80	72	192	3,6	81	5500	TO-220	
TK72A08N1	80	72	45	3,7	81	5500	TO-220SIS	
TK100E08N1	80	100	255	2,6	139	9000	TO-220	
TK100A08N1	80	100	45	2,6	130	9000	TO-220SIS	
TK22E10N1	100	22	72	11,5	28	1800	TO-220	
TK22A10N1	100	22	30	11,5	28	1800	TO-220SIS	
TK34E10N1	100	34	103	7,9	38	2600	TO-220	
TK34A10N1	100	34	35	7,9	38	2600	TO-220SIS	
TK40E10N1	100	40	126	6,8	23	3000	TO-220	
TK40A10N1	100	40	35	6,8	23	3000	TO-220SIS	
TK65E10N1	100	65	192	4	81	5400	TO-220	
TK6TA10N1	100	65	45	4	28	5400	TO-220SIS	
TK100E10N1	100	100	255	2,8	140	8800	TO-220	
TK100A10N1	100	100	45	3,1	140	8800	TO-220SIS	
TK32E12N1	120	32	98	11	34	2000	TO-220	март 2013
TK32A12N1	120	32	30	11	34	2000	TO-220SIS	
TK42E12N1	120	42	140	7,8	52	3100	TO-220	
TK42A12N1	120	42	35	7,8	52	3100	TO-220SIS	
TK56E12N1	120	56	168	5,8	69	4200	TO-220	2012
TK56A12N1	120	56	45	6,2	69	4200	TO-220SIS	
TK72E12N1	120	72	192	3,6	130	8100	TO-220	
TK72A12N1	120	72	49	3,7	130	8100	TO-220SIS	
TPN11006NL	60	-	-	9,6	-	1500	TSON Advance	февраль 2013
TPN22006NH	60	9	18	18	12	690		2012
TPN14006NH	60	14	30	11,4	15	910		2012
TPN7R506NH	60	26	42	6	22	1410		январь 2013
TPN30008NH	80	9,6	27	25	11	710		2012
TPN13008NH	80	18	42	10,8	18	1230		январь 2013
TPN3300ANH	100	9,4	27	28	11	680		2012
TPN1600ANH	100	17	42	13	19	1230		
TPH14006NH	60	14	32	11	16	1000	SOP Advance	
TPH7R506NH	60	22	45	6,1	31	1785		
TPH5R906NH	60	28	57	4,8	38	2340		
TPH4R606NH	60	32	63	3,8	58	3050		
TPH2R306NH	60	60	78	1,9	72	4700		январь 2013
TPH12008NH	80	24	48	10,1	22	1490		2012
TPH8R008NH	80	34	61	6,6	35	2300		
TPH4R008NH	80	60	78	3,3	59	4100		январь 2013
TPH1400ANH	100	14	48	11,3	22	1440		2012
TPH8R80ANH	100	32	61	7,4	33	2180		
TPH4R50ANH	100	60	78	3,7	58	4090		январь 2013
TK100G06N1	60	-	-	1,6	-	3500	TO-220SM	февраль 2013
TK100G08N1	80			2,3		2100		
TK65G10N1	100			3,8		950		
TK100G10N1	100			2,6		1500		
TK72G12N1	120			3,4		1200		
TPN11003NL	30			9		630	TSON Advance	апрель 2013
TPN8R903NL	30			7,4		770		
TPH11003NL	30			9		630	SOP Advance	
TPH8R903NL	30			7,4		770		
TPH6R003NL	30			5,4		1280		
TPHR9003NL	30			0,77		6440		март 2013

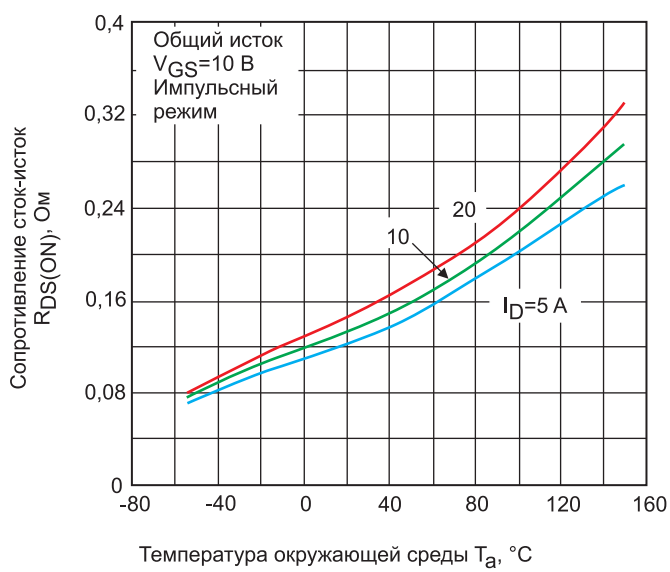

Рис. 10. Зависимости $R_{ds\,on}$ транзистора TK20G60W от температуры

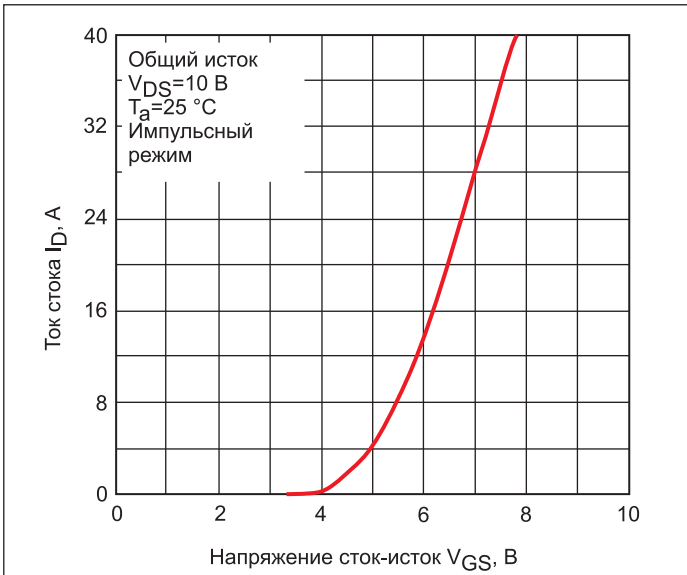

Рис. 11. Входная характеристика прибора TK20G60W

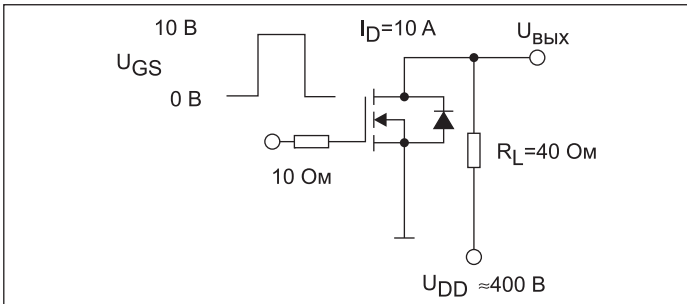

Рис. 12. Схема измерения параметров

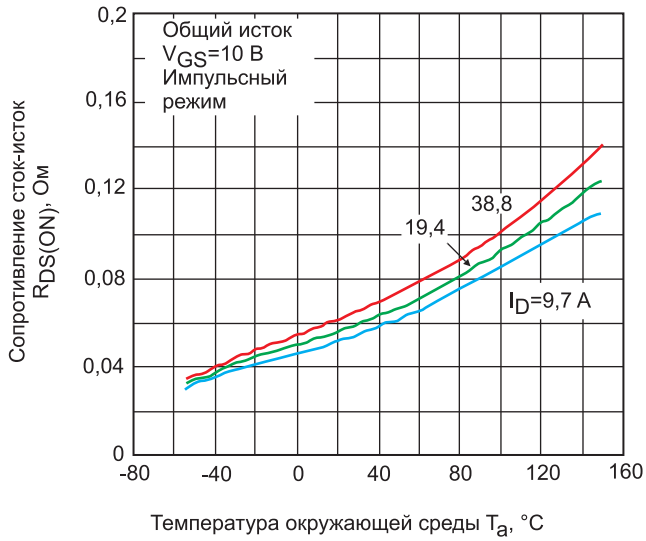

Рис. 13. Зависимости $R_{ds\,on}$ транзисторов TK39A60W, TK39J60W от температуры

TK39A60W/TK39J60W (2012 г.) — приборы в изолированном корпусе TO220SIS/в корпусе TO-3P (N) с неизолированным выводом стока. Основные параметры:

- Зависимости сопротивления открытого канала транзисторов от температуры окружающей среды при различных токах стока приведены на рис. 13.
- $P_{расс}$ — 50 Вт/270 Вт, $I_{с\ имп}$ — 155 А, $R_{th\ (ch\text{-}c)}$ — 2,5/0,463 °C/Вт, $R_з$ — 2 Ом.
- Динамические характеристики: t_r = 50 нс, t_f = 9 нс, t_{on} = 80 нс, t_{off} = 200 нс, dV/dt не менее 50 В/нс.
- Параметры обратного диода: $U_д$ = –1,7 В, t_{rr} = 450 нс, $I_{д\ пик}$ = 21 А.

Как видно из приведенных данных, при одинаковых параметрах приборы в изолированном корпусе обеспечивают значительно меньшую мощность рассеяния.

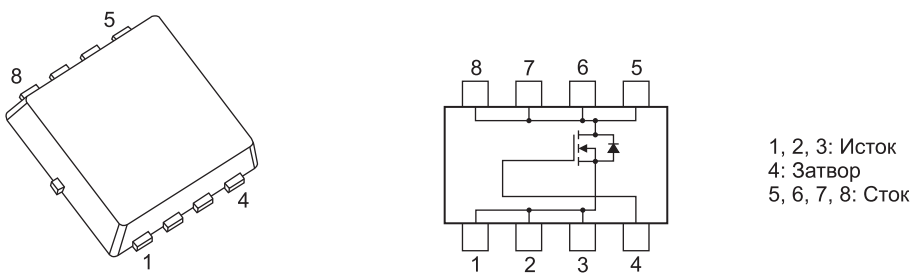

Рис. 14. Корпус TSON Advance

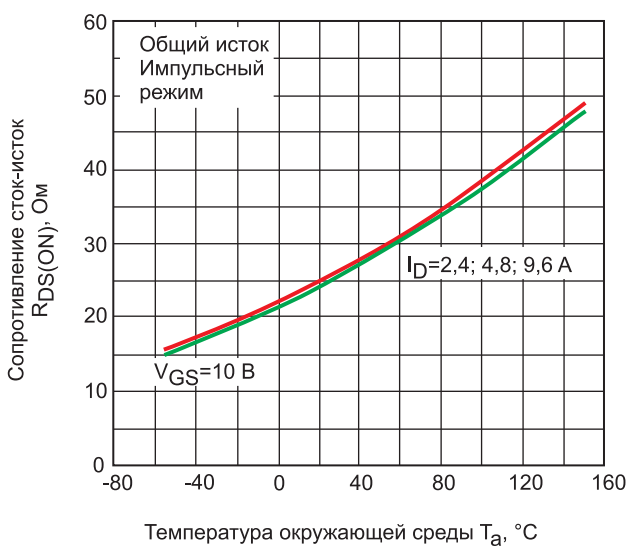

Рис. 15. Зависимости $R_{ds\,on}$ транзистора TPN30008NH от температуры

TK62N60W (TO-247)/TK62J60W (TO-3P (N) (Datasheet 2013 г.) — приборы в корпусах с неизолированными выводами стока. Основные параметры:

- $P_{расс}$ — 400 Вт, $I_{с\ имп}$ — 247 А, $R_{th\ (ch\text{-}c)}$ — 0,313 °C/Вт, $R_з$ — 2 Ом.
- Динамические характеристики: t_r = 58 нс, t_f = 15 нс, t_{on} = 115 нс, t_{off} = 310 нс, dV/dt не менее 50 В/нс.
- Параметры обратного диода: $U_д$ = –1,7 В, t_{rr} = 500 нс, $I_{д\ пик}$ – 25 А.

TK100L60W (2012 г.) — прибор в корпусе TO-3P (L) с неизолированным выводом стока. Его основные параметры:

- $P_{расс}$ — 797 Вт, $I_{с\ имп}$ – 400 А, $R_{th\ (ch\text{-}c)}$ — 0,157 °C/Вт, $R_з$ — 1,8 Ом.
- Динамические характеристики: t_r = 130 нс, t_f = 125 нс, t_{on} = 230 нс, t_{off} = 690 нс, dV/dt не менее 50 В/нс.
- Параметры обратного диода: $U_д$ = 1,7 В, t_{rr} = 580 нс, $I_{д\ пик}$ – 30 А.

Приборы U–MOS VIII–H

TPN30008NH/TPN13008NH (2012 г.) — приборы предназначены для применения в DC/DC-преобразователях, импульсных источниках питания и драйверах двигателей. Они выполнены в корпусе TSON Advance (рис. 14). Основные особенности и параметры транзистора (за исключением приведенных в таблице 2):

- малые размеры и толщина корпуса (3,3×3,3×0,85 мм);
- высокое быстродействие (t_{on}/t_{off} — 11/14 нс);
- малый заряд затвора — общий заряд $Q_з$ = 11/18 нК, заряд переключения Q_{sw} = 4,1/6,7 нК при $U_с$ = 40 В, $I_с$ = 9,6/18 А, $U_{зи}$ = 10 В;
- малая величина сопротивления открытого канала и его относительная независимость от тока стока, зависимости $R_{DS\ on}$ от температуры окружающей среды транзистора TPN30008NH при различных токах стока приведены на рис. 15;
- малый ток утечки I_{dss} — не более 10 мкА при $U_{си}$ = 10 В;
- импульсный ток стока 47/98 А ($t_{имп}$ = 1 мс), тепловое сопротивление $R_{th\ (ch\text{-}c)}$ — 4,62/2,97 °C/Вт, сопротивление затвора $R_з$ = 0,6/0,9 Ом;
- динамические характеристики: t_r = 3,8/4,5 нс, t_f = 3,6/5 нс, t_{on} = 11/14 нс, t_{off} = 14/18 нс;
- параметры обратного диода: $U_д$ = –1,2 В, $I_{д\ пик}$ = 47/98 А.

TPH4R008NH/TPH4R50ANH (2012 г.) — приборы в корпусах SOP Advance (рис. 16), предназначенные для тех же областей применения, что и рассмотренные выше транзисторы. Основные параметры приборов:

- габариты корпуса 5×5×0,95 мм;
- параметры затвора: $Q_з$ = 59/58 нК, Q_{sw} = 18/22 нК, $R_з$ = 1,2/1 Ом;
- зависимости $R_{DS\ on}$ транзистора TPH4R008NH от температуры окружающий среды при различных токах стока приведены на рис. 17 (аналогичные зависимости

для TPH4R50ANH близки к показанным на рис. 18);
- $I_{с\ имп}$ — 200 А, $R_{th\ (ch-c)}$ — 1,6 °С/Вт;
- динамические характеристики: t_r = 8,6/9,6 нс, t_f = 12/13 нс, t_{on} = 25 нс, t_{off} = 52 нс;
- параметры обратного диода: $U_д$ = –1,2 В, $I_{д\ пик}$ = 200 А.

TK100A06N1/TK100E10N1 (2012 г.) — приборы в корпусах TO220SIS/TO-220, предназначенные для применения в импульсных источниках питания. Основные параметры приборов:
- $I_{с\ имп}$ — 584/434 А ($t_и$ =1 мс), $R_{th\ (ch-c)}$ — 2,77/0,49 °С/Вт;
- параметры затвора: $Q_з$ = 140 нК, Q_{sw} = 56 нК, $R_з$ = 3/2,6 Ом;
- динамические характеристики: t_r = 67/32 нс, t_f = 64/45 нс, t_{on} = 110/59 нс, t_{off} = 180/140 нс;
- параметры обратного диода: $U_д$ = –1,2 В, $I_{д\ пик}$ = 584/434 А.

Разработка ИП и выбор силовых элементов

К современным тенденциям при конструировании импульсных источников питания относятся (ИП):
- Снижение потерь и повышение эффективности, которое достигается использованием синхронных выпрямителей, уменьшением $R_{DS\ on}$ и увеличением быстродействия транзисторов, увеличением пикового тока обратных диодов и уменьшением прямого падения напряжения.
- Увеличение частот коммутации — переход от ШИМ-регуляторов к резонансным и преобразователям с чередующимся режимом (Interleaved Switching). Режим с чередованием фаз вместо традиционного параллельного имеет ряд преимуществ, в том числе снижение пульсаций тока, позволяющее уменьшить габариты фильтра.
- Уменьшение габаритов и толщины — распределение ИП в конструкциях приборов (модульный дизайн); использование усовершенствованных корпусов (WCSP, BGA).
- Снижение уровня шумов и гармоник — использование активных фильтров, микросхем контроллеров коэффициента мощности.
- Улучшение нагрузочных характеристик — параллельное включение ИП, цифровое управление, улучшение высокочастотных параметров.
- Интеллектуальные системы — схемы «горячего» отключения (Hot Swap), МОП-транзисторы с логическими входами, ORing MOSFET (приборы для работы в силовых схемах «ИЛИ»).

Одной из актуальных задач, возникающих при разработке различных ИП, является оптимальный выбор силовых элементов. Представляют интерес рекомендации инженеров Toshiba по методам определения «рейтинговых» параметров полевых МОП-транзисторов. К рейтинговым параметрам, превышение которых недопустимо ни при каких условиях, относятся: максимальное

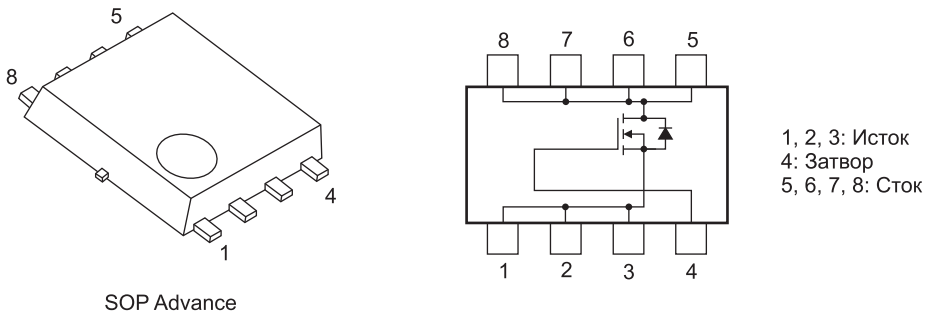

Рис. 16. Корпус SOP Advance

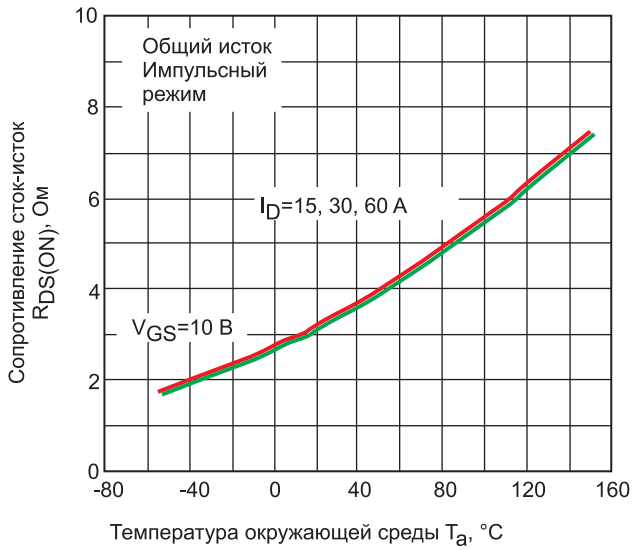

Рис. 17. Зависимости $R_{ds\ on}$ транзистора TPH4R008NH

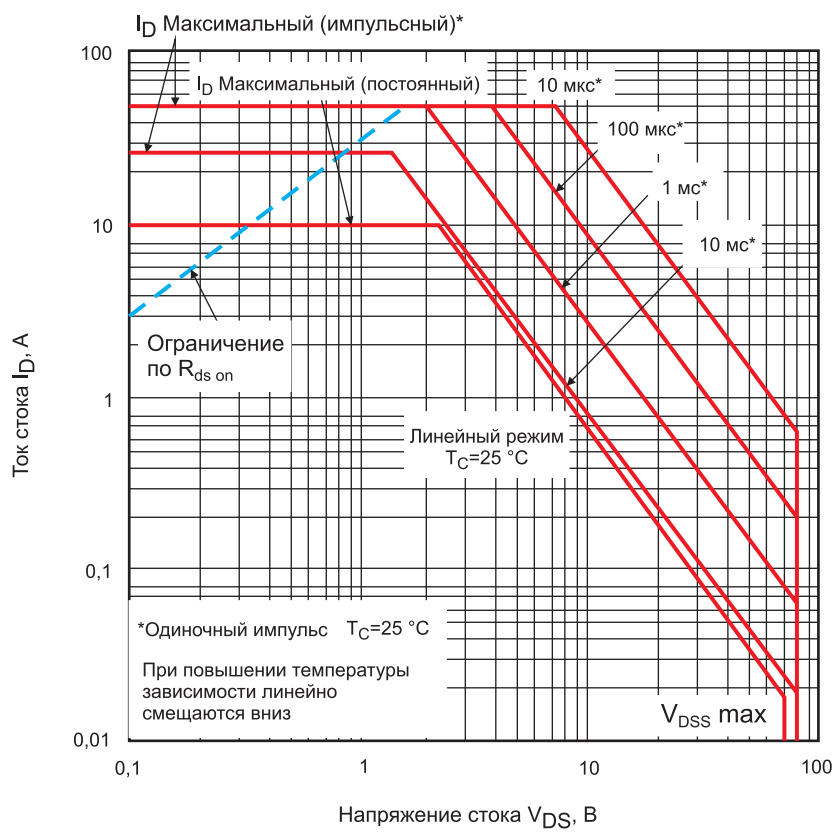

Рис. 18. Области безопасной работы

напряжение «сток–исток», максимальное напряжение «затвор–исток», токовый рейтинг, максимальная температура канала, рейтинговая мощность рассеяния, область безопасной работы, ограничение допустимых параметров (Derating).

Различают четыре метода определения максимального напряжения «сток–исток» транзисторов: V_{dss} ($U_{си}$ в таблицах 1, 2) — измеренное напряженея пробоя при соединении затвора и истока; V_{dsx} — с отрицательным напряжением на затворе (для N-канальных транзисторов при $U_{зи}$ = –3 В); V_{dsr} — при соединении затвора и истока через резистор; V_{dso} — с отключенным затвором. Для современных типов транзисторов (кроме Trench MOS) напряжения V_{dss}, V_{dsx}, V_{dsr} приблизительно одинаковы, для транзисторов с вертикальным каналом («тренч») — $V_{dss} \geq V_{dsx}$.

Максимальное напряжение «затвор–исток» V_{gss} определяется электрической прочностью оксидной пленки, отделяющей затвор от канала транзистора, и измеряется при соединении стока и истока.

К токовым параметрам транзисторов относятся: I_d (в таблицах 1, 2 — I_c) — максимальный ток стока при температуре корпуса транзистора +25 °С (транзистор должен быть установлен на теплоотвод, при этом температура канала транзистора не должна превышать +150 °С); I_{dp} (в тексте $I_{с\ имп}$) — максимальный импульсный ток стока при длительности импульса 1 мс ($T_{корп}$ не более +150 °С); I_{drp} (в тексте $I_{д\ пик}$) — максимальный импульсный прямой ток внутреннего диода (обратный импульсный ток стока).

Мощность рассеяния на стоке транзистора определяется соотношением $P_d = I_d \times U_{ds}$, допустимая мощность рассеяния зависит от эффективности отвода тепла от транзистора, температуры окружающей среды, теплового сопротивления и максимально допустимой температуры канала. Максимальная мощность рассеяния определяется также выражением $P_{d\ макс} = (T_{ch\ макс} – T_o)/R_{th}$, где $T_{ch\ макс}$ — максимально допустимая температура канала, T_o — текущая температура корпуса (T_c) или окружающей среды (T_a), R_{th} — тепловое сопротивление «канал–корпус» ($R_{th\ ch\text{-}c}$) или «канал–окружающая среда» ($R_{th\ ch\text{-}a}$).

Область безопасной работы (SOA) определяется взаимозависимостью тока и напряжения стока транзисторов. На рис. 18 показаны области безопасной работы прибора TPN30008NH. SOA описывает прямосмещенные характеристики прибора; нарастающий наклон характеристики, обозначенный пунктиром, отражает постоянное сопротивление $R_{DS\ on}$; спадающий наклон характеристик — постоянную мощность. При низких напряжениях транзистор не может обеспечить номинальный ток из-за наличия сопротивления $R_{DS\ on}$. Горизонтальные части характеристик отражают постоянный и импульсный максимальные токи через транзистор. Участки характеристик с отрицательным наклоном отражают постоянную и импульсную мощность транзистора.

Рекомендованные ограничения параметров: максимальное напряжение и ток стока — не более 80% от максимальных значений (таблицы 1, 2); рассеиваемая мощность — не более 50%; рабочая температура канала — не более 70%. Подробные рекомендации по расчету схем на полевых транзисторах и их выбору приведены в информационных материалах компании [4].

Литература

1. www.semicon.toshiba.co.jp/eng/
2. www.semicon.toshiba.co.jp/eng/product/transistor/selection/mos/interview.html
3. http://tosharp.cn/ckfinder/userfiles/files/DATASHEET/toshiba/(for%20Customer)TOSHIBA_Power-Device%20News%20Jan.2013.pdf
4. www.semicon.toshiba.co.jp/eng/support/document/application_note/index.html