

Сергей Агеев (г. Москва)

## ДИОДЫ ШОТТКИ ОТ ST – САМЫЙ ШИРОКИЙ ВЫБОР



*Диоды Шоттки от STMicroelectronics – это, пожалуй, самый широкий выбор изделий данного класса среди ведущих производителей полупроводников. В ассортименте можно найти диоды практически для любой области применения. Диапазон токов – от 0,5 до 200 А. Ряд изделий (в статье ниже приведены примеры) являются уникальными для всего рынка полупроводников.*

Кремниевые силовые диоды Шоттки уже много лет как стали привычными компонентами. Широко известны их основные преимущества – сниженное (по сравнению с «обычными» кремниевыми диодами) прямое падение напряжения и отсутствие накопления заряда, задерживающего выключение диода (т.е. потенциально лучшие частотные свойства).

Однако ничто в технике не дается бесплатно. За улучшение одних свойств всегда приходится чем-то платить, не только деньгами, но и изменением других характеристик. Чем больше таких зависимостей, тем больше оказывается «степеней свободы» при оптимизации элемента под конкретное применение. Не являются исключением из этого правила и диоды Шоттки.

В конструкции «обычных» диодов этих «степеней свободы» в общем, всего три, и они мало влияют друг на друга – площадь р-п перехода, уровень легирования (удельное сопротивление) высокоомной области и время жизни неосновных носителей. Прямое падение напряжения в установившемся режиме при заданном токе зависит в основном от температуры и площади р-п перехода, и то очень слабо: от площади – по логарифмическому закону (минус ~20 мВ на удвоение площади/снижение тока вдвое), от температуры – в пределах +1...-2 мВ на градус. Удельное сопротивление материала высокоомной области у «обычных» диодов благодаря эффекту модуляции проводимости почти не влияет на прямое падение напряжения. Время жизни носителей определяет время обратного восстановления диода на основе р-п перехода (и косвенно – его ток утечки).

Для диодов Шоттки время жизни носителей не имеет прямого влия-

ния на характеристики диода в рабочих режимах, но зато добавляется две других «степеней свободы». Это выбор величины потенциального барьера (то есть, фактически, порогового напряжения – и тока утечки) и необходимость обеспечения защиты от перенапряжений (незащищенный переход Шоттки, в отличие от обычного р-п перехода, практически всегда выходит из строя при пробое обратным напряжением). Именно поэтому внутри подавляющего большинства диодов Шоттки есть еще и параллельно включенный р-п переходный «охранный» диод. Кроме того, у диодов Шоттки есть сильная связь между удельным сопротивлением высокоомной области и прямым падением напряжения на больших токах (из-за отсутствия механизма модуляции проводимости). Отсутствие же эффекта модуляции проводимости уменьшает устойчивость диодов к ударному току, что вынуждает увеличивать площадь перехода (снижать плотность тока). Из-за этого емкость диодов Шоттки, отнесенная к единице номинального тока, как правило, выше, чем у обычных диодов. Наглядный пример – **UF4001** имеют емкость около 15...20 пФ, **1N5819** – около 50...80 пФ (при обратном напряжении 4 В). По той же причине диоды Шоттки изготавливают с более «плотным» рядом по величине допустимого обратного напряжения – чтобы не вводить излишний запас, увеличивающий прямое сопротивление диодов.

Даже из этого упрощенного описания видно, что в конструкции диодов Шоттки намного больше вариантов для выбора компромиссов, чем в «обычных» диодах.

Именно поэтому разнообразие типов диодов Шоттки столь велико. И для осмысленного выбора лучших (для тре-

буемого применения) вариантов нужно учитывать большее число параметров, чем при выборе «обычных» диодов. Высоковольтным диодам Шоттки на основе карбида кремния была посвящена статья [1], однако в применениях с рабочими напряжениями ниже 100...200 В лучшие характеристики (благодаря меньшему прямому падению напряжения) в настоящее время обеспечивают кремниевые диоды Шоттки.

### Диоды Шоттки от STMicroelectronics

Одним из лидеров по выпуску высококачественных диодов Шоттки является компания ST Microelectronics (далее – ST), входящая в десятку лидеров в производстве компонентов для силовой электроники (См. табл. 1...5). Ряд продуктов ST просто уникален: к примеру, никто больше не в состоянии массово производить 30+30 А/170 В диоды Шоттки в корпусе TO-220.

Обозначение выпрямительных диодов Шоттки у ST состоит из следующих элементов:

- префикса STPS (ST Power Shottky);
- первого числа, указывающего номинальный ток в амперах;
- необязательного суффикса (например, H, L, M, S, SM, U), указывающего серию диодов: H – высоковольтные/высокотемпературные ( $T_j \text{ MAX} = 150...175^\circ\text{C}$ ), L – с низким VF, U – Ultra Low VF (для относительно высоковольтных диодов);
- второго числа – допустимого обратного напряжения в Вольтах;
- необязательного буквенного обозначения схемы соединений: с общим катодом – C, одиночных в многовыводном корпусе – S;
- буквенного обозначения типа корпуса: A – SMA, AF – SMA Flat, B – DPAK, D – DO-220, DJF – PQFN8, FP – TO-220 ISO, G – D2PAK, H – IPAK, R – I2PAK, S – SMC, T – TO-220, TV – ISOTOP (SOT-227), U – SMB, UF – SMB Flat, W – TO-247, Y – MAX-247, Z – SOD123.

Пример: **STPS160U** – диод Шоттки на 1 А, 60 В, в корпусе SMB.

Таблица 1. Диоды Шоттки на ток до 200 мА..1 А

Тип диода	Корпуса	$U_F @ I_F, B/A$	$U_F @ I_F, B/A$	$U_R, B$	$I_{AV}, A$	$I_{FSM}, A$	$I_R @ 85^\circ C, mA$	$T_{Jmax}, ^\circ C$	$C_D @ 4V, пФ$	BAX
BAT20J	SOD323	0,40@0,1	0,62@1	23	1	5	0,25@15V	150	25	R
BAT30 (1x, 2x)	SOT23, SOD323/523/923	0,43@0,03	0,58@0,2	30	0,3	1	0,04@20V	150	8	D±R
BAT60J	SOD323	0,42@0,1	0,58@1	10	0,5	5	0,08	150	40	R
STPS0520Z	SOD123	0,30@0,1	0,38@0,5	20	0,5	5,5	1,2@15V	125	65	R+
STPS0530Z	SOD123	0,37@0,1	0,43@0,5	30	0,5	5,5	0,4@20V	150	80	R
STPS0540Z	SOD123	0,38@0,1	0,47@0,5	40	0,5	5,5	0,8@30V	150	80	R
STPS0560Z	SOD123	0,43@0,1	0,55@0,5	60	0,5	5,5	0,3@50V	150	45	D-
TMBAT49	MELF	0,32@0,01	0,42@0,1	80	0,5	10*	0,6	125	40	D±R
TMBYV10-40	MELF	0,37@0,1	0,55@1	40	1	25	1	125	70	R+
TMBYV10-60	MELF	0,41@0,1	0,70@1	60	1	20	0,5	125	45	D
1N5817	DO-41	0,35@0,1	0,45@1	20	1	25	0,6	150	120	R
1N5818	DO-41	0,37@0,1	0,50@1	30	1	25	0,8	150	120	R
1N5819	DO-41	0,40@0,1	0,55@1	40	1	20	0,4	150	80	D
STPS120M/MF	DO-216/DO-222	0,41@0,1	0,49@1	20	1	45	0,15	150	150	D
STPS130A/U	SMA/SMB	0,44@0,1	0,54@1	30	1	45	0,4	150	100	D±R
STPS140A/U/Z	SMA/SMB/SOD-123	0,45@0,1	0,55@1	40	1	50	0,6	150	80	D±R
STPS160A/MF	SMA/DO-222/DO-41	0,49@0,1	0,67@1	60	1	75	0,15	150	100	D-
STPS1150A	SMA/DO-41	0,58@0,1	0,82@1	150	1	50	0,02	175	38	D-
STPS1L20M/MF	DO-216/DO-222	0,32@0,1	0,40@1	20	1	50	1	150	170	D±R
STPS1L30A/U/M/MF	SMA/SMB/DO-216/DO-222	0,31@0,1	0,39@1	30	1	75	2	150	200	R
STPS1L40A/U/M/MF	SMA/SMB/DO-216/DO-222	0,37@0,1	0,50@1	40	1	60	0,6	150	70	D
STPS1L60A/MF	SMA/DO-222/DO-41	0,42@0,1	0,57@1	60	1	40	0,8	150	56	D-
STPS1H100A/U/AF/MF	SMA/SMB/DO-221/DO-222	0,54@0,1	0,77@1	100	1	50	0,01	175	55	D-

Примечания к таблице см. в конце статьи.

Таблица 2. Диоды Шоттки на ток до 2...3 А (включая сдвоенные, для них - данные одного диода)

Тип диода	Корпуса	$U_F @ I_F, B/A$	$U_F @ I_F, B/A$	$U_R, B$	$I_{AV}, A$	$I_{FSM}, A$	$I_R @ 85^\circ C, mA$	$T_{Jmax}, ^\circ C$	$C_D @ 4V, пФ$	BAX
STPS2L25U/UF	SMB/SMBF	0,36@0,2	0,45@2	25	2	75	1,5	150	210	D±R
STPS2L30A/AF/UF	SMA/SMAF/SMBF	0,35@0,2	0,45@2	30	2	75	2,0	150	210	D±R
STPS2L40AF/U/UF	SMAF/SMB/SMBF	0,34@0,2	0,43@2	40	2	75	4,0	150	280	D
STPS2L60/A/UF	DO-41/SMA/SMBF	0,40@0,2	0,60@2	60	2	75	0,8	150	120	D-
STPS2H100A/U/UF/RL	SMA/SMB/SMBF/DO-41	0,56@0,2	0,79@2	100	2	75	0,05	175	50	D-
STPS2150A/AF	SMA/SMAF	0,55@0,2	0,82@2	150	2	75	0,05	175	70	D-
1N5821	DO-201	0,37@0,2	0,47@3	30	3	80	3,0	150	300	D±R
1N5822	DO-201	0,38@0,2	0,48@3	40	3	80	1,5	150	200	D
STPS3L25S	SMC	0,37@0,25	0,49@3	25	3	75	1,5	150	200	D-
STPS3L40S/UF	SMC/SMBF	0,37@0,3	0,5@3	40	3	75	1,5	150	200	D
STPS340B/S/U/UF	DPAK/SMC/SMB/SMBF	0,45@0,2	0,63@3	40	3	75	0,25	150	150	D-
STPS3L60/Q/U/UF	DO-201/DO-215/SMB/SMBF	0,40@0,25	0,62@3	60	3	100	1,5	150	160	D-
STPS3L60S	SMC	0,35@0,25	0,70@3	60	3	75	0,8	150	100	D-
STPS3H100U/UF	SMB/SMBF	0,57@0,25	0,84@3	100	3	75	0,04	175	50	D-
STPS3150/U/UF	DO-201/SMB/SMBF	0,60@0,3	0,82@3	150	3	100	0,05	175	100	D
STPS640CT/B/FPAB*	TO-220/DPAK/ISO-220	0,35@0,3	0,63@3	40	3	75	0,3	150	150	R
STPS660CB*	DPAK	0,38@0,3	0,65@3	60	3	50	0,3	125	350*	D

Примечания к таблице см. в конце статьи.

При выборе диодов Шоттки нужно четко различать две группы областей применения – относительно низкочастотную коммутацию (OR-ing

источников питания, суммирование напряжений, выпрямление 50/60 Гц с минимальными потерями), где нужны минимальные потери от прямого падения

напряжения и/или токов утечки, и применение в высокочастотных импульсных преобразователях, где важна минимальная величина общих потерь, то

Таблица 3. Диоды Шоттки на ток до 2...3 А (включая сдвоенные, для них – данные одного диода)

Тип диода	Корпуса	$U_F@I_F$ , В/А	$U_F@I_F$ , В/А	$U_R$ , В	$I_{AV}$ , А	$I_{FSM}$ , А	$I_R@85^\circ\text{C}$ , мА	$T_{J\text{max}}$ , °С	$C_D@4V$ , пФ	ВАХ
STPS5L25	DPAK	0,35@0,5	0,47@5	25	5,0	75	16	150	600	D÷R
STPS5L40	DO201	0,37@0,5	0,50@5	40	5,0	150	5	150	300	D
STPS5L60/S	DO201/SMC	0,37@0,5	0,52@5	60	5,0	150	4	150	400	D-
STPS745D/FP/G	TO220/ISO220/ D2PAK	0,47@0,5	0,70@7	45	7,5	150	0,8	175	320	D-
STPS8L30B/H	DPAK/IPAK	0,33@1	0,49@8	30	8,0	75	10	150	600	R
STPS8H100G/FP/D	TO220/ISO220/ D2PAK	0,51@1	0,71@8	100	8,0	250	0,2	175	500	D-
STPS10L40CT/CG/CFP*	TO220/ D2PAK/ ISO220	0,41@0,5	0,53@5	40	5,0	150	4	150	340	D
STPS10L45CT/CG/CFP/ CR*	TO220/ D2PAK/ ISO220/I2PAK	0,41@0,5	0,53@5	45	5,0	150	5	150	340	D÷R
STPS10L60CFP/CG*	ISO220/D2PAK	0,42@0,5	0,55@5	60	5,0	180	7	150	400	D
STPS10H100CT/CFP/CG/ CR*	TO220/ISO220/ D2PAK/I2PAK	0,53@0,5	0,73@5	100	5,0	180	0,08	175	340	D
STPS10I20CT/CFP*	TO220/ISO220	0,64@0,5	0,85@5	120	5,0	120	0,08	175	120	D
STPS10I50CT/CFP/CG*	TO220/ISO220/ D2PAK	0,68@0,5	0,92@5	150	5,0	120	0,03	175	100	D÷R
STPS10I70CT/CG/CR/CB	TO220/ D2PAK/ I2PAK/DPAK	0,68@0,5	0,92@5	170	5,0	75	0,1	175	100	D÷R
STPS15L30CDJF*	PQFN8	0,37@1	0,48@7,5	30	7,5	150	8	150	500	D-
STPS15L30CB*	DPAK	0,38@1	0,48@7,5	30	7,5	75	8	150	850	D÷R
STPS1545CT/CFP/CG/ CR/CB*	TO220/ISO220/ D2PAK/ I2PAK/DPAK	0,56@1	0,72@7,5	45	7,5	150	0,6	175	320	D-
STPS15L45CB*	DPAK	0,40@1	0,52@7,5	45	7,5	75	5	150	520	D-
STPS15L60CB*	DPAK	0,48@1	0,62@7,5	60	7,5	75	7	150	360	D-
STPS15H100CB/CH*	DPAK/IPAK	0,58@1	0,80@7,5	100	7,5	75	0,08	175	300	D-
STPS16L40CT*	TO220	0,41@1	0,50@8	40	8,0	180	6	150	700	D÷R
STPS16H100CT/CFP/CG/ CR*	TO220/ISO220/ D2PAK/I2PAK	0,54@1	0,77@8	100	8,0	200	0,1	175	400	D
STPS16I50CT/CG/CR*	TO220/ D2PAK/I2PAK	0,70@1	0,92@8	150	8,0	150	0,05	175	160	D-
STPS16I70CT/CG/CR/CB*	TO220/ D2PAK/ I2PAK/DPAK	0,70@1	0,92@8	170	8,0	75	0,1	175	150	D-

Примечания к таблице см. в конце статьи.

есть нужен минимум суммы статических и динамических потерь.

Диоды, оптимизированные для первой группы применений – это диоды с минимальными прямыми падениями напряжения, получаемыми, как правило, за счет больших площадей переходов (больших емкостей), или специальные микросхемы с использованием управляемого МОП-транзистора, внешне выглядящие как диод, но с чрезвычайно малым падением напряжения. Пример первого подхода – изделие ONSemі MBRB2515, с  $V_F$  ~250 мВ при токе 56 А, и с емкостью перехода, приближающейся к 10 нФ. Диод подобного класса от ST – STPS40L15CT, сдвоенный и с примерно вдвое меньшей емкостью переходов. Пример второго подхода – диод от ST SPV1001T40,  $V_F$  ~80...100 мВ при токе 5...6 А, 230...250 мВ при токе 15 А. Преимущество этого решения от ST очевидно.

Что же касается диодов Шоттки для применения в DC/DC-конверторах, то минимальные общие потери совершенно необязательно обеспечит диод с минимальным  $V_F$ . Особенно при широким диапазоне нагрузок (когда нужно учитывать потери не только от прямого падения напряжения, но и от токов утечки – их величина экспоненциально зависит не только от температуры, но и от начального падения напряжения). Связано это с тем, что за снижение прямого падения напряжения приходится платить либо ростом площади перехода (и емкости диода, что приводит к росту коммутационных потерь, пропорциональных  $f \times C_D U^2/2$ ), либо резким ростом тока утечки (когда для минимизации прямого падения напряжения выбрано практически нулевое пороговое напряжение за счет подбора материала контакта металл-полупроводник). Примером диода, имеющего минимальные

емкости, но небольшой диапазон рабочих токов и температур, может служить поставляемый NXP PМЕG1030 (3 А, 10 В), обратный ток которого при температуре перехода 25...30°C составляет около 1 мА, но при 125°C достигает порядка 100 мА (это не опечатка!).

ST Microelectronics, как один из лидеров в силовой электронике, предлагает, пожалуй, самую широкую в индустрии гамму диодов Шоттки на токи от 0,5 до 200 А, оптимизированных по соотношению статических и динамических потерь.

Обратим к примеру, внимание на серии ULVF. STPS50U100C – сдвоенный (25+25 А) 100 В диод в корпусе TO-220, обладающий одновременно низким прямым падением напряжения (~600 мВ при 15 А/диод) и умеренными как токами утечки (~10 мА при 125°C), так и емкостью перехода (~2200 пФ при 0 В, ~1500 пФ при 10 В, с резким снижением выше 20 В, до 300 пФ на

Таблица 4. Диоды Шоттки на ток до 10..25 А (включая сдвоенные, для них – данные одного диода)

Тип диода	Корпуса	$U_F@I_F$ , В/А	$U_F@I_F$ , В/А	$U_R$ , В	$I_{AV}$ , А	$I_{FSM}$ , А	$I_R@85^\circ\text{C}$ , мА	$T_{Jmax}$ , °C	$C_D@4V$ , пФ	BAX
STPS10L25D/G	TO220/D2PAK	0,36@1	0,46@10	25	10	200	15,0	150	1300	D÷R
STPS1045B	DPAK	0,45@1	0,63@10	45	10	75	0,7	175	500	D-
STPS1045D/FP	TO220/ISO220	0,57@1	0,72@10	45	10	180	0,8	175	500	D-
STPS10L60D/FP	TO220/ISO220	0,42@1	0,60@10	60	10	220	6,0	150	600	D
STPS15L25D/G	TO220/D2PAK	0,34@1	0,46@15	25	15	250	20,0	150	2300	R+
STPS20L15D/G	TO220/D2PAK	0,23@1	0,41@20	15	20	310	40,0	125	1400	R
STPS20L25CT/CG*	TO220/D2PAK	0,36@1	0,46@10	25	10	220	16,0	150	1300	R
STPS2030CT/CG/CR*	TO220/D2PAK/ I2PAK	0,39@1	0,50@10	30	10	180	10,0	150	1000	D÷R
STPS20L40CFP*	ISO220	0,41@1	0,55@10	40	10	180	5,0	150	700	D÷R
STPS20L45CT/CFP/ CG*	TO220/ISO220/ D2PAK	0,41@1	0,55@10	45	10	180	7,0	150	700	D÷R
STPS2045CT/CFP/ CG/CR*	TO220/ISO220/ D2PAK/I2PAK	0,57@1	0,72@10	45	10	180	0,8	175	500	D-
STPS20L60CT/CG/ CR*	TO220/D2PAK/ I2PAK	0,42@1	0,60@10	60	10	220	7,0	150	600	D-
STPS2060CT*	TO-220	0,60@1	0,80@1	60	10	200	0,5	150	550	D
STPS20100CT*	TO-220	0,58@1	0,84@10	100	10	200	1,6	175	560	D
STPS20H100CT/CFP/ CG/CR*	TO220/ISO220/ D2PAK/I2PAK	0,54@1	0,77@10	100	10	250	0,08	175	500	D-
STPS20S100CT/CFP/ CR*	TO220/ISO220/ I2PAK	0,58@1	0,85@10	100	10	180	0,08	175	300	D-
STPS20120D	TO220	0,63@2	0,93@20	120	20	200	0,25	175	370	D-
STPS20120CT/CFP/ CR*	TO220/ISO220/ I2PAK	0,63@1	0,92@10	120	10	150	0,15	175	200	D-
STPS20L120CT/CFP*	TO220/ISO220	0,57@1	0,86@10	120	10	200	1,0	150	320	D-
STPS20150CT/CFP/ CG/CR*	TO220/ISO220/ D2PAK/I2PAK	0,67@1	0,92@10	150	10	180	0,02	175	260	D-
STPS20170CT/CFP/ CG/CR*	TO220/ISO220/ D2PAK/I2PAK	0,65@1	0,90@10	170	10	180	0,02	175	260	D
STPS2545CT/CFP/ CG*	TO220/ISO220/ D2PAK	0,53@1	0,68@10	45	12,5	200	0,7	175	600	D-
STPS30L30CT/CG/ CR*	TO220/D2PAK/ I2PAK	0,32@1	0,46@15	30	15	220	20,0	150	1300	R
STPS3030CT/CG/CR*	TO220/D2PAK/ I2PAK	0,36@1	0,49@15	30	15	250	10,0	150	1000	R
STPS30L40CW/CT/ CG*	TO247/TO220/ D2PAK	0,37@1	0,55@15	40	15	220	8,0	150	650	D÷R
STPS30L45CW/CT/ CG/CR*	TO247/TO220/ D2PAK/I2PAK	0,37@1	0,55@15	45	15	220	12,0	150	650	D÷R
STPS3045CW/CP/ CPI/CT/CFP/CG/ CR*	TO247/TO218/ ISO218/TO220/ ISO220/D2PAK/ I2PAK	0,52@1	0,7@15	45	15	220	1,0	175	800	D÷R
STPS30L60CW/CT/ CG/CR*	TO247/TO220/ D2PAK/I2PAK	0,39@1	0,60@15	60	15	230	8,0	150	800	D-
STPS3060CW*	TO247	0,60@1	0,85@15	60	15	200	0,4	150	550	D÷R
STPS30H60CW/CT/ CFP/CG/CR*	TO247/TO220/ ISO220/D2PAK/ I2PAK	0,45@1	0,66@15	60	15	230	0,8	175	800	D-
STPS30H100CW/CT*	TO247/TO220	0,52@1	0,80@15	100	15	250	0,1	175	500	D
STPS30L120CT/CFP*	TO220/ISO220	0,60@1	0,88@15	120	15	220	1,0	150	500	D÷R
STPS30120CT/CR*	TO220/I2PAK	0,60@1	0,92@15	120	15	180	0,2	175	300	D-
STPS30150CW/CT/ CFP/CG*	TO247/TO220/ D2PAK	0,62@1	0,92@15	150	15	220	0,03	175	400	D-
STPS30170CW/CT/ CFP/CG*	TO247/TO220/ ISO220/D2PAK	0,62@1	0,92@15	170	15	220	0,03	175	400	D-
STPS40L15CW/CT*	TO247/TO220	0,25@2	0,42@20	15	20	310	60,0	125	1300	R
STPS41L30CT/CG/ CR*	TO220/D2PAK/ I2PAK	0,37@2	0,48@20	30	20	220	15,0	150	1600	R
STPS40L40CW/CT*	TO247/TO220	0,38@2	0,53@20	40	20	230	15,0	150	1600	R
STPS40L45CW/CT/ CG*	TO247/TO220/ D2PAK	0,38@2	0,53@20	40	20	230	20,0	150	1500	R

Таблица 4. Диоды Шоттки на ток до 10...25 А (включая сдвоенные, для них – данные одного диода) (окончание)

Тип диода	Корпуса	$U_F@I_F$ , В/А	$U_F@I_F$ , В/А	$U_R$ , В	$I_{AV}$ , А	$I_{FSM}$ , А	$I_R@85^\circ\text{C}$ , мА	$T_{Jmax}$ , °С	$C_D@4V$ , пФ	ВАХ
STPS4045CW/CT*	TO247/TO220	0,53@2	0,76@20	45	20	220	1,0	175	550	D-
STPS41L45CT/CG/CR*	TO220/D2PAK/I2PAK	0,38@2	0,53@20	45	20	220	10,0	150	1300	D÷R
STPS41L60CT/CG/CR*	TO220/D2PAK/I2PAK	0,39@2	0,60@20	60	20	220	12,0	150	1700	D
STPS40M100CT/CR*	TO220/I2PAK	0,53@2	0,78@20	100	20	530	1,5	150	1000	D-
STPS40SM100CT/CG/CR*	TO220/D2PAK/I2PAK	0,54@2	0,80@20	100	20	530	1,0	150	750	D-
STPS40H100CT/CG/CR*	TO220/D2PAK/I2PAK	0,53@2	0,80@20	100	20	220	0,25	175	850	D
STPS40H100CW*	TO247	0,50@2	0,73@20	100	20	300	0,6	150	1300	D-
STPS41H100CT/CG/CR*	TO220/D2PAK/I2PAK	0,53@2	0,80@20	100	20	220	0,2	175	850	D
STPS40120CT/CR*	TO220/I2PAK	0,60@2	0,90@20	120	20	200	0,4	175	470	D
STPS40150CW/CT/CG*	TO247/TO220/D2PAK	0,66@2	0,92@20	150	20	250	0,2	175	500	D-
STPS40170CW/CT/CG*	TO247/TO220/D2PAK	0,65@2	0,92@20	170	20	250	0,5	175	500	D
STPS50U100CT/CR*	TO220,I2PAK	0,47@2	0,73@25	100	25	250	1,5	150	1600*	D

Примечания к таблице см. в конце статьи.

100 В). Потери переключения каждого такого диода на частоте 100 кГц составляют десятые доли ватта, на частоте 500 кГц – единицы ватт.

Далее, для популярных в настоящее время максимально компактных применений ST выпускает серию 15/30 А диодов в корпусе для поверхностного монтажа Power Flat (PQFN8) – его высота чуть больше 1 мм, размер в плане – 5x6 мм. Это **STPS15L30CDJF** (7,5+7,5 А), **STPS3045DJF**, **STPS30M100DJF**, **STPS30U100DJF**, **STPS30120DJF**, **STPS30170DJF**. Эти диоды рассчитаны на использование в печатных платах с малым тепловым сопротивлением, например, на металлическом основании.

Для силовоточных применений ST производит самые мощные диоды Шоттки из имеющихся в корпусах TO-220 (**STPS40M100CT**, **STPS40120CT**, **STPS50U100C**, **STPS60H100CT**, **STPS60150CT**, **STPS60170CT**, **STPS61L45CT**, **STPS61L60CT**) и TO-247/MAX247 (**STPS61H100CW**, **STPS80L60CW**, **STPS80H100CY**, **STPS80150CY**, **STPS80170CY**). Наличие столь мощных диодов в стандартных широко распространенных корпусах позволяет упростить и удешевить конструкцию устройств с их применением.

Для приложений, требующих еще больших токов, ST выпускает сдвоенные диоды в изолированном корпусе ISOTOP/ISOT4D (SOT227) – **STPS80H100TV**, **STPS120L15TV**, **STPS12045TV**, **STPS160H100TV**, **STPS24045TV**, **STPS200170TV** (ток до 100...120 А на диод, напряжение 15...170 В).

Другой край ассортимента – диоды, оптимизированные для маломощных применений, такие как **STPS0520Z** (0,5 А, 20 В) – емкость ~120 пФ при

1 В, ~35 пФ при 20 В, VF ~320...350 мВ при 0,5 А, ток утечки ~80 мкА при температуре перехода 30°C и ~5 мА при 100°C. Такие диоды, благодаря малым емкостям и умеренным утечкам – очень полезный компонент для самых распространенных относительно маломощных преобразователей. Малые емкости позволяют поднять рабочую частоту без ущерба для КПД. Аналогичную область применения имеют диоды **BAT30**, **TMBAT49**, **TMBYV10-40**, **TMBYV10-60**, **BAT20**, **BAT60**.

Естественно, кроме этих «марочных» продуктов, ST выпускает аналоги популярных стандартных продуктов, от **BAT30-0X**, **BAT41**, **BAT42**, **TMBAT49**, **TMBYV10-40**, **TMBYV10-60**, **BAT60**, **1N5817-1N5819**, **1N5821-1N5822**, до **MBR20100 (STPS20S100C)**.

Весьма существенной особенностью большинства диодов Шоттки от ST является подробное нормирование динамических тепловых параметров и работы в режиме лавинного пробоя (абсорбции выбросов перенапряжений, возникающих, к примеру, на индуктивных монтажах). Это позволяет использовать диоды с меньшим допустимым обратным напряжением, получая выигрыш либо в виде снижения потерь (за счет меньших  $V_F$  и/или  $C_d$ ), либо снижения стоимости комплектующих. Экономия на стоимости диодов возможна благодаря тому, что вместо диодов с большим максимальным напряжением часто можно выбрать диод, рассчитанный на меньшее максимальное напряжение и максимальный ток, но обеспечивающий при данном рабочем токе то же значение потерь и  $V_F$ , что и более высоковольтный, рассчитанный на больший ток. В результате получается, что можно либо снизить потери в выпрямителях

примерно на 20...25%, либо на примерно такую же величину снизить стоимость используемых диодов.

Однако автор хотел бы предостеречь от распространенной ошибки – попытки использования диодов Шоттки «на пределе» по току, особенно в схемах с «жестким» переключением токов. Во-первых, это крайне нежелательно с точки зрения динамических потерь, поскольку при больших токах (соответствующих падениям напряжения более 0,6...0,9 В в зависимости от типа диода) в структуре диодов Шоттки начинает работать параллельно включенный p-n переходный «охранный» диод. В первую очередь это проявляется появлением накопления заряда выключения, что может вызывать большие импульсные токи/напряжения.

Во-вторых, нужно помнить, что нагрев диодов Шоттки почти не влияет на прямое падение напряжения при больших токах, но вызывает резкий рост токов утечек. Последнее опасно проявлением эффекта саморазогрева обратными токами. Увеличение размера радиатора, необходимое для предотвращения этого риска, часто в итоге обходится дороже, чем использование диодов на больший ток, имеющих меньшие статические потери. Нормирование лавинных характеристик у диодов ST в этом отношении оказывается весьма кстати, поскольку позволяет обойтись диодами на минимальное обратное напряжение (и соответственно, как более дешевыми, так и имеющими меньшее  $V_F$ ).

В заключение стоит сказать, что номенклатура быстродействующих выпрямительных диодов, производимых ST, не ограничивается диодами Шоттки. ST производит большое число Ultrafast-диодов ( $t_{rr}$  ~50...80 нс), в том числе

Таблица 5. Диоды Шоттки на ток до 30...120А (включая сдвоенные, для них – данные одного диода)

Тип диода	Корпуса	$U_{F@I_F}$ , В/А	$U_{R@I_R}$ , В/А	$U_R$ , В	$I_{AV}$ , А	$I_{FSM}$ , А	$I_R@85^\circ\text{C}$ , мА	$T_{Jmax}$ , °С	$C_D@4V$ , пФ	BAX
STPS3045DJF	PQFN8	0,50@5	0,64@30	45	30	200	2,5	150	1200	D
STPS30100ST	TO220	0,53@5	0,80@30	100	30	300	1,6	150	1300	D-
STPS30M100ST/SFP/SR	TO220/ISO220/ I2PAK	0,53@5	0,80@30	100	30	300	2	150	1100	D-
STPS30SM100ST/SFP/SG/SR	TO220/ISO220/ D2PAK/I2PAK	0,58@5	0,87@30	100	30	530	0,9	150	900	D-
STPS30M100DJF	PQFN8	0,62@5	0,96@30	100	30	200	0,8	150	600	D-
STPS30U100DJF	PQFN8	0,57@5	0,85@30	100	30	200	2	150	1500	D-
STPS30120DJF	PQFN8	0,70@5	0,92@30	120	30	200	0,3	150	650	D
STPS30170DJF	PQFN8	0,77@5	0,92@30	170	30	200	0,25	150	450	D
STPS60L30CW*	TO247	0,36@5	0,46@30	30	30	600	30	150	2800	R
STPS60L40CW*	TO247	0,41@5	0,55@30	40	30	600	12	150	2400	R
STPS60L45CW*	TO247	0,41@5	0,55@30	45	30	600	12	150	2400	R
STPS6045CW/CP/CPI*	TO247/TO218/ ISO218	0,52@5	0,69@30	45	30	400	2,5	175	1600	D÷R
STPS61L45CT/CW*	TO220/TO247	0,43@5	0,56@30	45	30	500	20	150	1700	D÷R
STPS61L60CT/CW*	TO220/TO247	0,43@5	0,66@30	60	30	400	15	150	1300	D
STPS60H100CT*	TO220	0,59@5	0,84@30	100	30	300	0,2	175	850	D-
STPS61H100CW*	TO247	0,56@5	0,79@30	100	30	450	0,25	175	1200	D-
STPS60150CT*	TO220	0,73@5	0,94@30	150	30	270	0,2	175	600	D-
STPS61150CW*	TO247	0,63@5	0,84@30	150	30	500	0,6	175	1200	D-
STPS60170CT*	TO220	0,73@5	0,94@30	170	30	270	0,6	175	1200	D÷R
STPS61170CW*	TO247	0,63@5	0,84@30	170	30	500	0,9	175	1200	D÷R
STPS80L60CY*	MAX247	0,37@5	0,57@40	60	40	400	35	150	5500	R
STPS80H100CY*	MAX247	0,55@5	0,80@40	100	40	400	1	175	1900	D
STPS80H100CTV*	ISOTOP4	0,54@5	0,78@40	100	40	700	1	150	1900	D
STPS80150CW*	TO247	0,61@5	0,84@40	150	40	500	0,6	175	1300	D
STPS80170CW*	TO247	0,60@5	0,84@40	170	40	500	1,5	175	1300	D÷R
STPS120L15CTV*	ISOTOP4	0,24@10	0,43@60	15	60	1200	340	125	6800	D
STPS12045CTV*	ISOTOP4	0,63@10	0,78@60	45	60	900	6	150	3100	D
STPS16045CTV*	ISOTOP4	0,60@10	0,80@80	45	80	900	6	150	3100	D
STPS160H100CTV*	ISOTOP4	0,56@10	0,80@80	100	80	1000	2,5	150	3800	D-
STPS200170CTV*	ISOTOP4	0,52@10	0,83@100	170	100	700	2,5	150	3800	D-
STPS24045CTV*	ISOTOP4	0,54@10	0,74@120	45	120	1500	10	150	8500	R

Примечания к таблице см. в конце статьи.

высоковольтных (на напряжения до 1200 В) и токи до 60 А/диод, 120 А на корпус (серия **STTH**). В ряде случаев их применение обеспечивает еще меньшие динамические потери, чем у диодов Шоттки (за счет меньших емкостей переходов), см. например структуру PFC, описанную в US pat.№ 6987379.

Естественно, в производственной программе ST есть и большое число «малосигнальных» диодов Шоттки, таких как **BAS70-0X**, **BAR18**, **TMM6263**, **TMMBAT41...43**, **TMMBAT46**, **TMMBAT48**, **BAT54**.

Стоит также отметить, что многие изготовители до сих пор считают излишним предоставлять SPICE-модели своих диодов. У ST их можно получить на сайте. Качество этих моделей, конечно, не идеальное, но они вполне пригодны для оценочных расчетов с «инженерной точностью», т.е. с погрешностями не более 10...20%.

#### Примечания к таблицам

1. Величины прямых падений напряжения даны для температуры перехода 25°C, максимальные значения (типичные – на 50...80 мВ меньше), с указанием тока в амперах. ТКН прямых напряжений при малых токах всегда отрицателен, но при больших токах – часто может становиться положительным, особенно для диодов с  $U_R > 40...60$  В.

2. Величины обратных токов (IR) даны типовые, в миллиамперах.


3. IFSM – величина однократного ударного тока в виде одного полупериода частоты 50 Гц, амплитудное значение.

4. Емкость диода – величина нелинейная, здесь дана в пикофарадах при обратном напряжении 4 В. Позволяет оценить порядок динамических потерь переключения (точнее, заряда переключения) в большинстве схем применения.

5. «BAX» – условный параметр. Качественно описывает поведение диода при больших токах. «R» – резистивный характер, «R+» – резистивный с заметным положительным ТКН, «D» – «диодный» (сильно выражено влияние параллельного p-n переходного диода), «D-» – диодный с выраженным отрицательным ТКН, «D÷R» – нечто среднее.

6. Звездочкой («\*») отмечены сдвоенные диоды.

#### Литература

1. «Идеальные диоды» от компании STMicroelectronics – Джафер Меджид, Дмитрий Цветков/Новости электроники, 2009, №14, с.23-25. 

Получение технической информации,  
заказ образцов, поставка –  
e-mail: [mcu.vesti@compel.ru](mailto:mcu.vesti@compel.ru)