

## Диоды Шоттки International Rectifier

Фирма «Платан Компонентс» начинает выпуск новой серии справочников технической документации «ПЛАТАН — электронные компоненты».

Представляем первый выпуск журнала, посвященный диодам Шоттки производства International Rectifier — мирового лидера в развитии полупроводниковых технологий.

Среди различных видов выпрямительных диодов диоды Шоттки выгодно отличаются такими преимущественными показателями, как низкое напряжение при высокой частоте преобразования, низкое напряжение запирающего, отсутствие заряда обратного восстановления, отсюда преобладающее использование диодов Шоттки в низковольтных импульсных источниках питания.

В основе классификации всей выпускаемой номенклатуры диодов IR лежат три основных принципа: производственная технология, размер кристалла и тип корпуса. В данном справочнике мы стремились охватить самый разнообразный номенклатурный ряд диодов Шоттки как для поверхностного монтажа на печатную плату, так и для монтажа в отверстия. Дополнительно представлены модули фланцевого монтажа.

«Платан Компонентс» является официальным дистрибьютором фирмы International Rectifier в России, что гарантирует высокое качество поставляемой продукции и квалифицированную техническую поддержку при низких ценах и кратчайших сроках поставки. Предлагаем со склада и на заказ полный ассортимент полупроводниковых компонентов производства IR.

### Содержание

<b>Сводные таблицы основных параметров диодов Шоттки</b> .....	2
Диоды Шоттки для поверхностного монтажа .....	2
Диоды Шоттки для объемного и фланцевого монтажа .....	4
<b>Справочные материалы по диодам Шоттки различных серий</b> .....	8
Диоды Шоттки серий ххСТQ .....	8
Диоды Шоттки серий 6TQ, 8TQ .....	9
Диоды Шоттки серии 10TQ, 12TQ, 15TQ, 18TQ, 19TQ .....	10
Диоды Шоттки серии 10BQ, 30BQ .....	11
Диоды Шоттки серии 10MQ, 15MQ, 153 CMQ, 160CMQ, 401CMQ .....	12
Диоды Шоттки серии 11DQ, 21DQ, 31DQ .....	13
Диоды Шоттки серий хххNQ .....	14
Диоды Шоттки серии 30WQ, 50WQ, 50HQ, 60HQ, 20CJQ .....	15
Диоды Шоттки серий ххCPQ .....	16
Диоды Шоттки серий 30BGQ, 100BGQ, 175BGQ .....	17
Диоды Шоттки серий 50SQ, 80SQ, 90SQ .....	18
Диоды Шоттки серий хххCNQ .....	19
Диоды Шоттки серий MBR1635/MBR1645, MBR20, MBR2545, MBR6045 .....	20
<b>Особенности применения и правильного выбора диодов Шоттки</b> .....	21
Преимущества диодов Шоттки .....	21
Номенклатура диодов Шоттки .....	21
Производственные процессы при изготовлении диодов Шоттки .....	21
Размеры кристаллов диодов Шоттки .....	25
Типы корпусов .....	25
Электрические параметры диодов Шоттки .....	26
Абсолютные максимальные параметры .....	26
Типовые электрические параметры .....	30
Температурные характеристики .....	31
Принципы выбора диодов Шоттки .....	32
Основные рекомендации по применению диодов Шоттки .....	32
Определение верхней границы рабочей температуры .....	32
Диоды Шоттки с аксиальными выводами .....	33
Подбор теплового сопротивления теплоотвода .....	34
Увеличение размера кристалла .....	34

Подбор диода по более высокому $T_{jmaxClass}$ с целью уменьшения размеров теплоотвода .....	35
Расчет допустимой температуры теплоотвода .....	35
Определение верхнего предела температуры окружающей среды .....	35
Подбор диодов Шоттки по классу напряжения .....	36
Рабочие условия, влияющие на применение диодов Шоттки в импульсных источниках питания .....	36
Общие особенности работы схем преобразователей напряжения .....	37
Влияние поправки на коэффициент входной мощности .....	38
Рекомендации для разработчиков .....	39
Применение диодов Шоттки в импульсных источниках питания .....	39
Сравнение применения диодов Шоттки одного типа и смешанных типов .....	40
Индивидуальные (раздельные) теплоотводы в прямоходовых преобразователях напряжения .....	40
Сравнение общих и индивидуальных теплоотводов при их использовании в прямоходовых преобразователях напряжения .....	40
Мостовые преобразователи напряжения .....	41
Сравнение требований к теплоотводам для прямоходовых и мостовых преобразователей напряжения .....	41
Обратноходовые преобразователи напряжения .....	41
Потери диодов Шоттки на проводимость в обратноходовых преобразователях напряжения .....	41
Обратные потери мощности .....	42
Пример расчета .....	42
Эффективность диодов Шоттки в обратноходовых преобразователях напряжения .....	42
Расчет температуры для заданного теплоотвода .....	42
Зависимость мощности рассеивания от теплового сопротивления .....	43
Примеры расчетов .....	44
Расчет теплоотвода минимальных размеров .....	44
Ограничение температуры теплоотвода .....	44
Параллельная работа источников питания OR-ING .....	44
Переходные процессы при переключении .....	45
Расчет сглаживающей цепи .....	45
Правила подбора диодов Шоттки для импульсных источников питания .....	47
<b>Система обозначений</b> .....	48

## Диоды Шоттки для поверхностного монтажа

V <sub>rrm</sub>	I <sub>fav</sub>	V <sub>fm</sub>	Тип корпуса								Стр.
B	A	B	Микрокорпуса	SMA	SMB	SMC	SOT-223	D-Pak	D2Pak	D61-8SL	SOD-123
15	1	0,34			10BQ015						
	3	0,35				30BQ015					
	19	0,36							19TQ015S		
	20	0,41							STPS20L15G		
	40	0,41							40L15CTS		
	80	0,32								85CNQ015SL	
20	100	0,37									
	0,5	0,37									MBR0520
	1	0,45		MBRA120	MBRS120						
	3	0,45				MBRS320					
	3	0,60						MBRD320			
	40	0,45							47CTQ020S		
30	80	0,30								87CNQ020SL	
	0,2	0,50	BAT54A,-C,-S(SOT-23) BAT54AW,-CW,-SW,- W(SOT-23) BAT54WS(SOD-323)								
	0,5	0,35									MBR0530
	1	0,30			MBRS130LTR						
	1	0,42			MBRS130TR/ 10BQ030						
	1,1	0,50									
	2	0,47									
	2	0,50	20UPQ030(Micro6)		20BQ030		20CJQ030				
	3,5	0,45						30WQ03FN			
	3	0,60						MBRD330			
	5,5	0,46						50WQ03FN			
	6							6CWQ03FN			
	7	0,45						6CWQ03FN			
	12	0,47						12CWQ03FN			
	30	0,49							32CTQ030S		
	30	0,51							MBRB3030CTL		
	30	0,57						STPS30L30CTS	30L30CTS/ STPS30L30CG		
	40	0,48							42CTQ030S		
	60	0,35									
	80	0,35								82CNQ030SL	
	100	0,46									
	175	0,46									
35	6	0,60							6TQ035S		
	7,5	0,84							MBRB735		
	10	0,57							10TQ035S		
	10	0,84							MBRB1035		
	12	0,60							12CTQ035S		
	15	0,55							15CTQ035S		
	15	0,56							12TQ035S		
	15	0,72							MBRB1535CT		
	16	0,63							MBRB1635		
	18	0,60							18TQ035S		
	20	0,57							20TQ035S		
	20	0,64							20CTQ035S		
	20	0,84							MBRB2035CT		
	30	0,56							25CTQ035S		
	30	0,62							30CTQ035S		
	30	0,76							MBRB3035CT		
	30	0,82							MBRB2535CT		
	0,5	0,48									MBR0540
40	1	0,49		MBRA140TR							
	1	0,53			10BQ040/ MBRS140TR						
	1,5	0,54		10MQ040N							
	2,1	0,42		15MQ040N							
	3	0,45				30BQ040					
	3	0,43						MBRD340			
	3,5	0,53				MBRS340TR					
	5,5	0,51						30WQ04FN			
	6	0,60						50WQ04FN			
	7	0,53							6TQ040S		
	10	0,57						6CWQ04FN			
	12	0,60							10TQ040S		
	15	0,55						12CWQ04FN	12CTQ040S		
	18	0,60							15CTQ040S/ 12TQ040S		
	20	0,57							18TQ040S		
	20	0,64							20TQ040S		
	30	0,56							20CTQ040S		
	30	0,62							25CTQ040S		
45	1			10MQ040N					30CTQ040S		
	1,5			15MQ040N							
	2	0,54					20CJQ045				
	3							30WQ04FN			
	5							50WQ04FN			
	6	0,60						6CWQ04FN	6TQ045S		
	7,5	0,84							MBRB745		
	10	0,57						STPS1045B	10TQ045S		
	10	0,63						10WQ045FN			
	10	0,84						MBRB1045			
	12	0,50						12CWQ04FN	12TQ045S		
	12	0,60							12CTQ045S		
	15	0,55							15CTQ045S		
	15	0,56							12TQ045S		
	15	0,84							MBR1545CT		
	16	0,63							MBRB1645		
	18	0,60							18TQ045S		

Примечание. V<sub>rrm</sub> — максимальное обратное напряжение; I<sub>fav</sub> — средний прямой импульсный ток; V<sub>fm</sub> — прямое падение напряжения

## Диоды Шоттки для поверхностного монтажа (продолжение)

Vrrm	Ifav	Vfm	Тип корпуса								Стр.
B	A	B	Микрокорпуса	SMA	SMB	SMC	SOT-223	D-Pak	D2Pak	D61-8SL	SOD-123
45	20	0,57							20TQ045S		
	20	0,64							20CTQ045S		
	20	0,84							MBRB2045CT		
	30	0,56							25CTQ045S		
	30	0,62							30CTQ045S		
	30	0,76							MBRB3045CT		
	30	0,82							MBRB2545CT		
	40	0,53							40CTQ045S		
	40	0,78							MBRB4045CT		
	60	0,44									
	60	0,69									
	80	0,47								80CNQ045SL	
	100	0,52									
	175	0,53									
50	6	0,90						MBRD650CT			
	30	0,62							30CTQ050S		
	80	0,54								81CNQ050SL	
60	1	0,63			10BQ060						
	1,5	0,57		10MQ060N							
	2	0,59					20CJQ060				
	3	0,58				30BQ060/ MBRS360TR					
	3,5	0,61						30WQ06FN			
	5,5	0,57						50WQ06FN			
	6	0,90						MBRD660CT			
	7	0,61						6CWQ06FN			
	8	0,58							8TQ080S		
	10	0,70							MBRB2080CT		
	12	0,61						12CWQ06FN			
	15	0,62							15TQ060S		
	16	0,69							16CTQ080S		
	30	0,86							30CTQ060S		
80	40	0,61							48CTQ060S		
	8	0,72							8TQ080S		
	16	0,72							16CTQ080S		
	20	0,95							MBRB2080CT		
	30	0,86							30CTQ080S		
90	1	0,62			MBRS190TR						
	20	0,95							MBRB2090CT		
100	1	0,78			10BQ100/ MBRS1100TR						
	1,5	0,78		10MQ100N							
	2	0,79					20CJQ100				
	3	0,79				30BQ100					
	3,3	0,69						30WQ10FN			
	3,5	0,81						50WQ10FN			
	5,5	0,77						6CWQ10FN			
	7	0,81							8TQ100S		
	8	0,72							MBRB20100CT		
	10	0,70									
	12	0,80						12CWQ10FN			
	16	0,72							16CTQ100S		
	20	0,95							MBRB20100CT		
	30	0,86							30CTQ100S		
150	40	0,81							43CTQ100S		
	60	0,64									
	80	0,67								83CNQ100SL	
	10	0,93							10CTQ150S		
	20	0,83							20CTQ150S		



## Диоды Шоттки для объемного и фланцевого монтажа

V <sub>rrm</sub>		I <sub>rrm</sub>		V <sub>fm</sub>		Тип корпуса																					
B	A	B	A	B	A	PowIRab	TO-220AB	TO-220AC	TO-247AC	TO-249AA Изолир.	TO-249AA Неизолир.	TO-244AB Изолир.	TO-244AB Неизолир.	TO-244AB Изолир.	TO-262	DO-201AD	DO-203AB	DO-204AL	DO-204AR	D61-6	D61-6-SM	D61-8	D61-8-SM	D-67	D-60 Изолир.	D-60 Неизолир.	
15	9	0,31																	95SQ015								
	19	0,36						19TQ015																			
	20	0,25						20L15T																			
	20	0,41						STPS20L15D																			
	40	0,41					40L15CT/ STPS40L15CT		40L15CW/ MBR40L15CW/ STPS40L15CW							40L15CT-1											
	65	0,50							65PQ015																		
	80	0,32							80CP1015								95HQ015					85CNQ015A	85CNQ015ASM				
	100	0,37	100BGQ015(J)																				115CNQ015A	115CNQ015ASM			
	110	0,33																									
	120	0,33																									
20	180	0,34																									
	220	0,32																									
	240	0,34																									
	440	0,47																									
	1	0,45																									
	40	0,45					47CTQ020		80CPQ020							47CTQ020-1											
	80	0,32																				87CNQ020A	87CNQ020ASM				
	1	0,55																									
	1,1	0,55																									
	3,3	0,55																									
30	25	0,86																									
	30	0,49					32CTQ030																				
	30	0,57					30L30CT/ STPS30L30CT																				
	40	0,48					42CTQ030		52CPQ030																		
	50	0,60																									
	60	0,50																									
	70	0,51					62CTQ030		72CPQ030																		
	80	0,37																									
	100	0,46	100BGQ030(J)																								
	110	0,39																									
35	120	0,41																									
	150	0,47																									
	160	0,46																									
	160	0,60																									
	175	0,46	175BGQ030(J)																								
	180	0,41																									
	200	0,40																									
	240	0,42																									
	300	0,56																									
	440	0,41																									
40	6	0,57																									
	7,5	0,84																									
	6	0,53																									
	9	0,48																									
	10	0,57																									
	10	0,84																									
	12	0,56																									
	12	0,57																									
	15	0,55																									
	15	0,72																									
45	16	0,63																									
	18	0,60																									
	20	0,57																									
	20	0,64																									
	20	0,68																									
	20	0,84																									
	30	0,56																									
	30	0,62																									
	30	0,73																									
	30	0,76																									
50	30	0,82																									
	40	0,49																									
	60	0,58																									
	60	0,58																									
	60	0,58																									
	60	0,58																									
	60	0,58																									
	60	0,58																									
	60	0,58																									
	60	0,58																									



5

Диоды Шоттки для объемного и фланцевого монтажа (продолжение)

V <sub>rrm</sub>		I <sub>av</sub>	V <sub>rrm</sub>	PowR <sub>tab</sub>	TO-220AB	TO-220AC	TO-247AC	TO-249AA Изолпр.	TO-249AA Неизолпр.	TO-244AB Изолпр.	TO-244AB Неизолпр.	TO-262	DO-201AD	DO-203AB	DO-204AL	DO-204AR	D61-6	D61-6-SM	D61-8	D61-8-SM	D-67	D-60 Изолпр.	D-60 Неизолпр.
40	B	A	B																		241NQ040		
																					241NQ040		
45																							
50																							
60																							

**Диоды Шоттки для объемного монтажа (продолжение)**

Vrm		Ifav		Vfm		Тип копирки																																																																																																																																																																																																											
B						TO-220AB	TO-220AC	TO-247AC	TO-249AA Изошмп.	TO-249AA Нензшмп.	TO-244AB Изошмп.	TO-244AB Нензшмп.	TO-262	DO-201AD	DO-203AB	DO-204AL	DO-204AR	D61-6	D61-6-SM	D61-8	D61-8-SM	D-67	D-60 Изошмп.	D-60 Нензшмп.																																																																																																																																																																																									
60		3	3	0.73	15TQ060			30CPO060 STPS30L60CW 40CPO060 MBR4000WT	16SCMQ060				30CTQ060-1			MBR360					88CNO060ASM	128NQ060(R)																																																																																																																																																																																											
																									60		30	0.62	30CTQ060																																																																																																																																																																																				
																																															40	0.53	48CTQ060																																																																																																																																																																
																																																																					30	0.46																																																																																																																																											
																																																																																										20	0.38																																																																																																																						
																																																																																																															120	0.51																																																																																																	
																																																																																																																																				160	0.57																																																																												
																																																																																																																																																								180	0.51																																																								
																																																																																																																																																																												200	0.75																																				
																																																																																																																																																																																															240	0.81																	
80		5	0.95	8TQ060							206CMQ060	406CMQ060																																																																																																																																																																																																					
																								16	0.72	16CTQ060																																																																																																																																																																																							
																																																20	0.85	MBR200CT																																																																																																																																																															
																																																																							30	0.51	30CTQ060																																																																																																																																								
																																																																																														40	0.77																																																																																																																		
																																																																																																																					60	0.70																																																																																											
																																																																																																																																												80	0.67																																																																				
																																																																																																																																																																		110	0.67																																														
																																																																																																																																																																																								120	0.74																								
																																																																																																																																																																																																													150	0.80			
90		3	0.85	160	0.82																																																																																																																																																																																																												
																								160	0.74																																																																																																																																																																																								
																																															200	0.86																																																																																																																																																																	
																																																																						240	0.74																																																																																																																																										
																																																																																													300	0.91																																																																																																																			
																																																																																																																				400	0.72																																																																																												
																																																																																																																																											1.1	0.85																																																																					
																																																																																																																																																																		3.3	0.85																																														
																																																																																																																																																																																									20	0.85																							
																																																																																																																																																																																																															1.1	0.88	
100		3	0.85	160	0.82																																																																																																																																																																																																												
																								160	0.72																																																																																																																																																																																								
																																																20	0.80																																																																																																																																																																
																																																																								30	0.86																																																																																																																																								
																																																																																																40	0.77																																																																																																																
																																																																																																																							60	0.64																																																																																									
																																																																																																																																														80	0.67																																																																		
																																																																																																																																																																					110	0.67																																											
																																																																																																																																																																																												120	0.74																				
136		80	0.69	80	0.69																																																																																																																																																																																																												
																								120	0.74																																																																																																																																																																																								
																																																180	0.74																																																																																																																																																																
																																																																								200	0.71																																																																																																																																								
																																																																																																240	0.74																																																																																																																
																																																																																																																							400	0.71																																																																																									
																																																																																																																																														10	0.93																																																																		
																																																																																																																																																																					20	0.83																																											
																																																																																																																																																																																												30	1.00																				
150		60	0.69	60	0.69																																																																																																																																																																																																												
																								80	0.86																																																																																																																																																																																								
																																																120	0.74																																																																																																																																																																
																																																																								180	0.74																																																																																																																																								
																																																																																															240	0.74																																																																																																																	
																																																																																																																						400	0.71																																																																																										
																																																																																																																																													100	0.93																																																																			
																																																																																																																																																																				200	0.83																																												
																																																																																																																																																																																											30	1.00																					
																																																																																																																																																																																																																	60
160		80	0.69	80	0.69																																																																																																																																																																																																												
																								120	0.74																																																																																																																																																																																								
																																																180	0.74																																																																																																																																																																
																																																																								240	0.74																																																																																																																																								
																																																																																															400	0.71																																																																																																																	
																																																																																																																						100	0.93																																																																																										
																																																																																																																																													200	0.83																																																																			
																																																																																																																																																																				30	1.00																																												
																																																																																																																																																																																											60	0.98																					
																																																																																																																																																																																											160		80	0.69	80	0.69																	
120	0.74																																																																																																																																																																																																																



## Диоды Шоттки серии ххСТQ

Выпрямительные диоды Шоттки серий 10СТQ, 12СТQ, 15СТQ, 16СТQ, 20СТQ, 25СТQ, 30СТQ, 40СТQ, 42СТQ, 43СТQ, 47СТQ, 48СТQ имеют низкие обратные токи утечки при высокой температуре. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переполюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до  $175^\circ\text{C}$ ;
- имеют низкие значения падения напряжения;
- высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что гарантирует механическую прочность и влагозащитенность;
- имеют вывод средней точки;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах ТО-220, D<sup>2</sup>PAK и ТО-262. Диоды в корпусе D<sup>2</sup>PAK в конце обозначения типа имеют букву «S», а в корпусе ТО-262 — «-1». Например, 10СТQ150S, 10СТQ150-1.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	10СТQ150	12СТQ...	15СТQ...	16СТQ...	20СТQ...	25СТQ...	30СТQ045	30СТQ060	40СТQ045	42СТQ030	43СТQ...	47СТQ020	48СТQ060
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	10	12	15	16	20	30	30	30	40	40	40	40	40
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	150	35...45	35...45	60/100	35...45	35...45	35...45	50...60	45	30	80/100	20	60
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	620	690	810	850	1060	990	1060	1000	1240	1100	850	1000	1000
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J = 125^\circ\text{C}$	0,73	0,53	0,51	0,58	0,57	0,5	0,56	0,56	0,48	0,38	0,67	0,34	0,58
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...175	-55...175	-55...150	-55...175	-55...175	-55...150	-55...175	-55...150	-55...150	-55...150	-55...175	-55...150	-55...150

Параметры, ед. изм.*	Обозн.	Тип диода Шоттки																								Примечание			
		10CTQ150	12CTQ035	12CTQ040	12CTQ045	15CTQ035	15CTQ040	15CTQ045	16CTQ060	16CTQ080	16CTQ100	20CTQ035	20CTQ040	20CTQ045	25CTQ035	25CTQ040	25CTQ045	30CTQ035	30CTQ040	30CTQ045	30CTQ050	30CTQ060	40CTQ045	42CTQ030	43CTQ080		43CTQ100	47CTQ020	48CTQ060
Значения напряжений																													
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	150	35	40	45	35	40	45	60	80	100	35	40	45	35	40	45	35	40	45	50	60	45	30	80	100	20	60	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>																												
Абсолютные максимальные значения																													
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	10	6			15			8			20			30								40						
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	620	690			810			850			1060			990			1060			1000	1240	1100	850	1000	1000		5 мкс	
		115	140			145			275			265			250			265			260	350	360	275	250	260		10 мкс	
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	6,75	8			10			7,5			13			20			20			13	20	13	7,5	18	13			
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	0,3	1,2			1,5			0,5			2			3			3			1,5	3	3	0,5	3	1,5			
Электрические характеристики																													
Макс. прямое падение напряжения, В	V <sub>FM</sub>	0,93	0,6			0,55			0,72			0,64			0,56			0,62			0,62	0,53	0,48	0,81	0,45	0,61		T <sub>J</sub> =25°C	
		1,1	0,73			0,7			0,88			0,76			0,71			0,76			0,82	0,68	0,57	0,98	0,51	0,83			
		0,73	0,53			0,61			0,58			0,57			0,5			0,56			0,56	0,48	0,38	0,67	0,34	0,58		T <sub>J</sub> =125°C	
		0,86	0,64			0,65			0,69			0,68			0,64			0,7			0,71	0,67	0,51	0,81	0,44	0,75			
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	0,05	0,8			0,8			0,55			2			1,75			2			0,8	3	3	1	3	2		T <sub>J</sub> =25°C	
		7	7			32			7			15			70			15			45	115	183	11	310	89			
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	200	400			400			500			900			900			900			720	2800	2840	1480	3000	1220			
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	8	8			8			8			8			8			8			8	8	8	8	5,5	8			
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000																											
Термомеханические характеристики																													
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	R <sub>thJC</sub>	1,75	1,75			3,5			1,63			1,63			1,63			1,63			1,63	2	1	2	1,5	2			
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	0,5	0,5			0,5			0,5			0,5			0,5			0,5			0,5	1	0,5	1	0,75	1			

\* Описание всех параметров приведено на стр. 26—32

## Диоды Шоттки серий 6TQ, 8TQ

Выпрямительные диоды Шоттки серий 6TQ, 8TQ имеют оптимальные значения обратного тока утечки при высоких температурах. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работа при температуре перехода до  $175^\circ\text{C}$ ;
- высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что обеспечивает механическую прочность и влагозащищенность;
- низкое значение прямого напряжения;
- возможность работы при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах TO-220 и D<sup>2</sup>PAK. В последнем случае в конце обозначения типа диода добавлена буква «S».

Параметр, ед. изм.	Обозн.	6TQ	8TQ
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	6	8
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	35...45	80...100
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5мкс	690	850
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,53	0,85
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...175	-55...175

Параметры, ед. изм.	Обозначение	Тип диода Шоттки					Примечание
		6TQ035	6TQ040	6TQ045	8TQ080	8TQ100	
Значения напряжений							
Макс. обратное напряжение, В	$V_R$	35	40	45	80	100	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	$V_{RWM}$						
Абсолютные максимальные значения							
Макс. значение среднего прямого тока, А	$I_{F(AV)}$	6			8		
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$	690			850		5 мкс
		140			230		10 мкс
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	$E_{AS}$	8			7,5		
Повторяющийся лавинный ток, А	$I_{AR}$	1,2			0,5		1 мкс
Электрические характеристики							
Макс. прямое падение напряжение, В	$V_{FM}$	0,6			0,72		$T_J=25^{\circ}C$
		0,73			0,88		
		0,53			0,58		$T_J=125^{\circ}C$
		0,64			0,69		
Макс. обратный ток утечки, мА	$I_{RM}$	0,8			0,55		$T_J=25^{\circ}C$
		7			7		$T_J=100^{\circ}C$
Макс. емкость перехода, пФ	$C_T$	400			500		$T_J=25^{\circ}C$
Последовательная индуктивность, нГн	$L_S$	8			8		
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000					
Термомеханические характеристики							
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	$R_{thJC}$	2,2			2		
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	$R_{thCS}$	0,5			0,5		

## Диоды Шоттки серии 10TQ, 12TQ, 15TQ, 18TQ, 19TQ

Выпрямительные диоды Шоттки серий 10TQ, 12TQ, 15TQ, 18TQ, 19TQ имеют низкие обратные токи утечки при высокой температуре. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до  $175^\circ\text{C}$ ;
- имеют низкие значения падения напряжения;
- высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что гарантирует механическую прочность и влагозащищенность;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах TO-220 и D<sup>2</sup>PAK. В последнем случае в конце обозначения типа диода добавлена буква «S».

Параметр, ед. изм.	Обозн.	10TQ ...	12TQ ...	15TQ060	18TQ ...	19TQ015
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	10	15	15	18	19
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	35...45	35...45	60	35...45	15
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	1050	990	1000	1800	700
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,49	0,5	0,56	0,53	0,32
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...175	-55...150	-55...150	-55...175	-55...125

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки											Примечание
		10TQ035	10TQ040	10TQ045	12TQ035	12TQ040	12TQ045	15TQ060	18TQ035	18TQ040	18TQ045	19TQ015	
Значения напряжений													
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	35	40	45	35	40	45	60	35	40	45	15	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>												
Абсолютные максимальные значения													
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	10			15			15	1			19	
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	1050			990			1000	6400			700	5 мкс
		280			250			260	750			330	10 мс
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	13			16			6	106			6,75	
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	2			2,4			1,5	16			1,5	
Электрические характеристики													
Макс. прямое падение напряжение, В	V <sub>FM</sub>	0,57			0,56			0,62	0,64			0,36	T <sub>J</sub> =25°C
		0,67			0,71			0,82	0,86			0,46	
		0,49			0,5			0,56	0,6			0,32	T <sub>J</sub> =75°C
		0,61			0,64			0,71	0,76			0,43	
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	2			1,75			0,8	5			10,5	T <sub>J</sub> =25°C
		15			70			1,45	200			522	T <sub>J</sub> =100°C
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	900			900			720	2600			2000	T <sub>J</sub> =25°C
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	8			8			8	8			8	
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000											
Термомеханические характеристики													
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	R <sub>thJC</sub>	2			2			3,25	1			1,5	
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	0,5			0,5			0,5	0,1			0,5	
Макс. тепловое сопротивление переход-среда, °C/Вт	R <sub>thJA</sub>	—			—			—	—			—	



## Диоды Шоттки серии 10BQ, 30BQ

Выпрямительные диоды Шоттки серии 10BQ и 30BQ предназначены для использования в изделиях, собираемых по технологии поверхностного монтажа. Они имеют малые значения падения напряжения и геометрические размеры. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 125^\circ\text{C}$ .

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до  $125^\circ\text{C}$ ;
- оптимизированы для OR-ING приложений;
- имеют сверхнизкие значения падения напряжения;
- высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что обеспечивает механическую прочность и влагозащищенность;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах типа SMB.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	10BQ ...	30BQ ...
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	1	3
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	15...100	15...100
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	140...780	650...2100
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,32...0,62	0,3...0,62
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...125/150/175	-55...125/150/175

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки								Примечание
		10BQ015	10BQ040	10BQ060	10BQ100	30BQ015	30BQ040	30BQ060	30BQ0100	
Значения напряжений										
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	15	40	60	100	15	40	60	100	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>	25				25				
Абсолютные максимальные значения										
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	1				3				
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	140	430	700	780	650	2000	1200	2100	5 мкс
		40	45	42	38	95	110	130	100	10 мкс
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	2	4	4	3	3	8	6	5	
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	0,2	0,6	0,4	0,2	0,5	1	0,6	0,3	
Электрические характеристики										
Макс. прямое падение напряжение, В	V <sub>FM</sub>	0,35	0,53	0,6	0,78	0,35	0,53	0,58	0,79	T <sub>J</sub> =25°C; 1 А
		0,44	0,7	0,76	0,89	0,4	0,68	0,76	0,9	T <sub>J</sub> =25°C; 2 А
		0,32	0,49	0,57	0,62	0,3	0,43	0,52	0,62	T <sub>J</sub> =125°C; 1 А
		0,4	0,64	0,69	0,72	0,35	0,57	0,66	0,70	T <sub>J</sub> =125°C; 2 А
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	0,5	0,1	0,1	0,5	4	0,5	0,5	0,5	T <sub>J</sub> =25°C
		12	4	5	1	50	30	20	5	T <sub>J</sub> =100°C
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	390	80	62	42	1120	230	180	115	
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	4	2	2	2	3	3	3	3	
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000								
Термомеханические характеристики										
Макс. тепловое сопротивление переход-вывод, °C/Вт	R <sub>thJL</sub>	36				12				
Макс. тепловое сопротивление переход-среда, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	80				46				

## Диоды Шоттки серии 10MQ, 15MQ, 153CMQ, 160CMQ, 401CMQ

Выпрямительные диоды Шоттки серии 10MQ, 15MQ, 153CMQ, 160CMQ, 401CMQ предназначены для использования в изделиях, собираемых по технологии поверхностного (10MQ, 15MQ) и навесного монтажа (153CMQ, 160CMQ, 401CMQ). Они имеют малые значения падения напряжения.

Диоды, за исключением диодов серии 15MQ, предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Общие особенности диодов:

- имеют низкие значения падения прямого напряжения;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды серии 15MQ предназначены для использования в малогабаритных маломощных устройствах: импульсных источниках питания, устройствах защиты цепей измерительных приборов, защиты схем от переплюсовки, в диодных развязках устройств с батарейным питанием и т. д.

Диоды выпускаются в корпусах типа SMA (10MQ, 15MQ), TO-249AA (160CMQ), TO-244AB (401CMQ).

Параметр, ед. изм.	Обозн.	10MQ040N	10MQ060N	10MQ100N	15MQ040N	153CMQ...	160CMQ...	401CMQ...
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	2,1	2,1	2,1	3	150	160	400
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	40	60	100	40	80...100	35...45	35...45
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	120	40	120	330	7000	6400	25000
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,56	0,63	0,68	0,43	0,8	0,6	0,56
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...150	-55...150	-55...150	-40...150	-55...175	-55...150	-55...175

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки											Примечание	
		10MQ040N	10MQ060N	10MQ100N	15MQ040N	153CMQ080	153CMQ100	160CMQ035	160CMQ040	160CMQ045	401CMQ035	401CMQ040		401CMQ045
Значения напряжений														
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	40	60	100	40	80	100	35	40	45	35	40	45	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>													
Абсолютные максимальные значения														
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	1,5	1,5	1,5	2,1	150		160		400				
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	120	40	120	330	7000		6400		25000			5 мкс	
		30	10	30	140	720		750		3450			10 мс	
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	4	4	3	8	15		106		270				
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	0,6	0,4	0,2	1	1		16		40				
Электрические характеристики														
Макс. прямое падение напряжения, В	V <sub>FM</sub>	0,54	0,63	0,78	0,42	0,96		0,64		0,67			T <sub>J</sub> =25°C	
		0,62	0,71	0,85	0,49	1,19		0,86		0,78				
		0,49	0,57	0,63	0,34	0,8		0,6		0,56			T <sub>J</sub> =125°C	
		0,56	0,63	0,68	0,43	0,99		0,76		0,68				
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	0,5	0,5	0,1	0,5	1,5		5		20			T <sub>J</sub> =25°C	
		26	7,5	1	20	20		200		180			T <sub>J</sub> =125°C	
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	38	31	38	134	1400		2600		10300			T <sub>J</sub> =25°C	
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	8	2	2	2	9,2		8		5				
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000												
Термомеханические характеристики														
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	R <sub>thJC</sub>	—	—	—	—	0,5		1		0,2				
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	—	—	—	—	0,1		0,1		0,1				
Макс. тепловое сопротивление переход-среда, °C/Вт	R <sub>thJA</sub>	80	80	80	80	—		—		0,5				

## Диоды Шоттки серии 11DQ, 21DQ, 31DQ

Выпрямительные диоды Шоттки серии 11DQ, 21DQ, 31DQ предназначены для использования в изделиях, собираемых по технологии навесного монтажа. Они имеют очень малые значения падения напряжения.

Диоды применяются в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Общие особенности диодов:

- имеют низкопрофильные корпуса с аксиальными выводами;
- имеют очень низкие значения падения прямого напряжения;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах типа DO-204AL (11DQ, 21DQ), C-16 (31DQ).

Параметр, ед. изм.	Обозн.	11DQ03 11DQ04	11DQ05 11DQ06	11DQ09 11DQ10	21DQ04	21DQ06	31DQ03 31DQ04	31DQ05 31DQ06	31DQ09 31DQ10
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	1,1			2		3,3		
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	30/40	50/60	90/100	40	60	30/40	50/60	90/100
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	225	150	85	—	—	450	340	210
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,55	0,53	0,53	0,5	0,55	0,57	0,62	0,85
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-40...150	-40...150	-40...150	-40...150	-40...150	-40...150	-40...150	-40...150

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки														Примечание	
		11DQ03	11DQ04	11DQ05	11DQ06	11DQ09	11DQ10	21DQ04	21DQ06	31DQ03	31DQ04	31DQ05	31DQ06	31DQ09	31DQ10		
Значения напряжений																	
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	30	40	50	60	90	100	40	60	30	40	50	60	90	100		
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>																
Абсолютные максимальные значения																	
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	1,1		1,1		1,1		2		2		3,3		3,3			
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	225		150		85		420		340		450		340		5 мкс	
		35		25		14		70		60		90		60		10 мс	
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	4		4		3		5		5		8		6		5	
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	1		0,4		0,2		0,7		0,5		1		0,4		0,2	
Электрические характеристики																	
Макс. прямое падение напряжения, В	V <sub>FM</sub>	0,55 (1А)		0,58 (1А)		0,85 (1А)		0,49 (2А)		0,53 (2А)		0,57 (3А)		0,62 (3А)		0,85 (3А)	T <sub>J</sub> =25°C
		0,71 (2А)		0,76 (2А)		0,96 (2А)		0,6 (4А)		0,67 (4А)		0,71 (6А)		0,78 (6А)		0,97 (6А)	
		0,5 (1А)		0,53 (1А)		0,68 (1А)		0,42 (2А)		0,49 (2А)		0,51 (3А)		0,54 (3А)		0,69 (3А)	T <sub>J</sub> =125°C
		0,61 (2А)		0,64 (2А)		0,78 (2А)		0,56 (4А)		0,61 (4А)		0,62 (6А)		0,65 (6А)		0,8 (6А)	
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	1		1		0,5		0,01		0,02		1		2		1	T <sub>J</sub> =25°C
		6		11		1		5,2		7		20		15		3	T <sub>J</sub> =125°C
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	60		55		35		130		120		190		160		110	T <sub>J</sub> =25°C
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	8		8		8		8		8		9		9		9	
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000															
Термомеханические характеристики																	
Макс. тепловое сопротивление переход-среда, °C/Вт	R <sub>thJA</sub>	100		100		100		100		100		80		80		80	



## Диоды Шоттки серии xxxNQ

Выпрямительные диоды Шоттки на большие токи серий 122NQ, 123NQ, 125NQ, 183NQ, 240NQ, 242NQ, 243NQ, 245NQ имеют очень низкие значения падения прямого напряжения.

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до 150 °С;
- имеют очень низкие значения падения прямого напряжения;
- конструкция корпуса обеспечивает более легкую по сравнению с диодами Шоттки в корпусах DO-5 установку;
- один диод заменяет два параллельно включенных диода в корпусах DO-5;
- обеспечены их высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что гарантирует механическую прочность и влагозащищенность;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах D-67 HALF PAK. Диоды, в обозначении которых есть буква «R», имеют обратную полярность.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	122NQ030	123NQ...	125NQ015	183NQ...	240NQ...	242NQ030	243NQ...	245NQ015
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	120	120	120	180	240	240	240	240
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	30	80...100	15	80...100	35...45	30	80...100	15
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	22500	16000	10800	22000	26000	27000	25500	20000
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,41	0,74	0,33	0,75	0,55	0,42	0,72	0,34
Диапазон рабочих температур, °С	$T_J$	-55...150	-55...175	-55...125	-55...175	-55...150	-55...150	-55...175	-55...125

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки																Примечание
		122NQ030	122NQ080	122NQ090	122NQ100	125NQ015	183NQ080	183NQ090	183NQ100	240NQ035	240NQ040	240NQ045	242NQ030	243NQ080	243NQ090	243NQ100	245NQ015	
Значения напряжений																		
Макс. обратное напряжение, В	$V_R$	30	80	90	100	15	80	90	100	35	40	45	30	80	90	100	15	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	$V_{RWM}$					25											25	
Абсолютные максимальные значения																		
Макс. значение среднего прямого тока, А	$I_{F(AV)}$	120	120			120	180			240	240		240				240	
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$	22500	16000			10800	22000			26000	27000		25500				20000	5 мкс
		2400	2100			1700	1550			3400	3000		3300				3000	60Гц
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	$E_{AS}$	54	15			9	15			324	216		15				9	
Повторяющийся лавинный ток, А	$I_{AR}$	12	1			2	1			48	48		1				2	1 мкс
Электрические характеристики																		
Макс. прямое падение напряжение, В	$V_{FM}$	0,49	0,91			0,39	0,95			0,61	0,51		0,86				0,4	$T_J=25^{\circ}C$
		0,59	1,08			0,52	1,14			0,81	0,62		1,01				0,51	
		0,41	0,74			0,33	0,75			0,55	0,42		0,72				0,34	$T_J=125^{\circ}C$
		0,54	0,88			0,45	0,89			0,74	0,54		0,86				0,44	
Макс. обратный ток утечки, мА	$I_{RM}$	10	3			40	4,5			20	20		6				80	$T_J=25^{\circ}C$
		560	40			2000	60			800	1120		80				4000	$T_J=100^{\circ}C$
Макс. емкость перехода, пФ	$C_T$	7400	2650			7700	4150			10300	14800		5500				15800	$T_J=25^{\circ}C$
Последовательная индуктивность, нГн	$L_S$	7	7			7	6			5	5		5				5	
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	$dv/dt$	10000																
Термомеханические характеристики																		
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	$R_{thJC}$	0,4	0,4			0,4	0,3			0,2	0,2		0,2				0,2	
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	$R_{thCS}$	0,15	0,15			0,15	0,15			0,15	15		0,15				15	

## Диоды Шоттки серии 30WQ, 50WQ, 50HQ, 60HQ, 20CJQ

Выпрямительные диоды Шоттки серий 20CJQ (сдвоенные), 30WQ, 50WQ предназначены для использования в изделиях, собираемых по технологии поверхностного монтажа. Диоды серий 50HQ, 60HQ предназначены для установки на резьбовом соединении. Они имеют малые значения падения напряжения и тока утечки. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 125^\circ\text{C}$ .

Диоды применяются в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- имеют низкие значения падения прямого напряжения;
- диоды серий 50HQ, 60HQ выполнены в герметичных корпусах;
- высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что обеспечивает механическую прочность и влагозащищенность;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды серий 30WQ, 50WQ выпускаются в корпусах D-Pak, серий 50HQ, 60HQ — в корпусах DO-203AB (DO-5) и серии 175BGQ — в корпусах PowIRtab™.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	20CJQ100	30WQ04FN	50WQ03FN	50HQ...	60HQ...
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	2	3,5	5,5	60	60
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	100	40	30	35...45	80...100
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	380	500	320	10800	8400
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,67	0,49	0,35	0,53	0,7
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...175	-40...150	-40...150	-65...150	-65...175

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Типы диода Шоттки								Примечание
		30WQ04FN	50WQ03FN	50HQ035	50HQ040	50HQ045	60HQ080	60HQ100	175BGQ045	
Значения напряжений										
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	40	30	35	40	45	80	100	45	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>									
Абсолютные максимальные значения										
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	3,5	5,5	60			60	175		
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	500	320	10800			8400	8700	5 мкс	
		80	130	1150			1200	1550	10 мкс	
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	8	10	81			15	40		
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	1	2	12			1	6		
Электрические характеристики										
Макс. прямое падение напряжение, В	V <sub>FM</sub>	0,53(3A)	0,46(5A)	0,6 (60A)			0,89 (60A)	0,56	T <sub>J</sub> =25°C	
		0,67(6A)	0,53 (10A)	0,78 (120A)			1,09 (120A)	0,69		
		0,49(3A)	0,35(5A)	0,53 (60A)			0,7 (60A)	0,52	T <sub>J</sub> =125°C	
		0,62(6A)	0,46 (10A)	0,69 (120A)			0,84 (120A)	0,64		
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	2	3	5			1,5	2	T <sub>J</sub> =25°C	
		24	58	200			20	640	T <sub>J</sub> =100°C	
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	189	590	2600			1400	5600		
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	5	5	7,5			7,5	3,5		
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000								
Термомеханические характеристики										
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	R <sub>thJC</sub>	4,7	3	0,83			0,83	0,25		
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	—	—	0,25			0,25	0,2		
Макс. тепловое сопротивление переход-среда, °C/Вт	R <sub>thJA</sub>	—	—	—	—	—	—	—		

## Диоды Шоттки серий ххСРQ

Сдвоенные выпрямительные диоды Шоттки серий 30СРQ, 40СРQ, 52СРQ, 63СРQ, 72СРQ, 80СРQ имеют низкие обратные токи утечки при высокой температуре.

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до 150 °С;
- имеют низкие значения падения напряжения;
- обеспечены их высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что гарантирует механическую прочность и влагозащищенность;
- корпуса имеют вывод средней точки;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах ТО-247АС.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	30СРQ035 30СРQ040 30СРQ045	30СРQ050 30СРQ060	30СРQ080 30СРQ100	30СРQ150	40СРQ035 40СРQ040 40СРQ045	40СРQ080 40СРQ100	52СРQ030	63СРQ100	72СРQ030	80СРQ020
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$ , А	30	30	30	30	40	40	50	60	70	80
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$ , В	35/40/45	50/60	80/100	150	35/40/45	80/100	30	100	30	20
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс, А	1020	1020	920	1000	3500	2950	2180	2200	2180	2200
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$ , В	0,5	0,56	0,67	0,78	0,43	0,61	0,38	0,64	0,43	0,32
Диапазон рабочих температур, °С	$T_J$ , °С	-55...150	-55...150	-55...175	-55...175	-55...150	-55...175	-55...150	-55...175	-55...150	-55...150

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки																Примечание	
		30СРQ035	30СРQ040	30СРQ045	30СРQ050	30СРQ060	30СРQ080	30СРQ100	30СРQ150	40СРQ035	40СРQ040	40СРQ045	40СРQ080	40СРQ100	52СРQ030	63СРQ100	72СРQ030		80СРQ020
Значения напряжений																			
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	35	40	45	50	60	80	100	150	35	40	45	80	100	30	100	30	20	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>																		
Абсолютные максимальные значения																			
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	30			30		30	30	40		40		50	60	70	40			
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	1020			1020		920	1000	3500		2950		2180	2200	2180	2200		5 мкс	
		265			265		240	340	430		300		600	410	600	500		10 мкс	
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	20			13		7,5	11,25	27		11,25		27	15	27	27			
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	3			1,5		0,5	0,5	4		0,75		6	1	6	6			
Электрические характеристики																			
Макс. прямое падение напряжения, В	V <sub>FM</sub>	0,54			0,6		0,86	1	0,49		0,77		0,48	0,77	0,51	0,46		T <sub>J</sub> =25°C	
		0,68			0,8		1,05	1,19	0,59		0,91		0,55	0,92	0,61	0,55			
		0,5			0,56		0,67	0,78	0,43		0,61		0,38	0,64	0,43	0,36		T <sub>J</sub> =125°C	
		0,64			0,7		0,81	0,93	0,56		0,75		0,49	0,76	0,58	0,46			
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	1,75			0,8		0,55	0,1	4		1,25		1,9	0,3	1,9	5,5		T <sub>J</sub> =25°C	
		70			45		7	15	150		15		450	25	450	1100			
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	900			720		500	340	1850		600		4600	1300	4600	6500			
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	7,5			7,5		7,5	7,5	7,5		7,5		7,5	7,5	7,5	7,5			
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000																	
Термомеханические характеристики																			
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °С/Вт	R <sub>thJC</sub>	1,1			1,1		1,1	1,1	0,63		0,63		0,4	0,4	0,4	0,3			
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °С/Вт	R <sub>thCS</sub>	0,24			0,24		0,24	0,24	0,24		0,24		0,24	0,25	0,25	0,25	0,25		



## Диоды Шоттки серий 30 BQG, 100BQG, 175BQG

Выпрямительные диоды Шоттки серии 30BQ предназначены для использования в изделиях, собираемых по технологии поверхностного монтажа, диоды серии 100BQG — в мощных AC/DC преобразователях напряжения. Они имеют малые значения падения напряжения и геометрические размеры. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 125^\circ\text{C}$ . Диоды серии 175BQG предназначены для работы в мощных AC/DC преобразователях напряжения.

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до  $125^\circ\text{C}$  (30BQ) и  $150^\circ\text{C}$  (100BQG);
- имеют сверхнизкие значения падения прямого напряжения;
- диоды серии 30BQ оптимизированы для применения в OR-ING приложениях;
- высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что обеспечивает механическую прочность и влагозащищенность;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды серии 30BQ выпускаются в корпусах типа SMC, серии 100BQG — в корпусах PowiRtab™.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	30BQ015	30BQ040	30BQ100	175BQG045(J)
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	3	3	3	175
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	15	40	100	45
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	650	2000	2100	8700
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,3	0,43	0,62	0,61
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...125	-55...150	-55...175	-55...150

Параметры, ед. изм.	Обозначение	Тип диода Шоттки					Примечание
		30BQ015	30BQ040	30BQ100	100BGQ045	175BGQ045	
Значения напряжений							
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	15	40	100	45	45	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>	25					
Абсолютные максимальные значения							
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	3			100	175	
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	650	2000	2100	4400	8700	5 мкс
		95	110	100	830	1550	10 мкс
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	E <sub>AS</sub>	3	8	5	40	40	
Повторяющийся лавинный ток, А	I <sub>AR</sub>	0,5	1	0,3	6	6	
Электрические характеристики							
Макс. прямое падение напряжение, В	V <sub>FM</sub>	0,35	0,53	0,79	0,52	0,56	T <sub>J</sub> =25°C
		0,4	0,68	0,9	0,67	0,69	
		0,3	0,43	0,62	0,47	0,52	T <sub>J</sub> =75°C
		0,35	0,57	0,7	0,63	0,64	
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	4	0,5	0,5	0,3	2	T <sub>J</sub> =25°C
		50	30	5	180	640	T <sub>J</sub> =100°C (150°C для 100BGQ045)
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	1120	230	115	2700	5600	
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	3	3	3	3,5	3,5	
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000					
Термомеханические характеристики							
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	R <sub>thJC</sub>	—	—	—	0,5	0,25	
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	—	—	—	0,2	0,2	
Макс. тепловое сопротивление переход-среда, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	46			—	—	

## Диоды Шоттки серий 50SQ, 80SQ, 90SQ

Выпрямительные диоды Шоттки с аксиальными выводами серий 50SQ, 80SQ, 90SQ имеют низкие обратные токи утечки при высокой температуре. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до  $175^\circ\text{C}$ ;
- имеют низкие значения падения напряжения;
- обеспечены их высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что гарантирует механическую прочность и влагозащищенность;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах DO-204AR.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	50SQ060 50SQ080 50SQ100	80SQ035 80SQ040 80SQ045	90SQ035 90SQ040 90SQ045
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	5	8	9
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	60/80/100	35/40/45	35/40/45
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	1900	2400	2150
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,52	0,44	0,42
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-55...175	-55...175	-55...150

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки									Примечание
		50SQ060	50SQ080	50SQ100	80SQ035	80SQ040	80SQ045	90SQ035	90SQ040	90SQ045	
Значения напряжений											
Макс. обратное напряжение, В	$V_R$	60	80	100	35	40	45	35	40	45	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	$V_{RWM}$										
Абсолютные максимальные значения											
Макс. значение среднего прямого тока, А	$I_{F(AV)}$	5			8			9			
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$	1900			2400			2150			5 мкс
		290			380			340			10 мкс
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	$E_{AS}$	7,5			10			12			
Повторяющийся лавинный ток, А	$I_{AR}$	1			1,6			1,8			
Электрические характеристики											
Макс. прямое падение напряжение, В	$V_{FM}$	0,66			0,53			0,48			$T_J=25^{\circ}\text{C}$
		0,77			0,6			0,57			
		0,52			0,44			0,42			$T_J=125^{\circ}\text{C}$
		0,72			0,55			0,52			
Макс. обратный ток утечки, мА	$I_{RM}$	0,55			2			1,75			$T_J=25^{\circ}\text{C}$
		7			15			70			
Макс. емкость перехода, пФ	$C_T$	500			900			900			
Последовательная индуктивность, нГн	$L_S$	10			10			10			
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	$dv/dt$	10000									
Термомеханические характеристики											
Макс. тепловое сопротивление переход-вывод, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	$R_{thJL}$	8			8			8			
Типовое тепловое сопротивление переход-воздух, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	$R_{thCS}$	44			44			44			

## Диоды Шоттки серий xxxCNQ

Сдвоенные выпрямительные диоды Шоттки серий 83CNQ, 200CNQ, 220CNQ, 400CNQ, 401CNQ, 403CNQ, 440CNQ имеют низкие значения тока утечки при высокой рабочей температуре.

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки, в источниках бесперебойного питания при больших токах нагрузки (кроме диодов серии 83CNQ). Их особенности:

- работают при температуре перехода до 150 °C (83CNQ — до 175 °C);
- имеют низкие значения падения прямого напряжения;
- обеспечены их высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что гарантирует механическую прочность и влагозащищенность;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды серии 83CNQ выпускаются в корпусах D61-8 (с буквой «А» в конце обозначения), D61-8-SM (с буквами «ASM» в конце обозначения), D61-8-SL (с буквами «ASL» в конце обозначения), диоды других серий — в корпусах TO-244AB.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	80CNQ	82CNQ	83CNQ	85CNQ	87CNQ	160CNQ	161CNQ
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	80	80	80	80	400	160	160
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	35...45	30	80...100	15	35...45	35...45	35...45
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5мкс	5800	5100	7000	5200	25000	6400	11500
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,47	0,37	0,67	0,32	0,56	0,6	0,63
Диапазон рабочих температур, °C	$T_J$	-55...150	-55...150	-40...175	-55...100	-55...175	-55...150	-55...175

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки														Примечание
		80CNQ035A	80CNQ040A	80CNQ045A	82CNQ030A	82CNQ080A	82CNQ100A	85CNQ015A	87CNQ020A	160CNQ035	160CNQ040	160CNQ045	161CNQ035	161CNQ040	161CNQ045	
Значения напряжений																
Макс. обратное напряжение, В	$V_R$	35	40	45	30	80	100	15	20	35	40	45	35	40	45	
Макс. пиковое обратное напряжение, В	$V_{RWM}$							25								
Абсолютные максимальные значения																
Макс. значение среднего прямого тока, А	$I_{F(AV)}$	40		80	80	80	80	80		80		80				
Макс. пиковое значение тока пробоя для одиночного неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$	5800		5100	7000	5200	6000	6400		11500		5мкс				
		—		880	720	850	1100	750		900		10мс				
Неповторяющаяся энергия лавинного пробоя, мДж	$E_{AS}$	54		36	15	9	36	108		108						
Повторяющийся лавинный ток, А	$I_{AR}$	8		8	1	2	8	16		16						
Электрические характеристики																
Макс. прямое падение напряжения, В	$V_{FM}$	0,52		0,47	0,81	0,36	0,45	0,64		0,71		$T_J=25^{\circ}\text{C}$				
		0,66		0,55	1	0,45	0,51	0,86		0,88						
		0,47		0,37	0,67	0,32	0,32	0,6		0,63		$T_J=125^{\circ}\text{C}$				
		0,61		0,47	0,82	0,42	0,39	0,76		0,79						
Макс. обратный ток утечки, мА	$I_{RM}$	5		5	1,5	20	5,5	5		5		$T_J=25^{\circ}\text{C}$				
		250		280	35	1000	550	200		45		$T_J=125^{\circ}\text{C}$				
Макс. емкость перехода, пФ	$C_T$	2600		3700	1400	3600	6500	2600		2600		$T_J=25^{\circ}\text{C}$				
Последовательная индуктивность, нГн	$L_S$	5,5		5,5	5,5	5,5	5,5	8		8						
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	$dv/dt$	10000														
Термомеханические характеристики																
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	$R_{thJC}$	0,42		0,42	0,42	0,42	0,42	0,35		0,35						
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	$R_{thCS}$	0,3		0,3	0,3	0,3	0,3	0,1		0,1						
Макс. тепловое сопротивление переход-среда, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	$R_{thJA}$	—		—	—	—	—	—		—						



## Диоды Шоттки серий MBR1635/MBR1645, MBR2535/MBR2545, MBR6045, MBR20

Выпрямительные диоды Шоттки серий MBR1635/MBR1645, MBR20, MBR2545, MBR6045 имеют низкие обратные токи утечки при высокой температуре. Технология формирования барьера относится к технологическому классу по  $T_J = 150^\circ\text{C}$ .

Диоды предназначены для применения в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения, цепях защиты аккумуляторных батарей от переплюсовки. Их особенности:

- работают при температуре перехода до  $150^\circ\text{C}$ ;
- имеют низкие значения падения напряжения;
- обеспечены их высокое качество изготовления с применением термостойкой эпоксидной заливки, что гарантирует механическую прочность и влагонепроницаемость;
- корпуса диодов серий MBR20, MBR2545, MBR6045 имеют вывод средней точки;
- работают при высоких частотах импульсного напряжения;
- наличие защитного кольца для работы в жестких условиях эксплуатации и обеспечения длительного срока службы.

Диоды выпускаются в корпусах TO-220AC, D<sup>2</sup>PAK и TO-262. Диоды в корпусе D<sup>2</sup>PAK в обозначении имеют дополнительную букву «В» (например, MBR1635 — в корпусе TO-220AC), а в корпусе TO-262 — «-1» на конце. Например, MBR2545CT-1.

Параметр, ед. изм.	Обозн.	MBR1635 MBR1645	MBR20...CT MBRB20...CT MBR20...CT-1	MBR2535CT MBR2545CT-1	MBR6045WT
Сила среднего прямого импульсного тока, А	$I_{F(AV)}$	16	20	30	60
Макс. обратное напряжение, В	$V_{RRM}$	35/45	20	35/45	45
Макс. пиковый ток неповторяющегося импульса, А	$I_{FSM}$ при длит. периода 5 мкс	1800	80/90/100	1060	2900
Прямое напряжение, В	$V_F$ при пиковом токе 6 А и $T_J=125^\circ\text{C}$	0,57	0,7	0,73	0,55
Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$T_J$	-65...150	-65...150	-65...150	-55...150

Параметры, ед. изм.	Обозн.	Тип диода Шоттки								Примечание	
		MBR1635	MBR1645	MBR2080CT MBR2080CT-1	MBR2090CT MBR2090CT-1	MBR20100CT MBR20100CT-1	MBR2535CT MBR2535CT-1	MBR2545CT MBR2545CT-1	MBR6045WT		
Значения напряжений											
Макс. обратное напряжение, В	V <sub>R</sub>	35	45	80	90	100	35	45	45		
Макс. пиковое обратное напряжение, В	V <sub>RWM</sub>										
Абсолютные максимальные значения											
Макс. значение среднего прямого тока, А	I <sub>F(AV)</sub>	16	20		30		60				
Макс. пиковое значение тока для одиночного неповторяющегося импульса, А	I <sub>FSM</sub>	1800	850		1060		2900		5 мкс		
		150	150		150		360		60 Гц		
Пик. повторяющийся обр. ток пробоя, А	I <sub>RRM</sub>	1	0,5		1		6		2 мкс 1 кГц		
Электрические характеристики											
Макс. прямое падение напряжение, В	V <sub>FM</sub>	0,63	0,8		0,82		0,65		T <sub>J</sub> =25°C		
		—	0,95		—		0,75				
		0,57	0,7		0,73		0,55		T <sub>J</sub> =125°C		
		—	0,85		—		—				
Макс. обратный ток утечки, мА	I <sub>RM</sub>	0,2	0,1		0,2		1		T <sub>J</sub> =25°C		
		40	6		40		150		T <sub>J</sub> =100°C		
Макс. емкость перехода, пФ	C <sub>T</sub>	1400	400		700		1400		T <sub>J</sub> =25°C		
Последовательная индуктивность, нГн	L <sub>S</sub>	8	8		8		7,5				
Макс. скорость изменения напряжения, В/мкс	dv/dt	10000									
Термомеханические характеристики											
Макс. тепловое сопротивление переход-корпус, °C/Вт	R <sub>thJC</sub>	1,5	2		1,5		1				
Макс. тепловое сопротивление корпус-теплоотвод, °C/Вт	R <sub>thCS</sub>	0,5	0,5		0,5		0,5				

# Особенности применения и правильного выбора диодов Шоттки

## Преимущества диодов Шоттки

В общем объеме выпускаемых выпрямительных диодов диоды Шоттки составляют лишь небольшую часть (рис. 1). Однако именно они наиболее предпочтительны при использовании в низковольтных импульсных источниках питания, выходное напряжение которых достигает нескольких десятков вольт при высокой частоте преобразования. По этой причине доля диодов Шоттки по применяемости в выпрямителях значительна (рис. 2).

Диоды Шоттки обладают уникальными электрическими характеристиками, выгодно отличающими их от обычных выпрямительных диодов:

- более низкими значениями прямого напряжения;
- более низкими значениями обратного напряжения;
- более высокими значениями тока утечки;
- фактическим отсутствием заряда обратного восстановления.

Две основные характеристики — низкое значение прямого напряжения и фактическое отсутствие неосновных носителей заряда обратного восстановления — дают диодам Шоттки преимущество над обычными выпрямительными диодами при их использовании в низковольтных импульсных источниках питания.

Фактическое отсутствие неосновных носителей при обратном восстановлении означает отсутствие коммутационных потерь в самом диоде Шоттки. Соответственно, переходные процессы при коммутации напряжения и возникающие при этом электромагнитные колебания имеют меньший уровень для диодов Шоттки, чем для обычных диодов с  $p-n$  переходом. Поэтому для диодов Шоттки характерны меньшее паразитное рассеяние мощности и меньшие значения электромагнитных помех.

Низкое прямое напряжение на диоде Шоттки означает более низкие потери при выпрямлении, более высокую эффектив-

ность и меньший нагрев, зависящий от обратного напряжения, максимальная величина которого для диодов Шоттки в настоящее время составляет около 150 В. При таком значении обратного напряжения величина прямого напряжения у них на 150...250 мВ меньше, чем у диодов с быстрым восстановлением с эпитаксиальным  $p-n$  переходом. При более низких напряжениях разница прямого напряжения на диодах Шоттки становится еще более заметной, что подчеркивает их преимущество.

Например, для диода Шоттки с обратным напряжением, равным 45 В, прямое напряжение составляет 0,4...0,6 В против 0,85...1,0 В для диода с быстрым восстановлением с эпитаксиальным  $p-n$  переходом. А для диода Шоттки с обратным напряжением 15 В значение прямого напряжения составляет 0,3...0,4 В.

На обычном эпитаксиальном диоде с быстрым восстановлением при прямом напряжении 0,9 В рассеивается примерно 18 % выходной мощности 5-вольтового источника питания. В тоже время применение диода Шоттки позволяет снизить эти потери до уровня 8...12 %.

Именно по такой простой причине диоды Шоттки предпочтительнее остальных для использования их в импульсных источниках питания, работающих на высоких частотах преобразования.

## Номенклатура диодов Шоттки

Для полного представления о номенклатуре выпускаемых изделий, имеет смысл рассмотреть особенности технологии их производства (рис. 3):

- тип производственного процесса, при котором выпускаются линейки диодов Шоттки с заданными характеристиками;
- размер используемого для производства кристалла, определяющий значение рабочего тока;
- тип корпуса диода, определяющий его конкретное место в выпускаемом электронном изделии.

## Производственные процессы при изготовлении диодов Шоттки

International Rectifier предлагает диоды Шоттки, выпущенные с использованием различных технологических процессов, каждый из которых обеспечивает различный набор характеристик конечного продукта.

Четырьмя наиболее важными характеристиками диодов Шоттки являются:

- 1) прямое напряжение;
- 2) обратный ток утечки;
- 3) обратное напряжение;
- 4) максимально допустимая температура перехода.

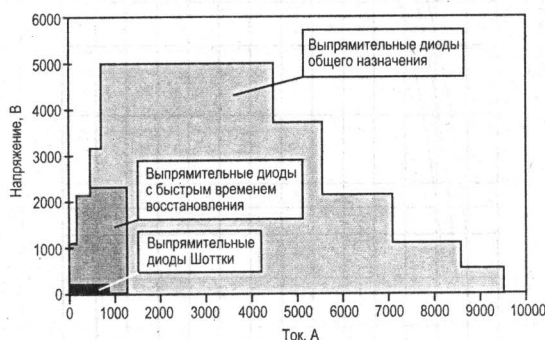


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Основными отличительными признаками каждого процесса являются его класс по максимально допустимой температуре перехода или  $T_{Jmax}$  Class и класс по «первичному» номинальному напряжению<sup>1</sup> (класс по обратному напряжению или  $V_{RRM}$  Class). Эти два основных отличительных признака определяются технологическим процессом, и они определяют значения прямого напряжения и обратного тока утечки.

В табл. 1 представлен перечень основных процессов производства диодов Шоттки компании IR.

### Зависимость прямого напряжения от класса по обратному напряжению

Для любой заданной плотности тока прямое напряжение диода Шоттки будет тем выше, чем выше  $V_{RRM}$  Class. Ранее было отмечено, что значение прямого напряжения также увеличивается при увеличении значения рабочего тока.

На рис. 4, 5 показана зависимость прямого напряжения от класса по обратному напряжению при различных значениях рабочего тока для классов по максимально допустимой температуре перехода 150 и 175 °C соответственно.

В основном при увеличении класса по обратному напряжению прямое напряжение возрастает, хотя тоже зависит от рабочего тока и температуры перехода.

На рис. 6 показана зависимость прямого напряжения от плотности прямого тока и класса по максимально допустимой температуре перехода при заданном классе по обратному напряжению (45 В) и температуре перехода 125 °C.

При плотности прямого тока менее 800 А/см<sup>2</sup> прямое напряжение возрастает при возрастании класса по максимально допустимой температуре перехода. При плотности тока равной 800 А/см<sup>2</sup> прямое напряжение для всех классов принимает практически одинаковое значение. А если она превышает 800 А/см<sup>2</sup>, характеристики пересекаются. В большинстве приложений рабочие значения плотности тока будут расположены на графике ниже точки пересечения. Их типовые значения — от 400 до 600 А/см<sup>2</sup>. Исключением являются обратноходовые преобразователи, поскольку они работают при значительном превышении пиковой величины среднего тока диода.

### Соотношения между прямым напряжением, рабочим значением тока и температурой перехода

Типовые соотношения между прямым напряжением, током и рабочей температурой при значении обратного напряжения 45 В

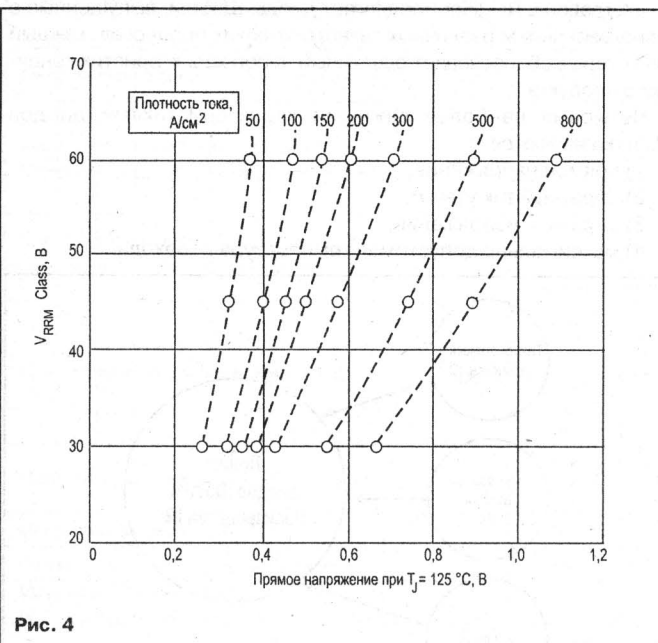


Рис. 4

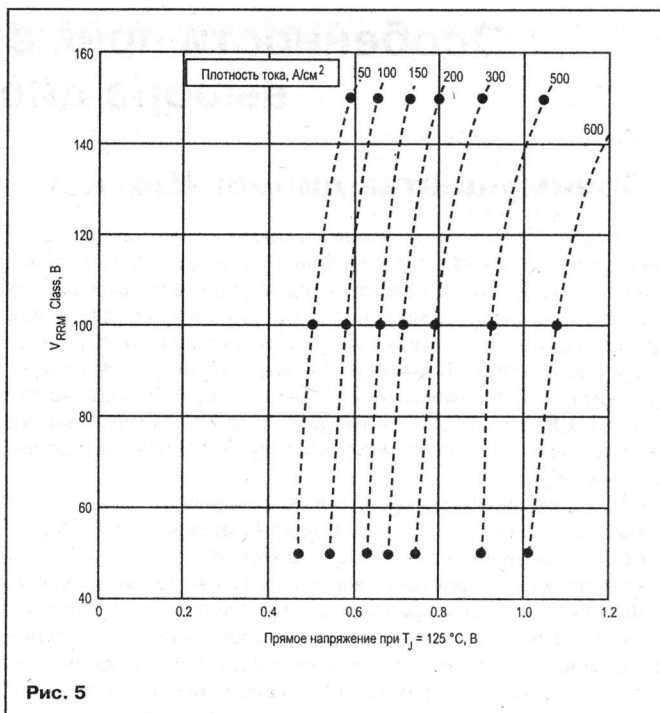


Рис. 5

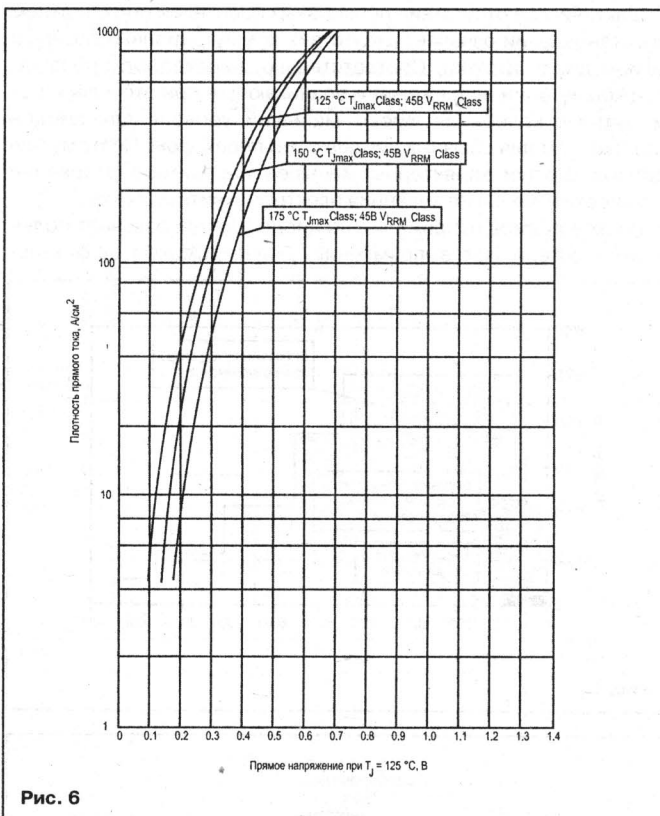


Рис. 6

Таблица 1

$T_{Jmax}$ Class	$V_{RRM}$ Class
100	15
125	45
150	30
150	45
150	60
175	45
175	100
175	150

<sup>1</sup> «Первичное» номинальное напряжение — это наиболее высокое значение обратного напряжения для диодов Шоттки, изготовленных по этому процессу. При этом же процессе допустимы и другие, более низкие значения обратного напряжения, но остальные электрические характеристики остаются неизменными.



для классов по максимально допустимой температуре перехода 150 и 175 °C проиллюстрированы рис. 7 и 8 соответственно. Прямое напряжение тем выше, чем выше температура перехода. Причина этого — ухудшение прямой проводимости при росте температуры перехода.

### Влияние технологических процессов на величину тока утечки

На рис. 9 показаны типовые зависимости между обратным током утечки и приложенным обратным напряжением для каждого из технологических процессов компании IR при различных значениях рабочей температуры перехода. Графики наглядно демонстрируют зависимость тока утечки от класса по максимально допустимой температуре перехода и от класса по обратному напряжению.

Для заданного  $T_{Jmax}$  Class ток утечки возрастает при определенных значениях обратного напряжения  $V_{RRM}$  и температуры перехода  $T_{Jmax}$  и увеличении класса по обратному напряжению (точка А на рис. 9, в для  $T_{Jmax}$  Class 150 °C и точка В на рис. 9, г для  $T_{Jmax}$  Class 175 °C). При любых заданных значениях рабочей температуры и приложенного напряжения более высокому классу по максимально допустимой температуре перехода соответствует более высокое значение тока утечки. Это проиллюстрировано на рис. 9. Кроме того, в пределах любого заданного  $T_{Jmax}$  Class более высокому классу по обратному напряжению соответствуют меньшие значения тока утечки.

Следует отметить, что шкала значений тока утечки, изображенная на рис. 9, логарифмическая. Таким образом, при заданных значениях приложенного напряжения и температуры перехода, значения тока утечки для классов 175 °C и 150 °C по максимальной температуре перехода различаются почти на порядок. При температуре перехода 100 °C и приложенном

напряжении 15 В ток утечки уже почти на два порядка ниже его же значения при температуре перехода 150 °C и приложенном напряжении 30 В.

### Соотношения между током утечки, обратным напряжением и температурой перехода

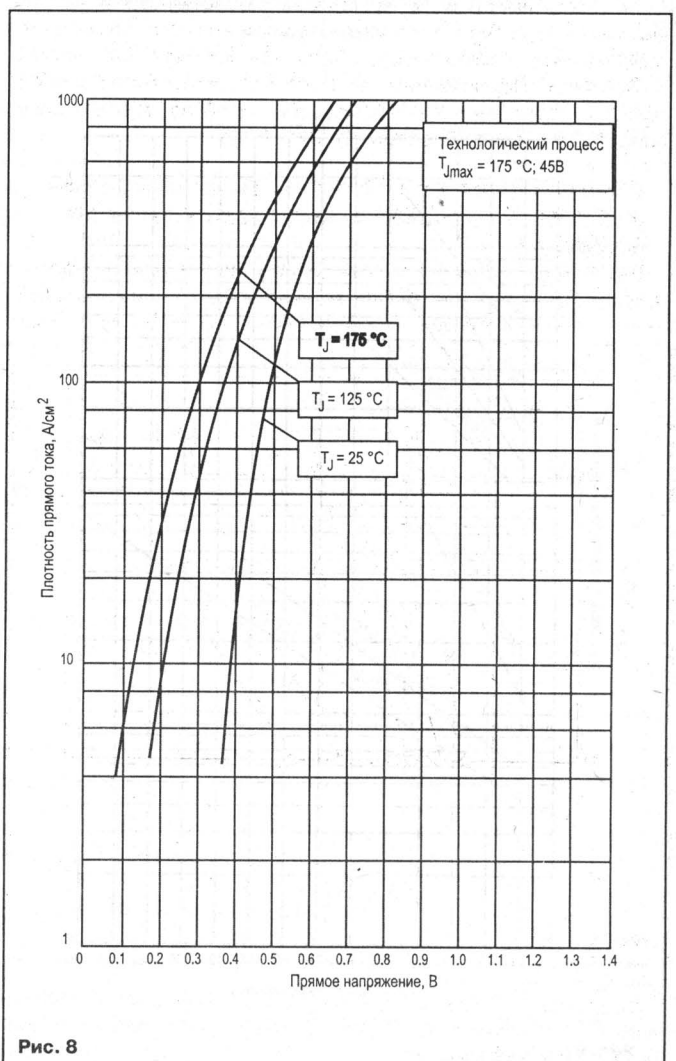
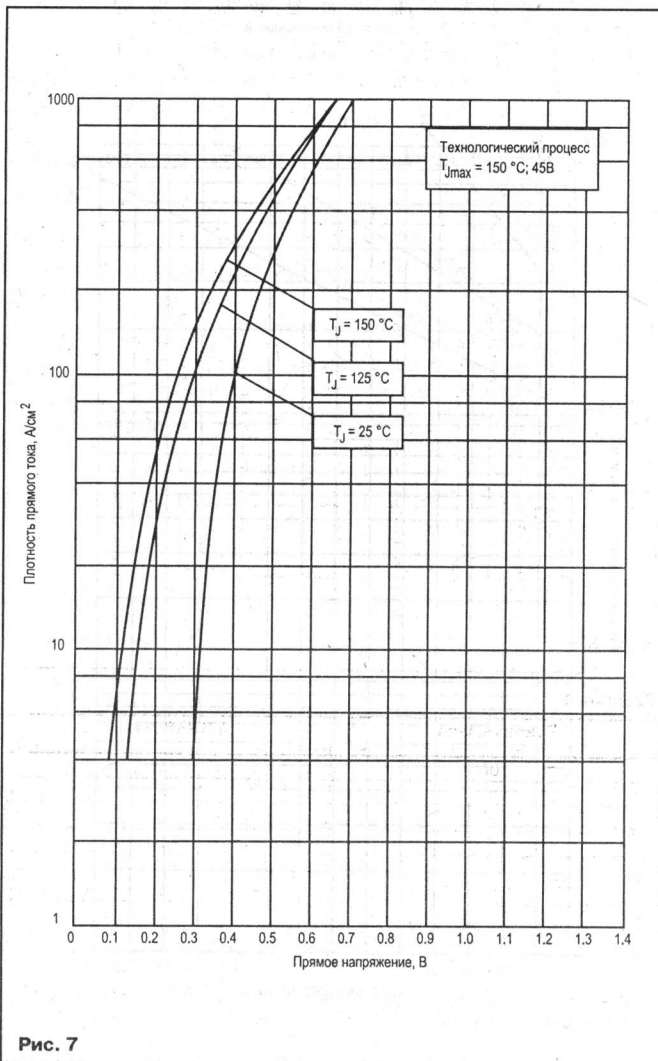
Рис. 9, а также отображает зависимость тока утечки от рабочего напряжения и температуры перехода при определенном производственном процессе. Обратный ток утечки увеличивается с ростом обратного напряжения и температуры перехода. Зависимость тока утечки от напряжения при неизменном значении температуры перехода можно охарактеризовать как пропорциональную до тех пор, пока величина приложенного напряжения не достигнет области лавинного пробоя. Зависимость тока утечки от температуры при неизменном приложенном напряжении, с другой стороны, можно охарактеризовать как экспоненциальную.

На рис. 10 показана типовая зависимость тока утечки от рабочей температуры при заданном значении обратного напряжения  $V_{RRM}$  для производственных процессов классов 150 °C/45 В и 175 °C/45 В.

### Емкость перехода

Важной схмотехнической характеристикой диода Шоттки является его емкость перехода. Она зависит от площади кристалла и толщины барьера Шоттки и от приложенного к нему напряжения.

Чем выше класс производственного процесса по обратному напряжению, тем меньше емкость перехода (рис. 11). Емкость перехода не зависит ни от класса производственного процесса по максимально допустимой температуре перехода, ни от рабочей температуры.



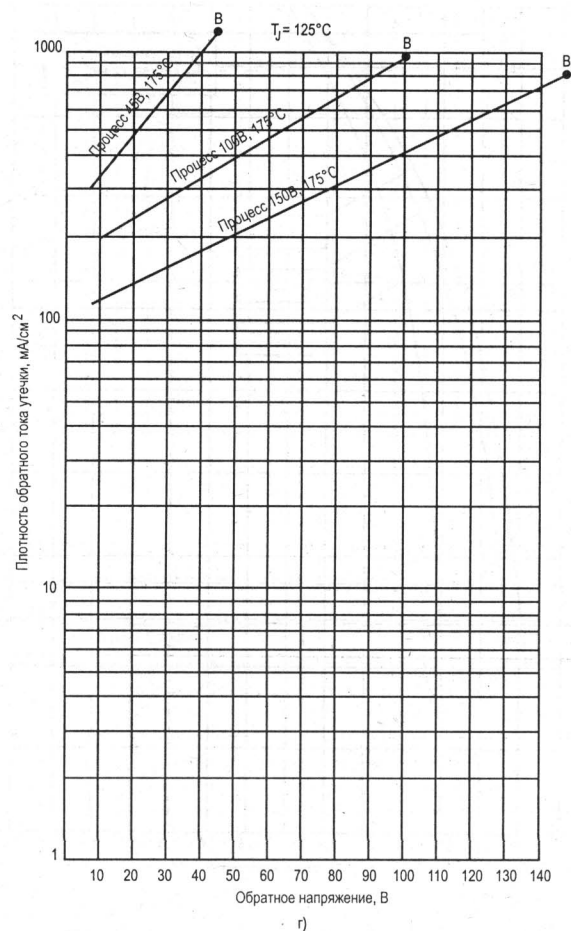
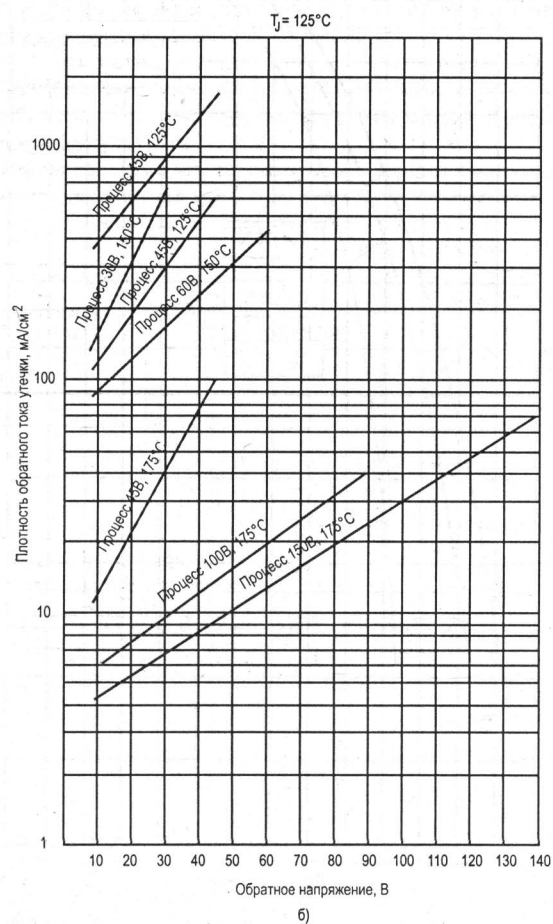
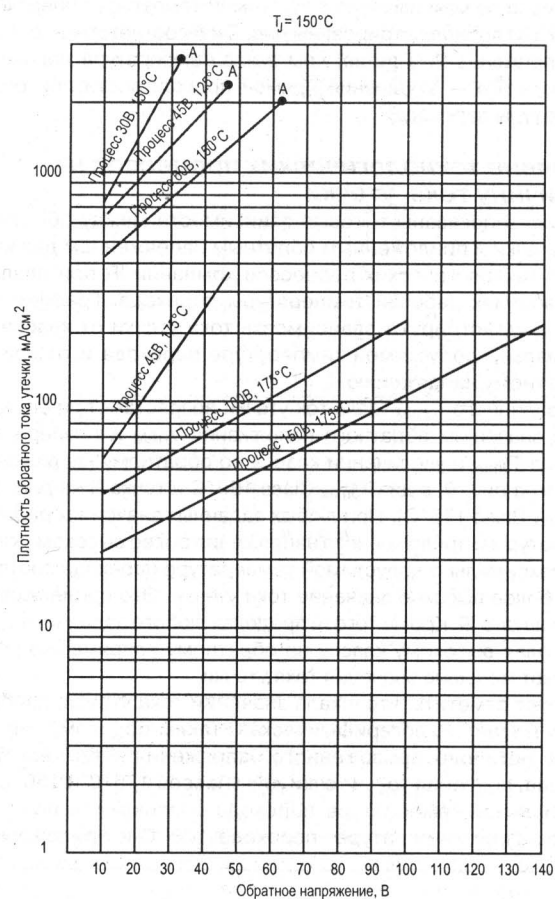
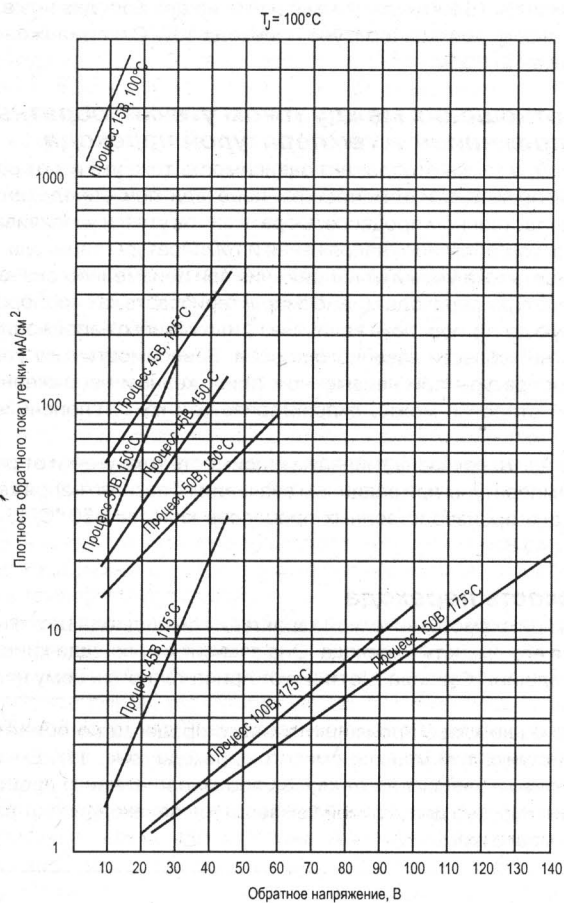


Рис. 9

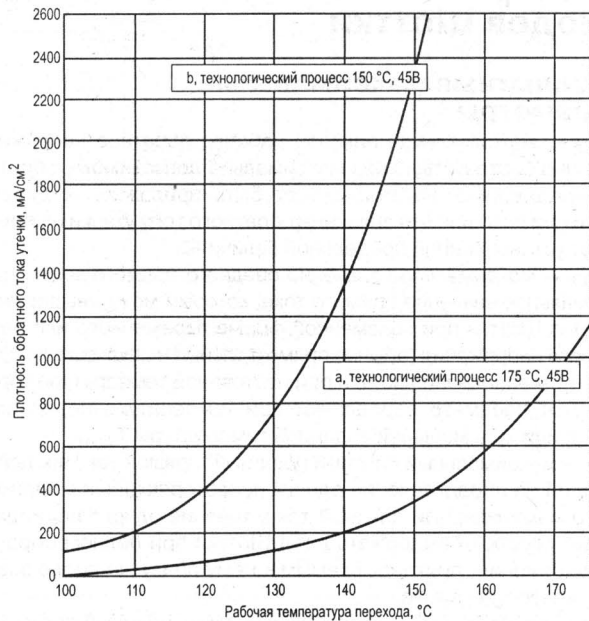


Рис. 10

### Общее влияние производственных технологических процессов и рабочих условий на электрические характеристики диодов Шоттки

Табл. 2 наглядно показывает влияние производственных технологических процессов на величину прямого напряжения, обратного тока утечки и емкости перехода.

В табл. 3 отражено влияние рабочей температуры перехода, прямого тока и обратного напряжения на прямое напряжение, ток утечки и емкость перехода.

## Размеры кристаллов диодов Шоттки

Размер кристалла диода Шоттки в сочетании с типом его корпуса определяет значение рабочего тока. Сведения о размерах

Таблица 2

Характеристика производственных процессов Шоттки	Влияние на электрические параметры				
	Прямое напряжение при заданной температуре перехода	Прямое напряжение при максимальной температуре перехода	Обратный ток при заданной температуре перехода	Обратный ток при максимальной температуре перехода	Емкость перехода
$T_{jmax} \text{ Class} \uparrow$	$\uparrow$	медленно $\uparrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	—
$V_{RRM} \text{ Class} \uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$

Таблица 3

Влияющие рабочие условия	Влияние на электрические параметры		
	Прямое напряжение	Обратный ток утечки	Емкость перехода
Температура перехода $\uparrow$	$\downarrow$	$\uparrow$	—
Прямой ток $\uparrow$	$\uparrow$	—	—
Обратное напряжение $\uparrow$	—	$\uparrow$	$\downarrow$

Таблица 4

Размеры кристалла диода Шоттки (длина стороны квадрата)		Типовое значение тока, А
тысячных долей дюйма	мм	
90	2,29	10...15
125	3,18	10...30
150	3,81	18...40
175	4,45	30...40
200	5,08	50...100

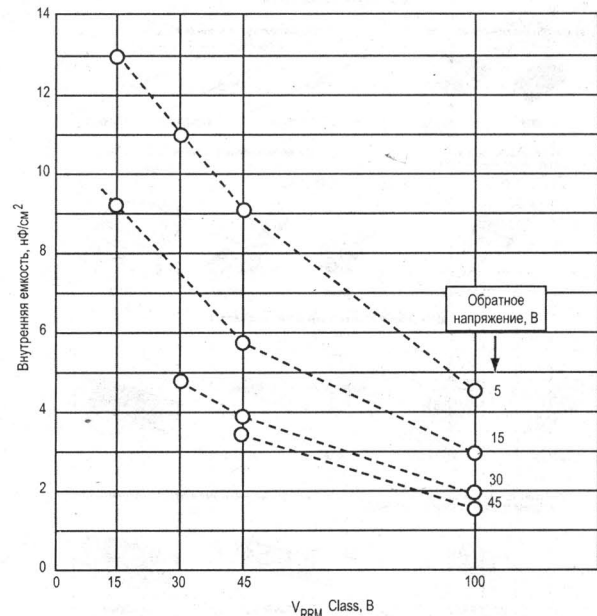


Рис. 11

кристаллов диодов Шоттки производства IR для токов 8 А и более приведены в табл. 4.

Для производства диодов Шоттки на большие рабочие токи, которые один кристалл наибольшего размера не может обеспечить, применяют параллельное включение двух и более кристаллов.

### Типы корпусов

На рис. 12 показаны типы корпусов диодов Шоттки, выпускаемых компанией IR. Они охватывают диапазон от корпусов для поверхностного монтажа и монтажа в отверстие со значениями рабочего тока порядка нескольких ампер до больших двоярных выпрямительных модулей Шоттки с рабочим током до 400 А, предназначенных для монтажа на радиатор.

Большинство из этих корпусов соответствуют промышленным стандартам и не требуют специальных пояснений. Приводимые

ниже замечания относятся к специфическим характеристикам некоторых типов корпусов.

### Сдвоенные диоды Шоттки

Во многих типах корпусов диодов Шоттки производства IR можно поместить по два диода, включенных по схеме с общим катодом. Это обеспечивает их использование в качестве одно-корпусного выпрямителя для схем с трансформатором со средней точкой.



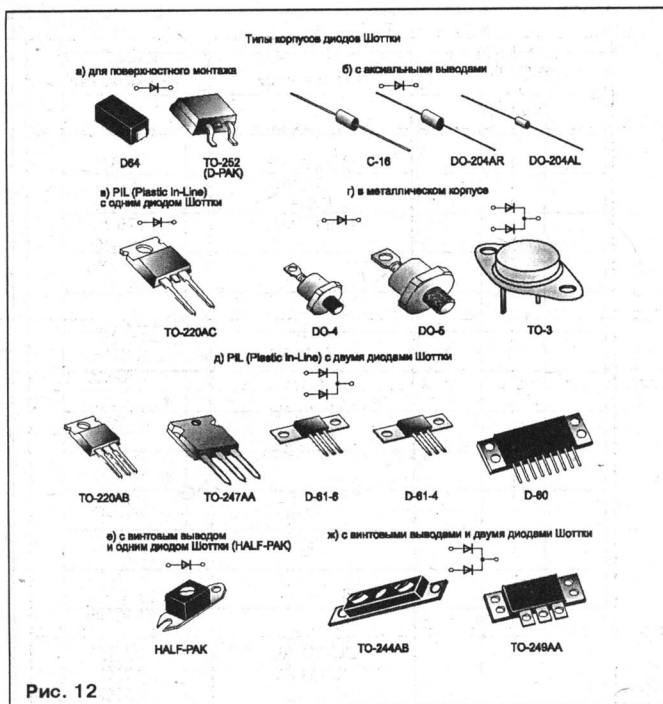


Рис. 12

### Изолированные корпуса

Обычно один из выводов диодов Шоттки электрически соединен с охлаждающей поверхностью корпуса, которая выполняет двойную функцию — обеспечивает отвод тепла от корпуса и является одним из выводов диода.

Корпуса D-60 и TO-249AA (рис. 12) являются исключением. Их охлаждающая поверхность изолирована. Это позволяет устанавливать диоды в таких корпусах на заземленный радиатор, что также сводит к минимуму значение емкостного тока на землю.

### HALF-PAK®

HALF-PAK модуль производства IR (рис. 12) является односторонним диодом Шоттки. Он представляет собой усеченный вариант модуля Шоттки с двумя диодами в корпусе TO-244AB. Отсюда происходит и название — HALF-PAK — полукорпус.

Преимуществами корпуса HALF-PAK являются его компактность, удобство его размещения на печатной плате и простота подключения к высокочастотному трансформатору импульсного источника питания. То, что в таком корпусе выпускаются диоды Шоттки с различными значениями рабочего тока, обеспечивает дополнительные удобства при их использовании в прямоходовых импульсных источниках питания. В целом диоды в таком корпусе более предпочтительны, чем диоды Шоттки в других корпусах с теми же значениями рабочего тока.

### Номенклатура диодов Шоттки

Выше были описаны индивидуальные технологические составляющие производства широкой номенклатуры диодов Шоттки компании IR: технологические процессы, размеры кристаллов и типы корпусов. На основе различных вариантов сочетания этих особенностей возможен выпуск диодов Шоттки с широким набором электрических параметров и в различном исполнении.

Номенклатура диодов Шоттки производства IR строится таким образом, чтобы выпускать их с характеристиками, которые необходимы и востребованы разработчиками источников питания. За совершенствованием технологического уровня источников питания неизменно следует выпуск диодов Шоттки, по своим параметрам отвечающих этому уровню.

В табл. 5 показаны различные комбинационные технологические варианты производства диодов Шоттки и результатом такой комбинаторики являются семейства конечной продукции. Приведенные данные касаются в основном диодов Шоттки с рабочим током 8 А и более.

## Электрические параметры диодов Шоттки

### Абсолютные максимальные параметры

$V_{RWM}$  — максимальное пиковое рабочее обратное напряжение, точно соответствующее максимально допустимому обратному напряжению, которое может быть приложено к диоду Шоттки при условии, что значение обратного тока утечки не превышает установленной предельной величины.

$I_{FAVE}$  — максимальное значение среднего прямого тока. Это максимальное значение прямого тока, который может выдерживать диод Шоттки при неизменной форме переменного или импульсного напряжения (обычно прямоугольные импульсы с коэффициентом заполнения 50%) и при постоянной температуре корпуса. Этот параметр определяется при температуре перехода, близкой или чуть меньшей заданной температуры  $T_{Jmax}$ .

$I_{FSM}$  — максимальный пиковый (ударный) прямой ток, воздействующий на диод в течение одного неповторяющегося периода. Это максимальный пиковый ток в течение одного периода, который способен выдержать диод Шоттки при полном обратном напряжении, прикладываемом к нему сразу же после воздействия импульса тока.

В типовых импульсных источниках питания ударный ток фиксируется немедленно, и его воздействие блокируется схемой управления ключевым транзистором (транзисторами). В технических данных приводится значение ударного тока, время действия которого соответствует времени срабатывания схемы защиты источника питания.

Время действия импульса ударного тока пробоя соответствует полупериоду синусоидального импульса длительностью 10 мс, типичной для тех приложений, в которых диоды Шоттки применяются в качестве низковольтных выпрямителей работающих с частотой сети.

Зависимость неповторяющегося ударного тока от длительности его импульса через диод отражает график на рис. 13. Следует отметить, что он не учитывает температуру корпуса диода (она меньше значения  $T_{Jmax}$ ). Мгновенная температура перехода в момент прохождения тока существенно превышает значение  $T_{Jmax}$ , а пиковое значение обратного тока утечки по завершении импульса тока также существенно превышает его паспортную величину при температуре  $T_{Jmax}$ .

Предельные условия работы диода Шоттки характерны только для неповторяющегося импульса ударного тока. Зону, ограниченную графиком, можно определить как зону безопасной работы, соответствующую предельным условиям работы, что на практике встречается нечасто. Однако это определение нельзя применять для повторяющихся импульсов тока, близких по величине к ударному току, таких как импульсы, возникающие при

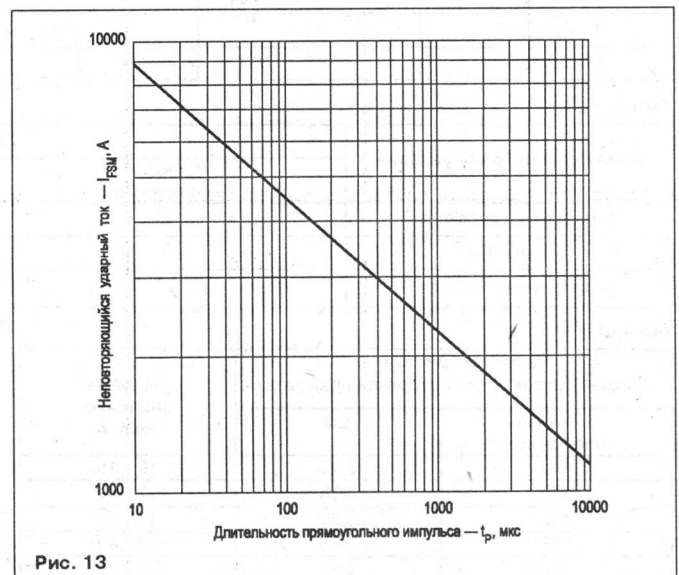


Рис. 13

Таблица 5

Процесс		Размер кристалла	Число выводов	Число кристаллов на вывод	Тип корпуса	Семейство
T <sub>max</sub> , °C	V <sub>RRM</sub> , В	мм				
100	15	3,18	1	1	DO-204AR	95SQ
		3,81	1	1	TO-220AC	19TQ
		5,08	1	1	DO-5	95HQ
				2	HALF-PAK	125NQ
125	45			3		185NQ
			2	4		225CNQ
				1	D-61-8	85CNQ
125	45	5,08	2	1	D-61-8	84CNQ
			2	2	TO-244AB	224CNQ
				4		85CNQ
150	30	3,18	2	1	TO-220AB	32CTQ
		5,08	1	1	DO-5	55HQ
			1	2	HALF-PAK	122NQ
				3		182NQ
150	30			4		242NQ
			2	1	D-61-6	62CNQ
					D-61-8	82CNQ
			2	1	D-60	152CMQ
150	30				TO-249AA	162CMQ
			2	2	TO-244AB	220CNQ
			2	4		440CNQ
150	45	3,18	1	1	DO-204AR	90SQ
		3,81			TO-220AC	12TQ
		4,45			DO-4	20TQ
		5,08			DO-5	20FQ
150	45					21FQ
				2	HALF-PAK	50HQ
				3		51HQ
				4		120NQ
150	45	2,29	2	1	TO-220AB	180NQ
		3,18				240NQ
		4,45			TO-247AA	15CTQ
		5,08				25CTQ
150	45					30CPQ045
					D-61-6	40CPQ045
					D-61-8	60CNQ
					D-60	80CNQ
150	45				TO-249AA	150CMQ
					TO-244AB	160CMQ
						200CNQ
						400CNQ
150	60	3,18	2	1	TO-220AB	30CTQ060
		4,45			TO-3P	30CPQ060
						40CPQ060
175	45	3,18	1	1	DO-204AR	80SQ
		2,29			TO-220AC	10TQ
		3,81			DO-4	6TQ
		4,45			DO-5	18TQ
175	45	5,08				30FQ
				2	HALF-PAK	75HQ
				4		85HQ
			2	1	TO-220AB	121NQ
175	45	2,29				241NQ
		3,18			TO-220AB	12CTQ
		3,81				20CTQ
					TO-247AA	30CTQ045
175	45					40CDQ
					D-61-6	60CDQ
					D-61-8	61CNQ
					D-60	81CNQ
175	45				TO-249AA	151CMQ
					TO-249AB	161CMQ
				2		201CNQ
				2		301CNQ
175	45			4		401CNQ
175	100	3,18	1	1	DO-204-AR	50SQ
		5,08			TO-220AC	8TQ
					DO-5	60HQ
				2	HALF-PAK	123NQ
175	100			3		183NQ
				4		243NQ
		2,29	2	1	TO-220AB	16CTQ
		4,45			TO-247AA	30CPQ100
175	100	5,08				40CPQ100
					D61-6	63CNQ
					D-61-8	83CNQ
					D-60	153CMQ
175	100				TO-294AA	163CMQ
					TO-244AB	203CNQ
				2		303CNQ
				3		403CNQ
175	150			4		
175	150	2,29	2	1	TO-220AB	10CTQ
					TO-247AA	30CPQ100

Продолжение таблицы 5

Процесс		Размер кристалла	Число выводов	Число кристаллов на вывод	Тип корпуса	Семейство
T <sub>max</sub> , °C	V <sub>RRM</sub> , В	мм				
100	15	3,18	1	1	DO-204AR	95SQ
		3,81	1	1	TO-220AC	19TQ
		5,08	1	1	DO-5	95HQ
				2	HALF-PAK	125NQ
125	45			3		185NQ
				4		225CNQ
			2	1	D-61-8	85CNQ
		5,08	2	1	D-61-8	84CNQ
150	30			2	TO-244AB	224CNQ
				4		85CNQ
		3,18	2	1	TO-220AB	32CTQ
		5,08	1	1	DO-5	55HQ
150	45			2	HALF-PAK	122NQ
				3		182NQ
				4		242NQ
			2	1	D-61-6	62CNQ
150	60			1	D-61-8	82CNQ
				2	D-60	152CMQ
			2	1	TO-249AA	162CMQ
			2	2	TO-244AB	220CNQ
150	45			4		440CNQ
		3,18	1	1	DO-204AR	90SQ
		3,81			TO-220AC	12TQ
		4,45			DO-4	20TQ
150	60				DO-5	20FQ
					HALF-PAK	21FQ
				2		50HQ
				3		51HQ
150	45			4		120NQ
				1	TO-220AB	180NQ
		2,29	2	1	TO-247AA	240NQ
		3,18				15CTQ
150	60					25CTQ
						30CPQ045
						40CPQ045
						60CNQ
150	45					80CNQ
						150CMQ
						160CMQ
						200CNQ
150	60					400CNQ
		3,18	2	1	TO-220AB	30CTQ060
		4,45			TO-3P	30CPQ060
						40CPQ060
175	45	3,18	1	1	DO-204AR	80SQ
		2,29			TO-220AC	10TQ
		3,81			DO-4	6TQ
		4,45			DO-5	18TQ
175	45				HALF-PAK	30FQ
				2		75HQ
				4		85HQ
				1	TO-220AB	121NQ
175	100					241NQ
						12CTQ
						20CTQ
						30CTQ045
175	100					40CDQ
						60CDQ
						61CNQ
						81CNQ
175	100					151CMQ
						161CMQ
						201CNQ
						301CNQ
175	100					401CNQ
		3,18	1	1	DO-204-AR	50SQ
		5,08			TO-220AC	8TQ
					DO-5	60HQ
175	100				HALF-PAK	123NQ
				2		183NQ
				3		243NQ
				4		16CTQ
175	100				TO-220AB	30CPQ100
					TO-247AA	40CPQ100
					D61-6	63CNQ
					D-61-8	83CNQ
175	100				D-60	153CMQ
					TO-294AA	163CMQ
					TO-244AB	203CNQ
						303CNQ
175	100					403CNQ
						10CTQ
						30CPQ100



Продолжение таблицы 5

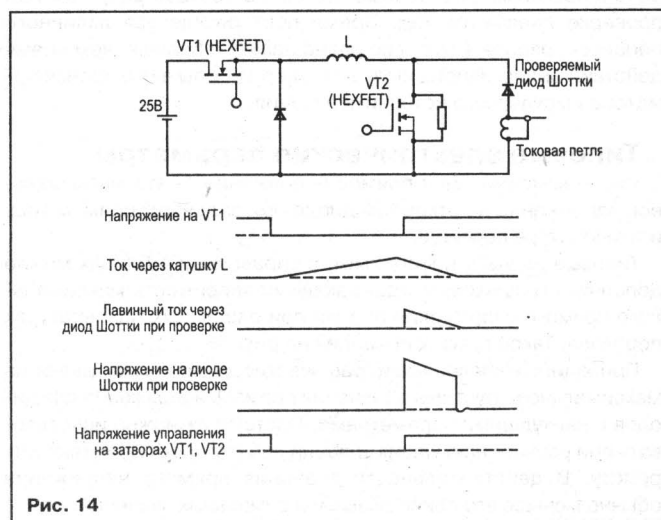
Процесс		Размер кристалла	Число выводов	Число кристаллов на вывод	Тип корпуса	Семейство
T <sub>jmax</sub> , °C	V <sub>RRM</sub> , В	мм				
100	15	3,18	1	1	DO-204AR	95SQ
		3,81	1	1	TO-220AC	19TQ
		5,08	1	1	DO-5	95HQ
				2	HALF-PAK	125NQ
125	45	5,08	2	3		185NQ
				4		225CNQ
				1	D-61-8	85CNQ
				2	D-61-8	84CNQ
150	30	5,08	2	2	TO-244AB	224CNQ
				4		85CNQ
				1	TO-220AB	32CTQ
				1	DO-5	55HQ
150	45	5,08	2	2	HALF-PAK	122NQ
				3		182NQ
				4		242NQ
				1	D-61-6	62CNQ
150	60	5,08	2	1	D-61-8	82CNQ
				2	D-60	152CMQ
				2	TO-249AA	162CMQ
				4	TO-244AB	220CNQ
150	45	5,08	2	2		440CNQ
				1	DO-204AR	90SQ
				1	TO-220AC	12TQ
				2	DO-4	20TQ
150	60	5,08	2	3	DO-5	20FQ
				4	HALF-PAK	21FQ
				1		50HQ
				2	TO-220AB	51HQ
150	45	5,08	2	3	TO-247AA	120NQ
				4		180NQ
				1		240NQ
				2	DO-204AR	15CTQ
150	60	5,08	2	1	TO-220AB	25CTQ
				2	TO-3P	30CPQ045
				3		40CPQ045
				4		60CNQ
150	45	5,08	2	1	D-61-8	80CNQ
				2	D-60	150CMQ
				3	TO-249AA	160CMQ
				4	TO-244AB	200CNQ
150	60	5,08	2	1		400CNQ
				2	DO-204AR	80SQ
				3	TO-220AC	10TQ
				4	DO-4	6TQ
150	45	5,08	2	1	DO-5	18TQ
				2	HALF-PAK	30FQ
				3	TO-220AB	75HQ
				4	TO-247AA	85HQ
150	60	5,08	2	1		121NQ
				2		241NQ
				3		12CTQ
				4		20CTQ
150	45	5,08	2	1		30CTQ045
				2		40CDQ
				3		
				4		

запуске импульсного блока питания (при его включении). Это энергия, которую поглощает диод Шоттки при прохождении через него обратного тока, запасенного в катушке индуктивности.

Схема для проверки паспортных данных изображена на рис. 14. Принцип ее работы заключается в следующем: мощные полевые МОП транзисторы открываются одновременно, и ток через катушку индуктивности L возрастает. Через некоторое время t этот ток достигает контрольного значения, и оба транзистора при этом одновременно запираются. Накопленная в катушке энергия разряжается на диод Шоттки, и через него протекает импульс тока.

На рис. 15 приведены типовые осциллограммы тока и напряжения на диоде Шоттки. Заметим, что его пиковое напряжение пробоя примерно в 1,5 раза больше максимально допустимого обратного напряжения.

Таким образом, максимальный обратный ток через диод Шоттки может протекать периодически, а его источником является накопленная в катушке индуктивности энергия. Значение индуктивности должно быть таким, чтобы ток уменьшался до нуля в пределах заданного времени лавинного процесса.



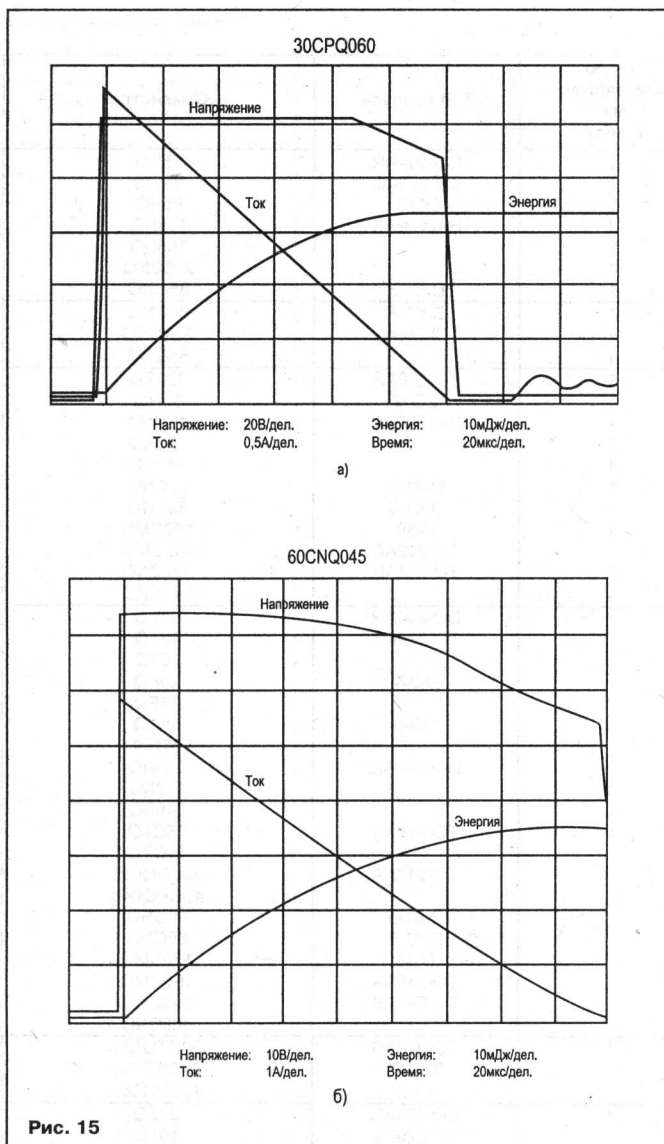


Рис. 15

Значение повторяющегося лавинного тока  $I_{AR}$  имеет ту же величину, что и значение тока, определенное для значения неповторяющегося напряжения  $E_{AS}$ . При таком высоком значении лавинного тока значение пикового лавинного напряжения «подрастает» до величины, в 1,5 раза превышающей паспортное значение обратного напряжения диода Шоттки.

Очень важным при проверке параметров  $I_{AR}$  и  $E_{AS}$  является то, что значение индуктивности катушки при проверке параметра  $I_{AR}$ , определяющее время тестирования, равное 1 мкс, должно быть в несколько раз меньше (обычно в 100-200 раз), чем при проверке параметра  $E_{AS}$ . Время повторяющегося лавинного процесса, равное 1 мкс, все равно намного больше, чем время действия аналогичного импульса энергии обычного трансформатора импульсного источника питания.

### Типовые электрические параметры

$V_{FM}$  — максимальное прямое напряжение — это максимальное напряжение на открытом диоде при заданном прямом токе и температуре перехода.

Типовые данные, приводимые в справочных таблицах можно дополнить графиком, показывающим зависимость максимального прямого напряжения от тока при различных температурах перехода. Такой график приведен на рис. 16.

Приводимые численные и графические значения указывают на максимально допустимые значения прямого напряжения для диодов с наихудшими параметрами. Поэтому их можно использовать при расчете наихудших условий работы проектируемых устройств. В действительности значения прямого напряжения обычно меньше его приводимых максимальных значений.

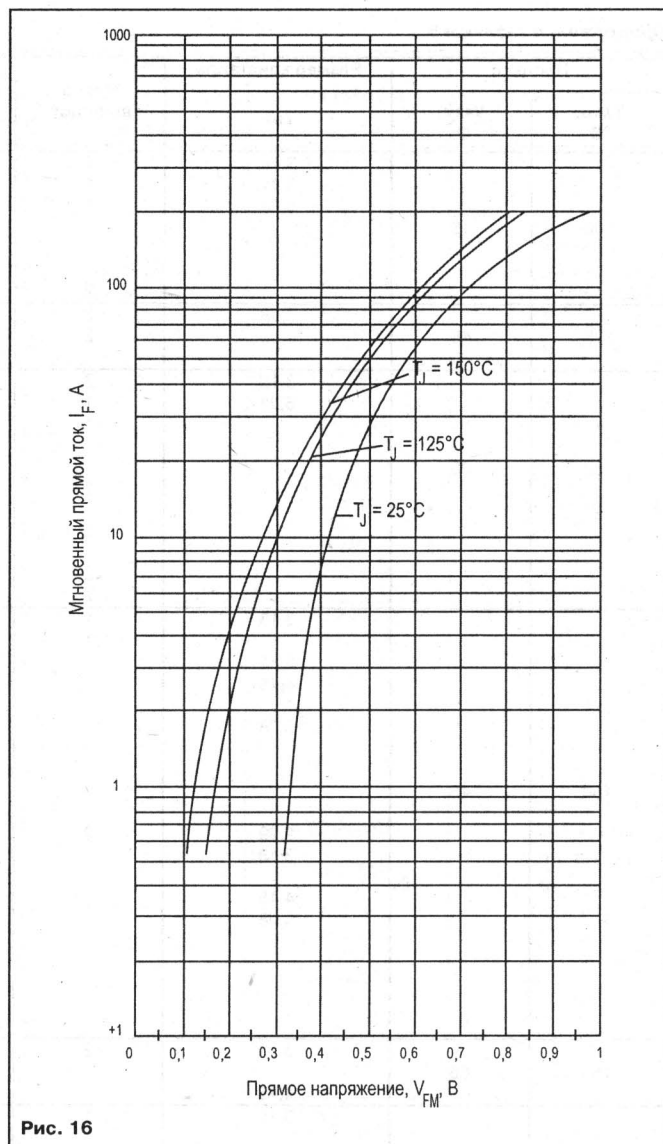


Рис. 16

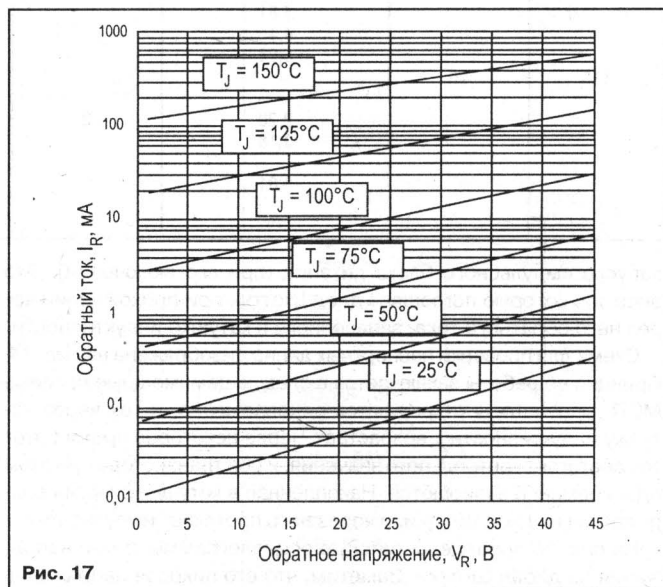


Рис. 17

$I_{RM}$  — максимально допустимый обратный ток утечки — значение максимально допустимого тока утечки при заданном обратном напряжении и постоянной температуре перехода. График зависимости этого параметра от обратного напряжения при различных значениях температуры перехода показан на рис. 17.

Величина тока утечки для конкретных условий работы может быть рассчитана по приведенному графику с использованием табличных справочных данных.

$C_T$  — максимальная емкость перехода при заданных условиях ее проверки. Она зависит от обратного напряжения. График этой зависимости приведен на рис. 18. Емкость перехода практически не зависит от его температуры.

$L_S$  — типовая последовательная индуктивность. Этот параметр представляет собой общую индуктивность диода Шоттки от вывода до вывода.

$dv/dt$  — максимальная скорость изменения напряжения, приложенного к диоду Шоттки. Для диодов Шоттки производства компании IR она составляет 10000 В/мкс. Это означает, что при нормальном рабочем напряжении время его нарастания составляет несколько наносекунд. Обращать внимание на этот параметр следует также потому, что некоторые фирмы производят диоды Шоттки с ограниченными значениями  $dv/dt$ , что сужает область их применения. Как уже было сказано, лучшими значениями этого параметра обладают диоды Шоттки производства IR.

### Температурные характеристики

$T_J$  — максимальный диапазон значений температуры перехода, охватывающий значения от минимальной до максимально допустимой температуры.

$T_{STG}$  — максимальный диапазон температуры хранения.

$R_{thJC}$  — тепловое сопротивление переход-корпус. Этот параметр характеризует максимальное тепловое сопротивление переход-корпус для установившегося режима работы на постоянном токе. В описании технических характеристик диодов Шоттки имеется график, отражающий зависимость теплового сопротивления от длительности импульса постоянного тока. Пример такого графика приведен на рис. 19.

Пиковое значение температуры перехода для любого режима работы диода Шоттки можно определить из переходных характеристик теплового сопротивления. Кривая графика, обозначенная как одиночный импульс, отражает рост температуры перехода на ватт рассеиваемой мощности при увеличении длительности импульса. Как можно заметить, рост температуры перехода прекращается при достижении значения длительности импульса 10 с и более. Та же кривая подходит и для определения кратковременного роста температуры перехода для одиночных импульсов или импульсов с очень малой длительностью. Однако она не подходит в том случае, если длительность импульсов меняется, что имеет место, например, в импульсных источниках питания.

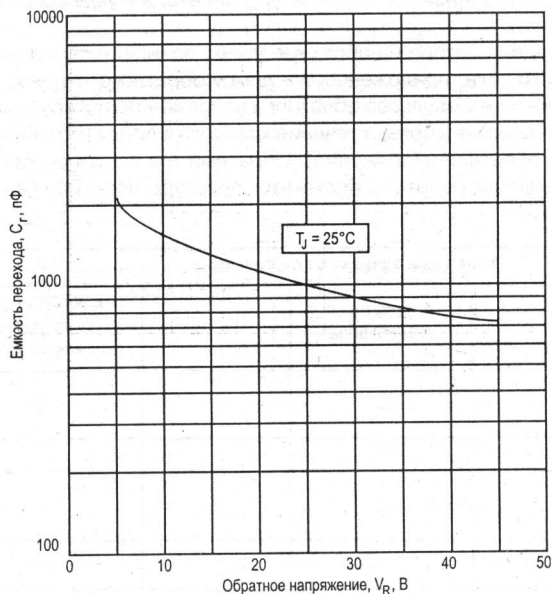


Рис. 18

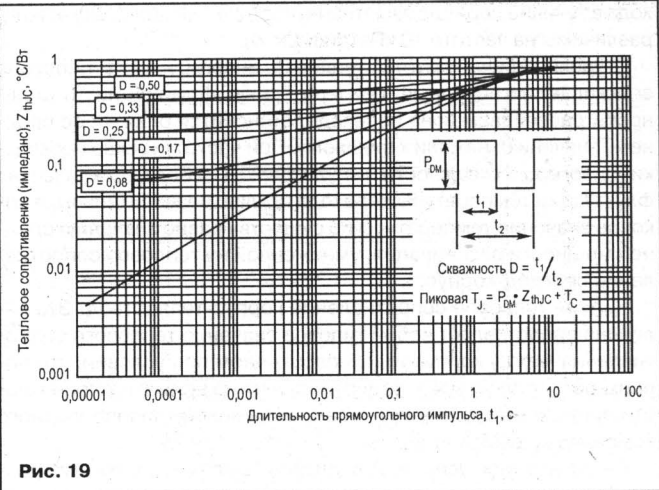


Рис. 19

Кривые графика для рабочих режимов характеризуют эффективное тепловое сопротивление при работе с импульсами мощности различной сквозности и позволяют непосредственно по ним определить возрастание пиковой температуры перехода при периодической последовательности импульсов.

Эффективное тепловое сопротивление переход-корпус для импульса длительностью  $t$  можно определить по формуле:

$$R_{thJC} = D \times R_{JC} + (1 - D) \times R_{JC(t)}$$

где  $D$  — сквозность импульсов;  $R_{JC}$  — тепловое сопротивление для установившегося режима;  $R_{JC(t)}$  — переходное тепловое сопротивление для импульса длительностью  $t$ .

Приведенная выше формула характеризует тепловое сопротивление при множественном (импульсном) рассеивании мощности в течение каждого периода длительностью  $t$ , когда диод Шоттки находится в открытом состоянии. Она позволяет вычислить пиковое значение теплового сопротивления переход-корпус при работе в импульсных схемах.

Эффективное тепловое сопротивление при любом значении сквозности  $D$  возрастает, если возрастает длительность импульсов. Это означает, что при увеличении длительности импульсов увеличивается и пиковое значение температуры перехода. Справедливость этого подтверждают временные диаграммы, приведенные на рис. 20. Обе диаграммы соответствуют одним и тем же значениям мощности рассеяния и рабочему режиму и отличаются лишь рабочими частотами. Флуктуации температуры пере-

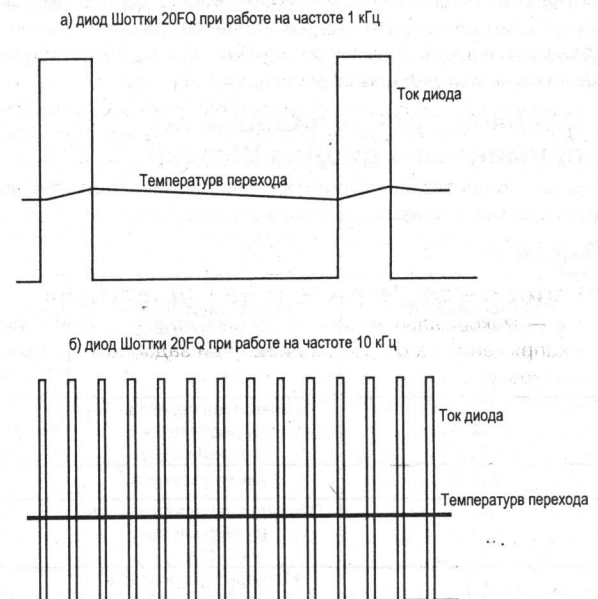


Рис. 20



хода в течение периода заметны на частоте 1 кГц (рис. 20, а) и неразличимы на частоте 10 кГц (рис. 20, б).

С увеличением частоты тепловая инерционность перехода сглаживает мгновенные температурные флуктуации, и мощность, рассеиваемая на переходе, становится ближе к ее среднему значению, нежели к пиковому. При частотах выше нескольких килогерц и скважности импульсов 20 % и более циклические флуктуации температуры перехода обычно незначительны, а пиковое значение температуры по существу равно значению средней мощности рассеивания, умноженной на тепловое сопротивление переход-корпус.

$R_{thCS}$  — тепловое сопротивление корпус-теплоотвод. Эта величина представляет собой типовое значение теплового сопротивления между корпусом и теплоотводом при условии, что поверхность теплоотвода (радиатора) плотно прижата к поверхности диода и между ними нанесен тонкий слой теплопроводного компаунда (термопасты).

$T$  — монтажное усилие. Для диодов Шоттки с винтовым креплением определены как минимальное, так и максимальное значения усилия затяжки винтового соединения. Для диодов Шоттки, монтируемых при помощи стяжки, также определены минимальное и максимальное усилия прижима, допустимые для них. При этом предполагается, что резьба не покрыта смазкой. Для винтовых выводов диодов Шоттки также определены допустимые прилагаемые усилия затяжки.

Превышение монтажного усилия может стать причиной механического разрушения диода, а приложение недостаточного усилия может привести к нарушению теплового и/или электрического контакта и, как следствие, к увеличению теплового сопротивления и/или падения напряжения.

## Принципы выбора диодов Шоттки

Широкий спектр типов диодов Шоттки с различными параметрами определяется комбинированием следующих факторов:

- типов корпусов;
- размеров кристаллов, определяющих значения прямого тока;
- типов производственных процессов, определяющих такие параметры, как максимально допустимые температуру перехода и обратное напряжение, прямое напряжение и обратный ток утечки.

Понимание значения этих факторов для разработчика электронной аппаратуры — это понимание правил подбора необходимого типа диода Шоттки исходя из того, что учет его геометрических размеров и производственного процесса изготовления будут существенно влиять на эффективность работы схемы и отвечать требованиям для теплоотвода. Разработчику, кроме того, необходимо знать, как правильно определить границу предельных нагрузок и рабочих условий для применения диодов Шоттки в определенных приложениях.

## Основные рекомендации по применению диодов Шоттки

В табл. 6 приведены общие рекомендации по применению диодов Шоттки, а ниже раскрыта их сущность.

**Рекомендация 1.** Максимальная рабочая температура перехода диода Шоттки должна быть всегда меньше заданного значения  $T_{Jmax}$  на запас, зависящий от величины обратных потерь.

**Рекомендация 2.** Наименьший размер теплоотвода должен быть таким, чтобы обеспечивался безопасный, но не предельный температурный режим работы диода. Выбор теплоотвода с целью минимизации общих потерь или снижения верхней границы рабочей температуры может потребовать непропорционального увеличения его размеров.

**Рекомендация 3.** Для того чтобы уменьшить потери в диодах Шоттки и одновременно площадь теплоотвода, можно использовать диоды Шоттки в корпусах с большими геометрическими размерами. Эта мера может стать очень эффективным способом уменьшения габаритов выпрямителя в целом, при том, что с ранее применявшимися в нем диодами эта цель вроде бы была достигнута.

**Рекомендация 4.** Диод Шоттки определенного размера при более высоком  $T_{Jmax}$  Class имеет большие потери, но может работать при более высоких температурах теплоотвода и его меньших размерах, чем диод со сравнительно низким  $T_{Jmax}$  Class.

**Рекомендация 5.** Если для разрабатываемого устройства имеются ограничения, связанные не с температурным режимом диодов Шоттки, а с максимально допустимой температурой теплоотвода, то для получения минимальных размеров теплоотвода следует выбирать наиболее эффективный диод Шоттки.

**Рекомендация 6.** Выбор большего диода может облегчить работу при большей окружающей температуре.

**Рекомендация 7.** Более высокое значение допустимой температуры окружающей среды и применение диодов Шоттки с более высоким значением  $T_{Jmax}$  поможет уменьшить размеры теплоотвода.

**Рекомендация 8.** При заданном параметре  $T_{Jmax}$  Class можно добиться наименьших потерь и применить теплоотвод наименьших размеров, если использовать диоды Шоттки наименьшего класса по напряжению, допустимого для разрабатываемого устройства.

## Определение верхней границы рабочей температуры

Потери мощности в диодах Шоттки состоят из потерь на проводимость и потерь на обратную утечку.

Средние потери на проводимость определяются величиной прямого тока, прямого напряжения или, как его иногда называют, «напряжения проводимости» и скважности прямых импульсов тока (например, части рабочего периода, в течение которого диод Шоттки находится в открытом состоянии). Прямое напряжение зависит от температуры перехода и уменьшается при ее росте.

Средние потери на обратную утечку зависят от величины обратного тока, приложенного к диоду обратного напряжения, и скважности импульсов обратного напряжения (по-другому, части рабочего периода, в течение которого к диоду Шоттки приложено обратное напряжение). Обратный ток утечки экспоненциально увеличивается с ростом температуры перехода (рис. 10.)

Таблица 6

Рекомендации по применению	Подбор диода Шоттки разработчиком по параметрам	Конечный эффект от применения				
		Рабочие значения		Размер теплоотвода	Потери	Максимальная температура окружающей среды
		$T_J$	$T_S$			
1, 4, 7	Температура перехода $T_J$ (определяется $T_{Jmax}$ Class) ↑	↑	↑	↓	↑	↑
1, 3, 6	Размеры корпуса		↑			↑
8	Обратное напряжение $V_{RRM}$ (определяется $V_{RRM}$ Class) ↑	↑	↓	↑	↑	
1, 2	Размеры теплоотвода (радиатора) ↑	↓	↓	↑	↑	↑↓
5	Температура теплоотвода ↓	↓	↓	↑	↑	↓

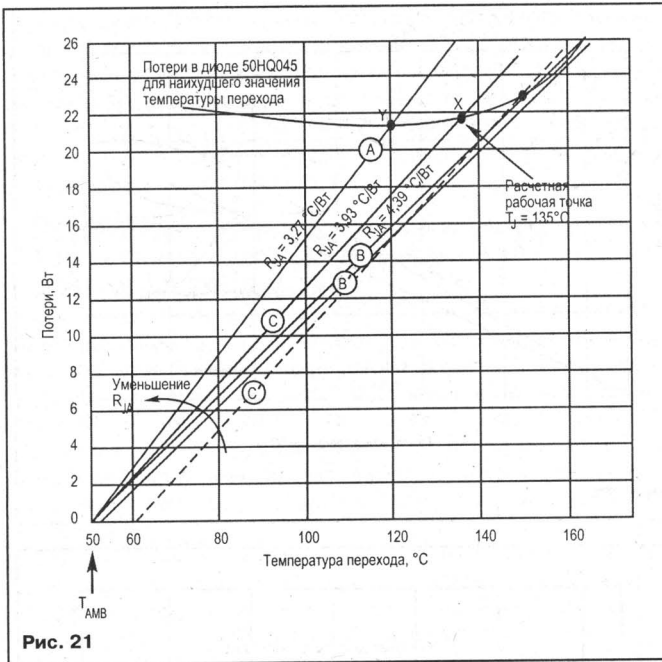


Рис. 21

Таким образом, за счет изменения любого из параметров, определяющих рабочий режим — тока, скважности импульсов прямого и обратного напряжения — можно в некоторой степени снизить потери на проводимость. В то же время потери на обратную утечку растут значительно быстрее с ростом температуры перехода.

График зависимости суммарных потерь на проводимость и обратную утечку от температуры перехода для диодов Шоттки типа 50HQ045 изображен на рис. 21.

Рабочая точка потерь мощности на диоде Шоттки в зависимости от температуры перехода определяется тепловым сопротивлением переход-среда. Другими словами, ее положение зависит от размеров теплоотвода, на который установлен диод Шоттки.

Для заданного при проектировании значения температуры окружающей среды  $T_{AMB}$  увеличение теплового сопротивления переход-среда (при использовании теплоотвода большей площади) сдвигает рабочую точку в область нижних значений температуры перехода (рис. 22). Например, при значении теплового сопротивления переход-среда  $R_{JA} = 3,93\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$  рабочая температура перехода составляет  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а при  $R_{JA} = 3,27\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$  — уже  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Понятно, что использование теплоотвода делает положение границы значений зависимости потерь от температуры перехода неустойчивым и термозависимым. Например, точка  $T_{Jmax}$  на прямой В лежит на границе неустойчивого состояния. Повышение температуры окружающей среды всего лишь на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  относительно заданного при разработке ее максимального значения сдвинет прямую В в положение В', в результате чего может произойти пробой диода.

Для того чтобы обеспечить безопасную работу температура перехода должна достигать своего максимального значения  $T_{Jmax}$  только тогда, когда температура окружающей среды будет превышать заданное разработчиком значение на какую-то величину (обычно на  $10\text{...}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Примером может быть график на рис. 21, для которого верхний предел окружающей температуры выбран на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше расчетного. При этом максимальная температура перехода составляет  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Работа диода Шоттки на нижнем пределе максимально допустимого расчетного тока приведет к тому, что поднимется верхняя граница температуры перехода при заданной температуре окружающей среды. Причина этого — более высокая нелинейная зависимость потерь от температуры при низких значениях рабочего тока.

На рис. 22 показана зависимость потерь от температуры при заданном рабочем напряжении и различных значениях максимального расчетного тока. Прямые, соответствующие

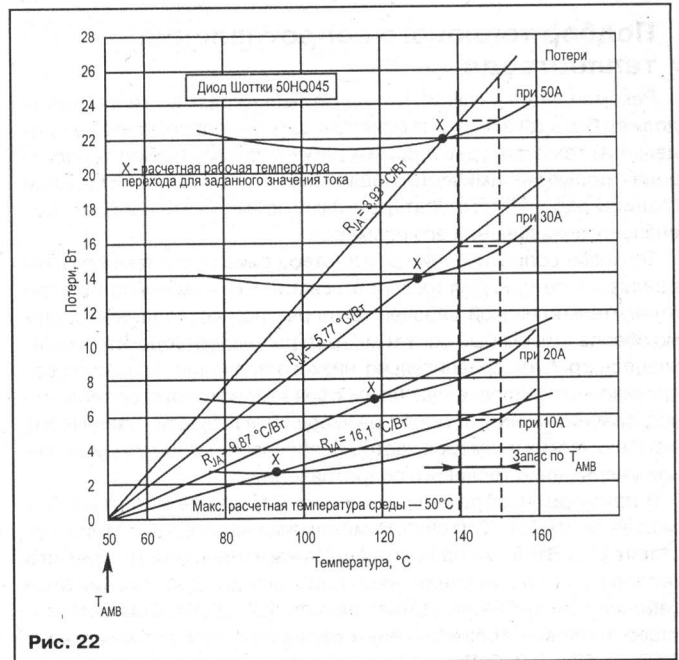


Рис. 22

различным значениям теплового сопротивления переход-среда, заданы для фиксированной верхней граничной температуры, которая выбрана на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше расчетной. Поскольку величина обратных потерь при уменьшении расчетного рабочего тока остается неизменной, общие потери и размеры теплоотвода не уменьшаются пропорционально уменьшению рабочего тока.

Значение безопасной расчетной температуры перехода (точка X) значительно снижается при уменьшении величины тока, достигая безопасного положения относительно точки температуры неустойчивости. Следует отметить, что увеличение верхнего предела температуры перехода относительно расчетного значения на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  приводит к тому, что граница допустимых температур перехода расширится на  $15\text{...}55\text{ }^{\circ}\text{C}$  при возрастании рабочего тока до максимальной расчетной величины.

## Диоды Шоттки с аксиальными выводами

Диоды Шоттки с аксиальными выводами не предназначены для установки непосредственно на теплоотвод. Для их охлаждения тепло должно отводиться непосредственно от поверхности корпуса. Тепло от перехода отводится через выводы к монтажным зажимам или площадке печатной платы. Таким образом, теплоотвод через выводы нельзя считать таким эффективным, как теплоотводящий корпус. Поэтому в конечном счете, плотности мощности и тока у таких диодов должны быть существенно ниже. А вот обратные потери мощности из-за утечки, независимые от величины тока, у них существенно выше.

Работа диода Шоттки с аксиальными выводами представляет собой хороший пример того, что описано выше, для случая когда плотность рабочего тока относительно низка. Расчетная рабочая температура перехода при этом должна быть существенно меньше заданного значения  $T_{Jmax}$  для предотвращения выхода диода из строя из-за теплового пробоя.

Характеристики, которые отражают потери в диодах Шоттки с аксиальными выводами типа 50SQ100 производства компании IR, работающих в обратноходовом 15-вольтовом преобразователе напряжения, при значениях выходного тока 3,5 и 4,5 А, приведены на рис. 23. При расчетном токе равном 3,5 А тепловое сопротивление переход-среда должно составлять  $44\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ , а при 4,5 А —  $35\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ . В первом случае расчетная рабочая температура перехода на  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а во втором на  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже ее максимального значения при условии, что расчетное значение температуры окружающей среды на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше максимального.

## Подбор теплового сопротивления теплоотвода

Рекомендация 2 гласит, что наименьший размер теплоотвода должен быть таким, чтобы обеспечивать безопасный, но не предельный температурный режим работы диода. Выбор теплоотвода с целью минимизации общих потерь или снижения верхней границы рабочей температуры может потребовать непропорционального увеличения его размеров.

Тепловое сопротивление — это отношение роста температуры к величине потерь. Для того чтобы свести к минимуму потери при относительно низкой рабочей температуре перехода, необходимо обеспечить слабый рост температуры теплоотвода, что в свою очередь требует сравнительно низкого значения теплового сопротивления теплоотвода. Таким образом, потребуется теплоотвод сравнительно большого размера. В частности, увеличение его физических размеров часто обеспечивает непропорциональное уменьшение теплового сопротивления.

В примере, изображенном на рис. 21, при температуре перехода около 120 °C (точка Y) минимальные общие потери составят 21,4 Вт. Точка на линии А отражает значения требуемого теплового сопротивления, необходимого для достижения этой рабочей точки. Линия А имеет наклон 3,27 °C/Вт. Соответствующее тепловое сопротивление радиатора при этом составит  $3,27 - 1,08 = 2,2$  °C/Вт.

Область значений С, достаточная для определения безопасного предела работы по температуре, с другой стороны, соответствует тепловому сопротивлению радиатора 2,9 °C/Вт. Эта величина на 31 % выше теплового сопротивления радиатора при минимальных потерях и соответствует площади радиатора меньшей на 30...40 %.

Произвольное расширение диапазона рабочих температур влечет за собой несоразмерное этому расширению увеличение размеров теплоотвода. Такой эффект имеет место, когда при низких обратных потерях потери на проводимость их превышают. В этом случае увеличение размера теплоотвода приведет лишь к увеличению потерь, поскольку потери на проводимость возрастает с уменьшением температуры. При этом потребуются непропорциональное увеличение размера радиатора для обеспечения эффективной работы диодов Шоттки.

## Увеличение размера кристалла

Вспомним рекомендацию 3: для того чтобы уменьшить потери в диодах Шоттки и одновременно площадь теплоотвода, можно использовать диоды Шоттки в корпусах с большими геометрическими размерами. Эта мера может стать очень эффективным способом уменьшения габаритов выпрямителя в целом, притом, что с ранее применявшимися в нем диодами эта цель была достигнута.

При заданных значениях рабочего напряжения и тока диод Шоттки большего размера будет работать при меньшей плотности тока, и, соответственно, потери на проводимость будут меньшими. Обратные же потери, наоборот, будут более высокими, поскольку обратный ток кристалла большего размера также имеет более высокое значение. В конечном результате получим снижение общих потерь и уменьшение размеров теплоотвода. Однако использование в дальнейшем диодов Шоттки с еще большим размером кристалла может привести к необходимости увеличения площади теплоотвода, поскольку температура перехода станет настолько низкой, что рабочий режим диода достигнет зоны нестабильной работы. На практике таких случаев, правда, не происходит.

Рассмотрим еще один пример (табл. 7, рис. 24). Четыре диода различных типов (30 В, 150 °C) работают в источнике питания

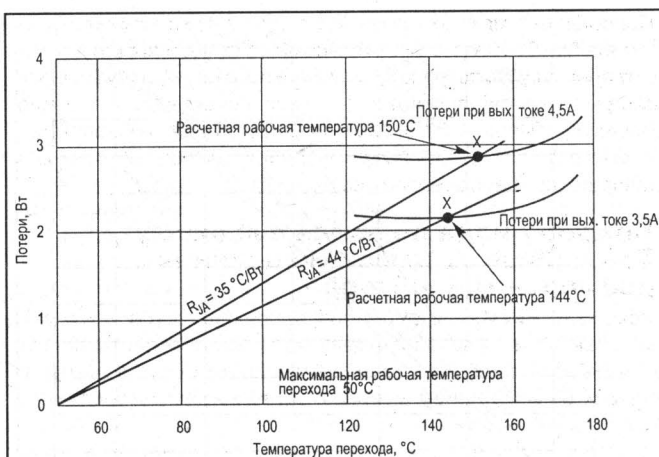


Рис. 23

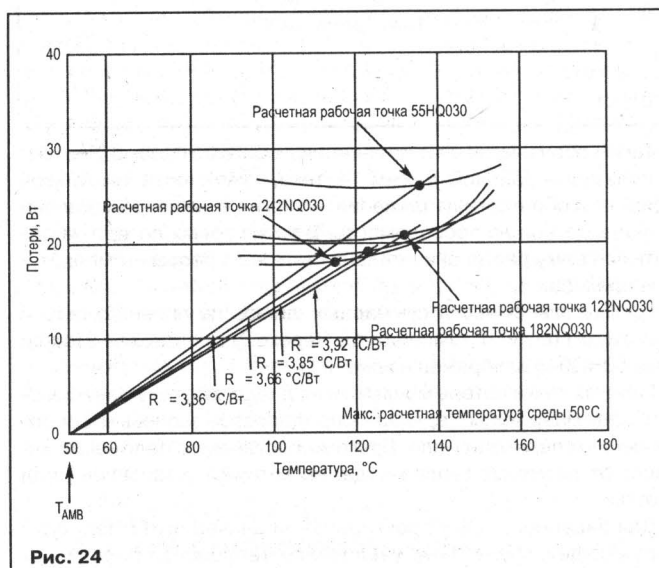


Рис. 24

с выходным напряжением 5 В и рабочим током 100 А. Скважность импульсов прямого тока составляет 0,5, импульсов обратного напряжения — тоже 0,5 при его величине 11 В. На графике показаны расчетные точки для этих типов диодов.

В диоде Шоттки типа 55HQ030 (кристалл 1x200 мил на вывод) потери составляют около 10,4% выходной мощности, и ему необходим теплоотвод с тепловым сопротивлением 2,27 °C/Вт, который по размерам существенно меньше.

Диод 55HQ030 (кристалл 2x200 мил на вывод) имеет меньшее значение общих потерь — около 8,2% выходной мощности, и ему необходим теплоотвод с тепловым сопротивлением 3,37 °C/Вт, который по размерам существенно меньше.

Использование диода Шоттки типа 182NQ030 (кристалл 3x200 мил на вывод) позволяет снизить потери выходной мощности еще больше — до 7,5%. Теплоотвод позволяет обеспечить безопасную рабочую температуру перехода, однако тепловое сопротивление его радиатора лишь немного выше, чем такая же величина для диода типа 55HQ030.

И наконец, диод 242NQ030 (кристалл квадратной формы 4x200 мил) обеспечивает наименьшее значение потерь, хотя тепловое сопротивление его радиатора близко к значению такой же величины для диода 182NQ030.

Таблица 7

Тип диода Шоттки	Потери на одном диоде, Вт	Потери на двух диодах, % вых. мощн.	Расчетная рабочая температура, T <sub>я</sub> , °C	T <sub>я</sub> , °C	R <sub>JA</sub> , °C/Вт	R <sub>JS</sub> , °C/Вт	R <sub>SA</sub> теплоотвода, °C/Вт
55HQ030	26	10,4	137	87	3,35	1,08	2,27
122NQ030	20,4	8,2	130	80	3,92	0,55	3,37
182NQ030	18,7	7,5	122	72	3,85	0,45	3,4
242NQ030	18	7,2	116	66	3,67	0,35	3,32



Подводя итог, можно сказать, что переход от однокристалльного диода 55HQ030 к двухкристальному 122NQ030 позволяет существенно улучшить работу источника питания и уменьшить размеры теплоотвода. А вот использование диодов Шоттки еще большего размера (182NQ030 и 242NQ030) дает незначительный выигрыш в эффективности и не дает никакого выигрыша в отношении размеров теплоотвода.

### Подбор диода по более высокому $T_{Jmax}$ Class с целью уменьшения размеров теплоотвода

Рекомендация 4: диод Шоттки определенного размера при более высоком  $T_{Jmax}$  Class имеет большие потери, но может работать при более высоких температурах теплоотвода и меньших размерах, чем диод со сравнительно низким  $T_{Jmax}$  Class.

И хотя применение диодов Шоттки с более высоким  $T_{Jmax}$  Class позволяет оптимизировать размеры теплоотвода, диоды с меньшим значением  $T_{Jmax}$  Class позволяют повысить эффективность работы.

Эти рекомендации имеют большую важность для разработчика. Из них можно сделать вывод, что не всегда меньшие потери достигаются при использовании теплоотвода меньших размеров.

В том случае, если более важными являются эффективность, минимизация потерь и сравнительно низкая температура теплоотвода, но не требуется уменьшить его размер, целесообразно использовать диоды Шоттки с меньшим значением  $T_{Jmax}$  Class. Если же минимизация теплоотвода важнее минимизации потерь, то тогда лучше использовать диоды Шоттки с более высоким значением  $T_{Jmax}$  Class.

На рис. 25 показан типовой пример сравнения характеристик и требований к теплоотводам для диодов IR типа 120NQ045 ( $T_{Jmax}$  Class = 150 °C) и 121NQ045 ( $T_{Jmax}$  Class = 175 °C), установленных в 100-амперном 5-вольтовом прямоходовом преобразователе. Диод 120NQ045 имеет более низкие потери, а диод 121NQ045 позволяет использовать теплоотвод меньших размеров. Результаты сравнения обобщены в табл. 8 (скважность импульсов тока проводимости 0,63, скважность обратного напряжения — 0,17; величина обратного напряжения — 34 В.

### Расчет допустимой температуры теплоотвода

Одно из решений при конструировании — установка других компонентов на теплоотвод диода Шоттки. Диоды Шоттки с более высоким значением  $T_{Jmax}$  Class допускают более высокий нагрев радиатора, но такая температура может быть слишком

Таблица 8

Тип диода Шоттки	$T_{Jmax}$ , °C	Потери на диоде Шоттки, Вт	Заданная температура $T_J$ , °C	$R_{JA}$ , °C/Вт	Тепловое сопротивление °C/Вт
120NQ045	150	41,5	133	2	1,4
121NQ045	175	43,5	163	2,62	2,07

Таблица 9

Тип диода Шоттки	$T_{AMB}$ , °C	Потери на диоде Шоттки, Вт	Заданная температура $T_J$ , °C	$T_{JA}$ , °C	$R_{JA}$ , °C/Вт	$R_{JS}$ , °C/Вт	Тепловое сопротивление, $R_{SA}$ , °C/Вт
65HQ030	50	26	137	87	3,35	1,08	2,27
	70	26	138	68	2,62		1,54
	85	26	139	54	2,08		1,0
122NQ030	50	20,4	130	80	3,92	0,55	3,37
	70	20,5	134	64	3,12		2,57
	85	20,8	136	51	2,45		1,9

Таблица 10

Тип диода Шоттки	$T_{Jmax}$ , °C	$T_{AMB}$ , °C	Потери на диоде Шоттки, Вт	Заданная температура $T_J$ , °C	$T_{JA}$ , °C	Тепловое сопротивление, °C/Вт
120NQ045	150	50	73,5	135	85	0,61
		70		137	87	0,36
121NQ045	175	50	76,5	162	112	0,91
		70		163	93	0,66

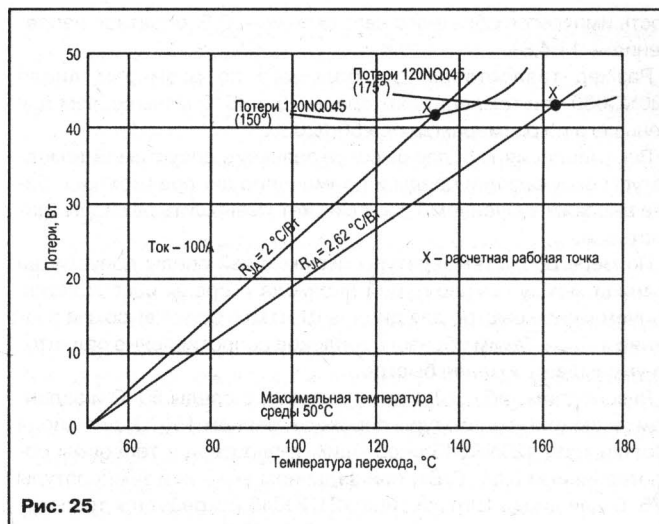


Рис. 25

высокой для других компонентов, установленных на этом же радиаторе.

Иногда требования безопасности могут утверждать, что температура теплоотвода не должна выходить за некоторые пределы, например, 100 °C. Это может заставить разработчика использовать радиатор больших размеров и диод Шоттки с малым значением  $T_{Jmax}$  Class, хотя иногда лучше для «низкотемпературных» компонентов использовать другой радиатор.

Рекомендация 5: если для разрабатываемого устройства имеются ограничения, связанные не только с температурным режимом диодов Шоттки, но и с максимально допустимой температурой теплоотвода, то для диодов Шоттки следует выбирать теплоотвод наименьших допустимых размеров.

В такой ситуации заданы как максимальная температура теплоотвода, так и максимальная температура окружающей среды. Следовательно, задана и температура переход-среда. Тепловое сопротивление теплоотвода будет наибольшим (другими словами, радиатор будет наименьших размеров) тогда, когда диод Шоттки будет иметь наименьшие потери.

### Определение верхнего предела температуры окружающей среды

Рекомендация 6: выбор диода Шоттки больших размеров может стать причиной повышения внутренней температуры устройства.

Как было сказано выше, при правильном подборе диода Шоттки большего размера и радиатора для него потери тем меньше, чем меньше размер радиатора.

В табл. 9 приведены сравнительные характеристики диодов Шоттки производства IR типа 65HQ030 и 122NQ030, работающих в 5-вольтовом 100-амперном источнике питания при максимальной расчетной температуре окружающей среды 50, 70 и 85 °C (скважность импульсов прямого тока — 0,5; ток — 100 А; скваж-

ность импульсов обратного напряжения — 0,5; обратное напряжение — 11,4 В).

Размер теплоотода для большего по размерам диода 120NQ030 при температурах среды 70 и 85 °С меньше, чем для меньшего по размерам диода 50HQ030.

Рекомендация 7: более высокое значение допустимой температуры окружающей среды и применение диодов Шоттки с более высоким значением  $T_{Jmax}$  поможет уменьшить размеры теплоотвода.

По мере роста температуры окружающей среды допустимая граница между температурой перехода и среды сокращается, причем менее быстро для диодов Шоттки с более высоким значением  $T_{Jmax}$ . Таким образом, тепловое сопротивление радиатора уменьшается менее быстро.

Рассмотрим *табл. 10*. При температуре среды  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и заданном значении температуры перехода, равном  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для диода Шоттки типа 120NQ45 необходим теплоотвод с тепловым сопротивлением  $0,61\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ ; при заданном значении температуры  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$  для диода Шоттки типа 121NQ45 потребуется теплоотвод с тепловым сопротивлением  $0,91\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$  при температуре среды  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и заданной температуре перехода  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуются теплоотвод со сверхнизким значением теплового сопротивления, равным  $0,36\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ . А при температуре перехода  $175\text{ }^{\circ}\text{C}$  его значение увеличится примерно на  $83\%$ , что на практике более достижимо.

## Подбор диодов Шоттки по классу напряжения

В рекомендации 8 (см. выше) говорится, что при заданном параметре  $T_{jmax}$  Class можно добиться наименьших потерь и применения теплоотвода наименьших размеров, если использовать диоды Шоттки наименьшего класса по напряжению, допустимого для разрабатываемого устройства.

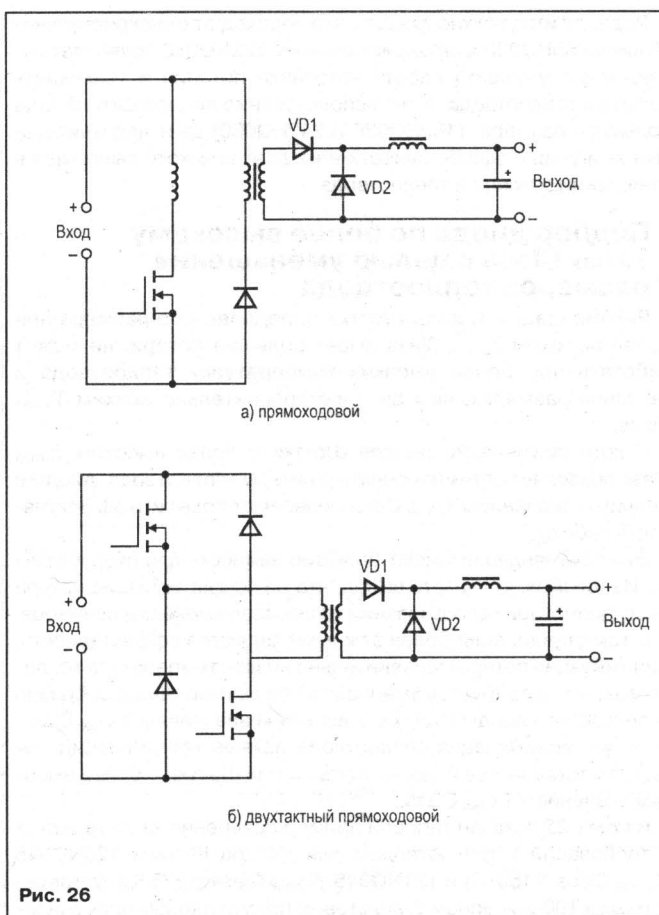
Диоды Шоттки более низкого класса по напряжению имеют более низкие значения прямого напряжения и величину потерь на проводимость. При этом потери на обратную утечку несколько возрастают. Однако суммарные потери в диодах Шоттки более низкого класса по напряжению меньше, и для их охлаждения требуется теплоотвод меньших размеров.

Типовой пример этому приведен в табл. 11. В ней сравниваются характеристики теплоотводов и потери «правильно подобранного» 30-вольтового диода Шоттки типа 122NQ030 с 45-вольтовым диодом 122NQ045, установленных в мостовом преобразователе с выходным напряжением 5 В и током 150 А. Потери в 30-вольтовом диоде Шоттки составляют 9,6% выходной мощности против 11,8% 45-вольтовым диоде.

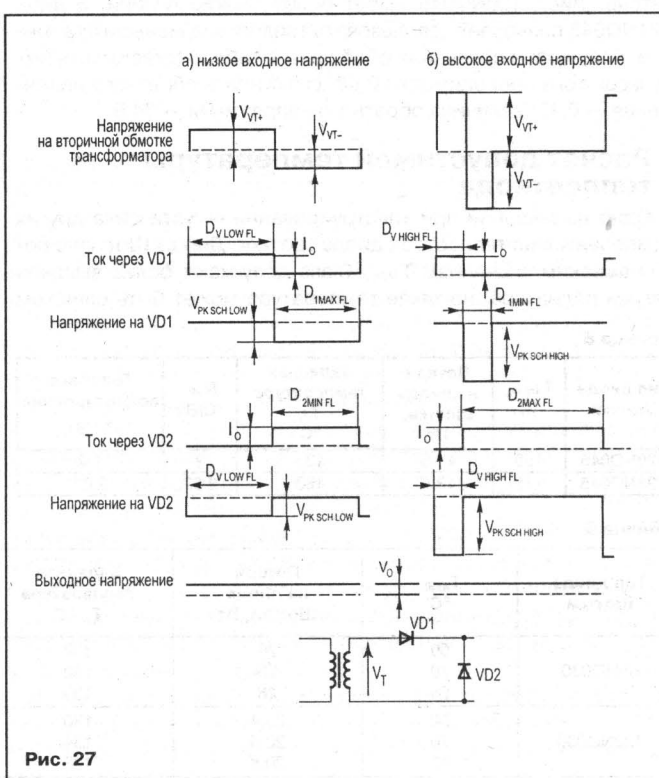
## Рабочие условия, влияющие на применение диодов Шоттки в импульсных источниках питания

Главными факторами, определяющими необходимость применения диодов Шоттки в импульсных источниках питания, являются значение рабочего тока через диод и форма напряжения, прикладываемого к нему. Форма напряжения зависит от типа используемой схемы источника питания.

На рис. 26, 28 и 30 изображены, соответственно, наиболее широко применяемые схемы прямоходового, мостового и обратногоходового импульсных источников питания. На рис. 27, 29 и 31 показаны соответственно идеальные эпюры тока и напряжения для каждой из этих схем. Регулирование выходного напряжения достигается за счет управления переключением ключевого транзистора (или транзисторов). При увеличении входного напряжения циклически изменяется проводящее состояние ди-



**Рис. 26**



**Рис. 27**

**Таблица 11**

Тип диода Шоттки	T <sub>max</sub> , °C	Класс по напряж., В	Потери на проводимость, Вт	Потери на обратную утечку, Вт	Суммарные потери выходной мощности, %	Значение заданной температуры, °C	Максимальная температура теплоотвода, °C	Тепловое сопротивление теплоотвода, °C/Вт
122NQ030	150	30	34,2	1,6	9,6	130	110	0,84
122NQ045	150	45	43,1	1,25	11,8	138	114	0,72

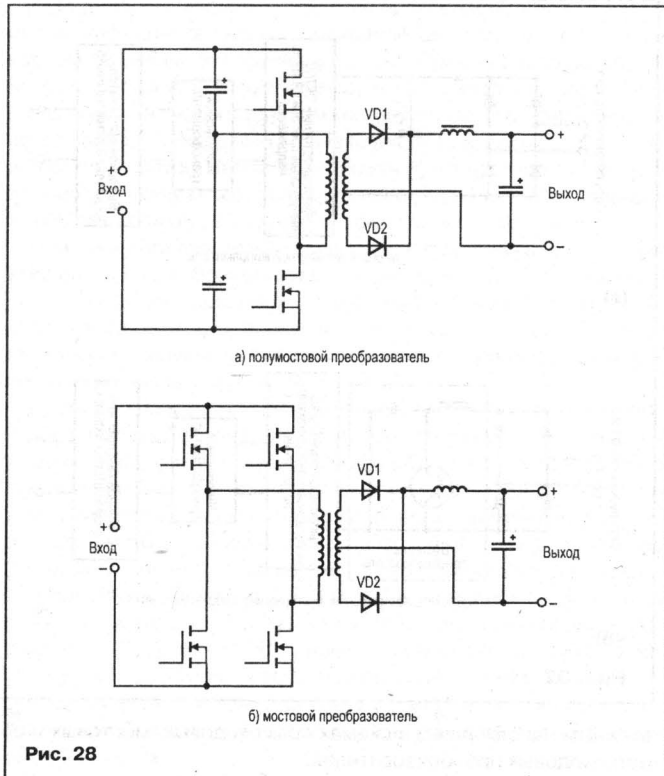


Рис. 28

ода Шоттки, напряжение на нем достигает пикового значения, и рабочее напряжение уменьшается.

Для расчета потерь мощности в диодах Шоттки на проводимость требуется определить форму импульсов тока и характеристики проводящего состояния в течение рабочего цикла, а для расчета обратных потерь — значение обратного напряжения, приложенного к диоду Шоттки, и скважность импульсов этого напряжения.

Теперь рассмотрим, какие токи и напряжения воздействуют на диод Шоттки в рабочем режиме. Допустим, что скважность импульсов, открывающих ключевой транзистор, составляет 0,5 при условии, что на границе рабочего диапазона выходное напряжение источника питания минимально, а выходной ток максимален. В этой рабочей точке ШИМ контроллер работает нелинейно, для того чтобы обеспечить на выходе требуемое выходное напряжение. При уменьшении тока нагрузки или увеличении входного напряжения скважность импульсов тока через ключевой транзистор принудительно изменяется ШИМ контроллером, чтобы в итоге выходное напряжение блока питания не изменилось.

## Общие особенности работы схем преобразователей напряжения

### Общие взаимозависимости параметров

Табл. 12 дает представление об общей взаимозависимости между током через диод Шоттки, выходным током и входным напряжением, а также между напряжением на диоде Шоттки, выходным напряжением, скважностью импульсов напряжения и

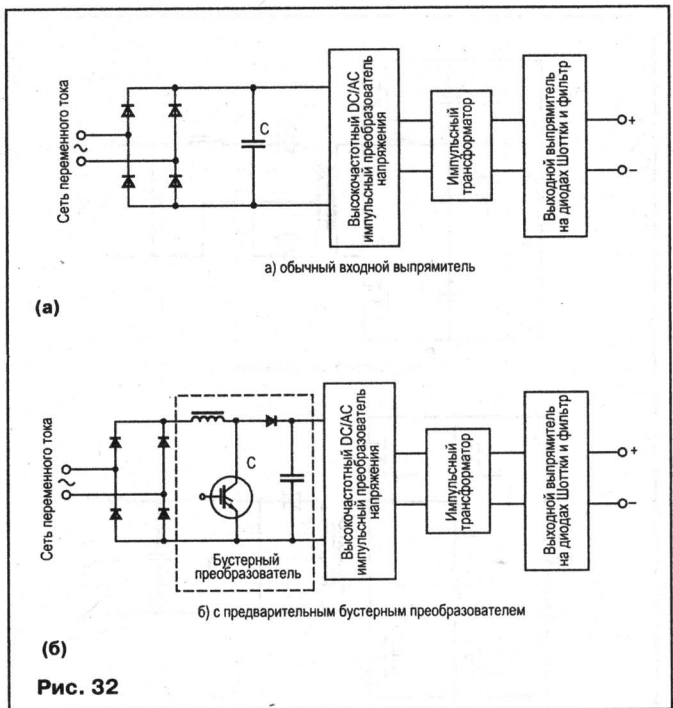
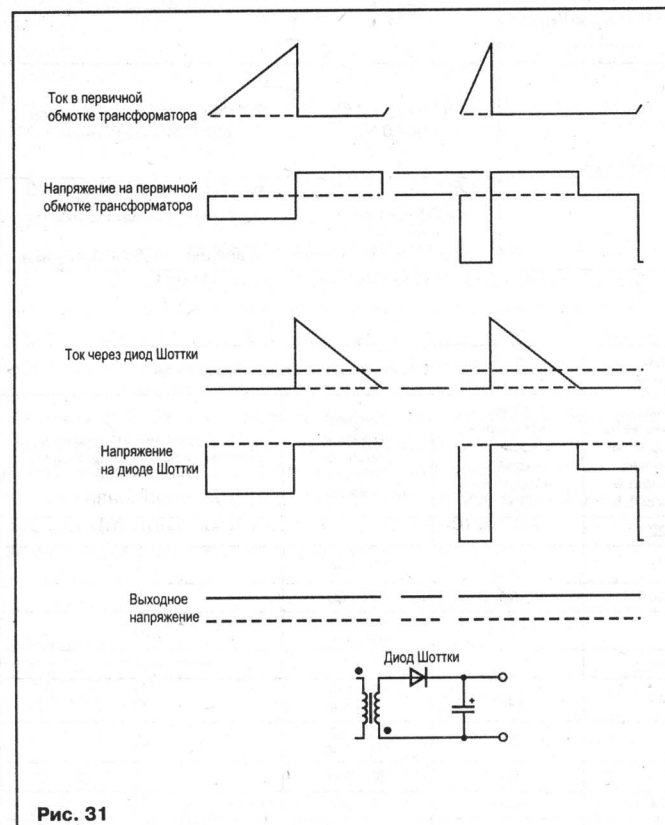
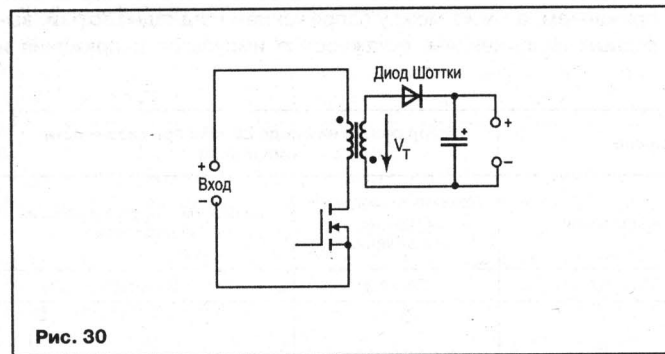
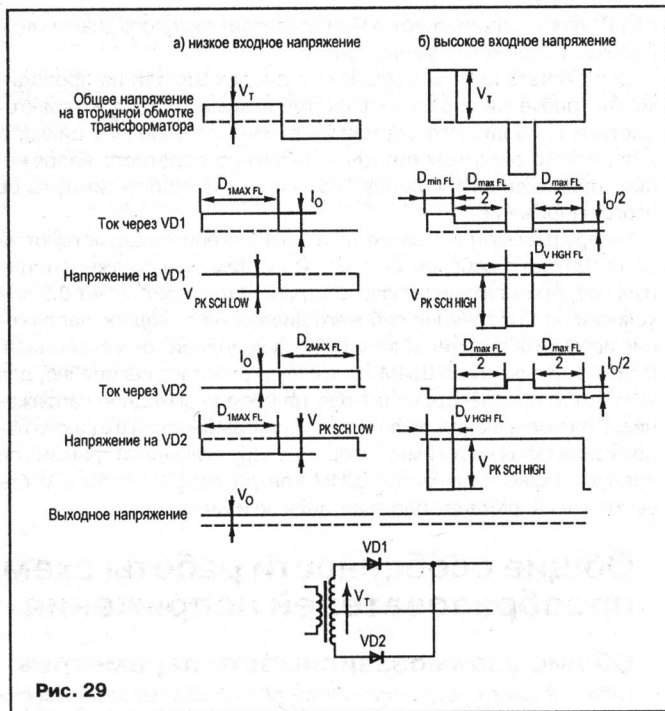
Таблица 12

Тип схемы	Ток через диод Шоттки при скважности импульсов				Напряжение на диоде Шоттки при скважности импульсов	
	При мин. входном напряжении		При макс. входном напряжении		При полной нагрузке и мин. вх. напряжении	При полной нагрузке и макс. вх. напряжении
	S1	S2	S1	S2	S1 и S2	S1 и S2
Прямоходовой преобразователь						
Двухтактный прямоходовой преобразователь	$I_O$ при 0,5	$I_O$ при 0,5	$I_O$ при $0,5V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$	$I_O$ при $1 - 0,5V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$	$2(1,04V_O + 0,5)$ при 0,5	$2(1,04V_O + 0,5)V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$ при $0,5V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$
Полумостовой преобразователь						
Мостовой преобразователь	$I_O$ при 0,5	$I_O$ при 0,5	$I_O$ при $0,5V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$ и $I_O/2$ при $1 - V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$		$2(1,04V_O + 0,5)$ при 0,5	$2(1,04V_O + 0,5)V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$ при $0,5V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$
Обратноходовой преобразователь	$I_{PK} = 4I_O$	—	$I_{PK} = 4I_O$	—	$2(V_O + 0,5)$ при 0,5	$(V_O + 0,5)V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH} + V_O$ при $0,5V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$ и $V_O$ при 0,5 — $0,5V_{IN\ LOW}/V_{IN\ HIGH}$

Таблица 13

Класс диода Шоттки по напряжению, В	Выходное напряжение, В	Прямоходовой, 2-тактный прямоходовой, полумостовой и мостовой преобразователи				Обратноходовые преобразователи		
		Макс. соотношение уровней входного напряжения (HIGH/LOW)	Типовое значение входного сетевого напряжения, В	Макс. напряжение на диоде Шоттки (исключая переходные процессы), В	Макс. соотношение уровней входного напряжения (HIGH/LOW)	Типовое значение входного сетевого напряжения, В	Макс. напряжение на диоде Шоттки (исключая переходные процессы), В	
30	2,5	3,5:1	80...280	22				
	5	2:1	80...160 160...320	23	3:1	85...255	22	
45	5	3:1	85...255	34	5:1	60...300	33	
	12				1,75:1	90...155 180...310	34	
60	5	4:1	65...250	46				
	12	1,7:1	90...155 180...310	44	2,6:1	65...170 130...340	45	
	15				2:1	80...160 150...300	46	
100	12	3:1	85...255	778	5:1	60...300	75	
	15	2,3:1	70...160	74	4:1	75...300	77	
150	15	3,4:1	80...270	110	6:1	60...360	108	





входным напряжением в схемах прямоходовых, мостовых и обратноточковых преобразователей.

### Зависимость выходного и входного напряжений от напряжения на диоде Шоттки

Выходное напряжение и допустимый диапазон изменения входного напряжения, при котором источник питания способен поддерживать выходное напряжение неизменным, зависят от класса диода Шоттки по напряжению. Причем зависимость эта для каждого типа импульсных источников питания различна. Табл. 13 обобщает данные о такой зависимости, и эта информация является производной от той, что приведена в табл. 12.

Данные, приведенные в табл. 13, показывают, что максимальное напряжение на диоде Шоттки при полной нагрузке и максимальное входное напряжение составляют примерно 75 % от значения повторяющегося напряжения на этом диоде. Таким образом, запас в 33 % по этому параметру предусмотрен с учетом переходных процессов при переключении. Этого достаточно, особенно с точки зрения переходных лавинных процессов в диодах Шоттки.

### Влияние поправки на коэффициент входной мощности

В настоящее время для преобразования входного напряжения сети переменного тока в первичное выходное напряжение постоянного тока на входе источника питания чаще всего применяется обычная схема выпрямителя (рис. 32, а). В установившемся состоянии спады и всплески выходного напряжения находятся в прямой зависимости от спадов и всплесков напряжения сети. Стабильность выходного напряжения в преобразователе, работающем на высокой частоте преобразования, обеспечивается за счет соответствующего изменения скважности импульсов тока через ключевой транзистор.

В «универсальном» источнике питания, работающем от сети переменного тока напряжением 115 и 240 В (при той же схеме включения выпрямителя), соотношение скважности импульсов тока через ключевой транзистор может составлять примерно 3:1. Поэтому и соотношение изменения обратного напряжения, приложенного к диодам Шоттки, также составит примерно 3:1.

Такая конструкция источников питания обычно применяется в маломощных импульсных источниках питания. В более мощных источниках (мощностью несколько сот ватт) применяют так называемую бустерную схему (рис. 32, б).



Основное назначение бустерного преобразователя — коррекция коэффициента мощности входной цепи методом активной коррекции величины переменного тока. Преимуществом бустерного преобразователя является то, что его выходное напряжение (напряжение на накопительном конденсаторе С) стабилизировано до какого-то постоянного значения, в то время как напряжение сети меняется. Например, выходное напряжение бустерного преобразователя может быть удержано на уровне 400 В, а напряжение сети при этом изменяется, скажем, от 80 до 280 В.

При таком предварительном регулировании высокочастотный импульсный преобразователь уже не работает при изменяющемся в широких пределах входном напряжении, поэтому отпадает необходимость в регулировании в широких пределах скажности импульсов тока через ключевой транзистор как минимум в нормальном режиме работы.

Сужение диапазона изменения входного напряжения для импульсного преобразователя означает, что к диодам Шоттки выходного выпрямителя будет приложено более низкое пиковое напряжение. По этой причине становится возможным повысить эффективность работы выпрямителя, если применить в нем диоды Шоттки более низкого класса по обратному напряжению ( $V_{RRM}$  Class), на которых падение прямого напряжения меньше.

В идеальном случае для диодов Шоттки конструкцию блока питания можно представить такой, где диоды Шоттки работают в открытом состоянии 50 % времени рабочего цикла и имеют удвоенный запас по обратному напряжению. Таким образом, в выходном выпрямителе 5-вольтового источника питания следует применять диоды Шоттки, обратное напряжение для которых равно 15 В.

Впрочем, и общими требованиями к проектированию импульсного источника питания пренебрегать нельзя. Это справедливо потому, что при требовании к установлению и постоянству выходной мощности в течение переходного процесса (обычно 1-2 периода) имеют место потери входного напряжения переменного тока. Когда это происходит, входной бустерный преобразователь не может обеспечить постоянную величину напряжения на первичном накопительном конденсаторе, поскольку временно на него «ничего не поступает». Однако накопительный конденсатор должен отдавать свою энергию в нагрузку, а ключевой преобразователь на это время при помощи ШИМ управления должен обеспечить постоянство выходного напряжения.

Сколько в течение переходного процесса на первичном накопительном конденсаторе продержится напряжение, будет зависеть только от длительности периода отсутствия мощности и емкости этого конденсатора. В любом случае единственным способом регулирования выходного напряжения в этой ситуации может быть только управление переключением ключевого транзистора импульсного преобразователя. К сожалению, это означает, что достичь нормального рабочего режима можно только предприняв меры для создания необходимого запаса энергии для нейтрализации «провала» энергии, поступающей из сети. Результирующее пиковое напряжение, приложенное к диодам Шоттки, будет меньше идеального минимального.

Итак, хотя диапазон изменения скажности импульсов через ключевой транзистор и приложенное к диодам Шоттки обратное напряжение можно уменьшить за счет использования бустерного преобразователя, все же некоторый диапазон регулирования в импульсном преобразователе должен быть предусмотрен, и из-за этого, соответственно, потребуются применять диоды Шоттки на более высокое рабочее напряжение.

Тем не менее, для заданного выходного напряжения часто бывает возможным использовать диоды Шоттки более низкого класса по обратному напряжению. Так, для 5-вольтового источника питания обычно применяют 30-вольтовые диоды Шоттки, в то время как выше приводилась необходимость применения 45-вольтовых. Аналогично в 12- и 15-вольтовых источниках вместо диодов Шоттки, рассчитанных на напряжение 60...100 В, можно с успехом использовать 45-вольтовые диоды.

Требования по напряжению для диодов Шоттки будут зависеть от длительности «провала» сетевого напряжения, в течение

которого устанавливается выходная мощность источника, а также от емкости первичного накопительного конденсатора.

В табл. 14 приведены данные о значении первичного спада напряжения, допустимого для различных типов диодов Шоттки «пониженного класса по напряжению» при выходных напряжениях 5, 12 и 15 В, когда используется предварительная регулировка мощности. Из этого следует, что пиковое напряжение, прикладываемое к диодам Шоттки (за исключением переходных процессов) составляет примерно 70 % от заданного повторяющегося рабочего напряжения.

## Рекомендации для разработчиков

1. В прямоходовом преобразователе напряжения, в котором используются два одинаковых диода Шоттки, VD1 и VD2, причем второй из них, VD2, имеет большие потери, чем VD1. Поэтому размеры теплоотвода для диода VD2 следует выбирать такими, чтобы его температура перехода всегда лежала в области безопасных значений при наиболее высоких значениях входного напряжения и полном токе нагрузки.

2. При «корректном смешанном» подборе диодов Шоттки для прямоходовых преобразователей, работающих в широком диапазоне входных напряжений, в качестве VD1 можно использовать диод Шоттки на более низкое напряжение, чем VD2. Общие потери при этом немного возрастут, но размер теплоотвода останется тем же.

3. При общем теплоотводе для обоих диодов Шоттки в прямоходовом преобразователе преимущества в подборе места установки на нем должны быть на стороне диода с наибольшими потерями. Физические размеры общего теплоотвода всегда будут меньше общего размера индивидуальных теплоотводов.

4. При использовании однотипных диодов Шоттки в прямоходовых и мостовых преобразователях их общие потери практически одинаковы. Однако теплоотвод для диодов Шоттки в мостовом преобразователе существенно меньше по той причине, что из-за симметричной работы мостового против асимметричной работы прямоходового преобразователя: в первом мощность между диодами Шоттки распределяется равномерно, и рост температуры перехода в них меньше.

5. Диоды Шоттки при заданном размере кристалла и одинаковом технологическом процессе их изготовления имеют практически одинаковые расчетные величины потерь, зависящие от типа их корпуса, заданного значения выходного тока, выходного напряжения и диапазона входного напряжения. **Но только тип корпуса диода Шоттки будет определять тепловое сопротивление теплоотвода.**

6. В обратных преобразователях диоды Шоттки, рассчитанные на температуру 175 °С, более эффективны, чем диоды, рассчитанные на температуру 150 °С, поскольку для них требуется теплоотвод меньших размеров.

## Применение диодов Шоттки в импульсных источниках питания

Зная выходное напряжение источника питания, выходной ток, диапазон входных напряжений и температурные условия его эксплуатации, а также имея возможность выбора диодов Шоттки, разработчик может завершить расчет требуемого теплового сопротивления теплоотвода, рабочей температуры перехода и критических потерь. Для прямоходовых и мостовых преобразователей напряжения чаще всего допускается установка диодов Шоттки на общем теплоотводе (в обратных преобразователях, конечно, применяется всего лишь один диод Шоттки). Общий теплоотвод наиболее удобен для двоянных диодов Шоттки, в ко-

Таблица 14

Класс диода Шоттки по напряжению ( $V_{RRM}$ Class)	Выходное напряжение, В	Максимально допустимый коэффициент снижения переходного напряжения блока питания относительно его рабочего напряжения
15	2,5	0,6
30	5	0,5
45	12	0,82
60	12	0,6
	15	0,77

торых два диода размещены в одном общем корпусе. Очень часто при выборе именно таким диодам отдают предпочтение.

### Сравнение применения диодов Шоттки одного типа и смешанных типов

Результаты использования диодов Шоттки одного типа и смешанных типов, приведенные в табл. 15, нуждаются в пояснениях.

При применении диодов Шоттки смешанных типов величина критических потерь примерно на 9% выше. Это результат замены диода VD1 типа 240NQ045 (большого размера) на диод 120NQ045 (меньшего размера).

Однако для обоих случаев используется один и тот же теплоотвод. Причина этого — смещение расчетных критических условий от VD2 при высоком входном напряжении к VD1 при низком. Диод меньшего размера можно использовать при работе с более высокой температурой перехода, чем для диода VD2, поскольку он имеет более низкий обратный ток утечки, что предполагает более узкие границы температурных колебаний.

Вывод: при «корректном смешанном» подборе диодов Шоттки для прямоходовых преобразователей, работающих в широком диапазоне входных напряжений, в качестве VD1 можно использовать диод Шоттки на более низкое напряжение, чем VD2. Общие потери при этом немного возрастут, но размер теплоотвода останется тем же.

### Индивидуальные (раздельные) теплоотводы в прямоходовых преобразователях напряжения

Иногда, когда подобраны диоды VD1 и VD2 различных типов, чтобы согласовать их работу в асимметричной схеме, необходимо также подобрать подходящие теплоотводы для каждого диода в отдельности, и эти теплоотводы должны быть термически изолированы друг от друга.

Размер индивидуального теплоотвода следует определять, исходя из максимальной величины потерь. При этом, если один из диодов сильно нагружен, второй должен быть нагружен недостаточно, и наоборот. Анализ требований к теплоотводу и рабочей температуре перехода был проведен на примере прямоходового преобразователя (200 А; 5 В), в котором были использованы диоды Шоттки смешанных типов (120NQ045 и 240NQ045) на раздельных теплоотводах (рис. 33).

VD1 имеет максимальные потери при низком входном напряжении. На графике (рис. 33) показано геометрическое место точек, необходимое при определении значения теплового сопротивления переход-среда для температуры перехода 150 °C при температуре среды (TAMB + 60 °C).

Пересечение области геометрического места точек теплового сопротивления с кривой графика потерь в диодах Шоттки дает значение рабочей температуры перехода 138 °C, что соответствует значению потерь 64 Вт.

$$R_{JA1} = \frac{138 - 50}{64} = 1,38^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Таблица 15

Тепловое сопротивление теплоотвода, °C/Вт	Диод Шоттки VD1					Диод Шоттки VD2					Общие потери в обоих диодах Шоттки, Вт	
	Тип	Низкое входное напряжение		Высокое входное напряжение		Тип	Низкое входное напряжение		Высокое входное напряжение		Низкое входное напряжение	Высокое входное напряжение
		Потери, Вт	Рабочая температура T <sub>J</sub> , °C	Потери, Вт	Рабочая температура T <sub>J</sub> , °C		Потери, Вт	Рабочая температура T <sub>J</sub> , °C	Потери, Вт	Рабочая температура T <sub>J</sub> , °C		
0,42	240NQ045	52,5	113	19	102	240NQ045	52,5	113	89	126	106	108
0,43	120NQ045	64	135	22,5	111	240NQ045	53	118	89	129	117	112
VD1 — 0,83	120NQ045	64	138	23	82	240NQ045	53	98	90	132	117	113
VD2 — 0,56						240NQ045	53	133	47	124	106	94

$$R_{SA1} = R_{JA1} - R_{JS1} = 1,38 - 0,55 = 0,83^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Диод Шоттки VD2 имеет максимальные потери при высоком входном напряжении. На графике (рис. 33) показано геометрическое место точек, необходимое при определении значения теплового сопротивления переход-среда для температуры перехода 150 °C при температуре среды (TAMB + 10 °C).

Пересечение области геометрического места точек теплового сопротивления с кривой графика потерь в диодах Шоттки дает значение рабочей температуры перехода 132 °C, что соответствует значению потерь 90 Вт.

$$R_{JA2} = \frac{132 - 50}{90} = 0,91^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

$$R_{SA2} = R_{JA2} - R_{JS2} = 0,91 - 0,35 = 0,56^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

### Сравнение общих и индивидуальных теплоотводов при их использовании в прямоходовых преобразователях напряжения

Применение общего теплоотвода для обоих диодов Шоттки в прямоходовом преобразователе напряжения позволяет более эффективно, по сравнению с другими типами преобразователей, использовать диоды Шоттки с высокими значениями потерь. Размеры одного общего теплоотвода значительно меньше общего размера двух индивидуальных теплоотводов для каждого диода.

### Мостовые преобразователи напряжения

В мостовых преобразователях диоды Шоттки работают попеременно (симметрично). Поскольку оба диода Шоттки отдают в теплоотвод одинаковую мощность, каждый из них «работает»

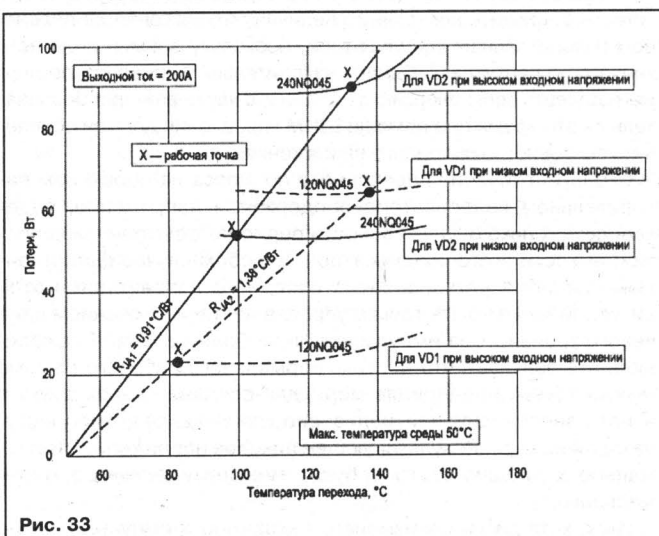


Рис. 33

только на свою половину радиатора. В конечном счете, это эквивалентно тому, что каждый диод как бы установлен на отдельный радиатор, который имеет в два раза большее тепловое сопротивление, чем один общий теплоотвод.

Чтобы нагляднее представить это, снова обратимся к диодам Шоттки типа 240NQ045, работающим в импульсном 5-вольтовом источнике питания на 200 А при температуре окружающей среды 50 °С и соотношении изменения входного напряжения 3:1.

На рис. 34 показаны расчетные потери для каждого из диодов в зависимости от температуры перехода при максимальном и минимальном значениях входного напряжения. Потери, как было отмечено выше, рассчитываются исходя из значений прямого напряжения и обратного тока утечки, приводимых в справочных данных с техническими характеристиками диодов, а также с учетом условий их работы. Следует отметить, что половина общего выходного тока проходит через диоды в течение части каждого периода.

Из рис. 34 следует, что при температуре перехода  $T_{Jmax} = 150$  °С наибольшие потери имеют место при наибольшем значении входного напряжения, они обусловлены величиной обратных потерь. Это рабочие условия, которые должны удовлетворять работе теплоотвода при гипотетическом повышении температуры окружающей среды на 10 °С.

Требуемая область значений теплового сопротивления переход-среда определяется следующим образом. При высоком входном напряжении рабочая температура перехода каждого диода Шоттки составляет 132 °С, а потери — 53 Вт.

$$R_{JA} = \frac{132 - 50}{53} = 1,55 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} ,$$

$$R_{SA1} = R_{SA2} = 1,55 - 0,35 = 1,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} .$$

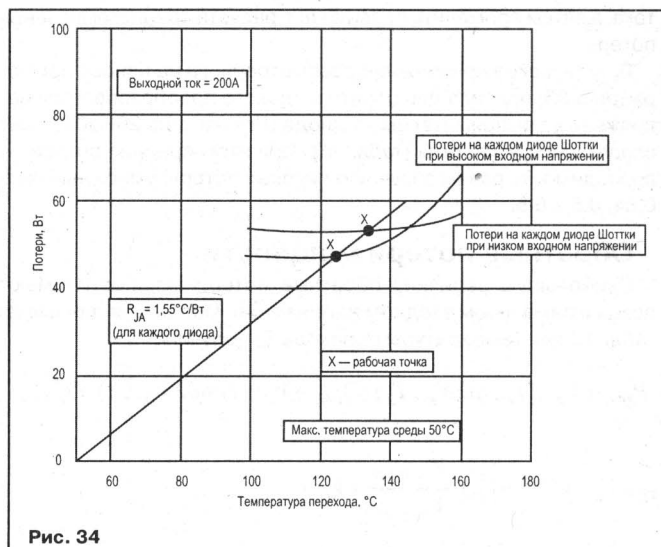
$$R_{SA} = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \text{ (общее значение для обоих диодов Шоттки).}$$

### Сравнение требований к теплоотводам для прямоходовых и мостовых преобразователей напряжения

Что касается вопроса выбора типа диодов, когда речь идет о выходных диодах Шоттки, то расчеты прямоходовых и мостовых преобразователей показывают их явное превосходство перед диодами других типов. Как было сказано выше, при использовании однотипных диодов Шоттки в прямоходовых и мостовых преобразователях, их общие потери практически одинаковы. Однако теплоотвод для диодов Шоттки в мостовом преобразователе существенно меньше по той причине, что из-за симметричной работы мостового против асимметричной работы прямоходового преобразователя, в первом мощность между диодами Шоттки распределяется равномерно, и рост температуры перехода в них меньше.

По этой причине при высоком входном напряжении рабочие условия мостового преобразователя не «урезаны» так, как рабочие условия прямоходового. Асимметричная работа диодов Шоттки в последнем случае приводит к неравномерному распределению мощности между ними. В результате температура перехода диода Шоттки VD2 выше, чем температура перехода диода VD1. При этом становится меньшей допустимая разница температур теплоотвод-среда и требуется теплоотвод большей площади.

Далее, в рекомендации 5 было сказано, что Диоды Шоттки при заданном размере кристалла и одинаковом технологическом процессе их изготовления имеют практически одинаковые расчетные величины потерь, зависящие от типа их корпуса, заданного значения выходного тока, выходного напряжения и диапазона входного напряжения. Но только тип корпуса диода Шоттки будет определять тепловое сопротивление теплоотвода.



Причиной этого является то, что для заданной рабочей температуры перехода потери диода Шоттки определяются размером кристалла, а не типом корпуса.

Требуемое значение теплового сопротивления определяется безопасной максимальной рабочей температурой, для заданной расчетной температуры среды она будет иметь точно такое же значение и зависеть от типа корпуса диода Шоттки и типа схемы — мостовой или прямоходовой.

Различие значений теплового сопротивления переход-радиатор для разных типов корпусов отражают непосредственно различие в величинах теплового сопротивления для внешнего радиатора. Однако эти различия на величину потерь существенно не оказывают. «Низкое» тепловое сопротивление корпуса означает «высокое» тепловое сопротивление радиатора, и наоборот.

### Обратноходовые преобразователи напряжения

При рассмотрении временных диаграмм работы обратноходового преобразователя (рис. 31) предполагалось, что скважность импульсов тока через диод Шоттки при полной нагрузке неизменна, равна 0,5 и не зависит от входного напряжения. Отсюда следует, что и потери диода Шоттки на проводимость также не зависят от входного напряжения.

Обратные потери мощности, с другой стороны, зависят от входного напряжения и максимальны при его максимальном значении.

### Потери диодов Шоттки на проводимость в обратноходовых преобразователях напряжения

Импульсы тока через диод Шоттки в обратноходовом преобразователе напряжения (рис. 32) имеют треугольную форму. Начальное пиковое значение тока через него в 4 раза больше значения выходного тока. Средние потери в диоде Шоттки необходимо рассчитывать. Рассмотрим на примере простое основное правило такого расчета.

Графики мгновенных потерь на проводимость в диоде Шоттки типа 20FQ045 при треугольной форме импульсов тока достигают пиковых значений 80 и 40 А (рис. 35). Как видно, для каждого из этих значений тока средние потери примерно такие же, как и величина потерь при треугольной форме импульсов тока, которая в среднем составляет 84% от начального значения потерь. Отсюда можно вывести эмпирическое правило для расчета средних потерь на проводимость: средние потери на проводимость равны средней величине потерь при протекании через диод Шоттки импульсов тока треугольной формы и составляют 84% от действительного значения пиковых потерь на проводимость.

Это правило справедливо, потому что оно подтверждает необходимость расчета мгновенного значения потерь. Вместо этого можно рассчитать его лишь для начального пика импульса



тока, а затем применить правило для расчета среднего значения потерь.

Практическое применение рассмотренного на основе примера (рис. 35) правила для обратноходового преобразователя напряжения с выпрямителем на диоде Шоттки типа 20FQ045 дает следующие результаты (табл. 16). При этом средние потери на проводимость равны значению пиковых потерь, умноженных на 0,84, 0,5 и 0,5.

### Обратные потери мощности

Наибольшую величину обратные потери мощности имеют при максимальном входном напряжении. Используя данные из табл. 12 для температуры перехода  $T_J$  получим:

$$P_{REV} = V_{R1} \cdot (I_R \text{ при } V_{R1}, T_J) \cdot D_{1min} + V_O \cdot (I_R \text{ при } V_O, T_J) \cdot D_{V, IDLE},$$

$$\text{где } V_{R1} = (0,5 + V_O) \cdot \frac{V_{IN HIGH}}{V_{IN LOW}} + V_O,$$

$$D_{1min} = \frac{V_{IN LOW}}{V_{IN HIGH}},$$

$$D_{V, IDLE} = 0,5 - 0,5 \frac{V_{IN LOW}}{V_{IN HIGH}}.$$

Второе слагаемое основной формулы характеризует, главным образом, обратные потери мощности в период ожидания, которые значительно меньше первого слагаемого, и ими можно пренебречь.

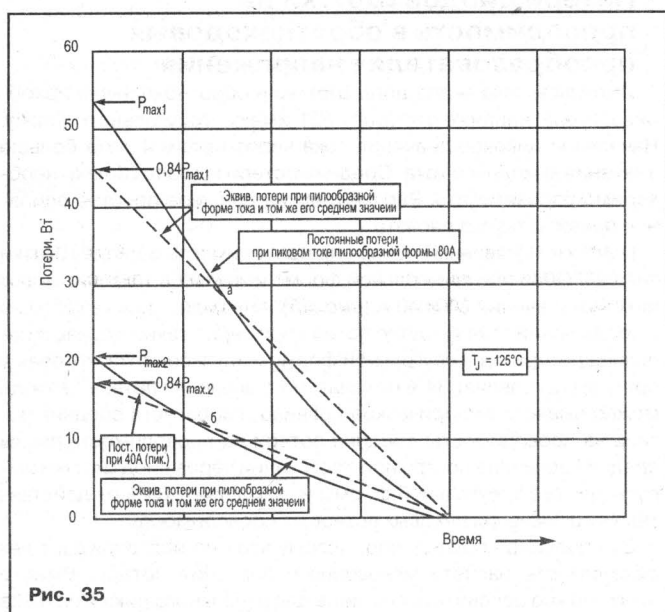
### Пример расчета

Процедура расчета с целью определить рабочую точку и требования к теплоотводу для обратноходового 5-вольтового преобразователя напряжения, работающего при отношении максимального к минимальному входному напряжению, как 5:1, для различных значений выходного тока и различных типов диодов Шоттки приведены в табл. 17.

На рис. 36 приведен график зависимости суммарных потерь (потерь на проводимость и обратных потерь) от температуры

Таблица 16

Пиковый ток, А	Средний выходной выпрямленный ток, А	Пиковые потери на проводимость, Вт	Средние потери на проводимость, Вт
40	10	20,5	4,3
80	20	53,5	11,25



перехода при различных значениях теплового сопротивления переход-среда.

### Эффективность диодов Шоттки в обратноходовых преобразователях напряжения

Результаты расчетов, приведенные в табл. 17, свидетельствуют о следующем: в обратноходовых преобразователях диоды Шоттки, рассчитанные на температуру 175 °С, более эффективны, чем диоды, рассчитанные на температуру 150 °С, поскольку для них требуется теплоотвод меньших размеров.

Причина, которая позволяет говорить о диодах Шоттки, рассчитанных на температуру 175 °С, как о более эффективных, была раскрыта ранее при сравнении характеристик зависимости прямого напряжения от класса от типа технологического процесса производства диодов (см. рис. 5, 6). При высокой плотности пикового тока прямое напряжение на диодах Шоттки, относящихся к классу 175 °С, такое же или ниже, чем для диодов, относящихся к классу 150 °С.

Обратноходовой преобразователь работает при относительно высокой плотности пикового тока. Поэтому наиболее предпочтительное решение для них — использование диодов Шоттки, относящихся к классу 175 °С.

Размеры теплоотвода, необходимого для таких диодов, значительно меньше, поскольку допустимое значение их температуры выше.

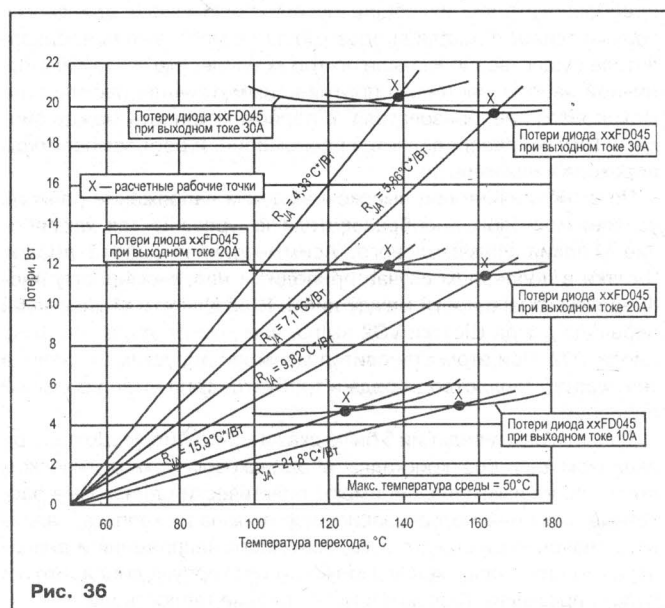
### Расчет температуры для заданного теплоотвода

Определить тепловое сопротивление для заданной максимальной расчетной температуры теплоотвода можно с помощью рис. 37.

Допустим, максимальная расчетная температура радиатора для мостового преобразователя напряжения равна 100 °С (см. рис. 34). Температура радиатора минимальных размеров ранее была определена как 113 °С, однако теперь это больше максимально допустимого расчетного значения.

Потери мощности в каждом диоде Шоттки при температуре радиатора 100 °С определяются точками на графике, соответствующем тепловому сопротивлению 0,35 °С/Вт, который проходит через ось температур в точке 100 °С. Соответствующими этому случаю рабочими точками являются Y1 и Y2 (для низкого и высокого входного напряжения соответственно). Потери при низком входном напряжении максимальны и составляют 53 Вт на диод Шоттки. Поэтому:

$$R_{SA} = \frac{T_S - T_{AMB}}{\text{Общие потери в ДШ}} = \frac{100 - 50}{2 \cdot 53} = 0,47 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$





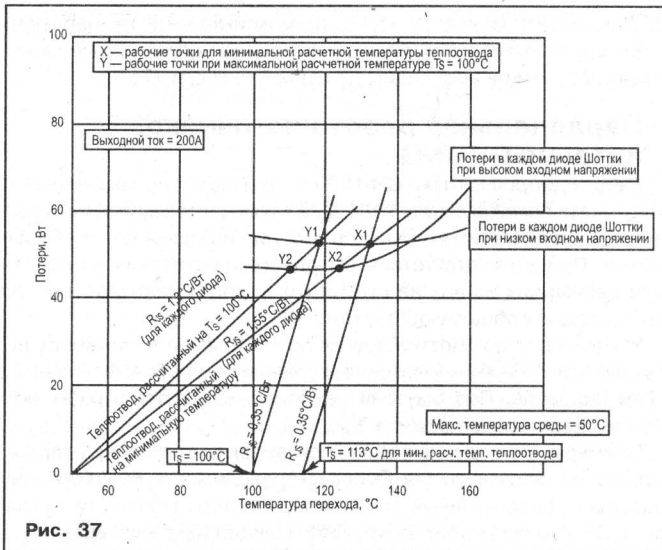


Рис. 37

Полученное выше значение теплового сопротивления соответствует максимальной температуре теплоотвода 100 °C по сравнению с рассчитанным ранее значением теплового сопротивления 0,6 °C/Вт для минимального расчетного теплоотвода.

### Зависимость мощности рассеивания от теплового сопротивления

При увеличении рабочего значения мощности рассеивания значение теплового сопротивления уменьшается обратно пропорционально, поскольку увеличение роста внешней температуры приводит к уменьшению роста температуры радиатора.

Так как больший общий полученный рост температуры (например, переход-среда) «выжат» при росте температуры переход-радиатор, то меньший — при росте температуры радиатора.

Повышение требований к теплоотводу при увеличении мощности рассеивания можно выразить термином «отношение внешнего (например, теплоотвод-среда) и внутреннего (например, переход-теплоотвод) тепловых сопротивлений». График зависимости этого отношения показан на рис. 38. Величина, обратная отношению тепловых сопротивлений — отношение тепловых проводимостей растет намного быстрее, чем происходит рост мощности.

Для того чтобы акцентировать задачу, необходимо отметить, что физический размер теплоотвода следует увеличивать в большей пропорции, чем увеличивается отношение тепловой проводимости, поскольку рост температуры радиаторов всегда происходит медленнее, чем растет сама температура. В конце концов, рабочий ток увеличивается в меньшей пропорции относительно увеличения мощности, потому что при увеличении тока увеличивается прямое напряжение на диоде Шоттки.

По этим причинам при практических расчетах редко встречаются случаи, когда отношение тепловых сопротивлений  $R_{SA}:R_{JS}$  меньше единицы (исключение — радиаторы с жидкостным охлаждением). Отношение тепловых сопротивлений, близкое к единице имеет место при расчетах, когда физические размеры теплоотвода слишком велики по отношению к диоду Шоттки. Поэтому в конструкциях, чувствительных к размерам теплоотвода, отношение тепловых сопротивлений не может быть меньше,

Таблица 17

Выходной ток, А	Тип диода Шоттки	Заданное значение $T_{Jmax}$ , °C	$R_{JA}$ , °C/Вт	$R_{SA}$ , °C/Вт	Потери в диоде Шоттки, Вт	Потери в диоде Шоттки, %	Рабочее значение $T_J$ , °C
10	20FQ045	150	15,9	14,1	4,6	9,2	123
10	30FQ045	175	21,6	19,9	4,85	9,7	155
20	20FQ045	150	7,1	5,4	12	12	135
20	30FQ045	175	9,82	8,1	11,4	11,4	162
30	20FQ045	150	4,33	2,6	20,3	13,5	138
30	30FQ045	175	5,86	4,1	19,6	13	165

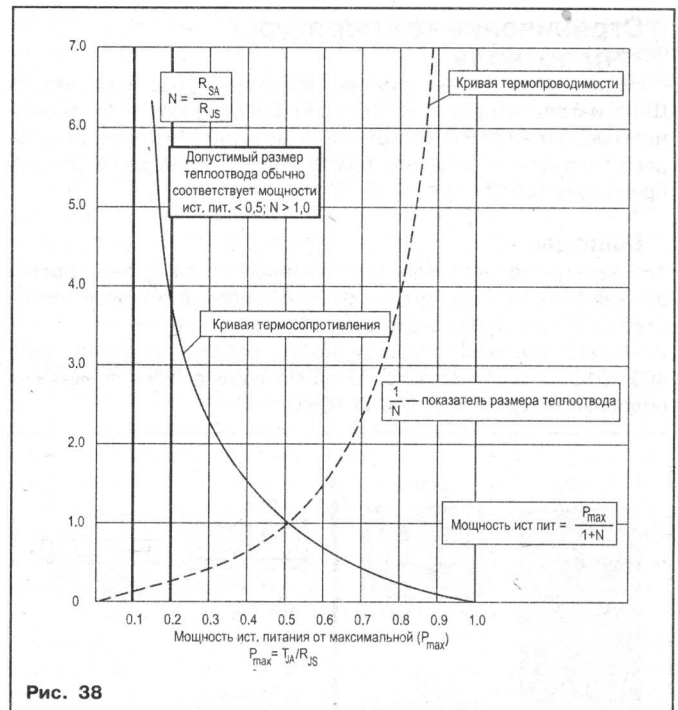


Рис. 38

чем в этом случае. Для них более употребим термин «диод Шоттки», чем «теплоотвод».

## Примеры расчетов

### Расчет теплоотвода минимальных размеров

На рис. 39 приведены различные практические примеры сочетаний диодов Шоттки и теплоотводов, предназначенных для импульсных источников питания с выходным напряжением 5 В и током 200 А, рассчитанных для работы при отношении максимального к минимальному входному напряжению, как 3:1. Для радиатора, показанного на рис. 40, тепловое сопротивление приведено при наличии принудительного воздушного охлаждения.

При расчетах четко просматривается, что на размеры теплоотвода главным образом влияют тип диодов Шоттки и выбранный тип схемы преобразователя. При этом можно сделать следующие выводы:

- диод Шоттки типа 200CNQ при его использовании в прямоходном преобразователе требует неоправданно большого теплоотвода, а соответствующее отношение  $R_{SA}:R_{JS}$  при этом меньше единицы;
- диод Шоттки на 400 А требует теплоотвода значительно меньших размеров, чем они необходимы для диода Шоттки на 200 А;
- диоды Шоттки класса 175 °C (201CNQ и 401CNQ) требуют теплоотвода меньших размеров, чем для диодов класса 150 °C (200CNQ и 400CNQ) в любом случае, поскольку температура радиатора для диодов Шоттки класса 175 °C существенно выше;
- для мостовой схемы преобразователя необходим теплоотвод значительно меньших размеров, чем для прямоходового преобразователя, поскольку диоды Шоттки в нем работают симметрично, а в прямоходовом — одновременно.

## Ограничение температуры теплоотвода

На рис. 41 показаны примеры различного сочетания диодов Шоттки и радиаторов для мостового преобразователя с выходным напряжением 5 В и током 200 А, все критерии расчета которого основаны на том, что температура радиатора не должна превышать 100 °С.

### Выводы:

1. Размеры теплоотвода для заданного типа диода Шоттки должно быть больше чем для минимального расчетного теплоотвода, представленного на рис. 39.
2. Более высокая эффективность работы модулей типа 400/401CNQ требует теплоотвода меньших размеров, чем для подобных модулей типа 200/201CNQ.

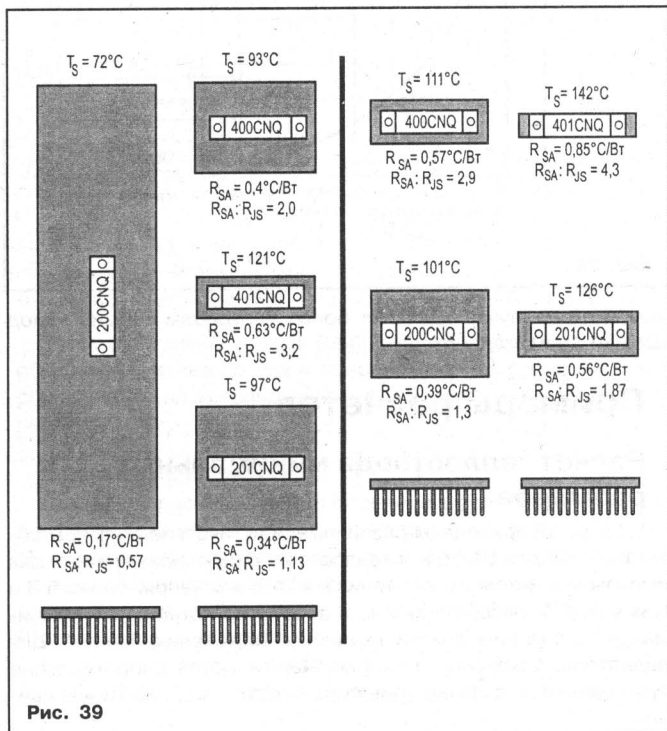


Рис. 39

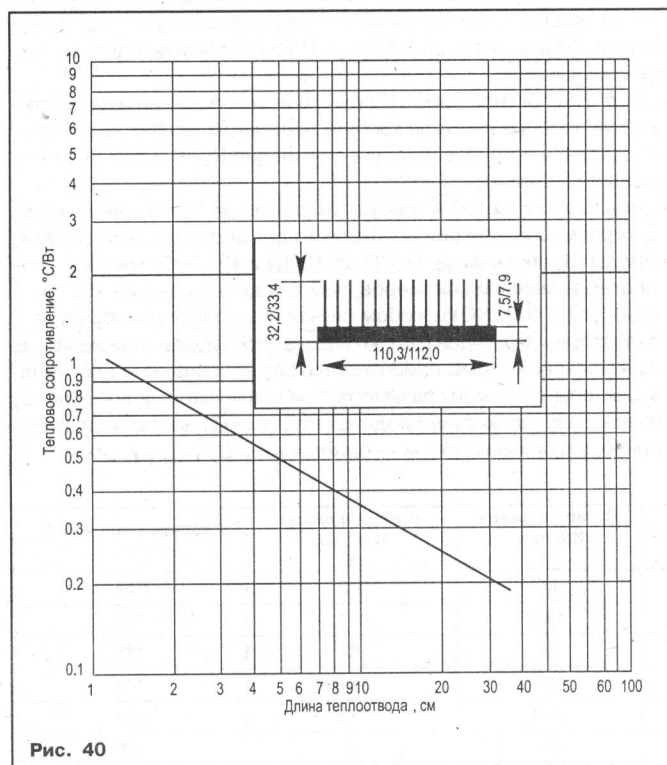


Рис. 40

3. Диоды Шоттки класса 150 °С по максимальной температуре перехода с их меньшими потерями требуют радиатор меньших размеров, чем он необходим для диодов класса 175 °С.

## Параллельная работа источников питания OR-ING

Работа диодов Шоттки OR-ING не отличается по логике работы от логической функции ИЛИ. Она заключается в приеме мощности от нескольких источников питания и подаче ее на общий выход. При этом отсутствие выходного напряжения на одном или нескольких из них не шунтирует выход и, соответственно, не приводит к общему отказу (рис. 42).

Как и на диодах Шоттки других типов, прямое напряжение на диодах OR-ING уменьшается при увеличении рабочей температуры перехода. Поэтому они наиболее эффективно работают при температурах, близких к  $T_{Jmax}$ .

Примеры, приведенные далее показывают, что размеры теплоотвода, рассчитанные для потерь на проводимость, будут больше размеров, рассчитанных для обратных потерь мощности, когда диод OR-ING переходит из открытого состояния в закрытое.

На рис. 43 показана зависимость потерь на проводимость от температуры перехода для диодов Шоттки OR-ING типа 19TQ015 для прямых токов 15 и 25 А. На этом же графике показана и зависимость обратных потерь от температуры перехода при приложенном к диоду обратном напряжении 5 В.

Графики теплового сопротивления переход-среда показаны для температуры окружающей среды 50 °С и рабочей температуры перехода 90 °С. Соответствующая область значений теплового сопротивления переход-корпус (1,5 °C/Bт) показывает, что для рабочего тока 25 А рабочая температура корпуса составляет 77 °С, а для рабочего тока 15 А — 83,5 °С.

При выходе источника питания из строя температура корпуса диода Шоттки за короткий момент времени существенно не изменится, однако рабочая точка на графике обратных потерь переместится в точку А при расчетном токе 25 А или в точку В при расчетном токе 15 А. В любом случае получается сплошная «не отклоняющаяся» и обеспечивающая стабильность работы область пересечения линии, определяющей значения температуры переход-корпус, с графиком обратных потерь мощности.

По мере остывания диода Шоттки обратные потери мощности существенно снизятся и станут меньше потерь на проводимость, а рабочие точки на графике обратных потерь переместятся в точки А' и В' для значений расчетных токов 25 и 15 А соот-

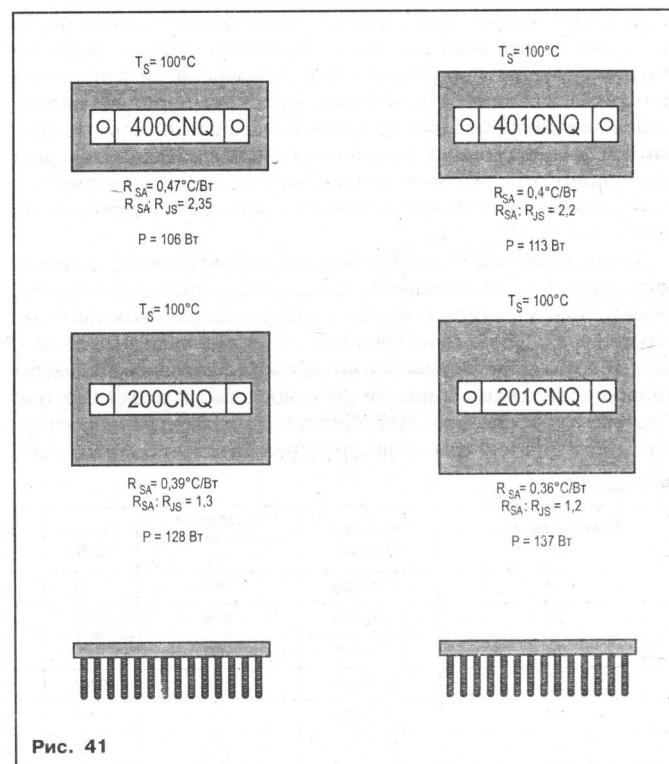


Рис. 41

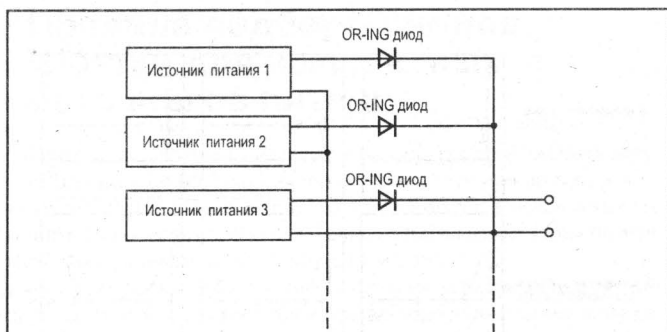


Рис. 42

ветственно. Из-за того, что диод Шоттки установлен на собственном радиаторе. Если все OR-ING диоды будут установлены на общем теплоотводе, то рабочие точки будут близки к точкам А и В для расчетных токов 25 и 15 А соответственно.

## Переходные процессы при переключении

При быстром переключении тока через диод Шоттки формируется переходное напряжение, зависящее от значений индуктивности и собственной емкости диода Шоттки. Это имеет место, например, в прямоходовом или мостовом преобразователе напряжения, когда меняется полярность выходного напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Индуктивность вторичной обмотки трансформатора вместе с паразитной индуктивностью схемы и собственной емкостью диода Шоттки образуют резонансную цепь. На рис. 44 показаны эквивалентная схема и идеализированные временные диаграммы тока и напряжения при коммутации.

При отсутствии сглаживания обратное напряжение, приложенное к диоду Шоттки, примерно вдвое превышает напряжение, поступающее с трансформатора. При этом возникают затухающие колебания, частота которых определяется частотой резонанса паразитного колебательного контура, образованного паразитными индуктивностями и собственной емкостью диода Шоттки.

Диоды Шоттки производства компании IR, например, способны поглощать энергию лавинного пробоя при значениях напряжения, превышающих рабочее. Однако это не предотвращает возникновение паразитных колебаний, поскольку амплитуда колебаний меньше напряжения пробоя диода Шоттки, значение

которого, как правило, примерно в 1,5 раза больше рабочего напряжения. Частота паразитных колебаний, возникающих при переключении, может составлять от 1 до 15 МГц, и такие колебания нежелательны, т. к. они являются источником электромагнитных помех. Обычно для борьбы с такими паразитными колебаниями применяют сглаживание.

Таким образом, способность диода к лавинному пробую совсем не исключает необходимость применения сглаживания. Наоборот, применение сглаживающей цепи позволяет надежно исключить возникновение всплесков напряжения, расширить диапазон значений входного напряжения, и при этом как размеры демпфирующей сглаживающей цепи, так и потери в ней будут минимальны.

## Расчет сглаживающей цепи

Сглаживающая RC-цепь требует тщательного расчета. Каждый раз при заряде и разряде емкости сглаживающей цепи рассеивается энергия, равная  $1/2 C_{\text{SNUBBER}} \cdot V^2$ . Таким образом, при каждом цикле переключения теряется энергия, равная  $1/2 C_{\text{SNUBBER}} \cdot V^2$  (сначала такая энергия теряется при включении, а затем при выключении диода Шоттки). Для снижения величины потерь в сглаживающей цепи емкость ее конденсатора должна быть как можно меньшей, но достаточной для того, чтобы обеспечить требуемое подавление паразитных колебаний, возникающих при переключении.

Хотя при заданной емкости номинал резистора сглаживающей цепи не оказывает влияния на величину рассеиваемой мощности, тем не менее, он влияет на амплитуду паразитных колебаний.

Если сопротивление этого резистора слишком мало, то получается, что емкость сглаживающей цепи оказывается подключенной непосредственно параллельно собственной емкости диода Шоттки. В этом случае демпфирования не происходит, а резонансная частота, на которой возникают паразитные колебания, становится равной

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot (C_{\text{SCHOTTKY}} + C_{\text{SNUBBER}})}}$$

Если же сопротивление этого резистора слишком велико, то демпфирования также не происходит, поскольку емкость  $C_{\text{SNUBBER}}$  не оказывает никакого влияния на происходящие процессы, и резонансная частота паразитных колебаний остается такой же, как если бы сглаживающей цепи не было вообще:

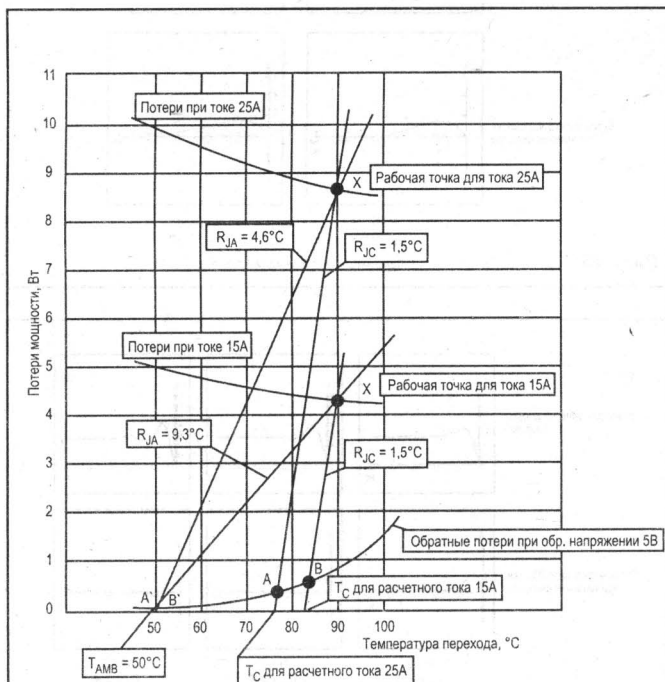


Рис. 43

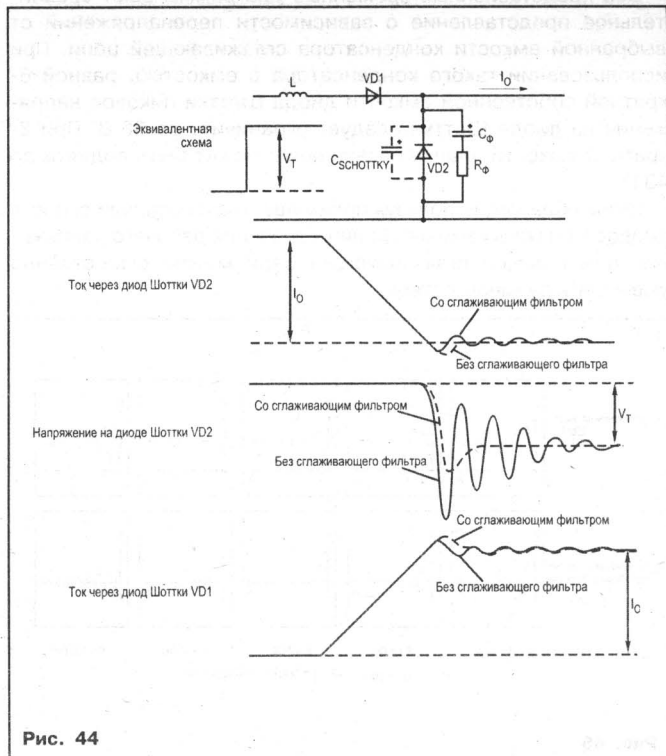


Рис. 44



$$\frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C_{\text{ШОТТКИ}}}}$$

На рис. 45-49 показаны временные диаграммы напряжения переключения и тока через диод Шоттки, основанные на линейной аппроксимации его собственной емкости. Величина емкости 1 нФ, например, соответствует диоду Шоттки типа 50HQ.

На рис. 45 показана временная диаграмма, которая дает представление об эффективности работы сглаживающей RC-цепи при емкости сглаживающего конденсатора  $C_{\text{SNUBBER}}$  в 6 раз большей собственной емкости диода Шоттки ( $N = 6$  — это отношение емкости этого конденсатора к собственной емкости диода Шоттки). Приведенные на этом рисунке диаграммы еще раз показывают, как на работу схемы влияет слишком большое или слишком малое сопротивление сглаживающего резистора. Только при его оптимальном сопротивлении достигается максимальное подавление паразитных колебаний, и при напряжении на обмотке трансформатора 34 В пиковое напряжение составляет 45 В.

На рис. 46 показано, какой эффект дает увеличение емкости сглаживающего конденсатора до величины, равной 10-кратной собственной емкости диода Шоттки. При этом величина пикового напряжения составляет 40 В при напряжении на трансформаторе 34 В. Этот пример иллюстрирует «оптимальное» подавление.

На рис. 47, 48 показано, какое влияние на работу схемы оказывает значение индуктивности катушки  $L$ . Приведены диаграммы работы схемы при величине индуктивности 300 нГн и 1 мкГн относительно 100 нГн для примеров на рис. 45 и 46 соответственно. Эти диаграммы показывают, что при правильном подборе сопротивления сглаживающего резистора емкость сглаживающего конденсатора остается практически неизменной при увеличении индуктивности. Конечно, при большей индуктивности катушки уменьшается скорость нарастания импульсов, и уменьшается амплитуда сглаживаемого тока.

На рис. 49 рассмотрен пример, иллюстрирующий работу при пониженном до 28 В напряжении на вторичной обмотке трансформатора. Значение емкости сглаживающего конденсатора составляет от 6- до 2-кратной собственной емкости диода Шоттки. Сопротивление резистора сглаживающей цепи в каждом случае имеет такое значение, при котором обеспечивается максимальное подавление паразитных колебаний.

Все представленные временные диаграммы дают сравнительное представление о зависимости перенапряжений от выбранной емкости конденсатора сглаживающей цепи. При использовании такого конденсатора с емкостью, равной 6-кратной собственной емкости диода Шоттки пиковое напряжение на диоде Шоттки следует ограничить до 36 В. При 2-кратной емкости планка ограничения может быть поднята до 43 В.

Таким образом, используя преимущества в различии свойств диодов Шоттки и изменяя границы значений рабочего напряжения при помощи сглаживающей цепи можно существенно уменьшить размеры потерь.

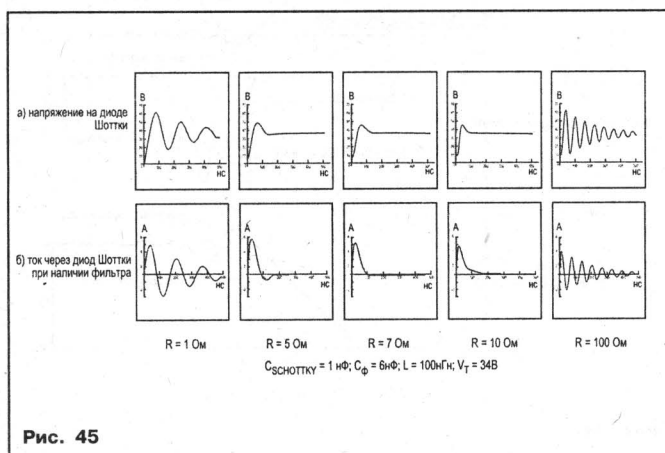


Рис. 45

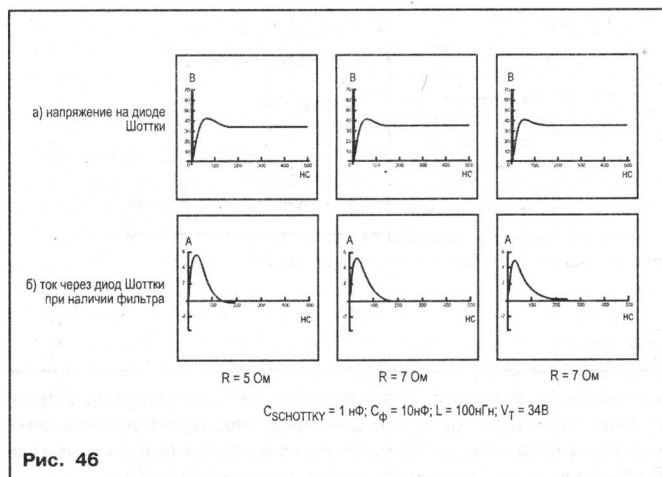


Рис. 46

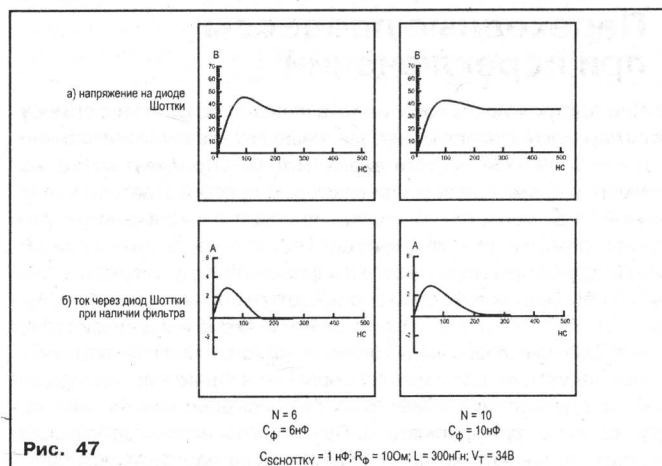


Рис. 47

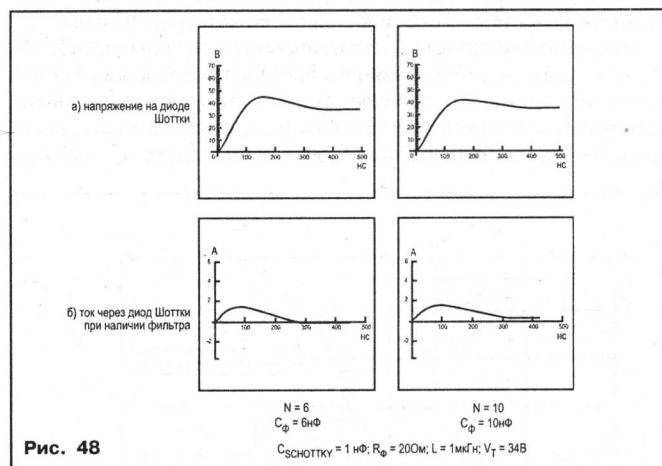


Рис. 48

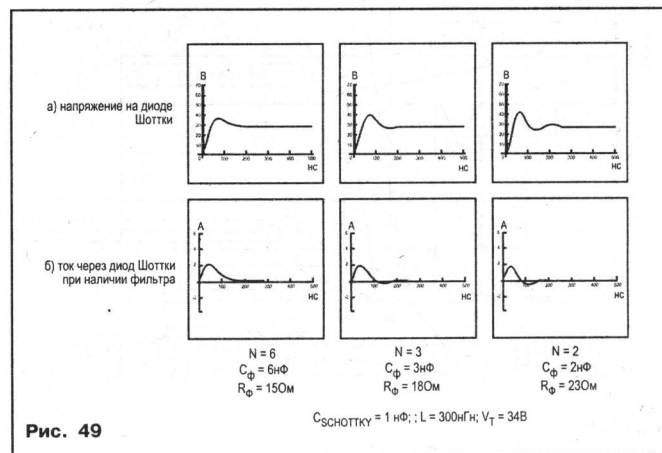


Рис. 49



## Правила подбора диодов Шоттки для импульсных источников питания

Кратко рассмотрим и поясним общие правила, касающиеся подбора диодов Шоттки для импульсных источников питания:

- мостовые преобразователи не применяются в источниках питания с малыми выходными токами, их используют в том случае, когда выходной ток составляет 50 А и более;
- при проектировании источников питания первичный подбор диодов Шоттки осуществляется по типам корпусов, а затем для каждого типа корпуса производится подбор диода Шоттки с необходимыми параметрами. Такой выбор должен отвечать тому, как лучше «согласовать» размер кристалла диода Шоттки с тепловым сопротивлением радиатора и добиться наименьших потерь;
- для каждого диода Шоттки теплоотвод необходимо подбирать по двум значениям величины теплового сопротивления —  $R_{SA}$  и  $R_{SA(100)}$ .  $R_{SA}$  представляет собой расчетное тепловое сопротивление для теплоотвода минимальных размеров (например, наибольшее значение теплового сопротивления). Эта величина определяет значение теплового сопротивления для зоны безопасной работы, когда температура перехода превышает максимальную расчетную на 10 °С, до того, как она достигнет максимального значения температуры перехода  $T_{Jmax}$ . Второе

значение —  $R_{SA(100)}$  — определяет тепловое сопротивление при температуре 100 °С, хотя в реальных условиях диоды Шоттки способны работать и при более высоких температурах. Это определяет опорную точку при расчете работы в различных условиях, когда требования к системе в целом отличаются от требований к режиму работы диодов Шоттки и являются определяющими при расчете теплоотвода. Потери в диодах Шоттки при  $R_{SA(100)}$  всегда выше, чем потери при использовании теплоотвода минимальных размеров, поскольку потери на проводимость всегда выше при более низких температурах;

- область максимальных значений входного напряжения — это область максимально допустимых значений входного напряжения для диодов Шоттки; она соответствует области значений от 33% максимально пикового напряжения на вторичной обмотке трансформатора (за исключением выбросов напряжения при переключении) до заданного рабочего напряжения для диода Шоттки. Необходимо, чтобы при нижних значениях входного напряжения тепловое сопротивление радиатора было как можно выше (другими словами, использовался бы теплоотвод меньших размеров). Это требование, в частности, относится к прямоточным преобразователям напряжения, в которых асимметрия в работе диодов Шоттки наибольшая;

- все расчеты основаны на том, что расчетная температура рабочей (окружающей) среды составляет 50 °С. При других условиях работы это необходимо учитывать в расчетах.