

# О замене маломощных высоковольтных диодов фирмы Philips

Александр Кратько (г. Минск)

Автор даёт краткое описание параметров, специфичных для высоковольтных диодов, и приводит критерии их взаимозаменяемости. Статья снабжена перечнем современных маломощных высоковольтных диодов. Приведены основные параметры и указаны производители диодов.

## ВВЕДЕНИЕ

По причине снижения спроса на традиционные электронно-лучевые кинескопы и связанную с ними продукцию фирма Philips в конце 2004 г. приняла решение о закрытии завода полупроводников в городе Stadskaanaal. В связи с этим в непростой ситуации оказались многие разработчики и производители высоковольтной электронной техники, использовавшие диоды фирмы Philips, которая является мировым лидером в данной области. Так как стало очевидным, что на замену снимаемым с производства изделиям фирма Philips предлагать ничего не собирается, возникли вопросы как об адекватной замене уже используемых в производстве компонентов, так и о перспективной продукции для последующих разработок. К сожалению, следует отметить, что практически все выпускающиеся на данный момент высоковольтные маломощные диоды уступают снятым с производства аналогам фирмы Philips по тем или иным показателям, поэтому перед разработчиками

стоит сложная задача поиска замены по совокупности параметров. В данной статье приведены основные из существующих на рынке альтернативных решений и рассмотрены некоторые аспекты замены.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ПО КОТОРЫМ ОЦЕНИВАЕТСЯ ВЗАИМОЗАМЕЯЕМОСТЬ ДИОДОВ

Как известно, основными параметрами любых диодов являются максимально допустимый прямой ток и максимально допустимое обратное напряжение. Для высоковольтных диодов является весьма критичным обратный ток. В то же время прямое падение напряжения часто оказывается несущественным (кроме тех случаев, когда ток через диод течёт постоянно).

Так как основной областью применения высоковольтных диодов являются импульсные источники электропитания, для них также важны такие динамические параметры, как время и заряд обратного восстановления, а также ёмкость перехода. Ра-

зумеется, при замене в уже выпускающемся устройстве следует учитывать габаритные и конструктивные показатели.

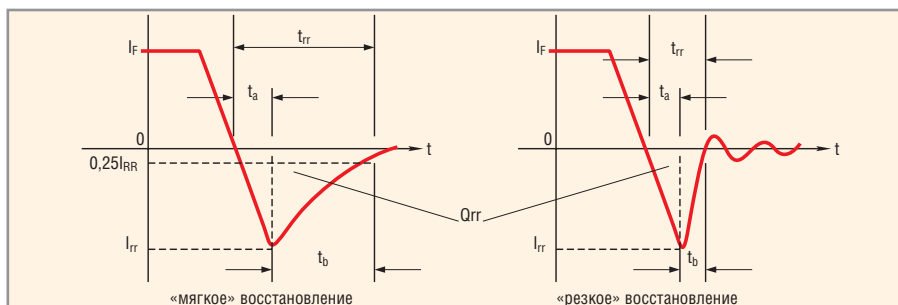
К сожалению, технологии производства полупроводниковых изделий таковы, что многие из параметров являются взаимоисключающими, т.е. диоды с малым временем восстановления имеют повышенные обратные токи, малая ёмкость перехода плохо совмещается с высоким допустимым прямым током, и т.д. Все эти нюансы следует учитывать разработчику при выборе компонентов с оптимальным набором параметров, т.к. выигрыш в одном из них (например, статические утечки) может быть полностью нейтрализован проигрышем в других (динамические потери).

Если основные параметры вопросов не вызывают, то специфические характеристики (в особенности – их правильная интерпретация) нередко вызывают у инженеров затруднения. Путаницу вносят и сами производители, используя рекламные фразы Ultrafast, Hyperfast и т.д. Подробное рассмотрение электрических параметров диодов выходит за рамки данной статьи. Ниже приведены лишь краткие пояснения некоторых характеристик.

При изучении документации также следует обращать внимание, что зачастую параметры в таблицах даются в выгодном для производителя режиме. Например, прямое падение напряжения указывается при максимальной рабочей температуре, т.е. когда оно минимально. Характеристики же в реальных условиях работы приводятся либо в ненормируемом справочном порядке (на графиках), либо могут вообще отсутствовать.

## Время обратного восстановления, заряд обратного восстановления и ток обратного восстановления

Определение данных характеристик показано на рисунке. Следует особо отметить, что многие производители указывают лишь время обратного восстановления  $t_{rr}$ , в то время как более важным параметром (в особенности для высоковольтных диодов) является интегральная характеристика – заряд обратного восстановления  $Q_{rr}$ . Иногда имеет значение и максимальный ток обратного восстановления  $I_{rr}$ . Весьма важной также является сама характеристика восстановления – «мяг-



### Процесс «мягкого» (а) и «резкого» (б) обратного восстановления

$I_F$  – прямой ток,  $I_{rr}$  – пиковый обратный ток (ток обратного восстановления),  $Q_{rr}$  – заряд (ток) обратного восстановления,  $t_{rr}$  – время обратного восстановления,  $t_a$  – время нарастания обратного тока,  $t_b$  – время спада обратного тока

**Параметры современных высоковольтных маломощных диодов**

Наименование	Производитель	Постоянное обратное напряжение $V_{RM}$ , кВ	Средний прямой ток $I_{F(AV)}$ , мА	Среднее прямое напряжение* $V_F$ (при токе $I_F$ , мА), В	Средний обратный ток $I_R$ при напряжении $V_{RM}$ , мкА	Время обратного восстановления, $t_{rr}$ , нс	Примечания			
<b>На напряжение от 1000 до 1500 В</b>										
BY428	Philips	1,4	4000	1,6 (4000)	150 (150°C)	250	Демпферный			
BY584		1,5	85	8,5 (100)	3 (125°C)	200	«Мягкое» восстановление			
BYW97		1,2 с индексом «U», 1,4 с индексом «V»	3300	1,25 (5000)	1 (25°C) 150 (165°C)	500	Управляемая лавина**, «быстрое мягкое» восстановление***			
BYD33			1260	1,1 (1000)	100 (165°C)					
BYD43			1200	1,2 (1000)	1 (25°C), 50 (125°C), 100 (165°C)	250	«Быстрое мягкое» восстановление***			
FFM1200W	Rectron	1,2	500	1,8 (500)	5 (25°C), 100 (35°C)	300	Два исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа			
1F12										
FFM1400W		1,4								
1F14										
FFM1500W		1,5								
1F15										
R1200		1,2		2 (500)	5 (25°C), 30 (75°C), 50 (100°C)	Не указано				
R1500	1,5									
1N3644	Semtech	1,5	600	5 (250)	1 (25°C), 20(100°C)	2500				
F15			350	5 (100)	0,25 (25°C), 10 (100°C)	250				
S15F			500		1 (25°C), 25(100°C)	300				
<b>На напряжение от 1500 до 2000 В</b>										
BYD43	Philips	1,6 с индексом «16», 1,8 с индексом «18», 2 с индексом «20»	680	2,05 (1000)	5 (25°C), 50 (125°C)	300	«Быстрое мягкое» восстановление***			
BYD47			800				Управляемая лавина**, «быстрое мягкое» восстановление***			
BY614		2	50	6 (50)	3 (120°C)	300	«Мягкое» восстановление			
BY505			85	8,5 (100)						
BYV98			1000	2,2 (2000)	5 (25°C), 50 (125°C)	300	«Быстрое мягкое» восстановление***			
1N6836	VMI	2	1000	6 (1000)	1 (25°C), 25 (100°C)	30	Два исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа			
1N6836LL			1500							
1N6521			500	3 (500)	0,5 (25°C), 20 (100°C)	70				
1N6529			250	3 (25)	0,1 (25°C), 10 (100°C)					
X20FF3			420	7,5 (420)	1 (25°C), 20 (100°C)	30				
Z20FF3			1000	6 (750)	1 (25°C), 25(100°C)					
D40FF18			1,8	500	50	12 (100) 8 (100)		0,25 (25°C), 10 (100°C)	30 с инд. «FF», 70 с инд. «U»	Бескорпусной
D40U18										
MD90FF18					4 (500)	1 (25°C), 25 (100°C)				
MD90U18					1000			3,6 (500)		
SPR18U	10	4 (100)	0,01 (25°C), 5 (100°C)	70	Для поверхностного монтажа					
DHM3S20	Hitachi	2	3	10 (5)	2	100				
1N3645	Semtech	2	600	5 (250)	1 (25°C), 20 (100°C)	2500				
SM20										
S20F			500	5 (100)	300					
F20			330	5 (125)	0,25 (25°C), 10 (100°C)	2000				
PF20			100	11 (50)	0,25 (25°C), 3 (100°C)	200				
NV20FP	HVCA	2	20	10 (10)	0,02 (25°C)	100				
G2FS			25	15 (10)	0,2 (25°C)					
BR2			1000	2,4 (1000)	5 (25°C)	Не указано				
RSUF2			650	2,6 (650)		35				
FM1800			Rectron	1,8		500		2 (500)	5 (25°C), 100 (55°C)	Не указано
R1800										
FM2000	2	200		3 (200)						
R1200										
RL1N1800	1,8	500		1,8 (500)	300					
1F18										
КЦ1115-1	Фотон	2	1	12	0,1	2500				
КЦ103			10	10	10	2000				

Параметры современных высоковольтных маломощных диодов (продолжение)

Наименование	Производитель	Постоянное обратное напряжение $V_{RW}$ , кВ	Средний прямой ток $I_{F(AV)}$ , мА	Среднее прямое напряжение* $V_F$ (при токе $I_F$ , мА), В	Средний обратный ток $I_R$ при напряжении $V_{RW}$ , мкА	Время обратного восстановления, $t_{rr}$ , нс	Примечания	
<b>На напряжение от 2000 до 3000 В</b>								
1N3646	Semtech	2,5	600	5 (250)	1 (25°C), 20 (100°C)	2500		
SM25								
1N3647		3	350	5 (100)	0,25 (25°C), 10 (100°C)	250		
SM30								
F25		3	330	5 (125)	1 (25°C), 25 (100°C)	2000		
F30								
M30		2,5	500	5 (100)	1 (25°C), 25 (100°C)	300		
S25F								
KЦ111А-1	Фотон	3	1	12	0,1	2500		
M25UFG	VMI	2,5	100	7 (25)	0,1 (25°C), 10 (100°C)	100 с инд. «UF», 200 с инд. «F», 3000 с инд. «S»		
M25FG				6 (25)				
M25SG				250	7 (25)			1 (25°C), 20 (100°C)
X25UFG					6 (25)			
X25FG			350	6,2 (500)	1 (25°C), 25 (100°C)	30		
X25SG						500		5,4 (500)
MD90FF25			1500	6,5 (2000)	1 (25°C), 25 (100°C)			
MD90U25						1000		7,5 (2000)
Z25F			1000	5,5 (2000)	2 (25°C), 100 (100°C)			
Z25UF						2000		1500
Z25UFG			3000	3 (25)	0,1 (25°C), 10 (100°C)			
Z25FG						3000		3 (500)
Z25S			1500	3,5 (2000)	1 (25°C), 25 (100°C)			
Z25SG						100		10 (10)
K25F			25	15 (10)	0,2 (25°C)			
K25UF						650		3,9 (650)
K25S	900	3 (100)	5 (25°C)	150				
DD300				Diotec	3	20	40 (10)	5 (25°C)
DHM3T30	Hitachi	3	3	10 (5)	2	100		
FM2500W	Rectron	2,5	150	2 (150)	5 (25°C), 50 (100°C)	Не указано		
R2500				3 (200)				
R3000		3	200	4 (200)	5 (25°C), 100 (55°C)	500		
R2500F		2,5	5 (200)					
R300F	3							
<b>На напряжение от 3000 до 5000 В</b>								
BY715	Philips	4	20	28(100)	3 (120°C)	100	«Быстрое мягкое» восстановление***	
BY716				5				
BY8104		4	650	26(100)	15 (25°C), 50 (165°C)	60	Управляемая лавина**, «мягкое» восстановление	
BY8404				20 (100)				
BYX105		4,5	575	9,3 (1000)	30 (175°C)	600	Управляемая лавина**	
BYX106				10,4 (1000)				
BYX107				480				12 (1000)
BYX108				340				16,5 (1000)
BYX134		4	50	7 (10)	5 (200)	50	«Мягкое» восстановление	
1N3647		Semtech	3	600	5 (250)	1 (25°C), 25 (100°C)	2500	
SM30	350				5 (100)			
F30						330		
M30	360				7 (175)			
SFF30				625		7 (800)	0,25 (25°C), 50 (100°C)	
8PF37	100				8 (50)			
F40A				300		10 (100)	1 (25°C), 20 (100°C)	
SM40	100				8 (50)			
F50A			260	6 (50)		0,25 (25°C), 10 (100°C)		
M50A	360				12,5 (200)		0,1 (25°C), 5 (100°C)	
PFF50			92	12,5 (25)		0,03 (25°C), 3 (100°C)		
PFM50	300				10 (100)		1 (25°C), 20 (100°C)	
SM50			3	13 (5)		2		
DHM3P40	Hitachi				4		3	

**Параметры современных высоковольтных маломощных диодов (продолжение)**

Наименование	Производитель	Постоянное обратное напряжение $V_{RM}$ , кВ	Средний прямой ток $I_{F(AV)}$ , мА	Среднее прямое напряжение* $V_F$ (при токе $I_F$ , мА), В	Средний обратный ток $I_R$ при напряжении $V_{RM}$ , мкА	Время обратного восстановления, $t_{rr}$ , нс	Примечания			
<b>На напряжение от 3000 до 5000 В</b>										
M50FF3	VMI	5	40	12,5 (40)	0,1 (25°C), 10 (100°C)	30 с инд. «3». 50 с инд. «5»	Три исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа			
M50FF5										
1N6533			250	3 (25)	70	100 для «UF», 200 для «F», 3000 для «S»	30 с инд. «3» 50 с инд. «5»	Два исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа		
1N6533U										
SMF6533			50	6 (25)	70	3000	200	100		
M50SG										
M50FG			150	12,5 (150)	1 (25°C), 20 (100°C)	30 с инд. «3» 50 с инд. «5»	3000	200		
M50UFG										
X50FF3			7	150	0,5 (25°C), 20 (100°C)	70	100	30 с инд. «3» 50 с инд. «5»		
X50FF5										
1N6525			6	100	1 (25°C), 20 (100°C)	3000	200	100		
X50SG										
X50FG			360	12,5 (360)	1 (25°C), 25 (100°C)	30 с инд. «3» 50 с инд. «5»	30 с инд. «3» 50 с инд. «5»	Два исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа		
X50UFG										
Z50FF3			500	12 (500)	1 (25°C), 25 (100°C)	30	100	Два исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа		
Z50FF5										
1N6837			600	10 (600)	1 (25°C), 25 (100°C)	50	100	Два исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа		
1N6839										
Z50UF			750	10,5 (2000)	1 (25°C), 25 (100°C)	100	200			
Z50F										
Z50UFG			800	9,5 (2000)	1 (25°C), 25 (100°C)	200	100			
Z50FG										
Z50S			1000	10,5 (2000)	1 (25°C), 25 (100°C)	200	200			
Z50SG										
1N6517			8,5 (2000)	2000	8 (1000)	3000	70	Два исполнения, в т.ч. для поверхностного монтажа		
K50F										
K50UF	2200	9,5 (2200)	2 (25°C), 100 (100°C)	100	200					
K50S										
R4000	Rectron	4	200	5 (200)	5 (25°C), 50 (100°C)	Не указано				
R5000										
NV40FP	HVCA	5	20	10(10)	0,02 (25°C)	100				
NV50FP										
G4FS			4	25	15(10)	0,2 (25°C)	Не указано	Высокотемпературные		
G5FS										
HVTD5			5	50	15 (50)	0,5 (25°C), 15 (175°C)	100 (25°C), 300 (175°C)			
HVTD5L										
HVTD5L			35	25 (35)	0,5 (25°C), 5 (175°C)	0,2 (25°C), 16 (175°C)	0,2 (25°C), 15 (175°C)			
HVTD5L										
HVTD5L			25	25 (25)	0,2 (25°C), 16 (175°C)	0,2 (25°C), 15 (175°C)				
HVTD5L										
HVTDR5			4	25	25 (25)	0,2 (25°C), 16 (175°C)	0,2 (25°C), 15 (175°C)			
HVTDR4										
SP5L			HVCA	5	270	14 (100)	0,1 (25°C)	75	Для поверхностного монтажа	
SP5LG										
SP5S					40	850	4,4 (850)	5 (25°C)	Не указано	
SP5SG										
BR4					4	600	7 (600)	5 (25°C)	100	
BR4F										
BR4F					5	8,8 (600)	10 (25°C)	150		
BR5F										
HVRW4					4	1000	6 (1000)	10 (25°C)	35	
RSUF5										
RSUF5					5	550	6,5 (550)	5 (25°C)	Не указано	
HV5000										
HV5000					600	4,5 (600)	0,5 (25°C)	150		
HVF5000										
HVF5000	500	9 (500)			1 (25°C)	75				
HVUF5000										
KЦ1106A	Фотон	4			10	25	10	3500		
KЦ114A										
KЦ114A	50	22						2500		
<b>На напряжение от 5000 до 8000 В</b>										
BY8106	Philips	6			10	36 (100)	3 (120°C)	60	Управляемая лавина**, «мягкое» восстановление	
BY8108										
BY8406										
BY8408										
BYX90										
BY8406	6	10	25 (100)	50 (165°C)	350	Управляемая лавина**, «мягкое» восстановление				
BY8408										
BYX90	6	550	14,5 (2000)	50 (165°C)	350	Управляемая лавина**, «мягкое» восстановление				

Параметры современных высоковольтных маломощных диодов (продолжение)

Наименование	Производитель	Постоянное обратное напряжение $V_{RW}$ , кВ	Средний прямой ток $I_{F(AV)}$ , мА	Среднее прямое напряжение* $V_F$ (при токе $I_F$ , мА), В	Средний обратный ток $I_R$ при напряжении $V_{RW}$ , мкА	Время обратного восстановления, $t_{rr}$ , нс	Примечания		
<b>На напряжение от 5000 до 8000 В</b>									
DD600	Diotec	6	20	40 (10)	5 (25°C)	150			
DHM3FJ60	Hitachi	6	1	22 (5)	2	70			
DHM3FJ80		28 (5)							
DHM3G80		8	3	25 (5)		100			
DHM3UF80		1	23 (5)	40					
F60A	Semtech	6	100	8 (50)	1 (25°C), 10 (100°C)	300	«Мягкое» восстановление		
M60A			260	6 (50)	0,25 (25°C), 10 (100°C)	5000			
PF75			500	11,2 (550)	5 (25°C), 50 (100°C)	350			
PFM75		7,5	92	12,5 (25)	0,03 (25°C), 3 (100°C)	250			
SM75			300	10 (100)	1 (25°C), 20 (100°C)	2500			
SM75F			290	12 (100)		300			
GF6S	HVCA	6	25	18 (100)	0,2 (25°C)	100	Высокотемпературные		
GF7S		7							
GF8S		8						25 (100)	
HVTD6		6	35	25 (35)	0,5 (25°C),	Не указано			
HVTD7		7			7,5 (175°C)				
HVTDR6		6	25	25 (25)	0,2 (25°C), 18 (175°C)	100 (25°C), 300 (175°C)			
HVTDR7		7			0,2 (25°C), 20 (175°C)				
CLO3-8		8	400	20 (400)	2 (25°C)	100			
RSUF7	7	500	9,1 (500)	5 (25°C)	35				
HV7500	7,5	7,5	600	7,2 (600)	0,5 (25°C)	Не указано			
HVF7500			500	12 (500)		150			
HVUF7500			500	8,8 (500)	1 (25°C)	75			
КЦ106Б	Фотон	6	10	25	10	3500			
КЦ114Б			50	22		2500			
КЦ118А		7	2	35	1	300			
КЦ106В		8	10	25	10	3500			
<b>На напряжение от 8000 до 10 000 В</b>									
BY717	Philips	9	4	69 (100)	3 (120°C)	100	«Мягкое» восстановление		
BY718									
BY8110		10	5	54,5 (100)	60	Управляемая лавина**, «мягкое» восстановление			
BY8410							42 (100)	100	«Мягкое» восстановление
BYX101		9	400	17,5 (1000)	600	Управляемая лавина**, «мягкое» восстановление			
BYX102							360	19,5 (1000)	350
BYX103							310	22,5 (1000)	175
BYX104	225						31 (1000)	50	
SM100	Semtech	10	300	10 (100)	1 (25°C), 20 (100°C)	2500			
SM100F			290	12 (100)		300			
DD1000	Diotec	10	20	40 (10)	5 (25°C)	150			
КЦ118Б	Фотон	10	2	35	1	300			
КЦ106Г			10	25	10	3500			
G10FS	HVCA	10	25	25 (25)	0,2 (25°C)	100			
G10FG			10	50 (10)					
G10GE			15	50 (15)					
BR10F			250	14 (250)	5 (25°C)	150			
CL03-10			400	25 (400)	2 (25°C)	100			
BCHV10			100	12 (100)		Не указано			
HV10000			600	9 (600)	0,5 (25°C)			150	
HVF10000			500	15 (500)					
HVUF10000			500	11 (500)	1 (25°C)	75			
HVUSF10000				14 (500)		35			
2CL105			9	450	10 (450)	2 (25°C)		Не указано	

**Параметры современных высоковольтных маломощных диодов (продолжение)**

Наименование	Производитель	Постоянное обратное напряжение $V_{RM}$ , кВ	Средний прямой ток $I_{F(AV)}$ , мА	Среднее прямое напряжение* $V_F$ (при токе $I_F$ , мА), В	Средний обратный ток $I_R$ при напряжении $V_{RM}$ , мкА	Время обратного восстановления, $t_{rr}$ , нс	Примечания			
<b>На напряжение от 8000 до 10 000 В</b>										
M100FF3	VMI	10	20	25 (20)	0,1 (25°C), 10 (100°C)	30				
M100FF5						50				
1N6535				25		14 (25)	0,1 (25°C), 10 (100°C)	70		
M100FG						13 (25)		200		
M100UFG						14 (25)		100		
M100SG						13 (25)		3000		
X100FF3			80	25(80)	0,1 (25°C), 20 (100°C)	30				
X100FF5				50						
1N6527			100	12 (100)	0,5 (25°C), 20 (100°C)	70				
X100FG			100	13 (100)		1 (25°C), 20 (100°C)	100			
X100UFG				9 (100)	200					
X100SG				13 (100)	3000					
Z100FF3			180	25 (180)	1 (25°C), 25 (100°C)	30				
Z100FF5				50						
1N6519			500	13 (500)	1 (25°C), 25 (100°C)	70				
Z100F/Z100FG				13 (600)		200				
Z100UFG				14 (600)		100				
Z100SG				12 (600)		3000				
Z100S				400		100				
K100F			1500	14 (1500)	2 (25°C), 100 (100°C)	100				
K100FG				13 (1500)		200				
K100S				12 (1500)		3000				
<b>На напряжение от 10 000 до 18 000 В</b>										
BY719	Philips	12	4	69 (100)	3 (120°C)	100	«Мягкое» восстановление			
BY720		14								
BY721		16	3	92 (100)						
BY722		18		88 (50)						
BY8112		12		75 (100)						
BY8114		14	5	82,5 (100)				60	Управляемая лавина**, «мягкое» восстановление	
BY8116		16	3	94 (100)						
BY8412		12	5	52 (100)				100	«Мягкое» восстановление	
BY8414		14	3	60 (100)						
BY8416		16		70 (100)						
BY8418	18	77 (100)								
X150FF3	VMI	15	50	37,5 (50)	1 (25°C), 20 (100°C)	30				
X150FF5						50				
X150FG				20 (100)		200				
X150UFG				22 (100)		100				
X150SG				20 (100)		3000				
Z150FG			300	20 (300)	1 (25°C), 25 (100°C)	200				
Z150UFG				22 (300)		100				
Z150SG				18 (300)		3000				
M160FF3				16		10	50 (10)	0,1 (25°C), 10 (100°C)	30	
M160FF5									50	
DHM3J120	Hitachi	12	3	42 (5)	2	100				
DHM3C140		14		45 (5)						
DHM3HE120		12		48 (5)			50			
DHM3UG120		1		36 (5)			40			
G12FS/G12FG	HVCA	12	10	35 (10)	0,2 (25°C)	100				
G15FS/G15FG		15								
G12GE		12	15	50 (15)						
G15GE		15								
CL03-12		12					250	35 (250)	100	
CL03-15		15	200	38 (200)						
2CL106		12	450	12 (450)			Не указано			
RHV15		15	25	35 (25)			1 (25°C)	100		

Параметры современных высоковольтных маломощных диодов (продолжение)

Наименование	Производитель	Постоянное обратное напряжение $V_{RW}$ , кВ	Средний прямой ток $I_{F(AV)}$ , мА	Среднее прямое напряжение* $V_F$ (при токе $I_F$ , мА), В	Средний обратный ток $I_R$ при напряжении $V_{RW}$ , мкА	Время обратного восстановления, $t_{rr}$ , нс	Примечания
На напряжение от 10 000 до 18 000 В							
BCHV12	HVCA	12	100	13 (100)	2 (25°C)	Не указано	
BCHV15		15		16 (100)			
RTHV12		12		26 (100)			100
RTHV15		15					
HV15000			600	14 (600)	0,5 (25°C)	Не указано	
HVF12500		12,5	20 (500)				
HVF15000		15	500	24 (500)	1 (25°C)	150	
HVUF12500		12,5		15 (500)			75
HVUF15000		15		17 (500)			
HVFUS12500		12,5		21 (500)			35
HVFUS15000		15		28 (500)			
DD1200		Diotec		12			20
DD1400	14						
DD1600	16						
DD1800	18						
KЦ118В	Фотон	12	2	35	1	300	
На напряжение от 18 000 до 25 000 В							
BY723	Philips	20	3	88 (50)	3 (120°C)	100	«Мягкое» восстановление
BY724		24					
BY8420		20		88 (100)			
BY8424		24		98 (100)			
M180UFG	VMI	18	10	35 (10)	0,1 (25°C), 10 (100°C)	100	
X200FG		20	25	28 (50)	1 (25°C), 20 (100°C)	200	
X200UFG				30 (50)		100	
X200SG				26 (50)		3000	
G20FP	HVCA			20		10	55 (10)
G25FP		25					
G20FG		20	70 (10)				
G25FG		25					
G20PE		20		15			
G25PE		25					
CL03-20		20	120	38 (120)	2 (25°C)	100	
RHV20		20	25	55 (25)	1 (25°C)		
RHV25		25					
BCHV20		20	100	24 (100)	2 (25°C)	Не указано	
BCHV25	25	32 (100)					
RTHV20	20	44 (100)					
RTHV25	25	52 (100)					
HVF20000		20	500	30	1 (25°C)	150	
HVUF20000				22		75	
HVUF25000	25			28			
HVUSF20000	20					35	

■ – снятые с производства.

\*При максимальной температуре кристалла.

\*\*Controlled avalanche.

\*\*\*Fast soft recovery.

кая» (soft recovery) или «резкая» (abrupt recovery).

Динамические потери у диодов с мягкой характеристикой восстановления выше. Это связано с тем, что ток через диод продолжает течь в тот момент, когда к диоду уже приложено высокое обратное напряжение. В то же время «резкая» характеристика восстановления может создавать проблемы «звона» и повышенных по-

мех при переключении, что может потребовать применения гасящих цепочек (снабберов), ухудшающих КПД преобразователей. Оптимальной как с точки зрения динамических потерь, так и с точки зрения помех можно назвать характеристику «быстрое мягкое восстановление» (fast soft recovery).

Таким образом, при выборе характеристики восстановления разработ-

чику следует руководствоваться в первую очередь схемотехническими особенностями применения (топологией преобразователя и т.д.), а при замене компонента в существующей разработке следует применять диоды с той же характеристикой восстановления.

**Обратный ток**

В то время как сама характеристика является понятной, не всегда должное



внимание уделяется условиям измерения, которые в данном случае имеют исключительную важность. Основные факторы, влияющие на обратный ток – приложенное обратное напряжение, температура и освещённость. К сожалению, освещённость практически никогда не нормируется (в документации фирмы Philips встречается цифра 300 лк, что значительно меньше естественной). В то же время она оказывает существенное влияние на ток утечки. Для нейтрализации влияния этого фактора следует располагать высоковольтные диоды (особенно это касается изделий в корпусах светлого цвета) в светозащищённых местах, а при невозможности этого может потребоваться покрытие непроводящими светозащищающими красками.

Напряжение, при котором измеряется обратный ток, может варьироваться от 0,5 до 1,0 от максимально допустимой величины (в зависимости от производителя). Следует учитывать, что изменение напряжения, при котором проводится измерение, влияет на результат.

Основным фактором, влияющим на обратный ток, является температура. При этом высоковольтные диоды имеют отличительную черту – их ток утечки складывается в основном из двух составляющих – утечка по корпусу и диффузионный ток через р–п-переход. Важным моментом является тот факт, что утечка по корпусу практически не зависит от температуры, тогда как ток через переход зависит от неё очень сильно (в качестве оценки можно считать, что он удваивается на каждые 10 градусов). При температуре в 25°C эти составляющие могут быть одного порядка, при высоких температурах влияние утечки по корпусу

несущественно. В результате два диода, имеющих одинаковые утечки при комнатной температуре, могут существенно отличаться по этому параметру при повышенных температурах. Разработчику следует учитывать эту особенность. К сожалению, производители не всегда указывают обратный ток при разных температурах.

#### Контролируемый лавинный пробой

Некоторые диоды имеют в своих технических данных фразу controlled avalanche, soft avalanche или аналогичную. Означает это нормируемую характеристику лавинного пробоя, что на практике свидетельствует о допустимости последовательного соединения таких диодов (для повышения максимального рабочего напряжения) без применения дополнительных выравнивающих элементов. В частности, к ним относятся диоды семейства ВУХ10х, ВУ81хх фирмы Philips и другие. При замене таких компонентов (в случае их последовательного соединения в схеме) следует выбирать также диоды с контролируемым лавинным пробоем либо заменять всю цепочку одним диодом с максимальным рабочим напряжением, равным или превышающим суммарное рабочее напряжение диодов в цепочке.

#### ОСНОВНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ МАЛОМОЩНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДИОДОВ

В таблице приведены основные параметры современных высоковольтных маломощных диодов.

#### HV Component Associates (HVCA)

Эта фирма, специализирующаяся именно на высоковольтных диодах,

имеет самый большой выбор продукции (к сожалению, никак не представленной на отечественном рынке), насчитывающий более сотни типов диодов, в том числе диоды на рабочее напряжение до 600 кВ. С каталогом изделий фирмы можно ознакомиться на сайте [1]. На сайте также имеется система поиска аналогов (Cross Reference Search), однако соответствий продукции Philips она не находит.

#### Semtech

Крупный производитель аналоговых электронных компонентов фирма Semtech имеет также линейку маломощных высоковольтных диодов, в том числе со сверхмалым временем восстановления (30 нс). Расположен каталог на сайте [2].

#### Voltage Multipliers, Inc. (VMI)

Фирма VMI первой отреагировала на проблему замены высоковольтных диодов Philips публикацией таблицы соответствия (cross reference) [3]. Однако следует использовать эту таблицу с большой осторожностью – практически все приведённые аналоги уступают по одному или нескольким параметрам диодам фирмы Philips.

Также ряд изделий выпускается фирмами Diotec, Hitachi, Rectron и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. HVCA & CKE High Voltage Products Catalog ([www.hvca.com/pg\\_catalog/catalog.aspx](http://www.hvca.com/pg_catalog/catalog.aspx)).
2. Semtech Products Catalog ([www.semtech.com/products](http://www.semtech.com/products)).
3. VMI Cross-referenced Discontinued Philips HV Diodes ([www.voltagemultipliers.com/Philips%20Cross-Referenced%20Diodes/Philips%20Cross-Ref.htm](http://www.voltagemultipliers.com/Philips%20Cross-Referenced%20Diodes/Philips%20Cross-Ref.htm)).



приборы внесены в ГОСРЕЕСТР СИ РФ



цена базового комплекта  
9500 руб

### ИЗМЕРИТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕТЛИ ФАЗА-НУЛЬ ИФН-200

- измерение полного, активного и реактивного сопротивления цепи фаза-нуль без отключения источника питания
- измерение напряжения переменного тока
- встроенный омметр
- измерение сопротивления металlosвязи
- вычисление ожидаемого тока короткого замыкания
- вычисление угла сдвига фаз



**РАДИО-СЕРВИС**  
научно-производственная фирма

### ИЗМЕРИТЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ, МЕТАЛЛОСВЯЗИ И УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА ИС-10

- измерение сопротивления заземления трех- или четырехпроводным методом
- измерение сопротивления металlosвязи с разрешением 1 МОм
- измерение переменного тока (опция)
- определение непрерывности защитных проводников
- вычисление удельного сопротивления грунта в Ом\*м
- качественная оценка (без разрыва цепи заземлителей) состояния единичных заземлителей в многоэлементном заземлении путем определения процентного распределения токов между элементами (опция)



цена  
9950 руб

- ✓ микропроцессорное управление
- ✓ автоматический выбор диапазонов измерений
- ✓ высокоинформативный ЖК дисплей
- ✓ ударопрочный, пыле- и влаго-защищенный корпус. Степень защиты IP42
- ✓ встроенная память

426033, г.Ижевск, а/я 4579  
ул.Пушкинская, 268  
тел.: (3412) 43-91-44  
факс: (3412) 43-92-63  
e-mail: [office@radio-service.ru](mailto:office@radio-service.ru)  
[www.radio-service.ru](http://www.radio-service.ru)