

Мощные диоды и тиристоры таблеточной конструкции

с повышенной стабильностью и высокой термодинамической устойчивостью корпуса

Многие годы разработчикам выпрямителей на большие токи до 100 кА и выше требовались мощные диоды, лавинные диоды и тиристоры не только с повышенной стабильностью и низким разбросом параметров, но и с высокой термодинамической устойчивостью корпуса (ТДУ).

Ярослав Павлынин

yaroslav@element.zp.ua

Роман Рыбак

Анатолий Солодовник

marketing@element.zp.ua

При создании выпрямителей на большие токи используется параллельное соединение до 10 и более диодов или тиристоров и необходим низкий разброс прямого напряжения диодов U_F или прямого напряжения в открытом состоянии тиристоров U_T , а также стабильность их значений в процессе эксплуатации приборов.

Однако при пробое одного из параллельно-соединенных приборов через него протекает большой ток короткого замыкания (К.З.).

Самым опасным является пробой прибора при высоком обратном напряжении в области фаски полупроводниковой структуры, так как большой ток К.З. локализуется в малом объеме и возникает высокотемпературная плазма, которая под давлением устремляется к тонким манжетам корпуса, проплавляет



Рисунок

их и выходит наружу. Это может привести к возгоранию выпрямителя или взрыву в цехах со взрывоопасной атмосферой.

В 2000 году на нашем предприятии была разработана конструкция диода с высокой термодинамической устойчивостью корпуса, основанная на применении специальных защитных колец, которые препятствуют проникновению высокотемпературной плазмы к тонким манжетам корпуса прибора. На базе этой конструкции созданы диоды типа Д553 и лавинные диоды типа ДЛ553 на токи до 2500 А и напряжение до 4200 В с высокой ТДУ корпуса (см. табл. 1).

Испытания образцов диодов с предварительно созданным К.З. на фаске были проведены на стендах ВИТ (г. Запорожье, Украина), а затем и в Ульяновском испытательном центре электрооборудования (г. Ульяновск, Россия). Результаты показали, что данные образцы выдержали токи К.З. свыше 80 кА без разрушения корпуса.

В дальнейшем появились тиристоры типов Т553 и Т653 на токи до 1250 А и напряжения до 3400 В с высокой ТДУ (см. табл. 2).

В 2005 году разработаны еще более мощные диоды, лавинные диоды и тиристоры типов Д573, Д673, ДЛ573, ДЛ673 и Т573 с более высоким уровнем ТДУ

Таблица 1

Тип	V_{RRM} , В	$I_{F(AV)}$, А ($T_c, ^\circ\text{C}$)	I_{TSM} , кА	I_{RRM} , мА	$V_{T(ТО)}$, В	$r_{T\Omega}$, мОм	P_{RSM} , кВт	I_c (crit), кА	T_{max} , $^\circ\text{C}$	R_{thjc} , $^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Высота корпуса, мм
Д553-1600	3400-4400	1600; (85)	30	50	0,9	0,20	-	75	160	0,02	27
Д553-2000; Д653-2000	1200-3800; 3400-3800	2000; (85)	33	50	0,83	0,14	-	75	160	0,02	27; 35
Д553-2500; Д653-2500	1200-3600; 3400-3600	2500; (100)	36	50	0,80	0,105	-	75	175	0,02	27; 35
ДЛ553-1600; ДЛ653-1600	3800-4200	1600; (85)	30	60	0,92	0,21	16	75	160	0,02	27; 35
ДЛ553-2000; ДЛ653-2000	1600-3800; 3400-3800	2000; (85)	33	60	0,84	0,17	16	75	160	0,02	27; 35
ДЛ553-2500; ДЛ653-2500	1600-3600; 3400-3600	2500; (85)	36	60	0,81	0,11	16	75	160	0,02	27; 35
Д573-3200; Д673-3200	3200-4200; 3400-4200	3200; (85)	40	150	0,89	0,103	-	90; 140	160	0,01	27; 35
Д573-4000; Д673-4000	2400-3800; 3400-3800	4000; (85)	50	150	0,85	0,065	-	90; 140	160	0,01	27; 35
Д573-5000	1200-2200	5000; (100)	60	150	0,77	0,04	-	90	175	0,01	27; 35
ДЛ573-3200; ДЛ673-3200	2400-3800; 3400-3800	3200; (85)	40	150	0,90	0,11	20	90; 140	160	0,01	27; 35
ДЛ573-4000; ДЛ673-4000	1600-3800; 3400-3800	4000; (85)	50	150	0,87	0,09	20	90; 140	160	0,01	27; 35
ДЛ573-5000	1200...1800	5000; (85)	60	150	0,80	0,045	20	90	160	0,01	27; 35

(см. табл. 1). При этом была усовершенствована система защиты корпуса от плазмы и достигнут уровень токов ТДУ до 140 кА, а защитный показатель устойчивости корпуса составил свыше $I_C^2 \times t = 40 \times 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$.

Параллельно с разработкой термодинамически-устойчивой конструкции приборов проводились исследования, позволившие предложить решения, которые не только уменьшили разброс прямого напряжения диодов U_F и напряжения в открытом состоянии тиристоров U_T , но и повысили уровень стабильности их значений.

Благодаря подбору контактных покрытий и усовершенствованию технологии изготовления удалось достичь высокой стабильности, воспроизводимости и низкого уровня значений U_F и U_T на приборах.

Исследование стабильности U_F проводилось методом ускоренного старения и окисления контактных соединений лавинных диодов при температуре 150–160 °С в течение 3000 часов с периодическим замером величины U_F при токе 6280 А через каждые 500 часов. Замеры U_F показали, что в течение всего времени испытаний его значение на каждом диоде испытываемой партии практически не изменилось.

Высокая воспроизводимость и малый разброс значений U_F позволили поставлять заказчикам для выпрямителей с параллельным соединением приборов в ветвях лавинные диоды ДЛ1553-2000, имеющие разброс значений

Таблица 2

Тип	$\frac{U_{DRM}}{U_{RRM}}$, В	$I_{T(AV)}$, А (T_c , °С)	I_{TSM} , кА	I_{DRM} , мА I_{RRM} , мА	$U_{T(TO)}$, В	r_{rr} , мОм	$\left(\frac{di_T}{dt}\right)_{crit}$, мкс	t_{gr} , мкс	$I_{c(crit)}$, кА	$T_{I,max}$, °С	$R_{th(j-c)}$, °С/Вт
T553-1000; T253-1000	400–1800	1000; (85)	25	70	1,03	0,25	200	250–320	75; 13	125	0,02
T553-1250; T253-1250	400–1800	1250; (85)	28	70	0,95	0,20	200	200–320	75; 13	125	0,018
T653-800; T353-800	1800–3400	800; (85)	17	70	1,10	0,44	200	250–400	75; 13	125	0,02
T653-1000; T353-1000	1800–2800	1000; (85)	19	70	1,03	0,35	200	250–400	75; 13	125	0,018
T673-1600; T273-1600	1800–3200	1600; (85)	38	200	1,06	0,23	800	320–500	85; 17	125	0,011
T673-2000; T273-2000	1800–2600	2000; (85)	45	200	0,95	0,12	800	250–400	85; 17	125	0,011
T673-2500; T273-2500	400–2000	2500; (85)	50	200	0,95	0,09	800	250–400	85; 17	125	0,011
T673-3200; T273-3200	400–1200	3200; (85)	60	200	0,84	0,06	800	160–250	85; 17	130	0,01
T673-5000; T273-5000	200–800	5000; (85)	65	200	0,83	0,04	800	160–200	85; 17	150	0,01

$U_F \pm 0,01 \text{ В}$. Таким образом, обеспечен разброс тока, который протекает через каждый диод при параллельном включении их в ветви, не превышающий 10%.

Аналогичные исследования стабильности U_T на тиристорах проводились при температуре нагрева, равной 125 °С. При этом получена высокая стабильность значения U_T на каждом из испытываемых приборов.

В процессе разработки диодов, лавинных диодов и тиристоров велись исследования

по повышению стабильности обратной ВАХ и ВАХ в закрытом состоянии тиристоров. Положительные результаты были достигнуты за счет снижения напряжения электрического поля на поверхности фаски, оптимального профиля фаски и стабильного пассивирующего компаунда для защиты фаски диодных и тиристорных структур. Стабильность ВАХ также оценивалась путем длительного отжига при максимальной рабочей температуре диодов и тиристоров.