

ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС

Моделирование электрических характеристик быстровосстанавливающегося диода с ультрамягким восстановлением

Александр Андреевич Писарев – инженер-технолог группы исследований и разработок

Алексей Маратович Сурма – начальник научно-технического центра, к.т.н.

Сергей Иванович Матюхин – декан факультета естественнонаучного и гуманитарного образования ГУ-УНПК, д.ф-м.н.

Анатолий Александрович Черников – заместитель технического директора по новой технике

МАРТ 2014

Новая разработка:

высоковольтные сильноточные диоды с ультрамягкой характеристикой обратного восстановления, адаптированные для обратного восстановления в бесснабберном режиме с большими скоростями спада анодного тока

Диаметр кремниевого элемента:

56мм, 80 мм

Средний ток: 800 - 1000 А (56мм), 1600-2000 А (80 мм)

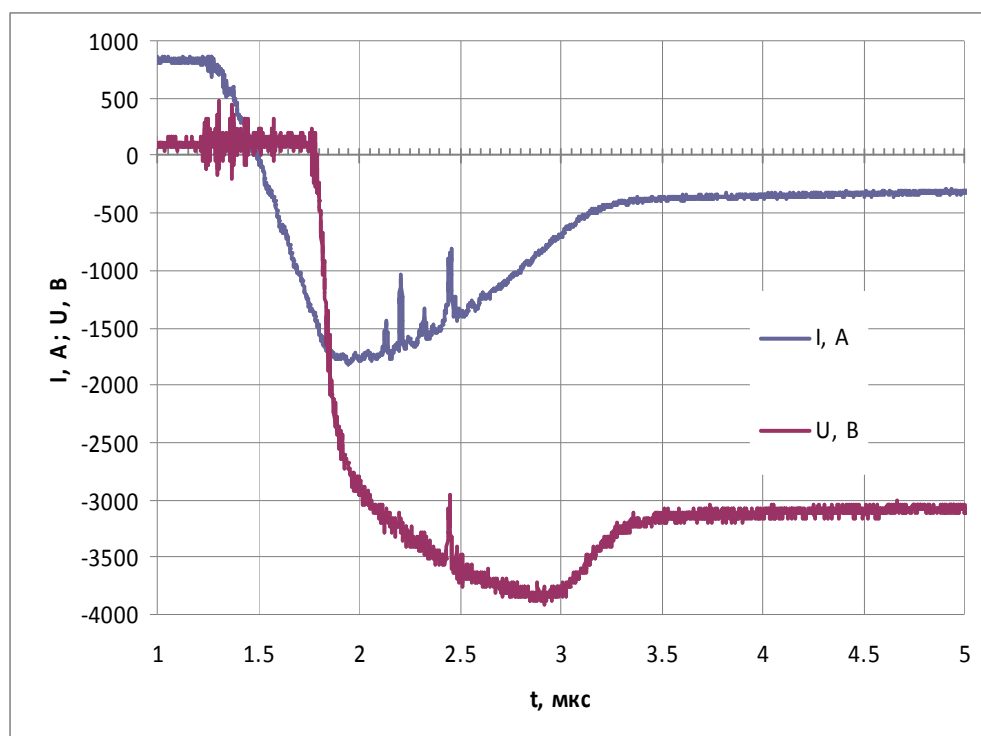
Повторяющееся импульсное обратное напряжение: 4500 В

Допустимая скорость спада тока при обратном восстановлении: до 6000 А/мкс

Рабочее обратное постоянное напряжение: до 3000 В

Адаптированы для работы без снабберных RC-цепей

Коэффициент формы тока обратного восстановления S: 1.5 - 2



Параметры и характеристики диодов – аналогов

Наименование	D1251S45T	D1331SH	D1961SH
Диаметр элемента, мм	56	76	76
$T_{j\max}$, °C	140	140	140
U_{RRM} , В	4500	4500	4500
I_{FAV} , А ($T_c=85C$)	1310	1350	1960
U_{FM} , В ($I_{FM}=2500A$, $T_j=140C$)	Не более 2,5	Не более 4,2	Не более 2,5
Q_{RR} , мкКл, не более	3000	3500	12000
I_{rrM} , А, не более	800	1500	2250
S, тип.	Не задано	1,6	1,6
Условия испытания	$T=140C$, $I_{FM}=1000A$, $di/dt=-250$ А/мкс, $U_R=1000B$, $C_s=3$ мкФ, $R=40\Omega$	$T=140C$, $I_{FM}=2500A$, $U_R=2800B$, $di/dt=-1000$ А/мкс, «clamp. circuit» $C_{cl}=3$ мкФ, $L_s=0.25$ мкГн, $R_{cl}=68\Omega$, кламп. диод 34DSH65	



Особенности режимов обратного восстановления таких диодов:

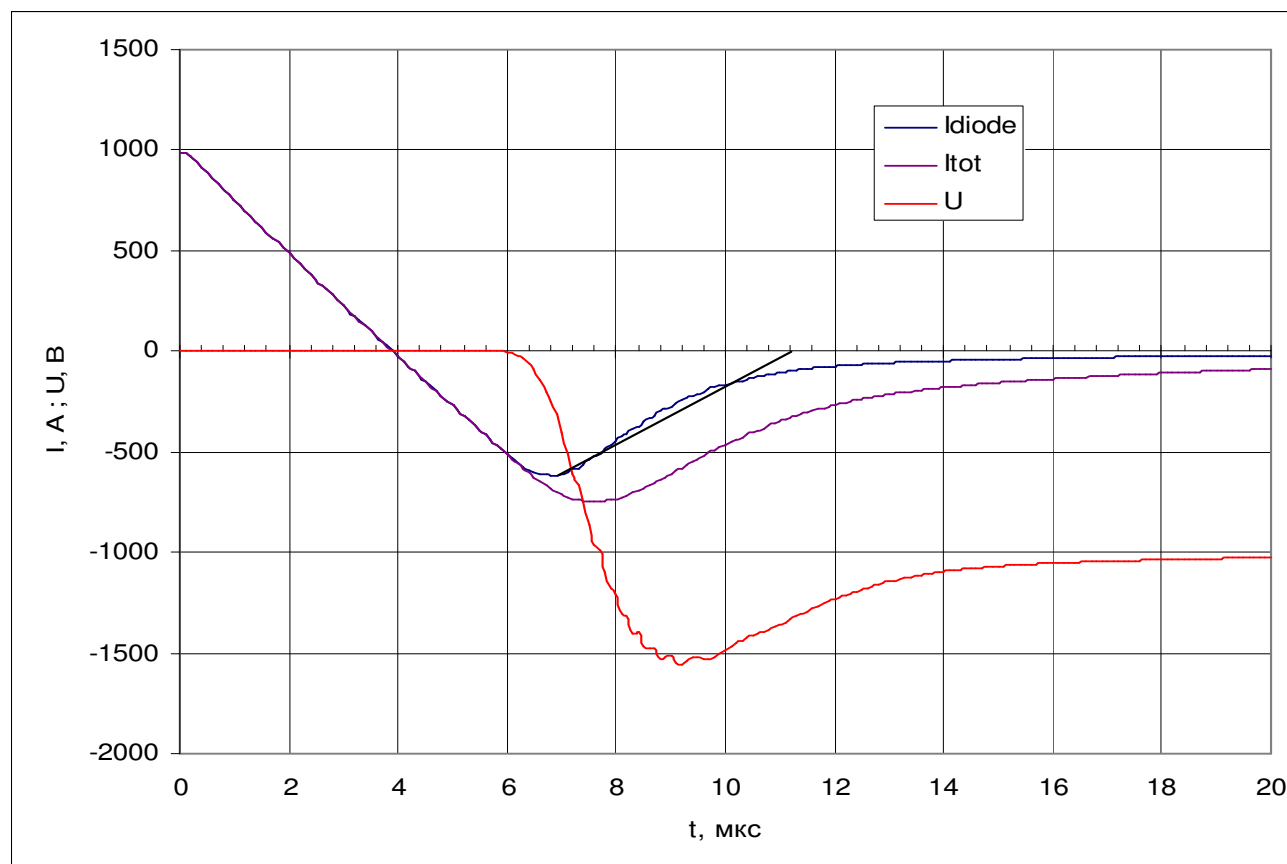
- большие di/dt при обратном восстановлении;
- большие напряжения источника обратного напряжения при восстановлении (для диодов аналогов – до 2800-3000 В при URRM этих диодов 4500 В).

Обратное восстановление неспециализированных диодов в таких режимах приводит к неприятным проблемам:

- «схлопывание» (эффект *snappu*) заряда избыточных электронов и дырок в базе диода при восстановлении;
- динамический лавинный пробой.

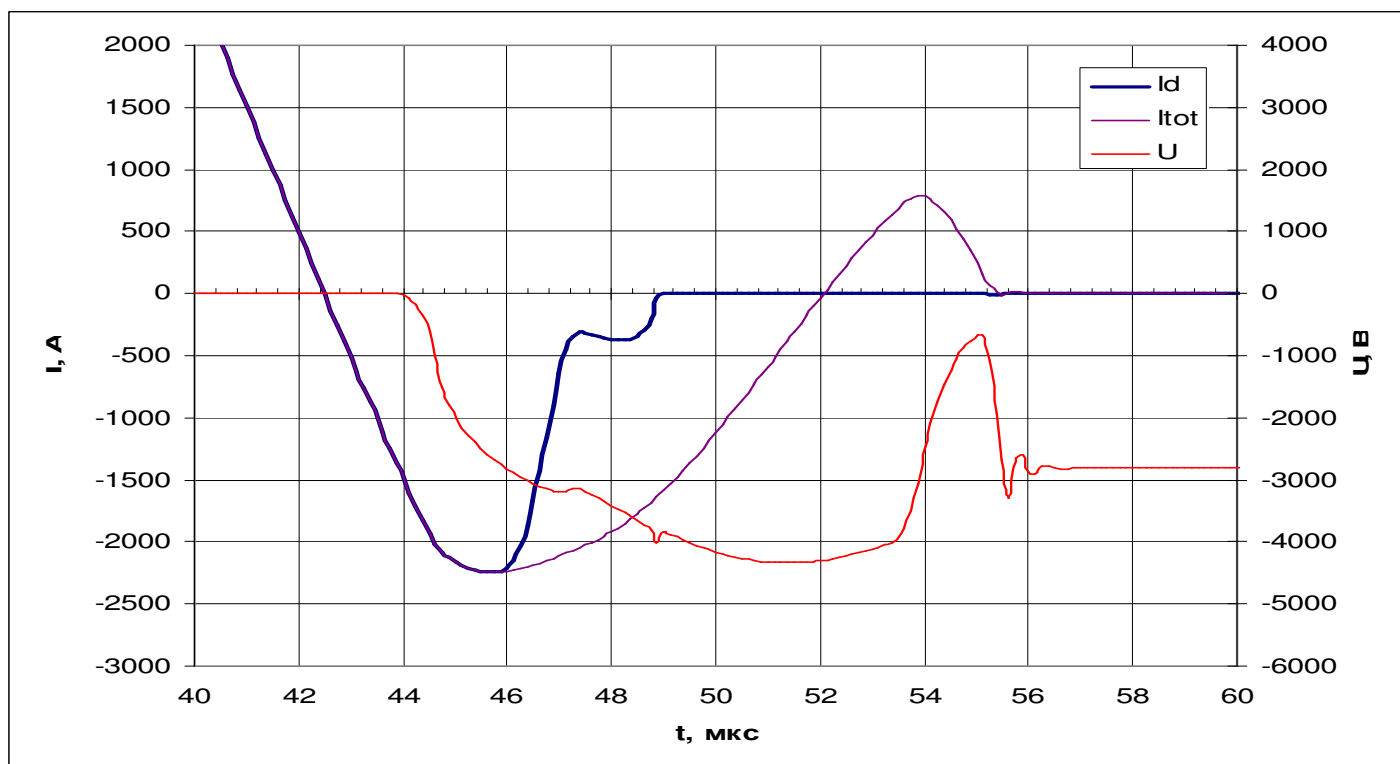


	Требуемые характеристики D1251S45T	Результаты расчета по варианту A11
UFM, В	2,5	2,18
Qrr, мкКл	3000	2766 (Qrri), 2300 (Qrr)
IrrM, А	800	621
Пиковое прямое напряжение, В	72 (для D921S45T типовое)	71,5

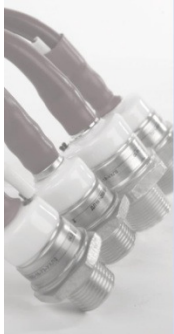




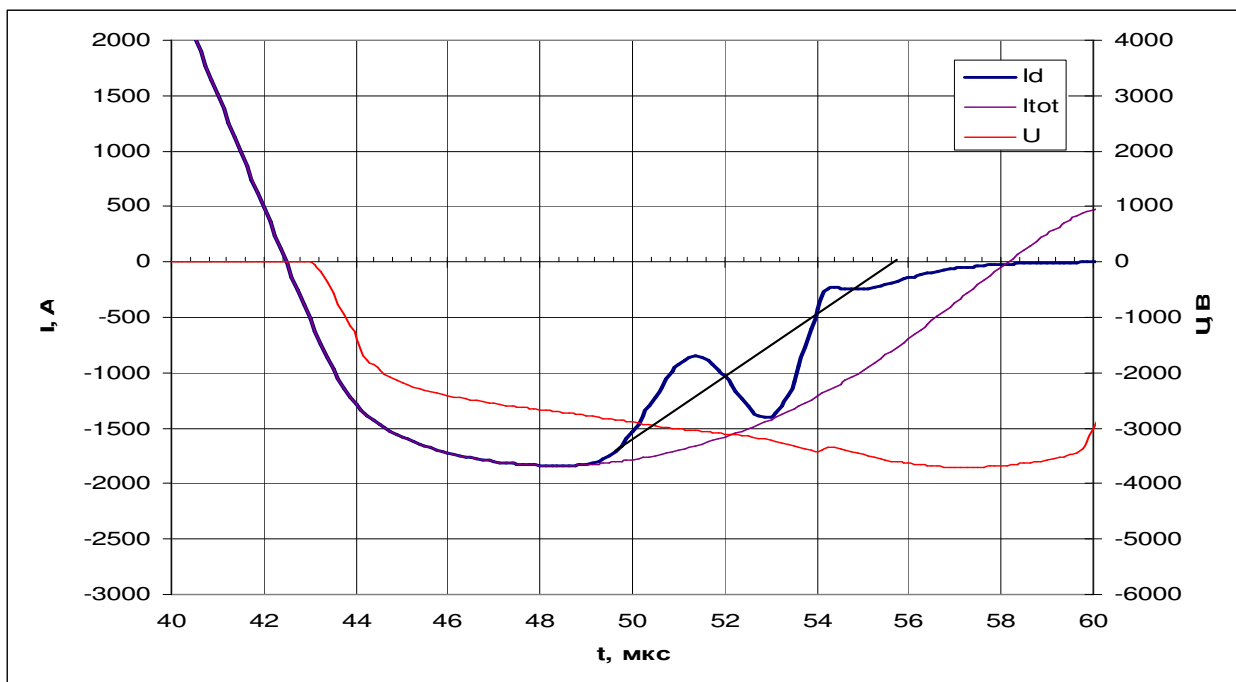
	Требуемые характеристики D1331SH	Результаты расчета аналога D1331SH по варианту Б11	Требуемые характеристики D1961SH	Результаты расчета аналога D1961SH по варианту Б11
UFM, В	4,2	3,54	2,5	2,18
Qrr, мкКл	3500	3493 (Qrri)	12000	7462(Qrri)
IrrM, А	1500	1570	2250	2243
S, типовое	1,6	$t_f/t_s \sim 1,0/2,0 = 0,5$	1,6	$t_f/t_s \sim 1,8/3 = 0,6$



Аналог D1961SH по варианту Б11

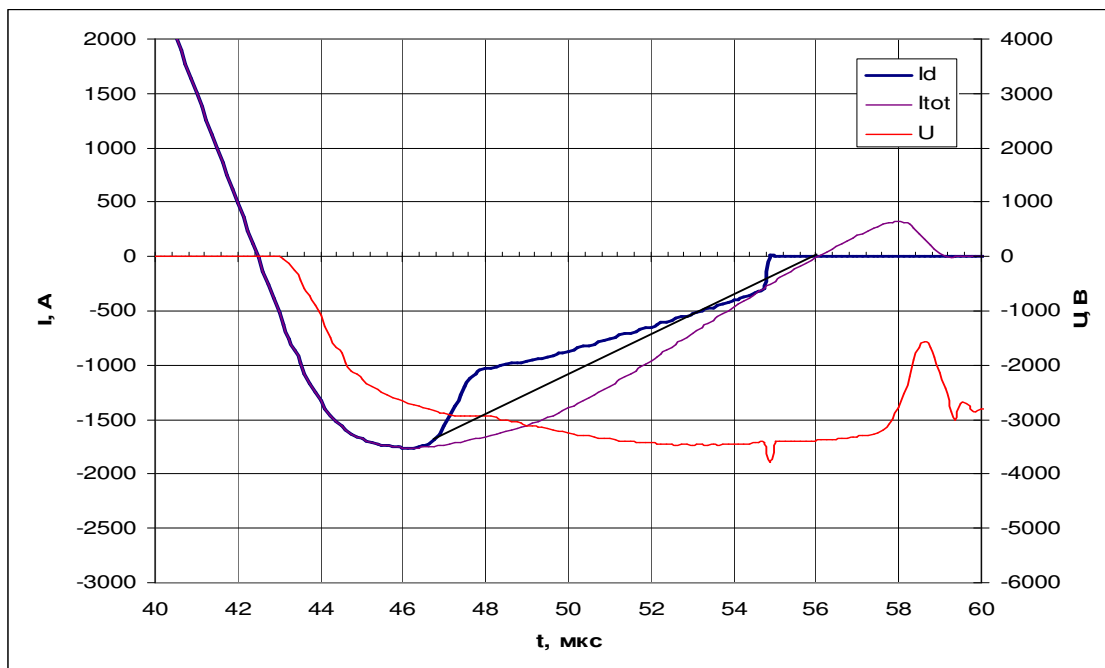


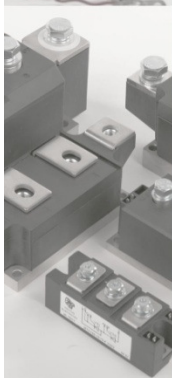
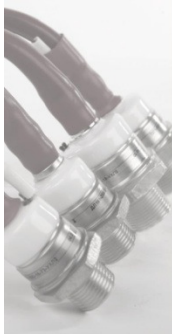
	Требуемые характеристики D1961SH	Результаты расчета аналога D1961SH по промежуточному варианту с протонным облучением от анода	Примечания
UFM, В	2,5	2,32	
Qrr, мкКл	12000	16364(Qrri)	
IrrM, А	2250	1838	
S, типовое	1,6	$t_f/t_s \sim 7,6/5,6 = 1,36$	Немонотонная зависимость тока на второй фазе за счет эффекта динамической лавины



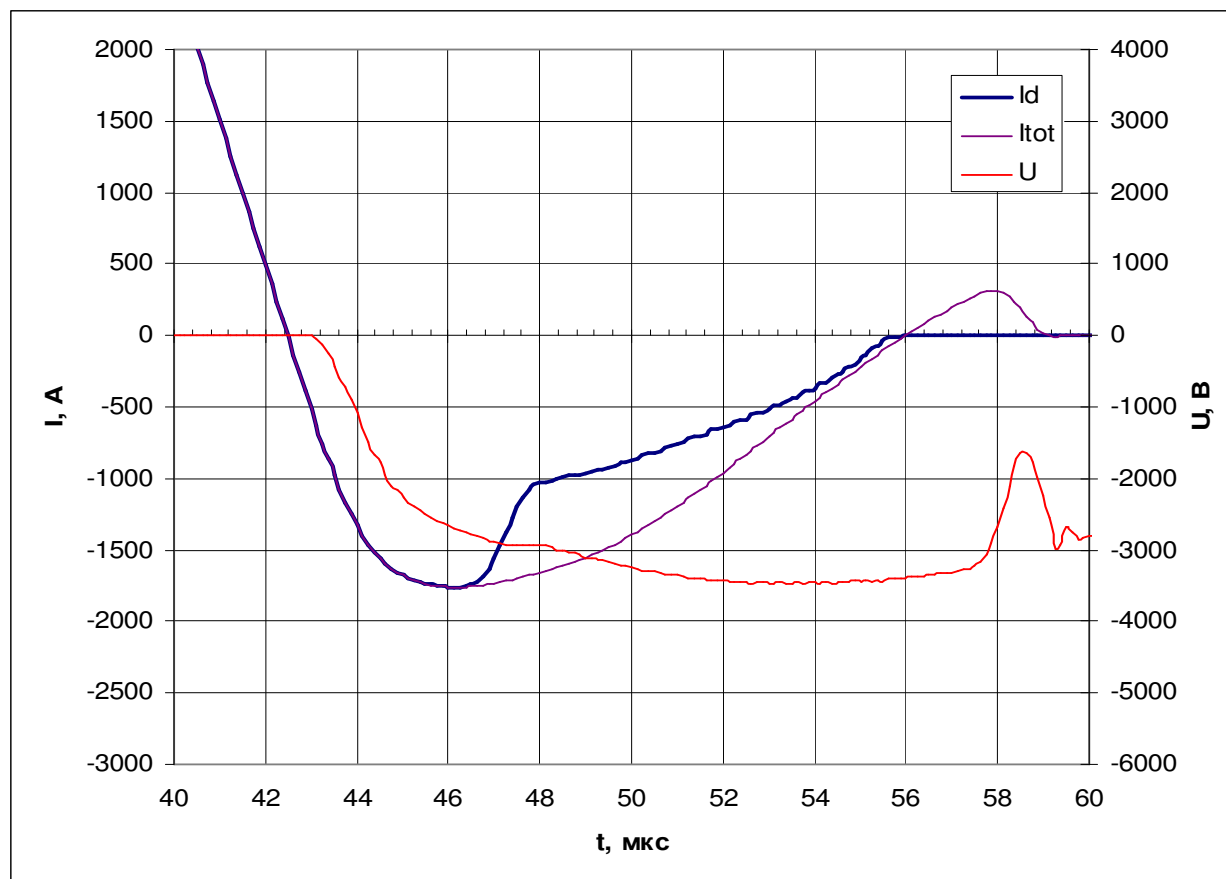


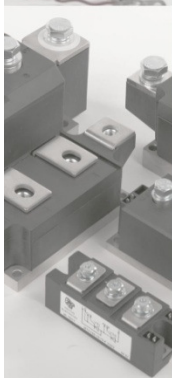
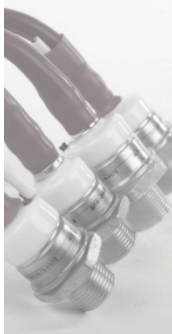
	Требуемые характеристики D1961SH	Результаты расчета аналога D1961SH по промежуточному варианту с увеличенным уд.сопр.	Примечания
UFM, В	2,5	2,31	
Qgr, мкКл	12000	12058(Qrri)	
IrrM, А	2250	1760	
Eqr, Дж	21	31.5	
S, типовое	1,6	$t_f/t_s \sim 10/3,6 = 2,8$	Эффект схлопывания в конце второй фазы при токе ~ 300 А



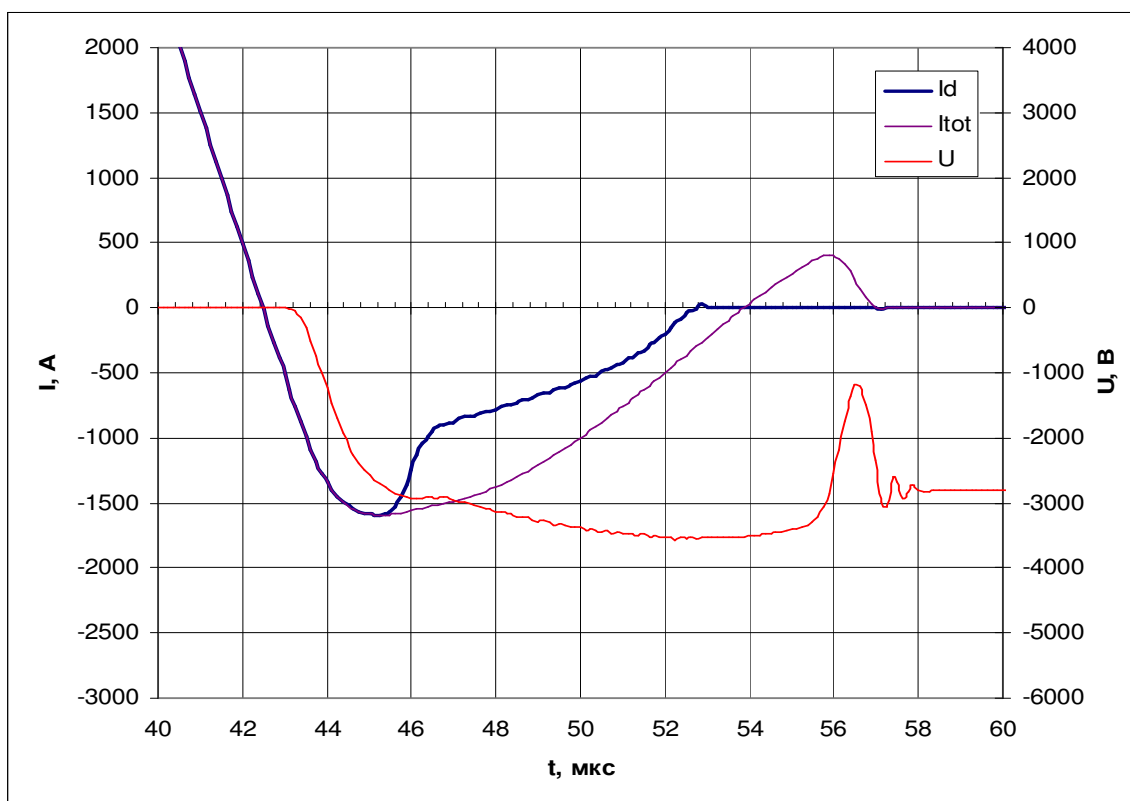


	Требуемые характеристики D1961SH	Результаты расчета аналога D1961SH по варианту Б22	Примечания
UFM, В	2,5	2,31	
Qgr, мкКл	12000	12063(Qrri)	
IrrM, А	2250	1760	
Eqr, Дж	21	31.5	
S, типовое	1,6	tf/ts~9,6/4=2,4	



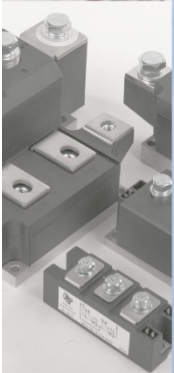
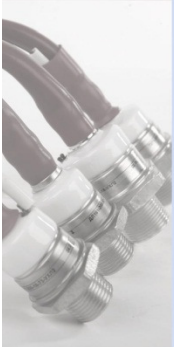


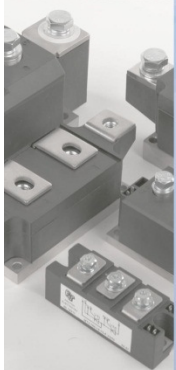
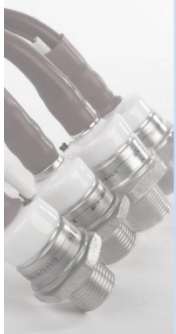
	Требуемые характеристики D1961SH	Результаты расчета аналога D1961SH по варианту Б22 (модификация профиля времени жизни)	Примечания
UFM, В	2,5	2,41	
Qgr, мкКл	12000	8137(Qrri)	
IrrM, А	2250	1592	
Eqr, Дж	21	20.6	
S, типовое	1,6	tf/ts~7/2,6=2,7	



ВЫВОДЫ

- ✓ Разработана конструкция и технология изготовления быстровосстанавливающихся диодов с ультрамягким восстановлением при высоких di/dt .
- ✓ Компьютерное моделирование существенно сократило цикл разработки конструкции и технологии изготовления. Отсутствие необходимости изготовления большого количества Опытных партий привело к явной экономии финансовых ресурсов.





ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС

Спасибо за внимание!

Ваши вопросы, пожалуйста

www.proton-electrotex.com