

УДК 621.3.049.77

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ТИРИСТОРА ТИ183-2000 В САПР TCAD

Горячкин Юрий Викторович¹, Калюжная Евгения Сергеевна²

¹ФГБОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», Российская Федерация, г. Саранск, 430005, Россия, Мордовия, г. Саранск, ул. Богдана Хмельницкого, д. 39

Тел. (834-2) 290668. E-mail: yurygor@newmail.ru

²ОАО «Электровыпрямитель», Российская Федерация, г. Саранск, 430001, Россия, Мордовия, г. Саранск, ул. Пролетарская, д. 126

Аннотация. Разработана элементарная ячейка и представлены результаты моделирования ВАХ тиристора в открытом состоянии и характеристики процесса выключения в САПР TCAD.

Ключевые слова: тиристор, моделирование, элементарная ячейка, параметр, характеристика.

Импульсный тиристор ТИ183-2000 изготавливается с так называемым внутренним усилением включающего импульса управления. Это реализуется путем каскадного соединения вспомогательного маломощного тиристора Т1 с основным мощным тиристором Т2, имеющим обширно разветвленный внутренний управляющий электрод, который обеспечивает достаточно большую площадь начального включения и быстрое ее увеличение в процессе протекания анодного тока. На рис. 1, а представлена эквивалентная схема такого тиристора. Иное название такого полупроводникового прибора — тиристор с регенеративным управляющим электродом. На рис. 1, б представлено поперечное сечение тиристора.

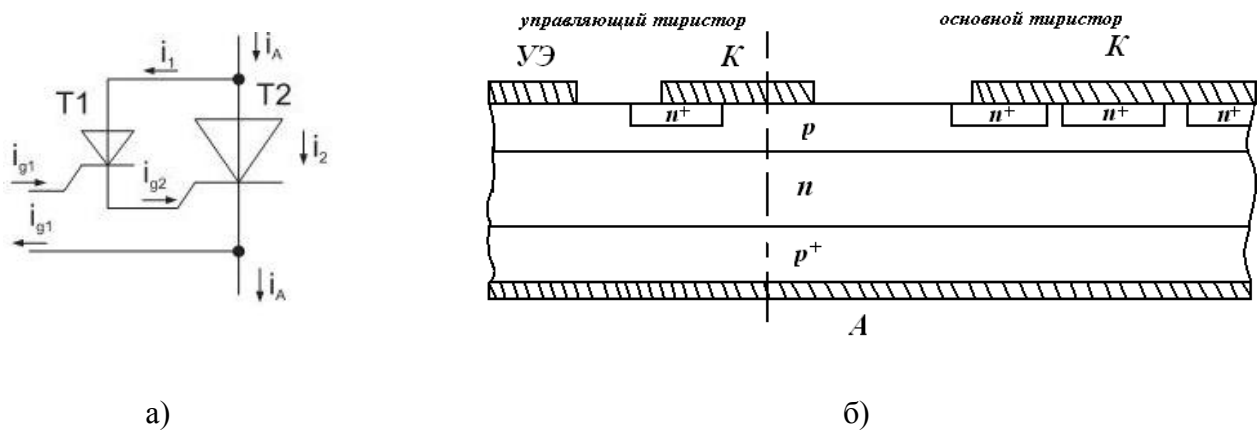


Рис. 1. Эквивалентная схема тиристора с регенеративным управляющим электродом и его поперечное сечение

В тиристоре использованы шунты круглой формы, регулярно расположенные по вершинам равносторонних треугольников. Таким образом, можно рассматривать структуру тиристора в виде множества изолированных элементарных структур гексагональной формы, как показано на рис. 2, а. На рис. 2, б изображена элементарная структура тиристора.

Чтобы площадь элементарной структуры цилиндрической формы была равна площади структуры гексагональной формы, радиус r_0 такой элементарной структуры рассчитывается по формуле [1]:

$$r_0 = \ell_{ш} \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2\pi}}, \quad (1)$$

где $\ell_{ш}$ – расстояние между шунтами.

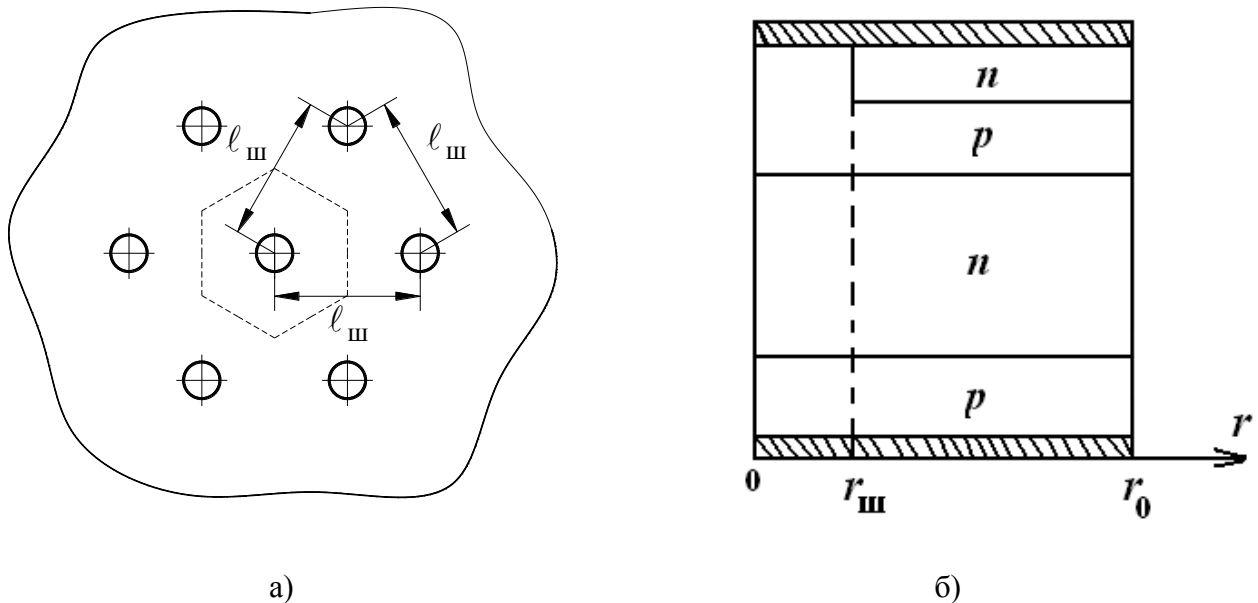


Рис. 2. Геометрия технологической шунтировки и элементарная структура тиристора

На рис. 3, а показана структура элементарной ячейки, созданная в редакторе границ программы MDRAW, на рис. 3, б показана увеличенная центральная часть структуры. На рис. 3, в представлено двумерное распределение концентрации легирующей примеси в структуре элементарной ячейки. В программе DESSIS эта структура будет моделироваться в цилиндрической системе координат с вертикальной осью вращения, проходящей через точку с координатой 0. Количество таких элементарных ячеек в тиристоре ТИ183-2000 составляет 3000.

Математическая модель тиристора включает следующие физические эффекты, которые позволяет учесть программа DESSIS при решении феноменологической системы дифференциальных уравнений:

- 1) Сужение ширины запрещенной зоны кремния с ростом температуры и концентрации легирующей примеси;
- 2) Рассеяние носителей заряда на фонах и на заряженных ионах примеси, электронно-дырочное рассеяние, а также насыщение дрейфовой скорости носителей заряда в высоких полях;
- 3) Рекомбинацию Шокли-Холл-Рида с временами жизни неравновесных носителей заряда, зависящими от концентрации легирующей примеси и температуры, а также Оже-рекомбинацию с зависящими от температуры коэффициентами Оже-рекомбинации.

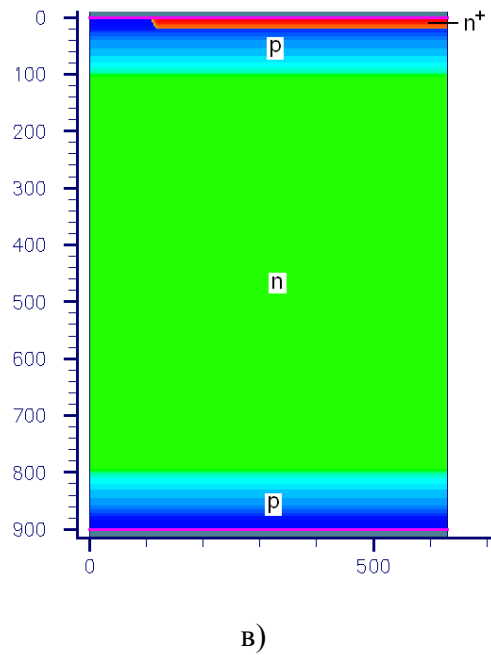
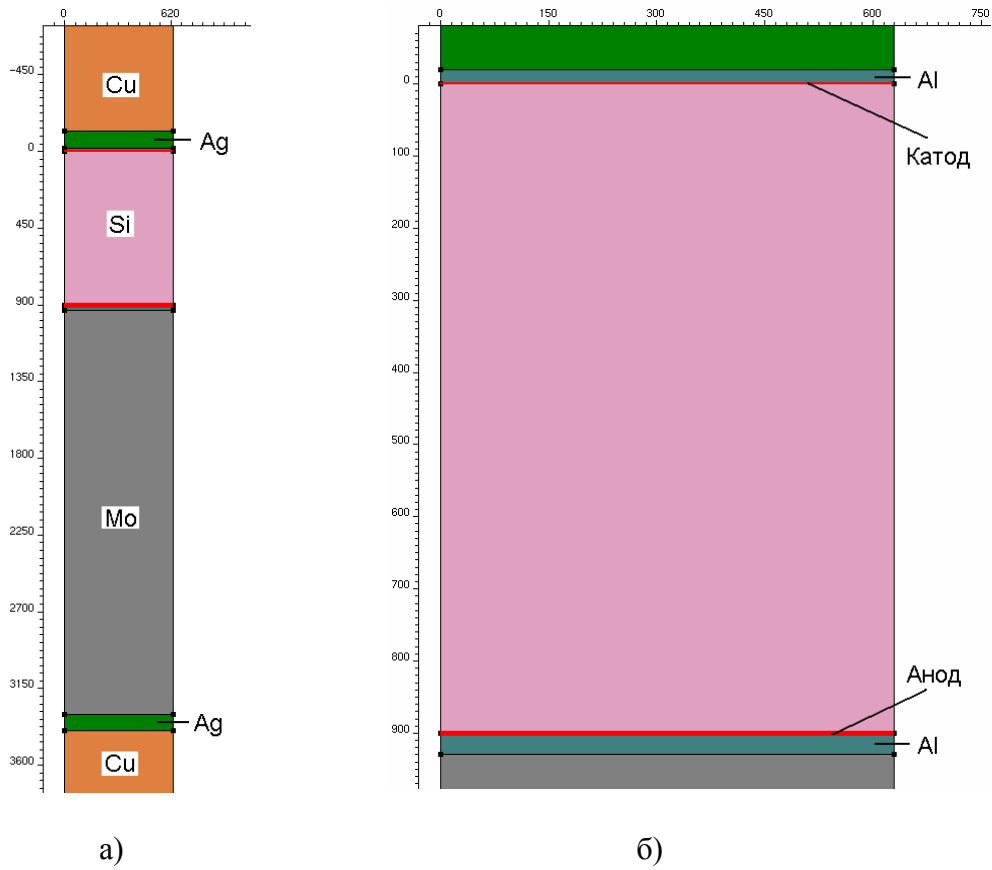
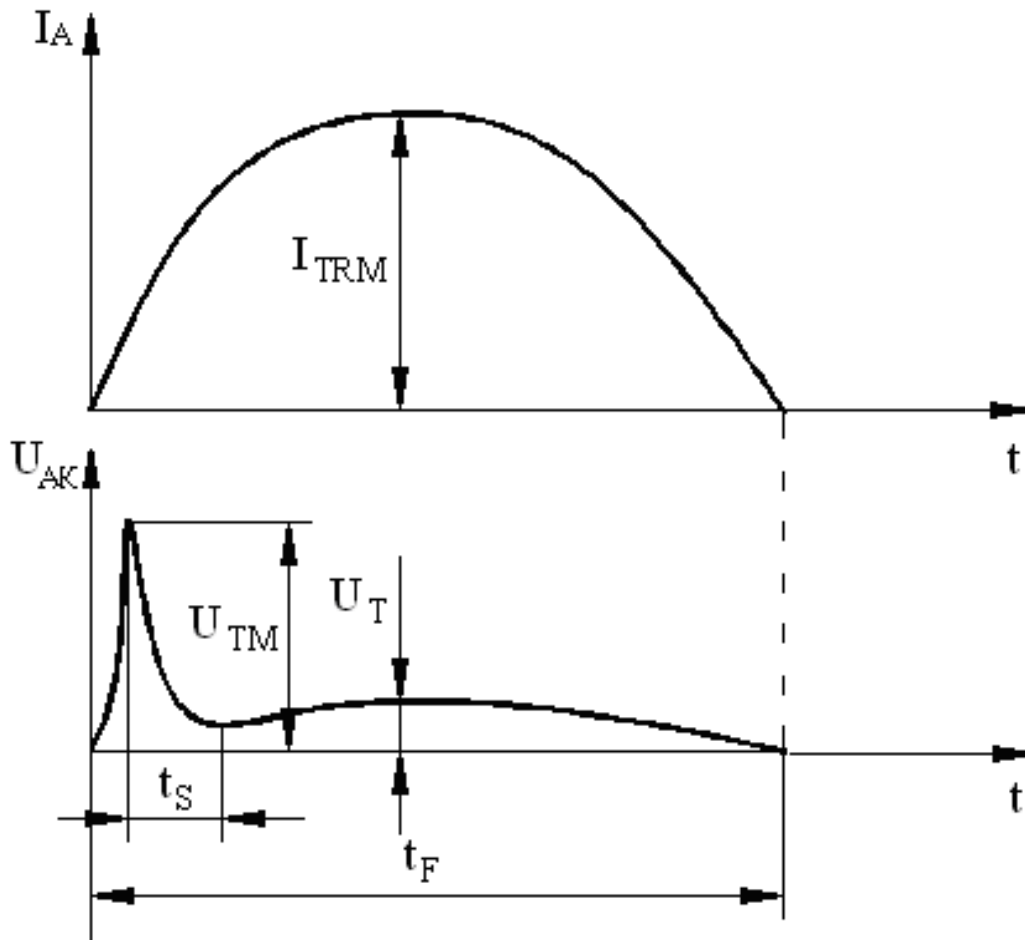


Рис. 3. Вид элементарной структуры тиристора

В работе были промоделированы ВАХ тиристора в открытом состоянии и характеристики процесса выключения.

Для измерения ВАХ в открытом состоянии на ОАО “Электровыпрямитель” используется установка, которая позволяет пропускать одиночные импульсы тока через испытуемый прибор. Подаваемый импульс тока однополярный, полусинусоидальный, длительностью 10 мс (рис. 4).



I_{TRM} — амплитуда прямого тока в открытом состоянии

t_F — длительность импульса прямого тока

U_{TM} — амплитуда коммутационного пика прямого напряжения

t_S — длительность коммутационного пика прямого напряжения

U_T — установившееся прямое падение напряжения в открытом состоянии

Рис. 4. Диаграммы напряжения и тока при включении тиристора

Для моделирования ВАХ в открытом состоянии использовалась разработанная выше элементарная ячейка. На рис. 5 показаны результаты моделирования напряжения при прохождении такого импульса тока через тиристор и результаты измерений при комнатной температуре. Из результатов моделирования видно, что при малых токах значения прямых падений напряжения в открытом состоянии (U_T) близки к результатам измерений. Однако при увеличении тока разница между результатами моделирования и измерениями возрастает. Причиной этого, видимо, является то, что неверно описывается температурная зависимость в моделях подвижности и рекомбинации.

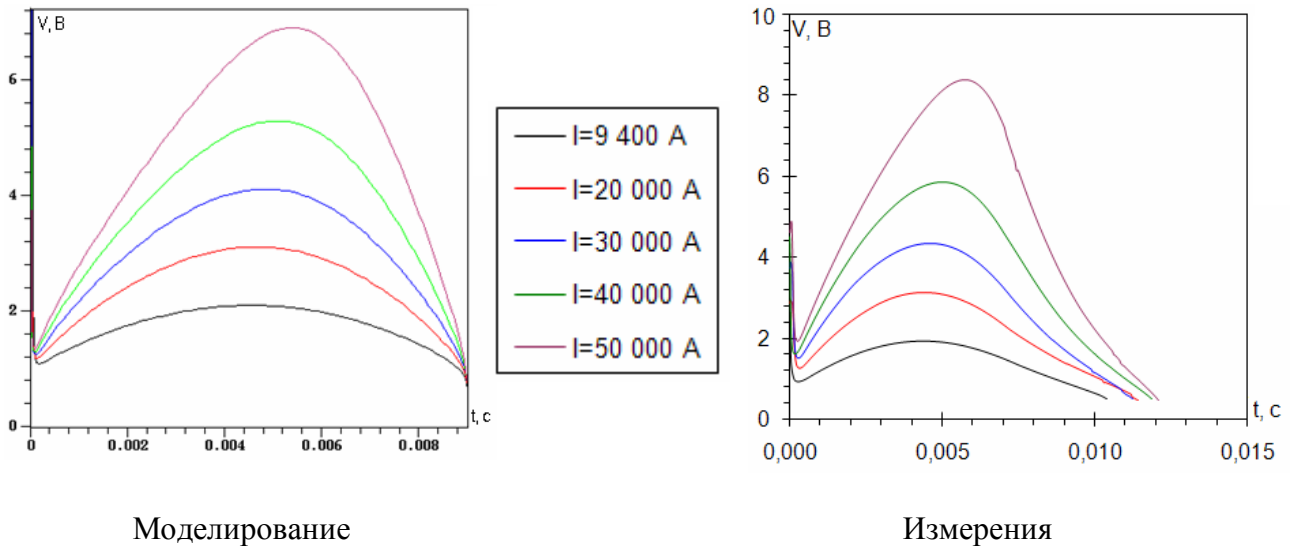


Рис. 5. Графики падения напряжения при прохождении импульса тока через тиристор

На рис. 6 показаны ВАХ тиристора, построенные из результатов моделирования и результатов измерений.

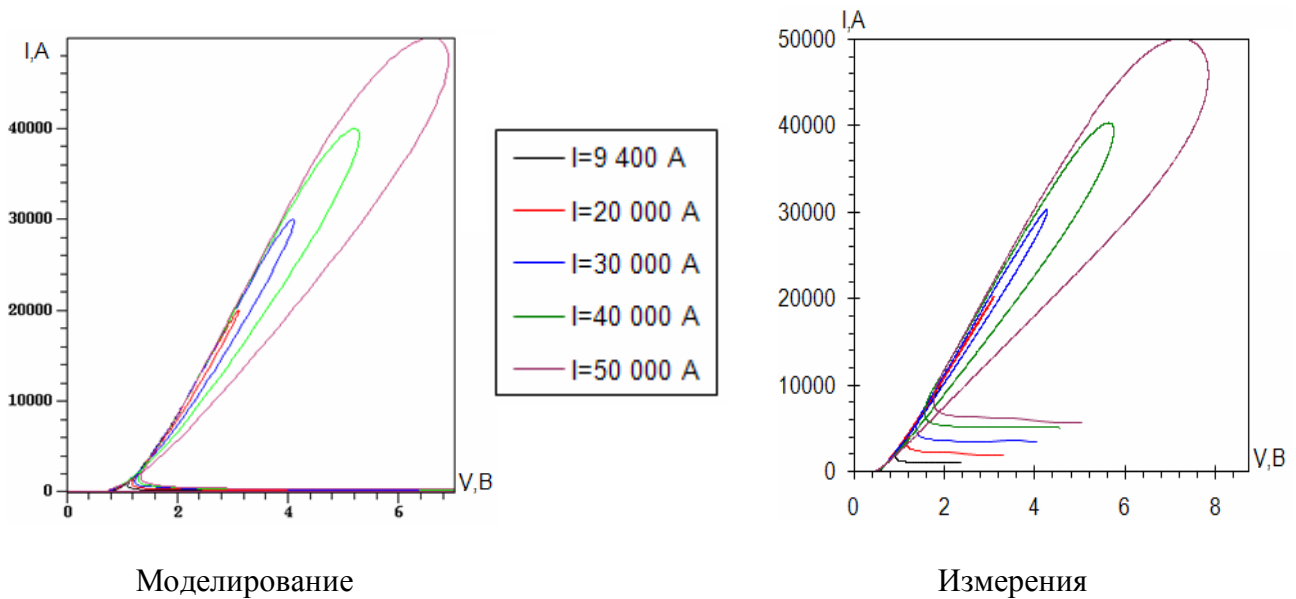


Рис. 6. ВАХ тиристора

На рис. 7, а показаны графики максимальной температуры в структуре при прохождении импульсов тока разной амплитуды и график распределения температуры по структуре в сечении, проходящем вдоль оси Y, при прохождении импульса тока амплитудой 50кА (рис. 7, б). Из этого графика видно, что положение максимума температуры находится практически в середине n-базы.

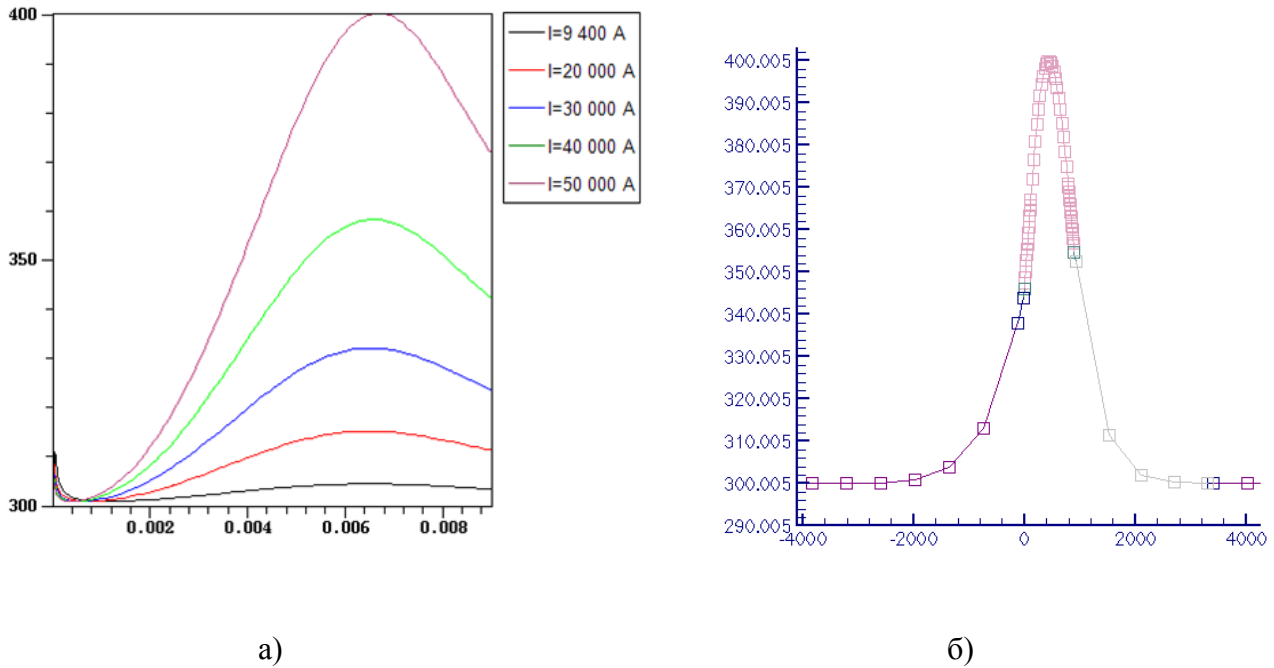


Рис. 7. Графики максимальной температуры при прохождении импульса тока через тиристор
Для моделирования процесса выключения используется схема, показанная на рис. 8.

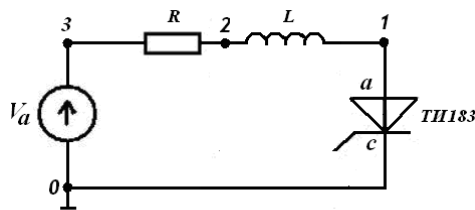


Рис. 8. Схема включения тиристора для моделирования процесса выключения

Источником напряжения V_a подается кусочно-линейный сигнал. Резистором задается номинальный ток в 2000 А. Индуктивность задает скорость спада $di/dt = 5 \text{ A}/\mu\text{с}$.

Для силовых тиристорov наиболее распространенным является способ выключения по аноду. Он характеризуется тем, что в определенный момент времени изменяется полярность напряжения в силовой цепи тиристора. При этом анодный ток через тиристор, находившийся в открытом состоянии, с некоторой скоростью спадает до нуля и меняет знак с положительного на отрицательный.

На рис. 9 показаны графики переходного процесса выключения тиристора. На рис. 10 показан график тока, поясняющий расчет Q_{rr} и t_{rr} . Из графика видно, что $t_{rr} = 40 \text{ мкс}$, $Q_{rr} = 2660 \text{ мкКл}$. Также на рисунке 10 для сравнения показаны графики токов, полученные при экспериментальных измерениях трех тиристорov при комнатной температуре. Для них t_{rr} лежит в диапазоне 32-34.5 мкс, Q_{rr} лежит в диапазоне 1600-1850 мкКл.

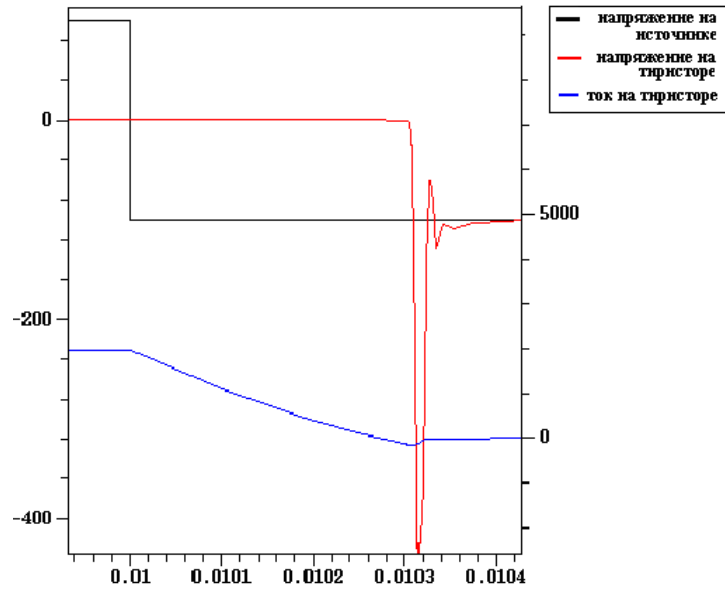
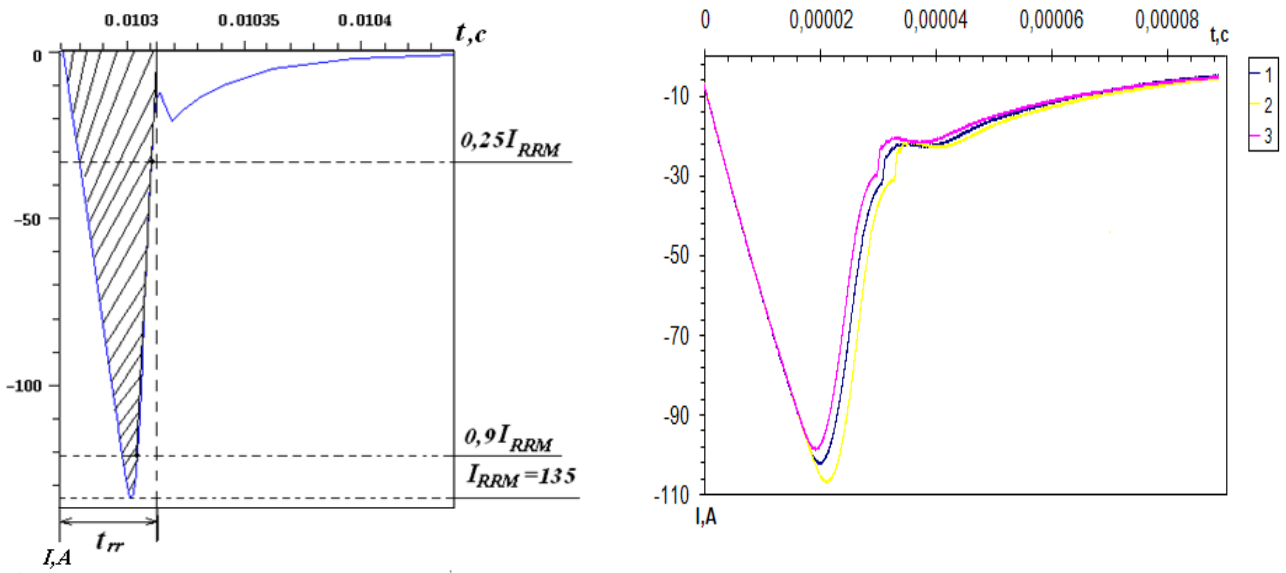


Рис. 9. Переходный процесс выключения тиристора



Моделирование

Измерения

Рис. 10. График тока, поясняющий расчет Q_{rr} и t_{rr}

Литература

1. Дерменжи П.Г. Расчет силовых полупроводниковых приборов. / П.Г. Дерменжи, В.А. Кузьмин, Н.Н. Крюкова и др. – М.: Энергия. – 1980. 184 с.

MODELLING OF POWERFUL PULSE THYRISTORS TH183-2000 IN TCAD

Goryachkin V. Yury¹, Kalyujnaya S. Eugenia²

Phone (834-2) 290668. E-mail: yurygor@newmail.ru

¹N. P. Ogarev's Mordovian State University, Russian Federation, Saransk city, 68, Bolshevistskaya str., 430005, Saransk, Mordovia, Russia

²OSC «Electrovypryamitel», Russian Federation, Saransk city, 126, Proletarskaya Str., 430001, Saransk, Mordovia, Russia

Annotation. The elementary cell is developed and results of modeling the thyristor current-voltage characteristics in an open state and the characteristics of the shutdown process in TCAD are presented.

Keywords: thyristor, modeling, an elementary cell, parameter, the characteristic.