

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВОМ ТИРИСТОРЕ В ЗАКРЫТОМ СОСТОЯНИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСА ПРЯМОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Беспалов Н.Н., Глебочкин В.П., Капитонов С.С.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск,
Научно-производственное предприятие «Электронная техника – МГУ», г. Саранск
Тел.: (834-2) 24-17-77, 24-37-05. Электронная почта: ka-mgu@mail.ru

Аннотация. В статье на основе разработанной модели силового тиристора в состоянии низкой проводимости в среде MULTISIM рассматриваются результаты моделирования переходных процессов в силовом тиристоре при воздействии импульса прямого напряжения в закрытом состоянии с различной скоростью нарастания.

Ключевые слова: силовой тиристор, вносимый электрический заряд, критическая скорость нарастания напряжения, закрытое состояние, NI Multisim, модель, силовой тиристор, National Instruments.

Abstract. In article on the basis of the developed model power thyristor in a condition of low conductivity in the environment of MULTISIM results of modeling of transients in power thyristor are considered at influence of an impulse of direct pressure in the closed condition with various speed of increase.

Keywords: power thyristor, made by an electric charge, critical rate of voltage rise, off-state condition, NI Multisim, the model of power thyristors, National Instruments.

Введение

Исследование механизма самопроизвольного переключения силового тиристора (СТ) в проводящее состояние под действием скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии du_D/dt , превышающей её некоторое критическое значение $(du_D/dt)_{crit}$ для данного прибора (эффект du_D/dt), представляет большой интерес для создания методик по предотвращению подобного неуправляемого включения тиристора. Переключение в проводящее состояние происходит, если накопленный за время импульса напряжения электрический заряд превысит некоторое критическое значение Q_{crit} . Исследование вносимого заряда в СТ на основе моделирования переходных процессов в нём в закрытом состоянии при воздействии импульса прямого напряжения помогает оценить величину накопленного заряда.

Силовые полупроводниковые приборы (СПП) представляют собой нелинейные элементы, электрические характеристики которых зависят от электрических и физических факторов. Это создаёт сложность при создании методов и аппаратуры для определения электрических параметров и характеристик реальных СПП. В связи с этим на этапе исследования и оценки процессов, протекающих в полупроводниковой структуре (ПС), большой интерес представляют программы математического моделирования, позволяющие определить и построить важные электрические зависимости СПП.

Однако, имеющиеся в известных программах моделирования электронных схем математические модели полупроводниковых приборов не корректно описывают их поведение при воздействии заданных сигналов и часто не предоставляют пользователю возможность изменения параметров этих моделей. В связи с этим нами была создана модель силового тиристора (СТ) в состоянии низкой проводимости в среде математического моделирования NI Multisim, представляющую широкие возможности.

Большой интерес для исследования представляет состояние низкой проводимости СТ. В самом общем виде схему замещения СТ в состоянии низкой проводимости можно представить в виде параллельного соединения нелинейных активной и ёмкостной

составляющих. Поэтому, при приложении к СТ переменного напряжения u_D , суммарный ток i_D , протекающий через него, будет состоять из активной i_{DA} и ёмкостной i_{DC} составляющей, обусловленной барьерной ёмкостью СПП [1]:

$$i_D = i_{DA} + i_{DC}. \quad (1)$$

Модель нелинейной нагрузки в программе NI Multisim

Используя зависимости активной и ёмкостной составляющих и возможность создания нелинейных нагрузок в среде NI Multisim, была создана математическая модель силового тиристора. В качестве исследуемого прибора были применены параметры и характеристики присущие широко применяемым в преобразовательной технике СТ типа Т453-800. С помощью этой модели была произведена оценка вносимого электрического заряда в СТ, находящегося в закрытом состоянии, при воздействии импульсов напряжения с различными скоростями нарастания.

Структурная схема модели для определения вносимого заряда показана на рис. 1.

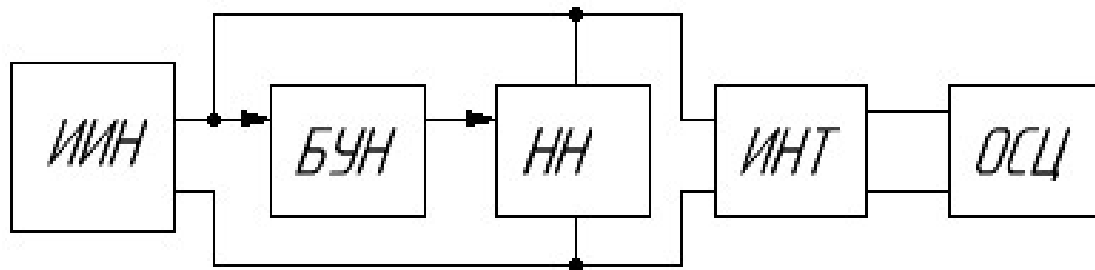


Рис. 1. Структурная схема модели.

Модель испытаний работает следующим образом. От источника импульсов напряжения (ИИН) испытательный импульс напряжения с заданной скоростью и амплитудой одновременно подаётся на блок управления нелинейной нагрузкой (БУН) и нелинейную нагрузку (НН). Таким образом, под действием импульса ИИН НН изменяется. Ток НН интегрируется, а значение заряда отображается на осциллографе.

В качестве исследуемого СТ был выбран Т453-800, имеющий следующие параметры: диаметр полупроводниковой структуры $D=56$ мм, $U_{DRM}=2800$ В и $(du_D/dt)_{crit}=1600$ В/мкс, так как этот тип СТ широко используется для создания электрических преобразователей, в частности, применяемых на тяговом железнодорожном транспорте.

На рис. 2 представлена схема его модели в среде NI Multisim для оценки вносимого заряда.

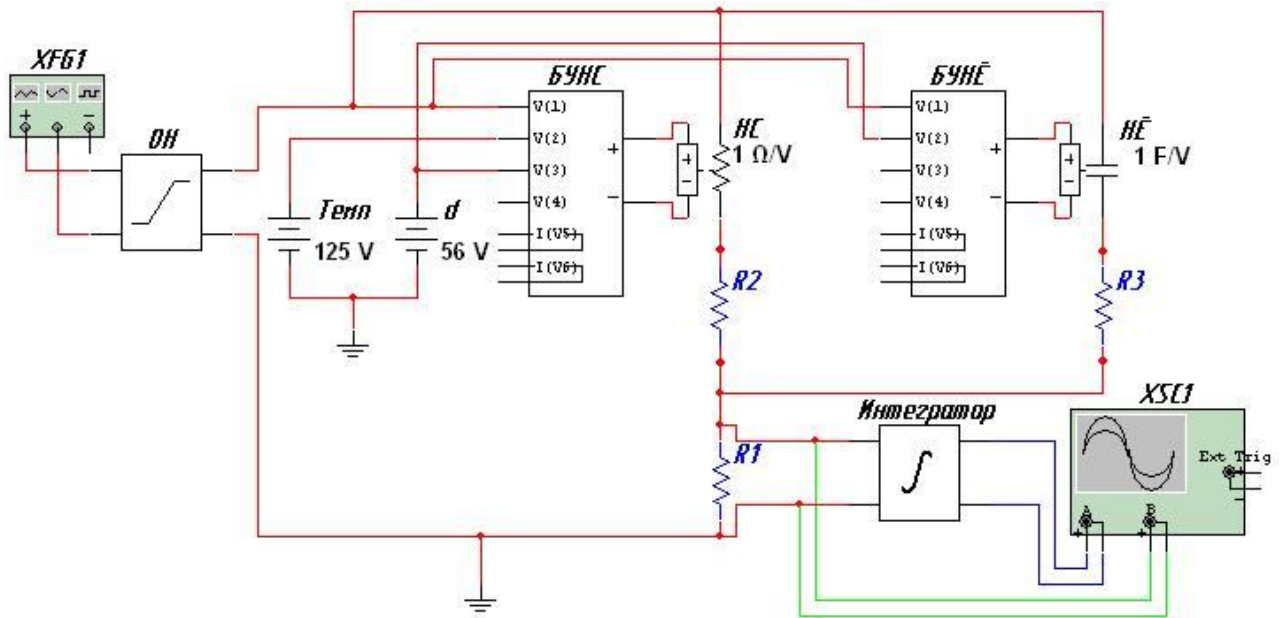


Рис. 2. Модель силового тиристора Т453-800 в среде NI Multisim.

Генератор линейного нарастающего напряжения $XFG1$ подаёт импульс напряжения с заданной крутизной фронта на ограничитель напряжения (OH), который ограничивает прямое напряжение на уровне $0,67U_{DRM}$. Затем напряжение прикладывается к блокам управления нелинейным сопротивлением и ёмкостью ($БУНС$ и $БУНЁ$ соответственно), которые создают управляющие воздействия на нелинейное сопротивление (HC) и нелинейную ёмкость (HE). Источники напряжения, подключённые к $БУНС$, задают температуру ПС (в данном случае она предельно допустимая $T_{jmax}=125\text{ }^{\circ}\text{C}$) и диаметр ПС исследуемого прибора. Общий ток и заряд, полученный интегратором, выводятся на осциллограф $XSC1$.

Результаты моделирования

На рис. 3 показаны сигналы испытательного напряжения u_D , а на рис. 4, 5 показаны временные зависимости общего тока i_D через испытуемый прибор и внесённого заряда $Q_{внес}$.

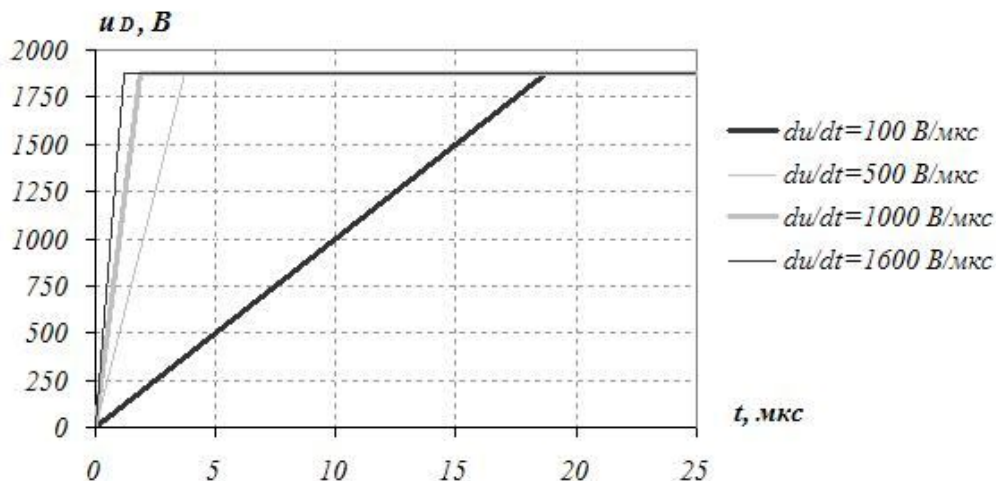


Рис. 3. Графики испытательного прямого напряжения в закрытом состоянии напряжения u_D с различной скоростью нарастания.

при различных скоростях нарастания прямого напряжения в закрытом состоянии для силового тиристора Т453-800.

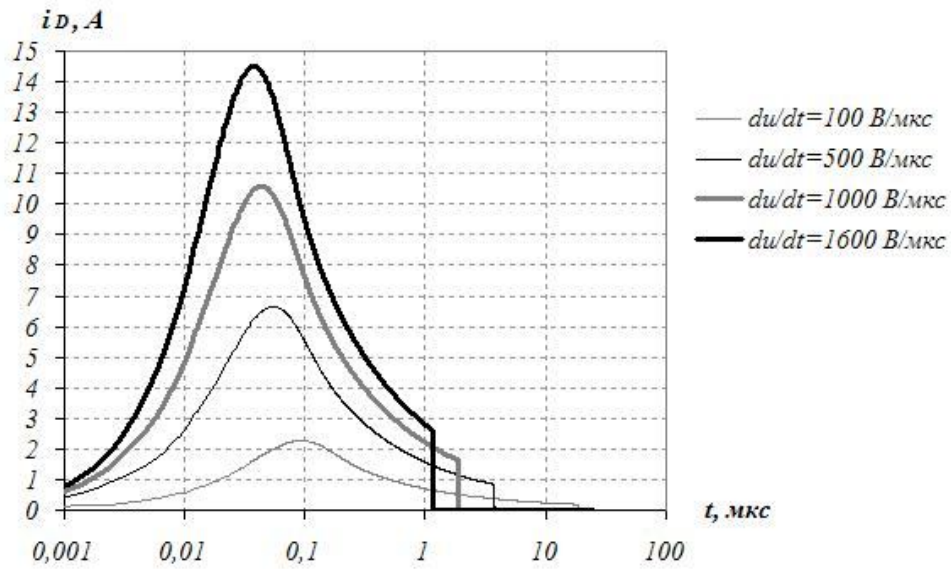


Рис. 4. Графики общего тока i_D через испытуемый прибор при воздействии прямого напряжения в закрытом состоянии u_D с различной скоростью нарастания.

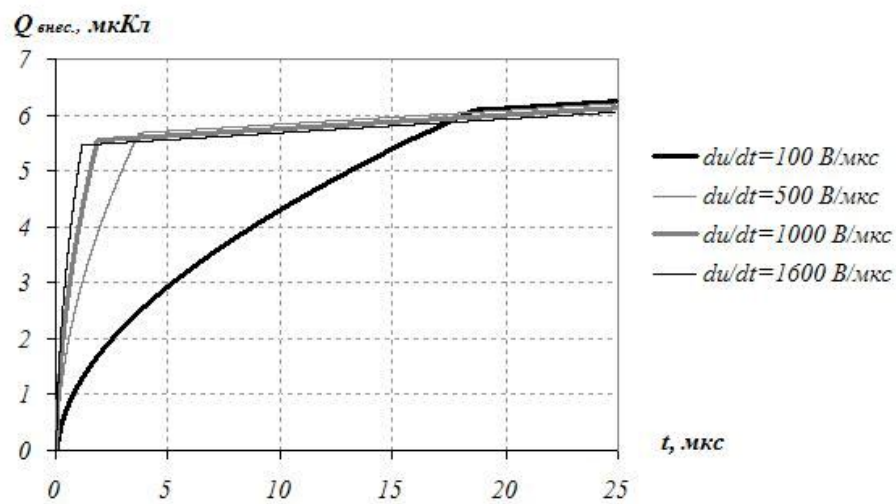


Рис. 5. Графики внесенного заряда $Q_{внес.}$ при различных скоростях прямого напряжения в закрытом состоянии.

Выводы

Из полученных временных зависимостей (рис. 4, 5) видно, что в самом начале подачи испытательного импульса напряжения происходит бросок тока через испытуемый прибор, который в большей степени на этапе нарастания напряжения является представляет собой ёмкостной ток i_{DC} . Этот ток и обеспечивает быстрый рост вносимого заряда.

Полученные результаты моделирования адекватны процессам в реальных СТ. Это позволяет использовать данную модель СТ при исследовании переходных процессов в преобразователе при групповом соединении приборов, а также для определения величины критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии $(du_D/dt)_{crit}$

Литература

1. Н. Н. Беспалов, С. С. Капитонов. [Измерение параметров силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости](http://fetmag.mrsu.ru/2010-1/pdf/Measurement_in_low_conductivity.pdf) // Электроника и информационные технологии. — 2010 выпуск 1 (8) — 2010. — http://fetmag.mrsu.ru/2010-1/pdf/Measurement_in_low_conductivity.pdf.

SIMULATION OF TRANSIENT PROCESSES IN POWER THYRISTORS IN THE OFF-STATE CONDITION UNDER THE INFLUENCE OF FORWARD VOLTAGE IMPULS

Nikolay N. Bepalov, Vitaly P. Glebochkin, Sergey S. Kapitonov
Mordovian N. P. Ogarev state university,
Scientific-production enterprise “Electronic technics — MSU”, Saransk
Phone: (834-2) 24-17-77, 24-37-05. E-mail: ka-mgu@mail.ru

Сведения об авторах

Беспалов Николай Николаевич — кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматизации Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева,
e-mail: bnn48@mail.ru

Глебочкин Виталий Павлович — аспирант Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, научный руководитель — Беспалов Николай Николаевич,
e-mail: glebochkin@mail.ru

Капитонов Сергей Сергеевич — аспирант Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, научный руководитель – Беспалов Николай Николаевич,
e-mail: KapitonovFET@rambler.ru