

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Шевченко Глеба Михайловича** «Повышение качества моделирования РЭА за счет использования эквивалентной схемы полупроводникового диода с неквазистатическими эффектами прямого и обратного восстановления», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертация Г.М. Шевченко посвящена решению ряда **актуальных** задач, связанных с повышением точности моделирования сложных радиоэлектронных систем и устройств при обеспечении удобного программного интерфейса и небольших вычислительных затратах. Данные задачи решены автором за счет существенного уменьшения погрешности моделирования относительно типовой зарядовой модели диода. В предложенной неквазистатической модели учитывается зависимость последовательного сопротивления потерь от величины диффузионного заряда и зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда от прямого тока. Следует отметить, что задача уменьшения погрешности моделей полупроводниковых приборов для режима большого сигнала является актуальной как для быстродействующих импульсных и высокочастотных диодов, так и для биполярных транзисторов.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 69 наименований. В состав диссертации также входят приложения с актами внедрения результатов работы соискателя и свидетельством о государственной регистрации разработанной программы для ЭВМ. Объем диссертации с приложениями составляет 121 с., 75 рисунков и 1 таблицу. Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы, написан и оформлен в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 и требованиями ВАК Минобрнауки России.

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования. Представлены положения, выносимые на защиту, отражен личный вклад соискателя.

В первой главе проведен аналитический обзор литературы по всем существующим видам моделей полупроводниковых диодов. Сделан обоснованный вывод о необходимости перехода от зарядовых и физико-топологических моделей к неквазистатическим моделям в виде эквивалентных схем, содержащих управляемые источники тока и напряжения.

Во второй главе предложена формула для расчета последовательного сопротивления диода при прямом смещении, которое зависит от величины диффузионного заряда. Диффузионный заряд в диссертации определяется на основе импульсной характеристики. При расчете сопротивления учитывается также барьерная емкость. Приведены результаты расчета зависимости последовательного сопротивления диода от прямого тока и переходная характеристика для установления прямого напряжения. Необходимо отметить, что полученные данные достаточно хорошо совпадают с экспериментальными результатами.

В третьей главе исследуется зависимость времени жизни неосновных носителей заряда от прямого тока, протекающего через диод. Автором обосновано и предложено соответствующее выражение, позволяющее в прямом виде проводить расчеты. Адекватность предложенного соотношения, справедливого в широком диапазоне изменения прямого тока, подтверждена экспериментально. Далее приводится эквивалентная схема, позволяющая проводить высокоточное моделирование переходных процессов в диоде при воздействии импульсов прямого тока заданной амплитуды. Исследованы режимы восстановления обратного сопротивления диода.

В четвертой главе приведены конкретные примеры использования разработанных диссертантом неквазистатических моделей полупроводниковых диодов. Показаны их существенные преимущества при

проектировании формирователей импульсных сигналов с мощностями от 2 Вт до 1 МВт. Результаты исследования, представленные в данной главе и выполненные с помощью разработанных неквазистатических моделей диодов, позволили автору сделать обоснованный вывод о применимости режима резкого восстановления обратного сопротивления для генерации коротких импульсов большой амплитуды.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложениях приведены акты внедрения, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ и диплом выигранного гранта УМНИК.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена оригинальная неквазистатическая модель для описания переходных процессов в диоде в виде эквивалентной схемы, позволяющая получать существенно меньшую погрешность моделирования относительно квазистатической модели за счет учета зависимости последовательного сопротивления потерь от прямого тока.

2. Впервые в разработанной эквивалентной схеме полупроводникового диода учтена зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда от прямого тока при высоком уровне инжекции, что позволяет с достаточно высокой точностью описывать физические процессы в диоде при прямом и обратном переключении.

3. На основе разработанной неквазистатической модели диода проведено моделирование ряда быстродействующих импульсных радиотехнических устройств, работающих в режиме малого и большого сигнала. Подтверждена высокая точность моделирования по сравнению с использованием известной квазистатической модели.

Научная значимость. В диссертации Глеба Михайловича Шевченко на высоком научно-техническом уровне решен ряд актуальных задач по разработке высокоточных моделей полупроводниковых приборов, работающих в режиме большого сигнала при импульсных воздействиях. Предложенная неквазистатическая модель диода реализована в виде

эквивалентной схемы, что обеспечивает ее реальное практическое применение в современных схемотехнических САПР. Предложенная модель не требует значительных вычислительных ресурсов и может быть использована для анализа быстродействующих импульсных устройств высокого уровня мощности.

Достоверность научных положений и выводов, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается согласованностью полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается современными средствами измерений и стандартными методиками проведения исследований, а также методами статистической обработки данных.

По результатам исследований опубликовано 9 работ: 2 статьи в журналах из перечня ВАК, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 4 доклада и 2 статьи в трудах международных конференций с индексацией в наукометрической базе РИНЦ.

Результаты, достигнутые при выполнении диссертационной работы, имеют большую **практическую значимость**. Это подтверждается актами о внедрении результатов на предприятиях АО «Научно-исследовательского института полупроводниковых приборов», ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» и ООО «500м ТЕХНОЛОДЖИС». Кроме этого, результаты диссертационной работы использованы при выполнении госзадания, гранта РНФ и УМНИК-2019.

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации имеются опечатки и стилистические ошибки. Например, название и комментарий к рис. 1.2 противоречат друг другу.
2. Во второй главе не описан физический смысл постоянной времени релаксации диффузионного заряда.

3. Недостаточно подробно дано описание постоянной времени экстракции неравновесных носителей заряда (стр. 54).
4. В третьей главе следовало больше внимания уделить описанию переходных процессов при высоком и низком уровне инжекции, а также их сопоставлению.

Заключение

В целом, не вызывает сомнений тот факт, что по научному уровню и объему проведенных исследований диссертационная работа Глеба Михайловича Шевченко «Повышение качества моделирования РЭА за счет использования эквивалентной схемы полупроводникового диода с неквазистатическими эффектами прямого и обратного восстановления» является завершенным научным исследованием, и соответствует требованиям, установленным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 в редакции от 26.09.2022, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент

Доктор технических наук по специальности 05.12.07,
профессор кафедры теоретических основ радиотехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»,
Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
Тел. 8 (383) 346-08-34
e-mail: razinkin_vp@mail.ru



Владимир Павлович Разинкин
«09» 12 2022

Подпись д.т.н.  О.К. Пустовалова

Начальник О.К. НИ ТУ

Пустовалова О.К.

М.П.