

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

П. Ю. ВОЛОЩЕНКО

Ю. П. ВОЛОЩЕНКО

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ЗАРЯДОВ В ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРАХ
С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Учебное пособие

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2019

УДК 621.385(075.8)

ББК 32.851я73

В686

*Печатается по решению кафедры радиотехнической электроники
Института нанотехнологий, электроники и приборостроения
Южного федерального университета
(протокол № 6 от 15 февраля 2019 г.)*

Рецензенты:

заместитель генерального директора по качеству ОАО «ТНИИС»
(г. Таганрог), кандидат технических наук, старший научный сотрудник
А. Ф. Гришков

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
информационных измерительных технологий и систем Института
нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ *И. И. Турулин*

Волощенко, П. Ю.

В686 Моделирование переноса электрических зарядов в электровакуумных приборах с электростатическим управлением : учебное пособие / П. Ю. Волощенко, Ю. П. Волощенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. – 110 с.

ISBN 978-5-9275-3341-1

В учебном пособии приведены концептуальные модели упорядоченного движения электронов коллинеарного вектору напряженности электрического поля в двух-, трех- и многоэлектродных вакуумных приборах, имеющих микро- и наноразмерные пространства пролета. Актуальность формализации электронных явлений и электрических эффектов в них вызвана необходимостью наглядного и корректного проектирования климатически устойчивой и радиационно стойкой РЭА и ЭВА. Отмечаются причины возникновения и отсутствия объемного заряда при взаимодействии электронных и электромагнитных потоков, поясняется возможность мгновенного электростатического управления сигналом. На основе графических и аналитических операторов моделей аналоговых и цифровых систем ЭП методами теории нелинейных электрических цепей составлены целевые функции, используемые в технической электронике и нанoeлектронике. Они позволяют прогнозировать условия уменьшения энергопотребления и повышения диапазона рабочих частот электронной компонентной базы, предназначенной для функционирования в экстремальных условиях космоса.

УДК 621.385(075.8)

ББК 32.851я73

ISBN 978-5-9275-3341-1

© Южный федеральный университет, 2019
© Волощенко П. Ю., Волощенко Ю. П., 2019
© Оформление. Макет. Издательство
Южного федерального университета, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХЭЛЕКТРОДНОЙ ЛАМПЕ	10
1.1. Общая характеристика нелинейных явлений в вакуумном диоде	12
1.2. Вольт-амперная характеристика двухэлектродной лампы при отрицательном анодном напряжении	17
1.3. Режим умеренного положительного анодного напряжения в вакуумном диоде. Закон «степени 3/2» (Богуславского, Чайльда, Ленгмюра)	19
1.4. Реальная вольт-амперная характеристика вакуумного диода	30
1.5. Параметры вакуумного диода	35
1.5.1. Крутизна ВАХ и внутреннее сопротивление диода	35
1.5.2. Междуэлектродные емкости	36
1.6. Динамические свойства вакуумных электронных приборов.	37
1.6.1. Угол пролета направленно движущихся электронов	38
1.6.2. Пример верификационного расчета времени движения электрона при холодном и нагретом катоде	39
1.6.3. Наведенный и конвекционный токи диода	39
1.6.4. Влияние междуэлектродной емкости и индуктивности выводов диода	42
2. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ С СЕТКАМИ	44
2.1. Электростатическое управление потоком элементарных зарядов в электронной лампе	44
2.2. Междуэлектродные емкости	52
2.3. Закон «степени 3/2» в вакуумном триоде	55
2.4. Моделирование конвекционного тока четырех и пятиэлектродных ламп	60
2.5. Характеристики ламп с сетками	64
2.6. Параметры ламп с сетками	69
2.7. Зависимость параметров ламп от токораспределения между сетками	71

Оглавление

2.8. Расчет параметров тетрода	77
2.9. Рабочий режим триода	80
3. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО СИНТЕЗА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ВАКУУМНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ	90
3.1. Современные конструктивные направления разработки мощных электронных ламп	90
3.2. Особенности реализации деталей и узлов генераторных ламп	93
3.3. Специфика конструирования мощных усилительных ламп низкой частоты	95
3.4. Методы, обеспечивающие поддержание вакуума в электронных приборах	96
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	100
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	106