

Забайкальский государственный гуманитарно-педагогический
университет им. Н. Г. Чернышевского

В. Б. Венславский

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ
ИСТОЧНИК-ПРИЁМНИК**

Чита
ЗабГГПУ
2012

ББК Ч 486.88
УДК 53
В 295

Печатается по решению Учёного совета Забайкальского
государственного гуманитарно-педагогического университета
им. Н. Г. Чернышевского

Ответственный за выпуск: *С. Е. Старостина*, доктор пед. наук, доцент,
проректор по учебной работе ЗабГГПУ

Рецензенты: *Ю. Л. Хотунцев*, доктор физико-математических наук, профессор, МПГУ;
Н. П. Степанов, доктор физико-математических наук, ЗабГУ

Венславский, В. Б.

В 295 Моделирование электронных систем источник-приёмник: монография /
В. Б. Венславский ; Забайкал. гос. гум.-пед. ун-т. – Чита, 2012. – 139 с.

ISBN 978–5–85158–874–7

Монография посвящена развитию теории моделирования электронных элементов и целостных систем источник-приёмник. В работе рассматриваются проблемы математического моделирования электронных систем в графической форме, используется классический термин *внешняя характеристика нагруженного источника* и раскрывается объём этого понятия. Понятие «линия нагрузки» в работе определено как *внешняя характеристика нагруженного эквивалентного источника*. В монографии исследована процедура построения математических моделей электронных систем графическими *методами опрокинутой характеристики и эквивалентного источника*, рассмотрены прикладные вопросы моделирования электронных цепей.

Областью применения результатов исследования являются теоретические основы электротехники и схемотехника электронных устройств.

Книга адресована преподавателям, аспирантам и студентам, специализирующимся в области моделирования электронных систем, радиофизики и преподавания основ теории цепей и схемотехники.

**ББК Ч 486.88
УДК 53**

ISBN 978–5–85158–874–7

© ЗабГГПУ, 2012

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Моделирование элементов электрической цепи	12
1.1. Моделирование электронных элементов цепей	14
1.2. Моделирование резистивных элементов в графической форме	20
1.3. Моделирование источников электрической энергии	22
1.4. Моделирование вольтметров и амперметров	27
Основные выводы к главе 1	30
Глава 2. Моделирование электронных систем источник-приёмник	31
2.1. Моделирование электронных систем в аналитической форме	32
2.2. Моделирование электронных систем в графической форме	36
2.2.1. Моделирование систем методом опрокинутой характеристики	37
2.2.2. Моделирование цепи на основе идеального источника напряжения	39
2.2.3. Моделирование цепи на основе идеального источника тока	41
2.2.4. Моделирование цепи на основе моделей Ома	42
2.3. Построение внешней характеристики нагруженного источника	44
2.4. Выбор модели источника электрической энергии	46
Основные выводы к главе 2	47
Глава 3. Моделирование электронных систем методом эквивалентного источника 49	
3.1. Моделирование системы «источник напряжения и эквивалентная нагрузка»	50
3.2. Моделирование системы «эквивалентный источник напряжения и рабочий элемент цепи»	51
3.3. Моделирование линейных четырёхполюсников	54
3.4. Моделирование системы «эквивалентный источник тока и рабочий элемент цепи»	56
3.5. Моделирование системы «эквивалентный источник напряжения и активная нагрузка в режиме преобразователя»	60
3.6. Моделирование системы «эквивалентный источник и активная нагрузка в режиме регенерации»	63
Основные выводы к главе 3	65

Глава. 4. Система понятий и терминов теории моделирования электронных систем	66
4.1. Основные понятия и термины теории моделирования цепей	67
4.2. Анализ статей ГОСТ Р 52002–2003 Электротехника	70
4.2.1. Понятия и термины: электрический ток и напряжение	70
4.2.2. Понятие и термин «вольт-амперная характеристика»	74
4.3.4. Объём понятия «источник электрической энергии».	78
4.2.5. Объём понятия «электродвижущая сила».	82
4.3. Спираль фундирования системы понятий моделирования систем.	84
4.4. Герменевтический анализ текстов учебной литературы	88
4.5. Тезаурус теории электронных элементов и систем	98
Основные выводы к главе 4	101
 Глава 5. Моделирование цепей смещения электронных устройств	 103
5.1. Модель цепи смещения светодиода	104
5.2. Модель цепи смещения выпрямительного диода	106
5.3. Моделирование цепей стабилизатора напряжения.	110
5.3.1. Моделирование цепи смещения стабилитрона	110
5.3.2. Моделирование цепи смещения стабилитора	112
5.4. Моделирование транзисторного усилителя	113
5.4.1. Моделирование цепей биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером	113
5.4.2. Моделирование усилителя на биполярном транзисторе, включённом по схеме с общим эмиттером.	115
5.5. Моделирование цифровых логических элементов	120
5.6. Моделирование цепи смещения СВЧ-генератора на диоде Ганна	126
 Заключение.	 130
Глоссарий	131
Список литературы	133
Список принятых сокращений	138

Введение

Очень трудно взглянуть на мир по-новому,
не глазами модного учения.

Георг Кристоф Лихтенберг

Процесс развития науки «Электроника» объединяет большое количество областей знания (далее под этим термином – «Электричество», «Электротехника», «Промышленная электроника», «Схемотехника», «Физическая электроника» и др.) и существенно влияет на появление технологий создания материального и интеллектуального продукта. Создание искусственных источников электрической энергии и различных электронных элементов и устройств востребовано потребностями человека. Революционный прорыв в области электричества происходит в начале XIX в. с изобретения Алессандро Вольта гальванического источника электрической энергии – «Электрического органа» (авторское название «Вольтова столба»), пионерских открытий и работ В. В. Петрова, Х. К. Эрстеда, И. С. Х. Швейггера, А. М. Ампера, Т. И. Зеебека. В 1826 г. Георг Симон Ом экспериментально установил взаимосвязь между силой тока и напряжением и впервые предложил математическую модель отрезка медной проволоки, а позднее и модель источника электрической энергии (компонентный закон Ома), нашёл эмпирическое решение задачи оценки режима в цепи источник-приёмник.

Изобретение Джозефом Генри реле (1831 г.), создание Павлом Львовичем Шиллингом первого электромагнитного телеграфа (1832 г.) и применение Сэмюэлом Морзе реле в качестве коммутационного устройства в телеграфном «Аппарате Морзе» (1836 г.) открывают перспективы передачи информации и способствуют развитию элементной базы и теории моделирования электронных элементов и систем источник-приёмник.

В работах Густава Роберта Кирхгофа в середине 40-х гг. впервые разработана методика построения математической модели электронной системы, сформулированы системные топологические законы – «цепные» законы Кирхгофа. Открытие законов Кирхгофа и методики построения математических моделей различных цепей позволили осуществлять проектирование различных электронных систем – электротехнических

устройств и устройств техники связи. Развитие науки в области электроники в начале XX в. позволило разработать и внедрить релейную и вакуумную технику, сделать первые шаги и найти подходы к технологиям использования полупроводников. Эти достижения в области электроники позволили в конце 30-х гг. XX в. реализовать идеи построения вычислительных машин: Конрадом Цузе созданы первые релейные машины; Джоном Атанасовым и Клиффордом Берре разработана действующая модель ламповой ЭВМ «ABC» (Atanasoff Berre Computer), ставшей прототипом первой ЭВМ «ENIAC». Создание ЭВМ дало старт взаимосвязанному развитию информационных технологий и вычислительной техники. Второе поколение ЭВМ связано с переходом в начале 50-х гг. XX в. от реле и вакуумных ламп к транзисторам.

Самое революционное техническое открытие XX в. – изобретение транзистора. Изобретению транзистора предшествовали открытия свойств контактов металлов с некоторыми кристаллами [21]:

1) обнаружение односторонней проводимости и нелинейной взаимосвязи силы тока и напряжения – несоответствие закону Ома (Ф. Браун, 1874 г.);

2) использование кристаллического детектора в качестве демодулятора высокочастотных колебаний (Г. Пикард, 1906 г.);

3) обнаружение падающего участка ВАХ детектора (У. Икклз, 1910 г.);

4) применение генерирующего детектора с падающим участком ВАХ на контакте металла и цинкита (ZnO) в схеме «Кристадина», обнаружение усиления сигнала (О. В. Лосев, 1922–24 г.); радиолобительские конструкции приёмников и передатчиков на кристаллических детекторах с падающей характеристикой;

5) сообщение о свечении карборунда (SiC) при пропускании электрического тока (Г. Роунд, 1907 г.); независимое открытие свечения контакта металла с карборундом (О. В. Лосев, 1923 г.) и исследование электролюминисценции при различных смещениях, оценка размера поверхностного активного слоя – 10 мкм (О. В. Лосев, 1930–31 гг.);

6) обнаружение ёмкостного фотоэффекта в полупроводниках (О. В. Лосев, 1927–28 г.);