

**СРЕДНЕЕ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ**

**ФГОС 3+**

Е.А. МОСКАТОВ

# **ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА**

Рекомендовано ФГАУ ФИРО  
в качестве **учебного пособия**  
для использования в учебном процессе образовательных учреждений,  
реализующих программы СПО по специальностям укрупненной группы  
«Электронная техника, радиотехника и связь»

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГАУ «Федеральный институт развития образования»  
Регистрационный номер рецензии № 546 от 20.11.2012

**BOOK.ru**  
ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА  
**КНОРУС • МОСКВА • 2017**

УДК 621.3(075.32)  
ББК 31.2я723  
М82

**Рецензенты:**

**А.В. Лабынцев**, доц. кафедры теоретических основ радиотехники Технологического института Южного федерального университета, канд. техн. наук,

**Ф.А. Цветков**, доц. кафедры теоретических основ радиотехники Технологического института Южного федерального университета, канд. техн. наук

**Москатов, Евгений Анатольевич.**

**М82** Электронная техника : учебное пособие / Е.А. Москатов. — Москва : КНОРУС, 2017. — 200 с. — (Среднее профессиональное образование).

**ISBN 978-5-406-02736-3**

**DOI 10.15216/978-5-406-02736-3**

Содержит сведения о полупроводниках и созданных на их основе современных компонентах (плазменных панелях, дисплеях на углеродных нанотрубках, ионисторах, биполярных транзисторах с изолированными затворами, запираемых тиристорах). В сжатой форме изложены многие вопросы электронной техники, по каждой теме предложены контрольные вопросы и задания.

Соответствует ФГОС СПО 3+.

*Для студентов среднего профессионального образования (укрупненная группа специальностей «Электронная техника, радиотехника и связь»). Будет полезно радиолобителям и всем, кто интересуется основами электронной техники.*

**УДК 621.3(075.32)**

**ББК 31.2я723**

Москатов Евгений Анатольевич

**ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА**

Изд. № 5642. Подписано в печать 08.12.2016. Формат 60×90/16.  
Гарнитура «NewtonС». Усл. печ. л. 12,5. Уч.-изд. л. 10,6. Тираж 500 экз.

ООО «Издательство «КноРус».

117218, г. Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2.

Тел.: 8-495-741-46-28.

Е-mail: office@knorus.ru <http://www.knorus.ru>

Отпечатано в ООО «Диверпринт».

115201, г. Москва, ул. Котляковская, д. 1, стр. 3.

**ISBN 978-5-406-02736-3**

© Москатов Е.А., 2017

© ООО «Издательство «КноРус», 2017

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> . . . . .	9
<b>1. Простейшие компоненты</b> . . . . .	10
1.1. Резисторы . . . . .	10
1.2. Варисторы и негисторы . . . . .	10
1.3. Терморезисторы . . . . .	11
1.4. Конденсаторы . . . . .	12
1.5. Ионисторы . . . . .	12
1.6. Моточные компоненты . . . . .	13
1.6.1. Катушки индуктивности и дроссели . . . . .	13
1.6.2. Трансформаторы и пьезотрансформаторы . . . . .	15
Контрольные вопросы и задания . . . . .	17
<b>2. Полупроводники и полупроводниковые переходы</b> . . . . .	18
2.1. Общие сведения о проводимости веществ . . . . .	18
2.1.1. Диэлектрики, проводники, сверхпроводники и полупроводники . . . . .	18
2.1.2. Носители заряда. Виды электропроводностей полупроводников . . . . .	19
2.1.3. Диапазоны энергий и распределение носителей заряда в них . . . . .	20
2.2. Электронно-дырочный переход . . . . .	21
2.2.1. Получение электронно-дырочного перехода . . . . .	21
2.2.2. Прямое и обратное включение электронно-дырочных переходов . . . . .	24
2.2.3. Емкости и частотные свойства электронно-дырочных переходов . . . . .	25
2.2.4. Пробои электронно-дырочных переходов . . . . .	26
2.3. Переход и диод Шоттки: получение и включение в прямом и обратном направлении . . . . .	27
2.4. Гетеропереходы . . . . .	29
2.5. Эффекты в полупроводниках . . . . .	29
2.5.1. Эффект Ганна . . . . .	29
2.5.2. Эффект поля . . . . .	31
2.5.3. Эффект Суля . . . . .	32
2.5.4. Эффекты Пельтье и Зеебека . . . . .	32
2.5.5. Туннельный эффект . . . . .	33
2.5.6. Эффект Холла . . . . .	34
Контрольные вопросы и задания . . . . .	35
<b>3. Полупроводниковые диоды</b> . . . . .	36
3.1. Конструкция и основные параметры полупроводниковых диодов . . . . .	36

3.1.1. Общие сведения о полупроводниковых диодах . . . . .	36
3.1.2. Конструкции и способы изготовления полупроводниковых диодов . . . . .	37
3.1.3. Некоторые основные параметры полупроводниковых диодов . . . . .	38
3.2. Выпрямительные диоды . . . . .	38
3.2.1. Основные сведения о выпрямительных диодах . . . . .	38
3.2.2. Включение диодов в выпрямителях . . . . .	39
3.3. Импульсные диоды . . . . .	43
3.4. Варикапы . . . . .	44
3.5. Стабилитроны и стабилитроны . . . . .	45
3.6. Светодиоды . . . . .	48
3.7. Полупроводниковые лазеры . . . . .	48
3.8. Фотодиоды . . . . .	50
3.9. Генераторы шума . . . . .	51
Контрольные вопросы и задания . . . . .	52
<b>4. Биполярные транзисторы . . . . .</b>	<b>53</b>
4.1. Общие сведения о транзисторах . . . . .	53
4.2. Конструкция биполярных транзисторов . . . . .	54
4.3. Принцип действия биполярных транзисторов . . . . .	55
4.4. Схемы включения биполярных транзисторов . . . . .	57
4.4.1. Схема включения транзистора с общим эмиттером . . . . .	57
4.4.2. Схема включения транзистора с общим коллектором . . . . .	59
4.4.3. Схема включения транзистора с общей базой . . . . .	59
4.5. Биполярные фототранзисторы . . . . .	60
4.6. Влияние частоты на усилительные свойства биполярных транзисторов . . . . .	61
4.7. Влияние температуры на режимы работы биполярных транзисторов . . . . .	62
4.8. Транзистор в качестве активного четырехполюсника . . . . .	62
4.9. Статические характеристики транзисторов . . . . .	63
4.9.1. Статические характеристики транзистора в каскаде по схеме с общей базой . . . . .	63
4.9.2. Статические характеристики транзистора в каскаде по схеме с общим эмиттером . . . . .	65
4.10. Системы $h$ -параметров и $y$ -параметров транзисторов . . . . .	66
4.10.1. Физический смысл $h$ -параметров транзисторов . . . . .	66
4.10.2. Нахождение $h$ -параметров по статическим характеристикам . . . . .	67
4.10.3. Нахождение $h$ -параметров транзисторов на примере каскада, собранного по схеме с общим эмиттером . . . . .	68
4.10.4. Физический смысл $y$ -параметров транзисторов . . . . .	69
Контрольные вопросы и задания . . . . .	71

<b>5. Полевые транзисторы</b> . . . . .	72
5.1. Общие сведения о полевых транзисторах . . . . .	72
5.2. Полевые транзисторы с управляющим переходом . . . . .	73
5.2.1. Конструкция полевых транзисторов с управляющим переходом . . . . .	73
5.2.2. Принцип действия полевых транзисторов с управляющим переходом . . . . .	74
5.3. Полевые транзисторы с изолированным затвором . . . . .	76
5.3.1. Полевые транзисторы со встроенным каналом . . . . .	76
5.3.2. Полевые транзисторы с индуцированным каналом . . . . .	77
5.4. Режимы работы полевых транзисторов . . . . .	78
5.4.1. Динамический режим работы транзистора . . . . .	78
5.4.2. Ключевой режим работы транзистора . . . . .	79
5.5. Полевые транзисторы для микросхем перепрограммируемых постоянных запоминающих устройств . . . . .	80
Контрольные вопросы и задания . . . . .	83
<b>6. Биполярные транзисторы с изолированными затворами</b> . . . . .	84
6.1. Общие сведения о биполярных транзисторах с изолированными затворами . . . . .	84
6.2. Конструкция и принцип действия биполярных транзисторов с изолированными затворами . . . . .	85
6.3. Основные параметры биполярных транзисторов с изолированными затворами . . . . .	86
Контрольные вопросы и задания . . . . .	87
<b>7. Тиристоры</b> . . . . .	88
7.1. Общая информация о тиристорах . . . . .	88
7.2. Динисторы . . . . .	88
7.3. Тринисторы . . . . .	90
7.4. Запираемые тиристоры . . . . .	91
7.5. Симисторы . . . . .	92
7.6. Фототиристоры . . . . .	93
7.7. Основные параметры тиристоров . . . . .	93
Контрольные вопросы и задания . . . . .	94
<b>8. Вакуумные и ионные компоненты</b> . . . . .	95
8.1. Общие сведения об электровакуумных приборах . . . . .	95
8.2. Электровакуумные диоды . . . . .	95
8.2.1. Конструкция и принцип действия электровакуумных диодов . . . . .	95
8.2.2. Основные параметры и анодная характеристика электровакуумных диодов . . . . .	97
8.3. Триоды . . . . .	98

8.3.1. Конструкция и принцип действия триодов . . . . .	98
8.3.2. Основные характеристики и параметры триодов . . . . .	99
8.4. Тетроды . . . . .	101
8.4.1. О тетродах и влиянии экранирующих сеток на их параметры . . . . .	101
8.4.2. Динатронный эффект . . . . .	102
8.5. Лучевые тетроды . . . . .	103
8.6. Пентоды . . . . .	104
8.7. Лампы бегущей волны . . . . .	104
8.8. Лампы обратной волны . . . . .	106
8.9. Пролетные клистроны . . . . .	107
8.10. Магнетроны . . . . .	108
8.11. Мазеры . . . . .	110
8.12. Тиратроны . . . . .	110
8.13. Крайтроны и спрайтроны . . . . .	111
Контрольные вопросы и задания . . . . .	113
<b>9. Введение в микроэлектронику . . . . .</b>	<b>114</b>
9.1. Интегральные микросхемы . . . . .	114
9.2. Пленочные микросхемы . . . . .	115
9.3. Гибридные интегральные микросхемы . . . . .	116
9.4. Полупроводниковые микросхемы . . . . .	117
Контрольные вопросы и задания . . . . .	117
<b>10. Цифровая электроника . . . . .</b>	<b>118</b>
10.1. Введение в Булеву алгебру . . . . .	118
10.2. Основные характеристики и параметры цифровых микросхем .	121
10.3. Схемотехника простейших логических элементов . . . . .	123
10.4. Некоторые типы логики и представление о многоэмиттерном транзисторе . . . . .	125
10.5. Транзисторно-транзисторная логика . . . . .	127
10.5.1. Элемент транзисторно-транзисторной логики с простым инвертором . . . . .	127
10.5.2. Элемент транзисторно-транзисторной логики со сложным инвертором . . . . .	128
10.5.3. Элемент транзисторно-транзисторной логики с открытым коллектором . . . . .	129
10.5.4. Элемент транзисторно-транзисторной логики с Z-состоянием . . . . .	130
10.5.5. Элемент транзисторно-транзисторной логики с переходом Шоттки . . . . .	131
10.6. Оптоэлектронные пары и оптронные микросхемы . . . . .	132
10.7. Логические элементы на комплементарных парах МОП- транзисторов . . . . .	134

10.7.1. Ключ на МДП-транзисторе . . . . .	134
10.7.2. Комплементарная МОП-пара . . . . .	135
10.7.3. Реализация логической функции И-НЕ на КМОП-логике . . . . .	136
10.7.4. Реализация логической функции ИЛИ-НЕ на КМОП-логике . . . . .	136
10.8. Эмиттерно-связанная логика . . . . .	137
10.8.1. Обзор достоинств и недостатков эмиттерно-связанной логики. Реализация логических функций дизъюнкции и стрелки Пирса на эмиттерно-связанной логике . . . . .	137
10.8.2. Базовый элемент эмиттерно-связанной логики, реализующий функции конъюнкции и ее отрицания. Источник опорного напряжения элемента эмиттерно-связанной логики . . . . .	140
Контрольные вопросы и задания . . . . .	141
<b>11. Аналоговая электроника . . . . .</b>	<b>142</b>
11.1. Усилители сигналов и их классификация . . . . .	142
11.2. Основные параметры и характеристики усилителей . . . . .	142
11.2.1. Основные параметры усилителей . . . . .	142
11.2.2. Важнейшие характеристики усилителей . . . . .	144
11.3. Работа простейшего усилителя на различных частотах . . . . .	146
11.4. Выходные усилительные каскады . . . . .	147
11.4.1. Однотактный трансформаторный каскад . . . . .	147
11.4.2. Двухтактный трансформаторный каскад . . . . .	148
11.4.3. Двухтактный бестрансформаторный каскад . . . . .	150
11.5. Основные сведения о режимах работы усилителей . . . . .	151
11.5.1. Проходная динамическая характеристика и общие сведения о классах усиления . . . . .	151
11.5.2. Режим работы класса <i>A</i> . . . . .	152
11.5.3. Режим работы класса <i>B</i> . . . . .	153
11.5.4. Режим работы класса <i>AB</i> . . . . .	154
11.5.5. Режим работы класса <i>C</i> . . . . .	154
11.5.6. Режим работы класса <i>D</i> . . . . .	154
11.6. Сведения об обратных связях и о влиянии, которое они оказывают на работу усилителей . . . . .	155
11.6.1. Основная информация об обратных связях . . . . .	155
11.6.2. Влияние обратных связей на коэффициенты усиления каскадов . . . . .	157
11.7. Усилители постоянного тока . . . . .	159
11.7.1. Усилитель постоянного тока с непосредственными связями . . . . .	159
11.7.2. Дифференциальный усилитель. . . . .	160
11.8. Операционные усилители . . . . .	161
11.8.1. Представление об операционных усилителях . . . . .	161

---

11.8.2. Обзор некоторых параметров операционных усилителей . . . . .	162
Контрольные вопросы и задания . . . . .	163
<b>12. Генераторы колебаний . . . . .</b>	<b>164</b>
12.1. Понятие об автогенераторах и о вырабатываемых ими сигналах . . . . .	164
12.2. Стабильность частоты автогенератора и способы ее обеспечения . . . . .	165
12.3. Автогенераторы Хартлея и Колпитца . . . . .	166
12.4. Кварцевый резонатор и кварцевый автогенератор . . . . .	167
12.5. Симметричный мультивибратор с коллекторно-базовыми связями . . . . .	170
Контрольные вопросы и задания . . . . .	172
<b>13. Устройства отображения информации . . . . .</b>	<b>173</b>
13.1. Индикаторы . . . . .	173
13.1.1. Светодиодные индикаторы . . . . .	173
13.1.2. Жидкокристаллические индикаторы . . . . .	173
13.2. Общие сведения об электронно-лучевых трубках . . . . .	174
13.3. Жидкокристаллические дисплеи и панели . . . . .	176
13.3.1. Общие сведения о жидкокристаллических дисплеях . . . . .	176
13.3.2. Электролюминесцентная подсветка жидкокристаллических дисплеев . . . . .	177
13.3.3. Светодиодная подсветка жидкокристаллических дисплеев . . . . .	177
13.3.4. Время отклика жидкокристаллических дисплеев и влияние температуры на их работу . . . . .	178
13.4. Плазменные панели . . . . .	178
13.5. Органические светодиодные дисплеи . . . . .	179
13.6. Дисплеи на углеродных нанотрубках . . . . .	180
13.7. Сенсорные экраны и классификация их типов . . . . .	181
13.8. Голографические системы . . . . .	183
Контрольные вопросы и задания . . . . .	184
<b>Литература . . . . .</b>	<b>185</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>194</b>



# ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время электронная техника — это одно из магистральных направлений науки, без знания которой немислим современный технически грамотный человек. Квалифицированный радиотехник должен досконально владеть предметом. Это важная задача, посильный вклад в решение которой желает внести автор данной работы. Часть глав настоящей книги была впервые опубликована в авторском цикле статей «Электронная техника. Начало» на страницах журнала «Радиолюбитель» в номерах с 1 по 12 в течение всего 2011 г. и в номерах с 1 по 3 в 2012 г., а также на сайте автора <http://www.moskatov.narod.ru>. Книга содержит материал по основам электронной техники, учитывающий ее последние достижения. В книгу в сжатой форме включена информация по цифровой и аналоговой микроэлектронике, по вакуумной, оптической, квантовой электронике и другим направлениям. В первых главах даны сведения об электронных компонентах, на базе которых создают устройства электронной техники, а в последующих главах уже показана схемотехника узлов и блоков этих устройств.

# 1. ПРОСТЕЙШИЕ КОМПОНЕНТЫ

## 1.1. Резисторы

**Резисторы** — это компоненты, основным параметром которых выступает сопротивление. Промышленность выпускает резисторы сопротивлением примерно от 0,1 Ом до 100 МОм и мощностью от 0,125 до 100 Вт.

В соответствии с применяемыми материалами выделяют группы *металлофольговых*, *проволочных* и *непроволочных* резисторов. Металлофольговые резисторы изготавливают на основе диэлектриков, на которые наносят фольговые покрытия, к которым подсоединяют выводы. Проволочные резисторы выполняют из проволоки с высоким удельным сопротивлением, материалом которой часто служат нихром, марганец, константан и подобные сплавы. Чтобы уменьшить габариты таких резисторов, проволоку обычно навивают на диэлектрический каркас, спиралью укладывая на керамический стержень. Паразитная индуктивность проволочных резисторов при указанном способе изготовления довольно велика. Непроволочные резисторы можно отнести к классам углеродистых, полупроводниковых, металлодиэлектрических или композитных компонентов.

По возможности регулировки сопротивления резисторы подразделяют на *постоянные*, *подстроечные* и *переменные*. У постоянных резисторов сопротивление неизменно. У подстроечных резисторов его можно некоторое число раз отрегулировать, после чего наступит физический износ деталей. У переменных резисторов сопротивление регулируют большее число раз. Подстроечные и переменные резисторы относят к группе регулировочных резисторов.

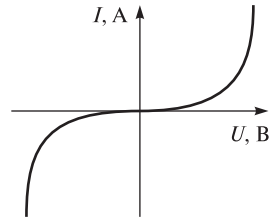
## 1.2. Варисторы и негисторы

**Варисторы** — это компоненты, сопротивление которых уменьшается при повышении приложенного напряжения сверх определенного значения. Таким образом, сопротивления варисторов нелинейны. Основным материалом для производства варисторов обычно выступает карбид кремния. Когда приложенное к выводам варистора напряжение превысит фиксированный порог, происходит пробой окислов, которыми покрыты кристаллы карбида кремния, и возникает

эмиссия носителей заряда с поверхностей кристаллов. Это вызывает уменьшение сопротивления варистора. Варистор можно включать в цепь в любой полярности. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) варисторов симметрична, что отражено на рис. 1.1.

Варисторы нашли широкое применение в качестве компонентов, которые включают после предохранителя параллельно питающей сети на входе устройств с целью защиты последних от кратковременных перенапряжений, иногда возникающих в сети.

**Негисторами** называют специальные варисторы, вольт-амперная характеристика которых имеет участок отрицательного дифференциального сопротивления и симметрична. Микрометрические негисторы применяют в микросхемах.



**Рис. 1.1.** Вольт-амперная характеристика варисторов

## 1.3. Терморезисторы

**Терморезисторы** — это компоненты, сопротивления которых зависят от температуры. Важным параметром терморезисторов выступает температурный коэффициент сопротивления (ТКС), который устанавливает, насколько станет иным сопротивление детали при изменении температуры на один градус. Терморезисторы, сопротивление которых возрастает при увеличении температуры, обладают положительным ТКС, и такие компоненты называют **позисторами**. Эти терморезисторы изготавливают чаще всего с использованием твердых растворов титаната бария. Термисторы — терморезисторы, сопротивление которых уменьшается при увеличении температуры, обладают отрицательным значением ТКС, их изготавливают на основе оксидов магния, оксидов никеля и прочих оксидов с примесями кремния или германия. Помимо ТКС к основным параметрам терморезисторов относят сопротивление в холодном состоянии, максимальную рабочую температуру, максимальную мощность рассеивания и др.

Маломощные терморезисторы применяют в качестве датчиков температуры, реле времени, а мощные — для ограничения импульсов тока, потребляемого от питающей сети импульсными источниками питания и т.д.

## 1.4. Конденсаторы

**Конденсаторы** — это компоненты, основным параметром которых выступает электрическая емкость, а основное назначение состоит в накоплении электрических зарядов. Емкость конденсатора тем выше, чем больше площадь обкладок, меньше расстояние между ними и чем выше диэлектрическая проницаемость вещества между обкладками. Простейший конденсатор состоит из двух обкладок, между которыми размещен слой диэлектрика. Для экономии места диэлектрики и обкладки конденсаторов большой емкости сворачивают в рулоны.

Диэлектрики конденсаторов могут быть выполнены:

- из оксидной пленки;
- газов или воздуха;
- жидкостей;
- твердых органических материалов;
- твердых неорганических материалов.

Различают *постоянные*, *подстроечные* и *переменные* конденсаторы. Постоянные конденсаторы обладают фиксированной емкостью, подстроечные конденсаторы допускают некоторое число регулировок емкости, а конденсаторы переменной емкости выдерживают ее многократное изменение. Фактическая емкость постоянных конденсаторов всегда отличается от номинальной емкости. В документации на конденсаторы обычно указаны допустимые отклонения фактических емкостей относительно номинальных.

Важным параметром конденсаторов выступает *тангенс угла потерь*, которым называют отношение активной мощности к реактивной при фиксированной частоте, напряженности поля, температуре.

## 1.5. Ионисторы

**Ионисторы** — это химические источники тока, обладающие исключительно высокой емкостью, обусловленной наличием двойного электрического слоя, возникающего на поверхности электродов, которые погружены в электролит. Ионисторы не имеют отношения к группе конденсаторов, хотя емкость — это их основной показатель. Ионисторы не имеют диэлектрика, а наличие изоляторов, называемых сепараторами, между электродами необходимо сугубо для исключения их замыкания, но не для увеличения емкости. Сепараторы изготавливают из таких материалов, которые свободно пропускают ионы электролита. Электроды выполняют из материалов, которые порож-

дают заряды с противоположными знаками. Их создают из пористых веществ, например активированного угля или графена, чтобы получить очень большую площадь поверхности, к которой поступает электролит. В качестве твердого электролита используют  $\text{RbAg}_4\text{J}_3$  и др. Ионы электролита притягиваются к электродам, и на поверхностях каждого электрода возникает слой из анионов и катионов, которые образуют электрический слой. Так как электрические слои существуют на обоих электродах, их называют двойного электрического слоя. Толщина электрического слоя чрезвычайно мала и может составлять несколько нанометров, ввиду чего емкость ионисторов очень велика. Отдельные экземпляры ионисторов обладают емкостью в тысячи фарад при номинальном напряжении в несколько вольт. Ионисторы применяют в резервных источниках питания, в устройствах запуска двигателей и пр.

## 1.6. Моточные компоненты

### 1.6.1. Катушки индуктивности и дроссели

**Катушки индуктивности** — это компоненты, предназначенные для накопления энергии в магнитном поле и состоящие из проводов, уложенных в обмотки, которые обычно охватывают магнитопроводы. Магнитопроводы из *ферромагнетиков* задействуют для увеличения индуктивности катушек, а из *диамагнетиков* — для ее уменьшения. Обмотки катушек индуктивности выполняют проводами круглого или прямоугольного сечения, а обмотки некоторых мощных высокочастотных компонентов — медными или посеребренными лентами. Катушки индуктивности без магнитопроводов и с магнитопроводами из диамагнетиков применяют только при протекании по обмоткам токов высокой частоты. С целью снижения индуктивности рассеяния и емкостей обмоток отдельные катушки индуктивности наматывают проводами, которые укладывают с шагом под определенным углом. Так, широко распространена намотка типа «универсаль». Индуктивность однослойной катушки цилиндрической формы без магнитопровода при укладке провода виток к витку равна, мкГн:

$$L \approx \frac{dW^2 \cdot 10^{-3}}{0,45 + \frac{l}{d}},$$

где  $d$  — внешний диаметр обмотки, мм;  $W$  — число витков обмотки;  $l$  — длина обмотки, мм.

Число витков такой катушки индуктивности определим согласно выражению

$$W \approx 32 \sqrt{\left(\frac{l}{d} + 0,45\right) \frac{l}{d}}.$$

Индуктивность тороидальной катушки без магнитопровода будет равна, мкГн:

$$L \approx 3,1 \frac{b^2 W^2 \cdot 10^{-4}}{D},$$

где  $b$  — диаметр одного полного витка (диаметр поперечного сечения катушки, круглой формы), мм;  $D$  — усредненный диаметр тора, мм.

**Дроссели пульсирующего тока** — это катушки индуктивности, предназначенные для пропускания постоянной составляющей тока и задерживания его переменной составляющей. Такие дроссели используют, например, в фильтрах постоянного напряжения источников питания. Дроссели переменного тока нужны для создания индуктивного сопротивления в цепях, по которым протекает исключительно переменный ток. Эти дроссели применяют, например, в качестве компонентов колебательных систем резонансных и квазирезонансных импульсных источников питания. На пути протекания магнитных потоков в сердечники описываемых дросселей часто вводят немагнитные зазоры, благодаря которым по обмоткам дросселей можно пропускать большие токи без вхождения магнитопроводов в насыщение. Перемагничивание магнитопроводов, не входящих в насыщение, происходит по частным петлям гистерезиса. Типичные петли гистерезиса изображены на рис. 1.2 и 1.3.

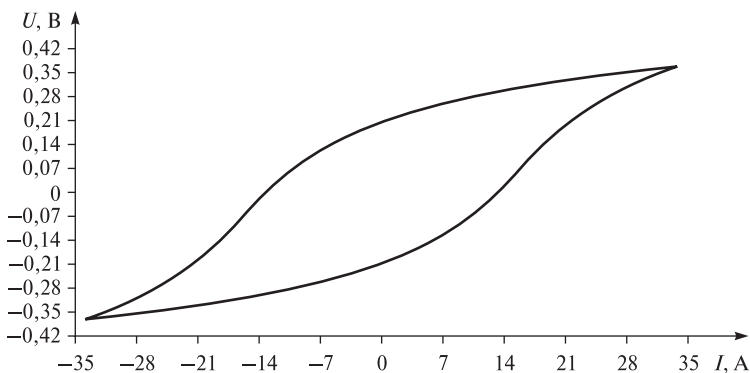


Рис. 1.2. Результат моделирования петли гистерезиса

# ЛИТЕРАТУРА

1. *Аваев Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т.* Основы микроэлектроники : учеб. пособие для вузов. М. : Радио и связь, 1991.
2. *Аваев Н.А., Шишкин Г.Г.* Электронные приборы. М. : Изд-во МАИ, 1996.
3. *Акаев А.А., Майоров С.А.* Оптические методы обработки информации. М. : Высшая школа, 1988.
4. *Алексенко А.Г.* Основы микросхемотехники. 3-е изд. М. : ЮНИМЕДИА-СТАЙЛ, 2002.
5. *Алексенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И.* Применение прецизионных аналоговых микросхем. М. : Радио и связь, 1981.
6. *Алексенко А.Г., Шагурин И.И.* Микросхемотехника. М. : Радио и связь, 1982.
7. *Антипов Б.Л., Сорокин В.С., Терехов В.А.* Материалы электронной техники : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 1990.
8. *Аренков А.Б.* Печатные и пленочные элементы радиоэлектронной аппаратуры. М. : Энергия, 1974.
9. *Аронов В.А., Федотов Я.А.* Испытания и исследования полупроводниковых приборов. М. : Высшая школа, 1975.
10. *Баев Б.П.* Микропроцессорные системы бытовой техники. 2-е изд. М. : Горячая линия — Телеком, 2005.
11. *Бараночников М.Л.* Микромагнитоэлектроника. М. : ДМК Пресс, 2001.
12. *Барканов Н.А., Быстров О.В.* Конструирование микромодульной аппаратуры. М. : Советское радио, 1968.
13. *Барчихин А.А., Григорьевский М.И., Ходорович А.М.* Руководство по оборудованию и организации лаборатории «Общая электротехника с основами электроники». М. : Высшая школа, 1980.
14. *Белов А.В.* Самоучитель по микропроцессорной технике. 2-е изд. СПб. : Наука и техника, 2007.
15. *Березин А.С., Мочалкина О.Р.* Технология и конструирование интегральных микросхем / под ред. И.П. Степаненко. М. : Радио и связь, 1983.
16. *Берзин А.А., Морозов В.Г.* Основы квантовой механики : учеб. пособие. М. : МИРЭА, 2008.
17. *Берри Р., Холл П., Гаррис М.* Тонкопленочная технология : пер. с англ. М. : Энергия, 1972.
18. *Бочаров Л.Н.* Электронные приборы. М. : Энергия, 1980.
19. *Браммер Ю.А., Пацук И.Н.* Импульсная техника : учебник. М. : Форум; Инфра-М, 2005.
20. *Броудай И., Мерей Дж.* Физические основы микротехнологии : пер. с англ. / под ред. А.В. Шальнова. М. : Мир, 1985.
21. *Букреев И.Н.* Микроэлектронные схемы цифровых устройств. М. : Советское радио, 1973.
22. *Буланов Ю.А., Глаголев Г.И.* Основы электроники. М. : Высшая школа, 1966.

23. *Быков Р.Е.* Теоретические основы телевидения : учебник для вузов по направлению «Радиотехника». СПб. : Лань, 1988.
24. *Быстров Ю.А.* Электронные цепи и микросхемотехника : учебник. М. : Высшая школа, 2002.
25. *Быстров Ю.А., Мироненко И.Г.* Электронные цепи и устройства : учеб. пособие для электротехнических и энергетических вузов. М. : Высшая школа, 1989.
26. *Валенко В.С., Хандогин М.С.* Электроника и микросхемотехника : учеб. пособие. Минск : Беларусь, 2000.
27. *Валиев К.А., Кармазинский А.Н., Королев М.А.* Цифровые интегральные схемы на МДП-транзисторах. М. : Советское радио, 1971.
28. *Ван Флек Л.* Теоретическое и прикладное материаловедение / пер. с англ. О.А. Алексеева. М. : Атомиздат, 1975.
29. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юркин В.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М. : Диалог — МИФИ, 2003.
30. Введение в микроэлектронику : пер. с англ. / под ред. И.П. Степаненко. М. : Советское радио, 1968.
31. *Вениаминов В.Н., Лебедев О.Н., Мирошниченко А.И.* Микросхемы и их применение : справоч. пособие. М. : Радио и связь, 1989.
32. *Викулин И.М., Стафеев В.И.* Физика полупроводниковых приборов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Радио и связь, 1990.
33. *Волстон Дж.* Расчет схем на транзисторах : пер. с англ. М. : Энергия, 1969.
34. *Ворожук А.Н.* Основы ЦВМ и программирование. М. : Наука, 1978.
35. *Высоцкий Б.Ф.* Конструирование микроэлектронной аппаратуры. М. : Советское радио, 1975.
36. *Гаврилов С.Н., Никулин С.М.* Микроэлектроника. М. : Энергия, 1970.
37. *Гайно Е., Москатов Е.* Радиолобительские расчеты на компьютере // Радио. 2005. № 6. С. 55, 56; № 7. С. 55, 56.
38. *Гершензон Е.М., Полянина Г.Д., Соина Н.В.* Радиотехника. М. : Просвещение, 1986.
39. *Гершунский Б.С.* Основы электроники. Киев : Вища школа, 1977.
40. *Гитис Э.И., Пискулов Е.А.* Аналого-цифровые преобразователи. М. : Энергия, 1981.
41. *Глудкин О.П., Черняев В.Н.* Технология испытания микроэлементов радиоэлектронной аппаратуры и интегральных микросхем. М. : Энергия, 1980.
42. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. пособие. 5-е изд., испр. и доп. М. : Дрофа, 2006.
43. *Горелик С.С., Дашевский М.Я.* Материаловедение полупроводников и диэлектриков. М. : Металлургия, 1988.
44. *Гусев В.Г., Гусев Ю.М.* Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 2004.
45. *Данилин Б.С.* Вакуумное нанесение тонких пленок. М. : Энергия, 1967.



46. *Демидович Н.Б., Монахов В.М.* Программирование и ЭВМ. М. : Просвещение, 1977.
47. *Епифанов Г.И.* Физические основы микроэлектроники. М. : Советское радио, 1971.
48. *Ермолаев Ю.П., Пономарев М.Ф., Крюков Ю.Г.* Конструкции и технология микросхем / под ред. Ю.П. Ермолаева. М. : Советское радио, 1980.
49. *Ефимов И.Е.* Современная микроэлектроника. М. : Советское радио, 1973.
50. *Ефимов И.Е., Горбунов Ю.И., Козырь И.Я.* Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, новые направления : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 1978.
51. *Ефимов И.Е., Козырь И.Я.* Основы микроэлектроники. 3-е изд. СПб. : Лань, 2008.
52. *Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И.* Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1986.
53. *Жеребцов И.П.* Основы электроники. 5-е изд., перераб. и доп. Л. : Энергоатомиздат, 1989.
54. *Забродин Ю.С.* Промышленная электроника : учебник. 2-е изд. М. : Альянс, 2008.
55. *Зайцев Ю.В., Марченко А.Н.* Полупроводниковые стабилитроны. М. : Энергия, 1969.
56. *Зверев Г.М., Голяев Ю.Д.* Лазеры на кристаллах и их применение. М. : Рикел; Радио и связь, 1994.
57. *Зельдин Е.А.* Импульсные устройства на микросхемах. М. : Радио и связь, 1991.
58. *Зельдин Е.А.* Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре. Л. : Энергоатомиздат, 1986.
59. *Иванов-Есипович Н.К.* Инженерные основы пленочной микроэлектроники. М. : Энергия, 1968.
60. *Иванов-Есипович Н.К.* Технология микросхем. М. : Высшая школа, 1972.
61. *Игнатов А.Н.* Оптоэлектронные приборы и устройства. М. : Эко-Трендз, 2006.
62. *Игумнов Д.В., Королев Г.В., Громов И.С.* Основы микроэлектроники. М. : Высшая школа, 1991.
63. Измерение параметров цифровых интегральных микросхем / Д.Ю. Эйдукас, Б.В. Орлов, Л.М. Попель [и др.]; под ред. Д.Ю. Эйдукаса, Б.В. Орлова. М. : Радио и связь, 1982.
64. *Изюмов Н.М., Линде Д.П.* Основы радиотехники. М. : Радио и связь, 1983.
65. Интегральные схемы : пер. с англ. / под ред. А.А. Колосова. М. : Советское радио, 1968.
66. Интегральные схемы. Основы проектирования и технологии : пер. с англ. / под ред. К.И. Мартюшова. М. : Советское радио, 1970.
67. *Калабеков Б.А.* Цифровые устройства и микропроцессорные системы. М. : Горячая линия — Телеком, 2000.

68. *Касаткин А.С., Немцов М.В.* Электротехника. М. : Высшая школа, 2000.
69. *Киреев М.А.* Современные зарубежные микросхемы — усилители звуковой частоты : справочник. М. : Горячая линия — Телеком, 2004.
70. *Киселев А.Б.* Металлооксидные катоды электронных приборов. М. : Изд-во МФТИ, 2001.
71. *Киттель Ч.* Введение в физику твердого тела : пер. с англ. / под ред. А.А. Гусева. М. : Наука, 1978.
72. *Коваленко А.А., Петропавловский М.Д.* Основы микроэлектроники : учеб. пособие. 2-е изд. М. : Академия, 2008.
73. *Колонтаевский Ю.Ф.* Радиоэлектроника. М. : Высшая школа, 1988.
74. *Колосов Л.Н.* Введение в инженерную микроэлектронику. М. : Советское радио, 1974.
75. *Колосов А.А., Горбунов Ю.И., Наумов Ю.Е.* Полупроводниковые твердые схемы. М. : Советское радио, 1966.
76. Конструирование и расчет больших гибридных интегральных схем, микросборок и аппаратуры на их основе / под ред. Б.Ф. Высоцкого. М. : Радио и связь, 1981.
77. *Копылов П.М., Тачков А.Н.* Телевидение и голография. М. : Связь, 1976.
78. *Кормилицын О.П., Шукейло Ю.А.* Механика материалов и структур нано- и микротехники : учеб. пособие для вузов. М. : Академия, 2008.
79. *Кноль М., Эйхмейер И.* Техническая электроника. Т. 1. Физические основы электроники. Вакуумная техника : пер. с нем. М. : Энергия, 1971.
80. *Красников Г.Я.* Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов : в 2 т. М. : Техносфера, 2002.
81. *Крекрафт Д., Джерджи С.* Аналоговая электроника. Схемы, системы, обработка сигнала. М. : Техносфера, 2005.
82. *Крендалл И.Б.* Акустика. 3-е изд. М. : КомКнига, 2007.
83. *Кузин А.В., Жаворонков М.А.* Микропроцессорная техника : учебник. 4-е изд. М. : Академия, 2008.
84. *Куневич А.В., Подольский А.В., Сидоров И.Н.* Ферриты: энциклопедический справочник : в 5 т. Т. 1. Магниты и магнитные системы. СПб. : ЛИК, 2004.
85. *Курбатов Л.Н.* Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазона спектра. М. : Изд-во МФТИ, 1999.
86. *Курносов А.И., Брук В.А.* Основы полупроводниковой микроэлектроники. М. : Высшая школа, 1980.
87. *Курносов А.И., Юдин В.В.* Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М. : Высшая школа, 1979.
88. *Кучумов А.И.* Электроника и схемотехника : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Гелиос АРВ, 2004.
89. *Ххамбата А.* Большие интегральные схемы : пер. с англ. / под ред. Б.И. Ермолаева. М. : Мир, 1971.
90. *Лачин В.И., Савелов Н.С.* Электроника : учеб. пособие. Ростов н/Д : Феникс, 2002.
91. *Левин Б.Р.* Теория надежности радиотехнических систем. М. : Радио и связь, 1983.

92. *Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В.* Нанотехнологии в электронике : Введение в специальность : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. СПб. : Лань, 2008.
93. *Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р.* Проектирование и расчет СВЧ-элементов на полосковых линиях. М. : Советское радио, 1972.
94. *Малышева И.А.* Технология производства микроэлектронных устройств. М. : Энергия, 1980.
95. *Манаев Е.И.* Основы радиоэлектроники. М. : Радио и связь, 1990.
96. *Мелешко Е.А.* Быстродействующая импульсная электроника. М. : Физматлит, 2007.
97. *Микаэлян А.Л.* Оптические методы в информатике. М. : Наука, 1990.
98. Микросхемы и их применение / В.А. Батушев, В.Н. Вениаминов, В.Г. Ковалев [и др.]. М. : Энергия, 1978.
99. Микроэлектроника : пер. с англ. / под ред. Н.П. Богородицкого. М. : Советское радио, 1966.
100. Миниатюризация и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры : пер. с англ. / под ред. Н.А. Баркакова, М.С. Лихачева. М. : Мир, 1965.
101. *Морган Дж.* Ламповые усилители. М. : ДМК Пресс, 2007.
102. *Морозова И.Г.* Физика электронных приборов : учебник для вузов. М. : Атомиздат, 1980.
103. *Москатов Е.* Расчет параметрических стабилизаторов // Радиомир. 2006. № 7. С. 22—25.
104. *Москатов Е.* Устройство и особенности плазменных панелей // Радиолюбитель. 2009. № 8. С. 6—7.
105. *Мэнл М.* 200 избранных схем электроники. М. : Мир, 1980.
106. *Нарышкин А.К.* Цифровые устройства и микропроцессоры : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., стер. М. : Академия, 2008.
107. *Наундорф У.* Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование. М. : Техносфера, 2008.
108. *Наумов Ю.Е.* Интегральные логические схемы. М. : Советское радио, 1971.
109. *Неволин В.К.* Зондовые нанотехнологии в электронике. М. : Техносфера, 2005.
110. *Ненашев А.П., Коледов Л.А.* Основы конструирования микроэлектронной аппаратуры. М. : Радио и связь, 1981.
111. *Новаковский С.В., Котельников А.В.* Новые системы телевидения. Цифровые методы обработки видеосигналов. М. : Радио и связь, 1992.
112. *Новиков Ю.В., Скоробогатов П.К.* Основы микропроцессорной техники. 3-е изд. М. : БИНОМ, 2006.
113. *Носов Ю.Р., Сидоров А.С.* Оптроны и их применение. М. : Радио и связь, 1981.
114. Общая электротехника с основами электроники / В.А. Гаврилюк, Б.С. Гершунский, А.В. Ковальчук [и др.]. М. : Высшая школа, 1980.

115. *Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.* Аналоговая и цифровая электроника. Полный курс : учебник. М. : Горячая линия — Телеком, 2007.
116. *Ормонт Б.Ф.* Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников / под ред. В.М. Глазова. М. : Высшая школа, 1982.
117. Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры / под ред. Б.Ф. Высоцкого. М. : Советское радио, 1977.
118. Основы технологии кремниевых интегральных схем : пер. с англ. / под ред. В.Н. Мордковича, Ф.П. Пресса. М. : Мир, 1969.
119. *Павлов В.Н.* Схемотехника аналоговых электронных устройств : учеб. пособие для вузов. М. : Академия, 2008.
120. *Паначевный Б.И.* Курс электротехники. Харьков : Торсинг; Ростов н/Д : Феникс, 2002.
121. *Пасынков В.В., Сорокин В.С.* Материалы электронной техники. М. : Высшая школа, 1986.
122. *Пасынков В.В., Чиркин Л.К.* Полупроводниковые приборы. М. : Высшая школа, 1987.
123. *Петровский И.И.* Электронная теория полупроводников. Минск : Высшая школа, 1964.
124. *Пономарев М.Ф.* Конструкции и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА. М. : Радио и связь, 1982.
125. *Поляков В.Т.* Посвящение в радиоэлектронику. М. : Радио и связь, 1988.
126. *Попов В.С., Николаев С.А.* Общая электротехника с основами электроники. М. : Энергия, 1976.
127. *Преображенский А.А.* Магнитные материалы и элементы. М. : Высшая школа, 1976.
128. *Пролейко В.М., Чекмарев А.А.* Качество, надежность и долговечность электронных приборов. М. : Энергия, 1972.
129. *Прохорский А.А.* Основы автоматики и телемеханики. М. : Высшая школа, 1988.
130. *Пул Ч., Оуэнс Ф.* Нанотехнологии. М. : Техносфера, 2004.
131. *Рабинович Э.А.* Сборник задач и упражнений по общей электротехнике. М. : Энергия, 1978.
132. *Ревич Ю.* Занимательная микроэлектроника. СПб. : БХВ-Петербург, 2007.
133. *Ричман П.* Физические основы работы полевых транзисторов с изолированным затвором. М. : Советское радио, 1971.
134. *Розанов Л.Н.* Вакуумная техника. М. : Высшая школа, 1990.
135. *Росадо Л.* Физическая электроника и микроэлектроника. М. : Высшая школа, 1991.
136. *Свечников С.В.* Элементы оптоэлектроники. М. : Советское радио, 1967.
137. *Севин Л.* Полевые транзисторы. М. : Советское радио, 1968.
138. *Сергеев В.С., Воженин И.М.* Интегральные гибридные микросхемы. М. : Советское радио, 1973.
139. Силовая электроника : Примеры и расчеты : пер. с англ. / Ф. Чаки, И. Герман, И. Ипшич [и др.]. М. : Энергоиздат, 1982.

140. *Слепов Н.Н.* Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. М. : Радио и связь, 2003.
141. *Смайт В.С.* Электротехника и электродинамика. М. : Изд-во иностранной литературы, 1954.
142. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения : учеб. пособие. М. : Горячая линия — Телеком, 2001.
143. *Смирнов Н.И., Широков В.Б.* Оценка безотказности интегральных микросхем. М. : Радио и связь, 1983.
144. Справочник по интегральным микросхемам / под ред. Б.В. Тарабрина. М. : Энергия, 1983.
145. Справочник по основам электронной техники / Б.С. Гершунский, А.В. Романовская, Н.М. Ващенко [и др.]. Киев : Изд-во Киевского ун-та, 1972.
146. Справочник по радиоэлектронным устройствам : в 2 т. Т. 2 / Р.Г. Варламов, С.Д. Додик, А.И. Иванов-Цыганов [и др.]; под ред. Д.П. Линде. М. : Энергия, 1978.
147. Справочник по электрическим конденсаторам / М.Н. Дьяконов, В.И. Карабанов, В.И. Присняков [и др.]; под общ. ред. И.И. Четверткова, В.Ф. Смирнова. М. : Радио и связь, 1983.
148. *Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я.* Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2002.
149. *Стародубцев Ю.Н.* Теория и расчет трансформаторов малой мощности. М. : РадиоСофт, 2005.
150. *Степаненко И.П.* Основы микроэлектроники : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001.
151. *Стрижевский И.В.* Хемотроника. М. : Наука, 1974.
152. *Стрыгин В.В.* Основы автоматики и вычислительной техники. М. : Энергоиздат, 1981
153. *Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К.* Аморфные металлы. М. : Металлургия, 1987.
154. *Суздаев И.П.* Нанотехнологии : физикохимия нанокластеров, полевая ионизация и полевое испарение : пер. с англ. М. : КомКнига, 2006.
155. *Таруи Я.* Основы технологии СБИС : пер. с япон. / под ред. В.Г. Ржанова. М. : Радио и связь, 1985.
156. Телевидение : учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин [и др.]; под ред. В.Е. Джаконии. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Радио и связь, 2004.
157. *Терехов В.А.* Задачник по электронным приборам : учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. СПб. : Лань, 2003.
158. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника : справоч. руководство : пер. с нем. М. : Мир, 1982.
159. *Тищенко Н.М., Машлыкин В.Г.* Динисторы и тиристоры и их применение в автоматике. М.; Л. : Энергия, 1966.
160. *Топфер М.* Микроэлектроника толстых пленок : пер. с англ. М. : Мир, 1973.

161. Транзисторы : справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев [и др.]. М. : Радио и связь, 1990.
162. *Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А.* Полупроводниковые приборы : учебник для вузов. М. : Энергоатомиздат, 1990.
163. *Турута Е.Ф.* Предварительные усилители низкой частоты : справочник. М. : Патриот, 1997.
164. *Турута Е.Ф.* Усилители мощности низкой частоты — интегральные микросхемы : справочник. М. : Патриот, 1997.
165. *Урюмов Е.* Цифровая схемотехника : учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2004.
166. *Удалов Н.П.* Полупроводниковые датчики. М.; Л. : Энергия, 1965.
167. *Ушаков В.Н.* Основы радиоэлектроники. М. : Высшая школа, 1979.
168. *Ушаков В.Н., Долженко О.В.* Электроника : от транзистора до устройства. М. : Радио и связь, 1983.
169. *Федотов В.И.* Основы электроники : учеб. пособие для учащихся неэлектротехнических специальностей техникумов. М. : Высшая школа, 1990.
170. *Фигьера Б., Кноэрр Р.* Введение в электронику. М. : ДМК Пресс, 2001.
171. *Фомин А.В., Боченков Ю.И., Сорокопуд В.А.* Технология, надежность и автоматизация производства БГИС и МСБ. М. : Радио и связь, 1981.
172. Фотолитография и оптика / под ред. Я.А. Федотова, Г. Поля. М. : Советское радио, 1974.
173. *Фрике К.* Вводный курс цифровой электроники. М. : Техносфера, 2003.
174. *Хабловски И., Скулимовски В.* Электроника в вопросах и ответах / под ред. В.И. Котикова. М. : Радио и связь, 1984.
175. *Харченко В.М.* Основы электроники : учеб. пособие для техникумов. М. : Энергоиздат, 1982.
176. *Хернитер М.Е.* 10 увлекательных проектов аналоговой электроники : пер. с англ. М. : ДМК Пресс, 2008.
177. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники. 6-е изд. М. : Мир, 2003.
178. *Хотунцев Ю.Л., Лобарев А.С.* Основы радиоэлектроники : учеб. пособие. М. : Агар, 2000.
179. Цифровое преобразование изображений : учеб. пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов [и др.]; под ред. проф. Р.Е. Быкова. М. : Горячая линия — Телеком, 2003.
180. *Цымбалюк В.С., Крюков Ю.Г., Грибов Э.Б.* Миниатюризация приемно-усилительной аппаратуры. М. : Связь, 1968.
181. *Чернышев Е.Т., Чечурина Е.И., Чернышева Н.Г., Студенцов Н.В.* Магнитные измерения. М. : Изд-во стандартов, 1969.
182. *Черняев В.Н.* Технология производства интегральных микросхем / под ред. А.А. Васенкова. М. : Энергия, 1977.
183. *Чистяков Ю.Д., Райнов Ю.П.* Физико-химические основы технологии микроэлектроники. М. : Металлургия, 1979.
184. *Шагурин И.И.* Транзисторно-транзисторные логические схемы / под ред. Ю.Е. Наумова. М. : Советское радио, 1974.
185. *Шалимова К.В.* Физика полупроводников. М. : Энергоатомиздат, 1985.

186. *Шешин Е.П.* Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. М. : Изд-во МФТИ, 2001.
187. *Шило В.Л.* Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре / под ред. Е.И. Гальперина. М. : Советское радио, 1974.
188. *Шимони К.* Теоретическая электротехника. М. : Мир, 1964.
189. *Штернов А.А.* Физические основы конструирования, технологии РЭА и микроэлектроники. М. : Радио и связь, 1981.
190. *Шур М.* Современные приборы на основе арсенида галлия. М. : Мир, 1991.
191. *Шелкин К.И.* Физика микромира. М. : Атомиздат, 1965.
192. *Шука А.А.* Микроэлектроника СВЧ-диапазона волн. М. : МИРЭА, 1998.
193. *Шука А.А.* Наноэлектроника : учеб. пособие. М. : Физматкнига, 2007.
194. *Шука А.А.* Электроника. 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2008.
195. *Эвелто О.* Принципы лазеров : учеб. пособие для вузов; пер. с англ. 4-е изд. : СПб. : Лань, 2008.
196. Электронно-лучевая технология в изготовлении микроэлектронных приборов : пер. с англ. / Дж.Р. Брюэр, Д.С. Гринич, Д.Р. Херриот [и др.]; под ред. Дж.Р. Брюэра. М. : Радио и связь, 1984.
197. Электротехника и электроника : учеб. пособие для вузов / В.В. Кононенко, В.И. Муханов, В.Ф. Планидин [и др.]; под ред. В.В. Кононенко. 4-е изд. Ростов н/Д : Феникс, 2008.
198. *Эндерлайн Р.* Микроэлектроника для всех. М. : Мир, 1989.
199. *Яблонский Ф.М., Троицкий Ю.В.* Средства отображения информации. М. : Высшая школа, 1985.
200. *Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Eklund P.C.* Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes. Academic Press, Inc., 1996.