

В результате согласования курса электронных приборов с содержанием и задачами специальных радиотехнических дисциплин выявилась необходимость расширения разделов, посвященных электронным приборам сверхвысоких частот и полупроводниковым приборам. По этой же причине в книгу включена глава, посвященная составлению эквивалентных схем электронных ламп и аппроксимации их характеристик, а также глава, в которой даны краткие сведения об инженерных методах измерений основных параметров ламп.

Сведения о мощных генераторных и усилительных лампах, а также о ионных приборах изложены в книге в сокращенной форме, так как применение этих приборов в авиационной радиоэлектронной аппаратуре ограничено.

Более подробные сведения об этих электронных приборах, а также о некоторых других, описанных недостаточно подробно, читатель сможет почерпнуть из многих перечисленных в конце книги специальных учебных пособий и монографий, материал которых использован в настоящей книге.

Автор выражает глубокую признательность проф., докт. техн. наук И. С. Гоноровскому и доц., канд. техн. наук Э. И. Гитису, всемерно способствовавшим написанию этой книги.

Рукопись прочитали и сделали много ценных замечаний проф. Н. А. Никитин, доц., канд. техн. наук В. Т. Овчаров, доц., канд. техн. наук М. В. Вамберский, доц., канд. техн. наук В. П. Демин и старший преподаватель В. С. Соловьев. Большой труд по редактированию рукописи выполнен Б. С. Григорьевым.

Всем перечисленным лицам, а также сотрудникам кафедры «Теоретическая радиотехника» Московского авиационного института Т. М. Рубашевой, А. В. Киреевой, Т. С. Козловой и А. С. Фисенко, оказавшим большую помощь в подготовке и оформлении рукописи, автор приносит глубокую благодарность.

Автор заранее признателен за все замечания по улучшению книги, которые следует направлять по адресу: Москва Ж-114, Шлюзовая наб., 10. Госэнергоиздат.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Введение	9
1-1. Свойства электронных приборов	9
1-2. Классификация электронных приборов	10
1-3. Краткий исторический обзор развития электронных приборов	11
Глава вторая. Физические основы строения твердых тел	13
2-1. Свойства электрона	13
2-2. Основы квантовой теории строения атома	17
2-3. Основы зонной теории строения твердых тел	21
2-4. Электропроводность твердых тел	33
Глава третья. Электронная эмиссия	43
3-1. Работа выхода электронов	43
3-2. Термоэлектронная эмиссия	52
3-3. Эмиссия электронов при внешнем электрическом поле. Электростатическая электронная эмиссия	56
3-4. Фотоэлектронная эмиссия	60
3-5. Вторичная электронная эмиссия	64
Глава четвертая. Физические явления при контакте твердых тел	71
4-1. Контакт двух металлов	71
4-2. Контакт металла с полупроводником	74
4-3. Электронно-дырочный переход	78
4-4. Вольт-амперная характеристика электронно-дырочного перехода	84
Глава пятая. Катоды электронных приборов	97
5-1. Параметры термоэлектронных катодов	97
5-2. Однородные металлические термокатоды	101
5-3. Активированные металлические термокатоды	102
5-4. Полупроводниковые и металло-полупроводниковые термокатоды	103
5-5. Эксплуатация термоэлектронных катодов	106
Глава шестая. Движение электронов в электрическом и магнитном полях	106
6-1. Основы электронной оптики	106
6-2. Движение электронов в однородном электрическом поле	108

6-3. Движение электронов в неоднородном электрическом поле	114
6-4. Движение электронов в однородном магнитном поле	119
6-5. Движение электронов в неоднородном магнитном поле	119
6-6. Движение электронов в скрещенных однородных электрическом и магнитном полях	125
Глава седьмая. Электрический ток в вакуумных и газонаполненных приборах	132
7-1. Прохождение тока в вакууме	132
7-2. Электрический разряд в газе	136
Глава восьмая. Диод	144
8-1. Устройство диода. Статические характеристики	144
8-2. Зависимость анодного тока от анодного напряжения. Закон степени трех вторых	152
8-3. Статические параметры диода	156
8-4. Применение двухэлектродных ламп и элементы их конструкции	162
Глава девятая. Триод	166
9-1. Статические характеристики триода	166
9-2. Распределение потенциалов в трехэлектродной лампе. Роль сетки	172
9-3. Действующее напряжение. Проницаемость лампы	175
9-4. Статические параметры триода	180
9-5. Распределение токов в триоде	187
9-6. Динамический режим работы триода	191
9-7. Междуэлектродные емкости	201
9-8. Конструкция и типы трехэлектродных ламп	202
Глава десятая. Многоэлектродные лампы. Тетрод и пентод	208
10-1. Особенности многоэлектродных ламп	208
10-2. Статические характеристики тетрода	211
10-3. Лучевой тетрод	216
10-4. Пентод	221
10-5. Действующее напряжение в многоэлектродных лампах	223
10-6. Токораспределение в тетроде и пентоде	225
10-7. Статические параметры многоэлектродных ламп	230
10-8. Двойное управление анодным током в пентоде	240
10-9. Конструкция, типы многоэлектродных ламп и их применение	243
Глава одиннадцатая. Частотопреобразовательные и специальные электронные лампы	251
11-1. Назначение частотопреобразовательных ламп	251
11-2. Преобразование частоты	254
11-3. Статические характеристики и параметры частотопреобразовательных ламп	259
11-4. Параметры преобразования	262
11-5. Электронные лампы специального назначения	265
Глава двенадцатая. Эквивалентные схемы электронных ламп и методы аппроксимации их характеристик	272
12-1. Эквивалентные схемы электронных ламп	272
12-2. Линейная аппроксимация характеристик ламп	278
12-3. Методы нелинейной аппроксимации	283

Глава тринадцатая. Шумы в электронных лампах	284
13-1. Влияние внутриламповых шумов	284
13-2. Источники внутриламповых шумов	285
13-3. Методы оценки шумовых свойств электронных ламп	288
13-4. Методы снижения внутриламповых шумов	293
Глава четырнадцатая. Определение параметров и снятие характеристик электронных ламп	293
14-1. Снятие статических характеристик	293
14-2. Измерения статических параметров лампы	296
14-3. Измерения междуэлектродных емкостей	302
Глава пятнадцатая. Особенности работы электронных ламп на высоких частотах	302
15-1. Факторы, влияющие на работу ламп	302
15-2. Время пролета электронов в диоде	303
15-3. Прохождение тока в диоде на высоких частотах	304
15-4. Влияние инерции электронов на работу диода	307
15-5. Влияние инерции электронов на работу ламп с сетками	309
15-6. Влияние распределенных реактивностей	312
15-7. Электронные лампы диапазона высоких частот	317
Глава шестнадцатая. Электронные приборы диапазона сверхвысоких частот	320
16-1. Особенности электронных приборов СВЧ	320
16-2. Колебательные системы СВЧ приборов	321
16-3. Принцип действия электронных приборов СВЧ диапазона	332
Глава семнадцатая. Клистроны	335
17-1. Двухрезонаторный усилительный клистрон. Принцип действия	335
17-2. Группирование электронов в двухрезонаторном клистроне	340
17-3. Взаимодействие электронного потока с переменным электрическим полем резонатора	349
17-4. Параметры двухрезонаторного усилительного клистрона	352
17-5. Многорезонаторный усилительный клистрон	354
17-6. Двухрезонаторный частотоумножительный клистрон	357
17-7. Отражательный клистрон. Принцип действия. Группирование электронов	359
17-8. Баланс фаз и баланс мощности в отражательном клистроне	364
17-9. Электронная настройка частоты	371
17-10. Двухрезонаторный генераторный клистрон	377
Глава восемнадцатая. Магнетроны	381
18-1. Устройство и принцип действия многорезонаторного магнетрона	381
18-2. Виды колебаний в магнетроне	384
18-3. Образование электронных спиц	385
18-4. Рабочий режим магнетрона	391
18-5. Рабочие характеристики и параметры магнетронов	401
18-6. Анодный блок магнетрона	406
18-7. Особенности работы и конструкции многорезонаторных магнетронов	416

Глава девятнадцатая. Лампы бегущей и обратной волны	418
19-1. Особенности электронных приборов СВЧ с широкополосными колебательными системами	418
19-2. Усилитель на лампе бегущей волны (ЛБВ). Принцип действия	420
19-3. Взаимодействие электронов с бегущей волной в лампах типа О	424
19-4. Параметры и характеристики усилителя на ЛБВ	430
19-5. Усилитель на лампе бегущей волны типа М	435
19-6. Генераторные лампы обратной волны	439
Глава двадцатая. Полупроводниковые приборы	447
20-1. Свойства полупроводниковых приборов	447
20-2. Полупроводниковые диоды	448
20-3. Полупроводниковые триоды. Принцип действия. Характеристики	456
20-4. Параметры полупроводниковых приборов. Эквивалентные схемы	466
20-5. Частотные свойства полупроводниковых триодов. Высокочастотные триоды	473
20-6. Различные полупроводниковые приборы	477
Глава двадцать первая. Электронно-лучевые приборы	482
21-1. Принцип действия электронно-лучевых трубок	482
21-2. Электронный прожектор. Модуляция электронного луча по плотности	486
21-3. Фокусирующие системы	490
21-4. Отклоняющие системы	496
21-5. Экраны электронно-лучевых трубок	503
21-6. Искажения изображения	507
21-7. Особенности электронно-лучевых приборов различного назначения	508
21-8. Запоминающие трубки	511
Глава двадцать вторая. Фотоэлектрические приборы	514
22-1. Электровакуумные фотоэлементы	514
22-2. Фотоэлектронные умножители	519
22-3. Полупроводниковые фотоэлементы	521
22-4. Фотосопротивления	525
22-5. Передающие телевизионные трубки	526
Глава двадцать третья. Ионные приборы	531
23-1. Общие сведения об ионных приборах	531
23-2. Приборы дугового разряда	532
23-3. Приборы тлеющего и высокочастотного разрядов	537
Литература	542

Глава первая

ВВЕДЕНИЕ

1-1. СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Среди большого числа разнообразнейших приборов, используемых в науке и технике, электронные приборы занимают одно из первых мест.

Электронными называются такие приборы, принцип действия которых основан на физических явлениях, связанных с движением электрически заряженных частиц в высокоразреженном газе или в твердом теле. Электронные приборы часто называли электровакуумными. Этот термин остается справедливым лишь для той части приборов, в которых движение заряженных частиц, главным образом электронов, происходит в вакууме.

Чрезвычайно быстро развилась новая группа электронных приборов — полупроводниковых, действие которых основывается на электрических явлениях, происходящих в твердом теле. Вследствие ряда весьма ценных свойств полупроводниковые приборы с успехом конкурируют с электровакуумными приборами во многих областях электроники и радиотехники.

Помимо электровакуумных и полупроводниковых приборов, к группе электронных приборов относятся также ионные приборы. Действие этих приборов основано на электрических явлениях, протекающих в среде разреженного газа.

Еще несколько десятилетий назад область применения электронных приборов была весьма ограниченной. Электровакуумные и ионные приборы использовались главным образом в аппаратуре радиосвязи и радиовещания. Теперь радиосвязь и радиовещание, машино-