

高等教育出版社

高等工程专科试用教材

电子技术基础

模拟部分

华中理工大学电子学教研室
陈大钦 肖锡湘 杨华 编
陈大钦 主编

高等工程专科试用教材

电子技术基础

模拟部分

华中理工大学电子学教研室
陈大钦 肖锡湘 杨华 编
陈大钦 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是按照1989年国家教育委员会组织制订的《高等工程专科学校电子技术基础课程教学基本要求》(草案)进行编写的,全书分为模拟部分和数字部分两部分出版。

模拟部分共有12章,内容是:绪论、理想运算放大器及其运算电路、半导体二极管及其应用电路、半导体三极管及其基本放大电路、场效应管及其放大电路、集成运算放大器、反馈放大电路、模拟信号的乘除运算与处理电路、信号产生电路、功率放大电路、直流电源、模拟电子电路读图。各章都有小结、自我检验题、思考题和习题。书末还附有模拟电子电路应用实例、参考文献及进一步阅读资料、自我检验题及部分习题答案。

考虑到大专生的实际情况和大专教育主要是培养应用型人才,书中在介绍各种器件和电路时,力求实用。对于重点和难点内容都附有较多例题,尽可能做到通俗易懂,便于教学。

本书可作为高等工程专科学校和普通高等工业学校中的2~3年大专班电气类、电子类专业“电子技术基础”课程的教材,也可作为高等学校本科有关专业的教学参考书,以及供从事电子技术的工程技术人员参考。

本书责任编辑 任庆陵

高等工程专科试用教材

电子技术基础

模拟部分

华中理工大学电子学教研室

陈大钦 肖福鼎 杨华 编

陈大钦 主编

国防工业出版社

新华书店总店北京科技发行所发行

国防工业出版社印刷厂印装

开本850×1168 1/32 印张17.25 字数440 000

1991年5月第1版 1991年5月第1次印刷

印数0001—4 710

ISBN7-04-003342-9/TN·154

定价 6.35 元

序

本书是按照1989年国家教育委员会组织制订的《高等工程专科学校电子技术基础课程教学基本要求》(草案)进行编写的,现以电子技术基础(模拟部分)和电子技术基础(数字部分)两册出版。本书可作为普通高等工业学校中的大专班和高等工程专科学校电气类、电子类专业“电子技术基础”课程的教材使用,对于高等学校本科有关专业,它也是一本比较精炼的教学参考书。

编写本书的指导思想是:

1. 在处理不断增长的新技术和有限篇幅之间的矛盾时,我们采取的措施是在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下,尽可能地使学生能适应90年代电子技术发展的需要和我国的国情。为适应前者,本书采用了一个新体系,即把模拟电路中用得最多的集成运算放大器提前到第一章绪论之后介绍,使之在电子技术基础(模拟部分)形成了以模拟集成电路为主干的体系,精简了一些分立元件电路内容,增强了集成电路的应用,并引入了模拟乘法器、开关电容滤波器、压控振荡器等新技术内容。但考虑到我国国情和专科学生有相当一部分人毕业后要面向中、小型企业这个实际情况,本书对阻容耦合放大器等分立元件电路的分析计算也进行了适当的讨论。

2. 在选材编排方面,我们力求做到由浅入深,循序渐进,引导学生运用基本概念、基本原理和基本分析方法来分析问题,培养学生解决实际问题的能力。

3. 根据我国目前大专生的实际情况,同时考虑到高等工程专科教育要求培养能够坚持社会主义道路的、德智体全面发展的、获得工程师初步训练的高级工程技术应用型人才,学生毕业后主

要去工业生产第一线，从事制造、施工、运行、维修、测试等方面工艺、技术、管理及一般设计工作等特点，在教材中我们采取了下列措施：

(1) 在讨论问题时，从实际出发，在重点、难点内容中增加例题，力求做到通俗易懂，便于教学。

(2) 对于电子器件（含集成器件）只着重介绍工作原理、外部特性和主要参数。

(3) 在讲述各种典型电路的工作原理时，一般尽可能给出实际电路参数，不作过于繁杂的数学推导，必要时给出结果，指定参考文献，全书力求实用。

(4) 为便于读者巩固基本概念，有目的地扩大知识面，各章都附有检验题、思考题和习题，其中包括一些概念性较强的，有实际意义的题目，以利于因材施教。

(5) 为了培养学生的读图能力，专门有一章通过典型电路介绍了读图方法和步骤。为利于读者学习和应用，最后还附有模拟电路应用实例。

4. 为了照顾不同专业的教学要求，教材中包括必讲和选讲内容两部分。必讲内容是按电子技术基础（模拟部分）理论教学时数60~70学时编写的，而选讲内容（包括有关习题）在编排上加注“*”号，以示区别。

参加本书编写工作的有杨华（第1、3、4、5章）、陈大钦（第2、6、8、9、10、12章及附录A）、肖锡湘（第4、6、7、11章）等同志，陈大钦同志为主编，负责全书的组织和定稿。在编写过程中，一直得到了康华光教授的指导和帮助。杨晓安、丁素芳、张德芳等同志为本书绘制了全部插图。与本书配套的《电子技术基础》（数字部分）的编者为邹寿彬、陈捷。

本书由东南大学衣承斌教授主审，参加审阅的还有刘京南讲师。二位老师对初稿进行了认真的审阅，提出了许多宝贵的意见和修改建议，在此谨致衷心的感谢。

电子技术日新月异，教学改革任重道远，我们的能力和所提出的要求相比，还有很大差距。由于水平所限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1990年5月

本书常用符号表

A	增益, 放大倍数
a	整流元件的阳极 (正极)
A_f	反馈放大器的增益, 反馈放大器的放大倍数
A_v	电压增益, 电压放大倍数
A_i	电流增益, 电流放大倍数
A_{v_c}	共模电压增益, 共模电压放大倍数
A_{v_d}	差模电压增益, 差模电压放大倍数
A_{v_o}	开环电压增益, 开环电压放大倍数
A_{v_f}	闭环电压增益, 闭环电压放大倍数
A_{v_m}	中频电压增益, 中频电压放大倍数
A_{v_s}	源电压增益, 源电压放大倍数
$A_{v_{sm}}$	中频源电压增益, 中频源电压放大倍数
B	势垒
b	半导体三极管的基极
BW	频谱宽度, 带宽
C	电容
C_b	隔直电容 (耦合电容)
C_e	发射极旁路电容
$C_{b'c}$	基极-集电极电容
$C_{b'e}$	基极-发射极电容
C_B	势垒电容
C_D	扩散电容
C_j	结电容
C_f	反馈电容
C_i	输入电容
C_o	输出电容
C_L	负载电容
c	半导体三极管的集电极

- D** 扩散系数
- D 二极管
- d 场效应管的漏极
- E** 能量
- e* 电子的电荷量
- e* 半导体三极管的发射极，自然对数的底
- E* 电场强度
- F** 反馈系数，调制频率
- F_v** 电压反馈系数
- f* 频率
- f_d* 频偏
- f_L* 放大器的下限频率
- f_H* 放大器的上限频率
- f_T* 特征频率
- f_α* 半导体三极管共基极截止频率
- G** 电导
- g* 微变电导
- g_m* 双口有源器件的互导（跨导）
- g* 场效应管的栅极
- H** 双口网络的混合参数
- h_{ie}, h_{re}, h_{ie}, h_{oc}* 三极管共发射极接法的H参数
- I, i** 电流①
- I_s* 信号源电流
- I_i* 输入电流
- I_o* 输出电流

① *I, i* 两符号附上大小写下标，可以表示各种不同的电流值，以半导体三极管的集电极电流为例，表示如下：

- I_C* 集电极静态电流
- i_c* 集电极电流交流分量
- i_C* 集电极总电流
- I_c* 集电极电流交流分量有效值
- I_{cm}* 集电极电流交流分量最大值
- ΔI_C 集电极电流变化量

- I_{CC} 空载正电源电流
 I_{DD} 空载漏电源电流
 I_{EE} 空载负电源电流
 I_L 负载电流
 I_{IF} 输入偏置电流
 I_{IO} 输入失调电流
 I_{OM} 最大输出电流
 I_{OS} 输出短路电流
 I_{REF} 参考电流 (基准电流)
 J 电流密度
 K 热力学温度的单位 (开尔文)
 k 玻耳兹曼常数
 k 整流元件的阴极 (负极)
 K_{CMR} 共模抑制比
 L 自感系数, 电感
 L 负载
 l 长度
 M 互感系数
 m 调制系数
 N 电子型半导体
 N 绕组匝数比
 n 电子浓度
 P 功率
 P 空穴型半导体
 p 空穴浓度
 Q, q 电荷
 Q 静态工作点, 品质因数
 R 电阻 (直流电阻或静态电阻)
 R_b, R_c, R_e 半导体三极管的基极、集电极、发射极电阻
 R_g, R_d 场效应管的栅极、漏极电阻
 R_s 信号源内阻
 R_L 负载电阻

R_p	电位器 (可变电阻)
r	微变电阻 (交流电阻或动态电阻)
r_{be}	半导体三极管的输入电阻
r_{ce}	半导体三极管的输出电阻
R_I	直流输入电阻
R_i	放大器交流输入电阻
R_o	放大器交流输出电阻
R_F	反馈电阻
S	面积
S	开关
s	复频率变量
s	场效应管的源极
S/N	信噪比
S_R	转换速率
T	温度 (热力学温度以K为单位, 摄氏温度用 t 表示)
T	双口有源器件①
T_r	变压器
t	时间
V, v	电压②
V_s	信号源电压
V_i	输入电压
V_{th}	二极管、三极管的门坎电压, 比较器门限电平
V_T	场效应管的开启电压
V_T	温度的电压当量
V_V	场效应管的夹断电压
V_{CC}, V_c	正电源电压
V_{DD}	正电源电压
V_{EE}, V_e	负电源电压
V_{OO}	输出失调电压

① 双口有源器件指半导体三极管、场效应管等。

② V, v 的各种不同表示方法与 I, i 处的脚注①类同。

V_{REF} 参考电压 (基准电压)

$V_{(BR)CBO}$ 发射极开路, 集电极-基极反向击穿电压

$V_{(BR)EBO}$ 集电极开路, 发射极-基极反向击穿电压

$V_{(BR)CEO}$ 基极开路, 集电极-发射极反向击穿电压

$V_{(BR)DS}, V_{(BR)GD}, V_{(BR)GS}$ 分别为漏源击穿电压、栅漏击穿电压和栅源击穿电压

X, x 电抗, 反馈电路中的信号量

Y, y 导纳

Z, z 阻抗

α 半导体三极管共基极接法的电流放大系数

β 半导体三极管共射极接法的电流放大系数

γ 稳压系数

η 效率

θ 整流元件的导电角

μ_i 半导体三极管的内部电压反馈系数

ρ 电阻率

σ 电导率

φ 相角

ϕ 时钟脉冲

τ 时间常数

Ω 电阻的单位 (欧姆)

Ω, ω 角频率

目 录

1 绪 论

引言	1
1.1 信号与电子系统	1
1.1.1 信号及其分类	1
1.1.2 电子系统举例	3
1.2 放大器的基本概念	4
1.2.1 放大器电路符号说明	5
1.2.2 放大器模型	6
1.2.3 放大器的主要性能指标	9
1.3 常用的网络定理	14
1.3.1 叠加原理	14
1.3.2 戴维南定理和诺顿定理	17
1.3.3 密勒定理	20
1.4 单时间常数的RC电路	22
1.4.1 时间常数 τ 的估算	22
1.4.2 单时间常数RC电路的频率响应	23
小结	29
自我检验题	30
思考题和习题	30

2 理想运算放大器及其运算电路

引言	33
2.1 理想运算放大器	33
2.1.1 运算放大器的端子	33
2.1.2 理想运算放大器	34
2.2 比例运算电路	36
2.2.1 由反相放大器组成的比例运算电路	36

2.2.2	由同相放大器组成的比例运算电路	42
2.3	加减运算电路	43
2.3.1	加法电路	43
2.3.2	减法电路	45
2.4	积分电路和微分电路	47
2.4.1	积分电路	47
2.4.2	微分电路	49
2.5	集成运算放大器的一般内部结构框图	51
小结	.....	52
自我检验题	.....	53
思考题和习题	.....	53

3 半导体二极管及其应用电路

引言	.....	61
3.1 PN结	.....	61
3.1.1	纯半导体	61
3.1.2	P型和N型半导体	63
3.1.3	PN结的形成	66
3.1.4	PN结的单向导电性	68
3.2 半导体二极管	.....	70
3.2.1	半导体二极管的结构	70
3.2.2	半导体二极管的伏安特性	72
3.2.3	二极管的主要参数	75
3.3 特殊二极管	.....	78
3.3.1	稳压二极管	79
3.3.2	变容二极管	81
3.3.3	光电二极管	82
3.3.4	发光二极管	83
3.4 二极管应用电路举例	.....	83
3.4.1	单相桥式全波整流电路	83

*3.4.2 半波精密整流电路	86
*3.4.3 二极管限幅电路	87
小结	89
自我检验题	89
思考题和习题	91

4 半导体三极管及其基本放大电路

引言	94
4.1 半导体三极管	94
4.1.1 三极管的结构	94
4.1.2 三极管中的电流分配与放大作用	95
4.1.3 三极管的特性曲线	100
4.1.4 三极管的主要参数	104
4.2 共发射极基本放大电路	107
4.2.1 放大电路的组成	107
4.2.2 放大电路的两种工作状态	109
4.3 放大电路的基本分析方法	111
4.3.1 图解法	111
4.3.2 微变等效电路法	120
4.3.3 两种分析方法的比较	127
4.4 放大电路工作点的稳定	127
4.4.1 温度对工作点的影响	127
4.4.2 基极分压式射极偏置电路	128
4.5 共集电极电路和共基极电路	131
4.5.1 共集电极电路	131
4.5.2 共基极电路	135
4.5.3 三种基本组态的比较	137
4.6 多级放大电路	141
4.7 放大电路的频率响应	149
4.7.1 单级阻容耦合放大电路的频率响应	150

*4.7.2 多级放大电路的频率响应	158
小结	161
自我检验题	163
思考题和习题	165

5 场效应管及其放大电路

引言	182
5.1 结型场效应管	182
5.1.1 结型场效应管的结构和工作原理	182
5.1.2 结型场效应管的特性曲线及参数	183
*5.2 MOS场效应管	192
5.2.1 N 沟道增强型MOS管	193
5.2.2 N 沟道耗尽型MOS管	197
5.2.3 P 沟道MOS管	200
5.3 场效应管放大电路	200
5.3.1 场效应管放大电路的直流偏置及静态工作点	200
5.3.2 场效应管放大电路的微变等效电路分析法	203
小结	210
自我检验题	210
思考题和习题	210

6 集成运算放大器

引言	217
6.1 集成电路的特点	217
6.2 集成运放的基本单元电路	218
6.2.1 电流源电路	219
6.2.2 差动放大电路	224
6.2.3 输出级电路	240
6.3 集成运算放大器简介	242
6.3.1 通用型集成运放	242

*6.3.2 CMOS型集成运放简介	247
6.4 集成运放的性能参数	248
*6.5 专用型集成运放简介	256
小结	256
自我检验题	257
思考题和习题	258

7 反馈放大电路

引言	266
7.1 反馈的基本概念	266
7.1.1 什么是反馈	266
7.1.2 反馈举例	267
7.2 负反馈放大电路的组态	272
7.2.1 电压串联负反馈	273
7.2.2 电压并联负反馈	278
7.2.3 电流串联负反馈	281
7.2.4 电流并联负反馈	284
7.3 负反馈放大电路闭环增益的一般表达式	286
7.3.1 方框图	286
7.3.2 负反馈放大电路的一般表达式	287
7.4 深度负反馈条件下闭环电压增益的近似计算	288
7.5 负反馈对放大电路性能的影响	292
7.5.1 提高闭环增益 A_f 的稳定性	292
7.5.2 展宽通频带	294
7.5.3 减小非线性失真	296
7.5.4 抑制干扰和噪声	297
7.5.5 对输入电阻的影响	298
7.5.6 对输出电阻的影响	300
7.6 负反馈放大电路的自激问题	300
7.6.1 产生自激振荡的原因	301
7.6.2 产生自激振荡的相位条件和幅值条件	302

7.6.3	自激振荡的判别方法	303
7.6.4	负反馈放大电路的稳定裕度	305
7.6.5	高频自激的消除	306
*7.6.6	放大电路的低频自激	309
小结	.....	311
自我检验题	.....	315
思考题和习题	.....	317

8 模拟信号的乘除运算与处理电路

引言	.....	326
8.1 乘除运算电路	.....	326
8.1.1 对数和反对数运算电路	.....	326
*8.1.2 用对数函数网络构成乘法运算的原理电路	.....	328
8.1.3 用变跨导集成模拟乘法器实现乘除运算	.....	329
8.2 有源滤波器	.....	335
8.2.1 基本概念	.....	335
8.2.2 一阶有源滤波器	.....	337
*8.2.3 二阶有源滤波器	.....	339
*8.3 开关电容滤波器	.....	347
8.4 电压比较器	.....	350
8.4.1 单门限电压比较器	.....	350
8.4.2 迟滞比较器	.....	353
小结	.....	358
自我检验题	.....	360
思考题和习题	.....	361

9 信号产生电路

引言	.....	368
9.1 正弦波振荡电路	.....	368
9.1.1 正弦波振荡电路的振荡条件与分类	.....	368
9.1.2 RC正弦波振荡电路	.....	370