

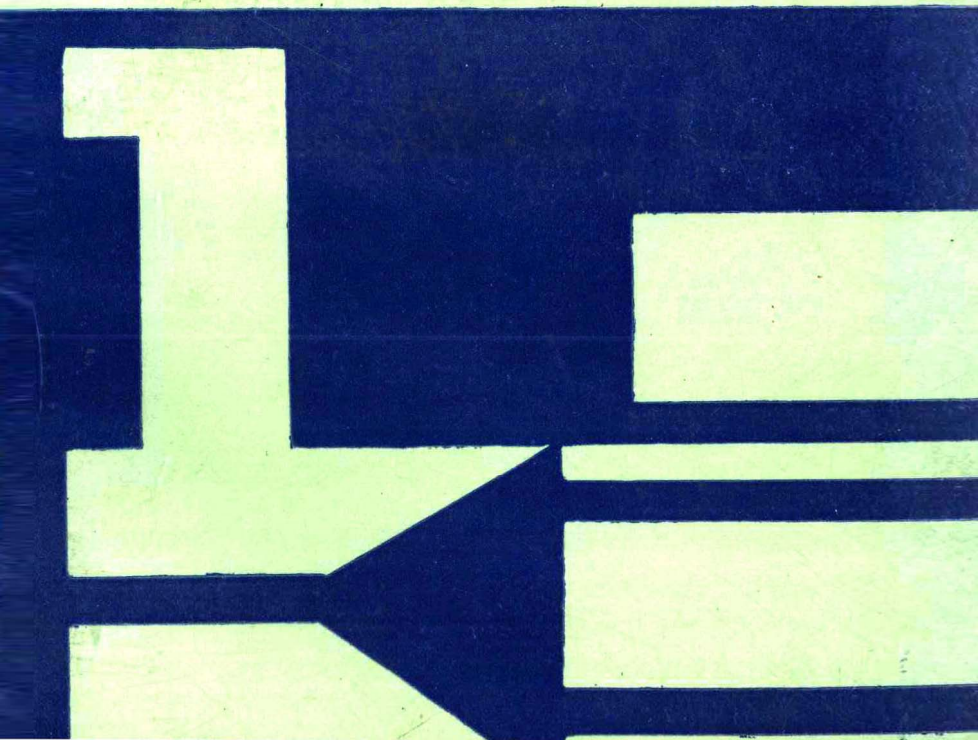
高等师范电子系列教材

模拟电子技术基础

聶淑芳 黃慶元 主編

聶淑芳 李宗領 編

高等教育出版社



高等师范电子系列教材

模拟电子技术基础

甬淑芳

黄庆元

主编

甬淑芳

李宗领

编



高等教育出版社

(京) 112 号

本书是高等师范电子系列教材之一。其内容包括: 半导体二极管及其应用; 晶体管及其基本放大电路; 场效应管基本放大电路及多级放大电路; 放大电路中的反馈; 模拟集成电路基础; 集成运放及其应用; 振荡电路; 无线电广播与收音机基础; 直流稳压电源等九章。各章均配有例题、小结、教学要求及适量的复习思考题和练习题。

本书可作为高等师范院校(含高等教育学院及类似院校)电子技术基础课程教材, 教学学时为 70~80 学时。对于理、工科院校非电类专业的学生, 可作为电子技术基础课的学习参考教材, 也可作为电大、函大、夜大、职大等成人教育的同类课程的教材或教学参考书。

高等师范电子系列教材

模拟电子技术基

周淑芳 黄庆元 主

周淑芳 李宗领 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印装

*

开: 350×1168 1/32 印张 14.125 字数 360 000

1994 年 4 月第 1 版 1994 年 4 月第 1 次印刷

印数 0001—4 235

ISBN 7-04-004389-0/TN·194

定价 6.55 元

高等师范电子系列教材编审委员会

主任委员: 黄庆元

副主任委员: 姚玉洁 章浩平

徐克服 袁永升

杨伦铭

委 员: 王银仓 刘宝棠 鬲淑芳

裴幼强 任来宝 张细泉

钱如竹 康巨珍 张铭声

张兴才 姚凯元 邸海珠

石邦恒 王植鑫 张宗根

郑应华 杜 凯

前 言

高等师范电子系列教材是由中国电子学会高等师范教学研究会、中国物理学会教育学院分会等组织广大高等师范学校富有教学经验和教材编写经验的教师,根据现代高等师范人才培养的特点、电子科学技术的飞速发展及高等师范电子类教材的现状协同编写的。该系列教材包括《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》、《黑白电视接收机原理与维修》、《彩色电视接收机原理与维修》、《微机原理及应用》、《收录机与立体声系统》、《共用天线系统与卫星电视接收》、《录像机原理与维修》、《家用电器原理及维修》、《电工学及其应用》等十种。与此同时还筹划编一套与系列教材配套的实验指导书和学习指导书。为保证系列教材的质量,成立了由中国电子学会高等师范教学研究会、中国物理学会教育学院分会和高等教育出版社组成的“高师电子系列教材编审委员会”,负责系列教材从编写大纲到内容的全部审定工作。系列教材中全部教材的编写大纲已分别于1991年4月、1993年6月在陕西咸阳和四川成都召开的有四十多所高师院校参加的审定会上审定。该系列教材将陆续出版发行。

本书是在1985~1991年已出版的两轮电子技术基础教材的基础上,根据百余所师范院校多年使用后的意见和建议并考虑到近年来电子技术、电子工艺、电子产品、电子器件的更新换代,经过大幅度的修改后编成的。全书共九章,包括:半导体二极管及其应用;晶体管及其基本放大电路;场效应管基本放大电路及多级放大电路;放大电路中的反馈、模拟集成电路基础;集成运算放大电路及其应用;振荡电路;无线电广播与收音机基础和直流稳压电源。

本书的编写原则是:保证基础、推陈出新、强化集成、开阔眼

界、着手实际、着眼未来、突出“师范”、简洁明快。本书在内容的选材和编排方面都富有新意,其最大特点表现在两个方面:第一,在处理器件与应用电路的关系时,突出了“管为路用”的思想。例如,在处理半导体二极管、三极管、场效应管及集成电路时,一方面注重其外部功能和电气特性,对内部微观机理仅作定性介绍;另一方面,将过去集中介绍所有器件之后再集中介绍其应用电路的做法,改为每介绍一种器件之后随即介绍其基本应用的做法。这不仅易为学生接受、消化,而且强化了理论联系实际、管为路用的思想。第二,在处理分立元件电路与集成电路的关系时,突出了“分立为集成服务”的思想。随着集成电路的飞速发展,电子技术基础教材如何恰当地加强集成电路的比重,已成为其是否具有生命力的重要因素,鉴此,本教材不仅用了较大的篇幅介绍了线性集成电路及其应用,而且将过去分立元件的直耦电路、差动放大电路、功率放大电路、晶体管恒流源电路等一并融入线性集成电路之中,作为其基本单元电路介绍;同时,在以后的电路与系统中均突出了集成电路的重要地位,如集成振荡电路、集成乘法电路、集成收音机电路及集成稳压电路等。这样,既符合由浅入深、循序渐进的规律,使学生很自然地由分立元件电路过渡到集成电路,又强化了集成意识,体现了电子技术的新发展。

本书适于高等师范院校(含教育学院及类似院校)理科学生模拟电子技术基础课程作教材使用。使用学时70~80学时,讲授顺序为先讲模拟电子技术基础后讲数字电子技术基础。对于理、工科非电类专业的学生,也可作为电子技术基础课的学习参考书;对于电大、函大、夜大、职大等成人教育的同类课程,也可作为教材或教学参考书。

本书的编写大纲在1991年4月咸阳会议上审定后,主要由鬲淑芳同志执笔编写了第一至第七章内容;李宗领同志编写了第八、九两章内容。最后由鬲淑芳、黄庆元共同完成统稿和定稿工作。徐克服、钱如竹、康巨珍等十多位学者、教授对本书稿的修改提供了

不少宝贵意见和建议,在此深表感谢。

电子技术日新月异,教育改革不断深化,我们的水平和能力很难跟上科学技术的发展和教育改革的要求,本书稿虽几经修改,但错漏之处亦在所难免,恳请广大师生、同行、读者一如既往,不吝指教,在此深表敬意。

编者

1993年6月

本书使用符号说明

一、基本符号

1. 电流和电压

(1) 几条原则(以基极电流为例说明)

I_B 大写字母、大写下标,表示直流量

I_b 大写字母、小写下标,表示交流有效值

i_B 小写字母、大写下标,表示含直流的总瞬时值

i_b 小写字母、小写下标,表示交流瞬时值

$\dot{I}_b$ 表示正弦量的复数值

ΔI_B 表示直流变化量

Δi_B 表示总瞬时值的变化量

$I_{B(AV)}$ 表示平均值

(2) 使用符号

I, i 电流通用符号

V, v 电压通用符号

I_i, i_i 输入电流有效值、瞬时值

V_i, v_i 输入电压有效值、瞬时值

I_o, i_o 输出电流有效值、瞬时值

V_o, v_o 输出电压有效值、瞬时值

I_f, V_f 反馈电流、电压的有效值

V_s, v_s 信号源电压的有效值、瞬时值

I_R, V_R 参考电流、电压

I_m, V_m 正弦电流、电压的幅值

I_{max}, V_{max} 电流、电压的最大值

I_{min}, V_{min} 电流、电压的最小值

$I_+(i_+), V_+(v_+)$ 集成运放同相端电流、电压

$I_-(i_-), V_-(v_-)$ 集成运放反相端电流、电压

V_{id}, v_{id} 差模输入电压的有效值、瞬时值

V_{ic}, v_{ic} 共模输入电压的有效值、瞬时值

V_{BB}, V_{CC} 基极、集电极回路直流电源电压

2. 功率

P 功率通用符号

p 瞬时功率

P_o 输出功率

P_T 晶体管消耗功率

P_V 直流电源提供功率

3. 频率

f 频率通用符号

ω 角频率通用符号

BW 通频带

f_l 放大电路的下限频率

f_h 放大电路的上限频率

f_c 高频载波频率

f_o 振荡频率、中心频率

f_Ω 调制信号频率

4. 电阻、电导、电容、电感

R 电阻通用符号

r 器件及电路的等效电阻通用符号

r_i, r_o 电路的输入、输出等效电阻

r_{if}, r_{of} 有反馈时电路的输入、输出电阻

R_L 负载电阻

R_s 信号源内阻、源极电阻

R_f 反馈电阻

G 电导的通用符号

C 电容的通用符号

L 电感的通用符号

5. 增益或放大倍数(传输系数)

A 增益或放大倍数的通用符号

A_v 电压放大倍数的通用符号

A_i 电流放大倍数

A_P 功率放大倍数

- A_g 互导放大倍数
- A_r 互阻放大倍数
- A_{vs} 源电压放大倍数
- A_{vm} 中频电压放大倍数的复数值
- A_{vl} 低频电压放大倍数的复数值
- A_{vh} 高频电压放大倍数的复数值
- A_t 有反馈时(闭环)的放大倍数通用符号
- A_{vt} 闭环电压放大倍数,其余类推
- $\bar{F}$ 反馈系数的通用符号
- $\bar{F}_v$ 电压反馈系数,其余类推
- A_{vd} 差模电压放大倍数
- A_{vc} 共模电压放大倍数
- K_m 模拟乘法器的乘积增益

二、器件参数符号

- b、c、e 晶体管基极、集电极、发射极
- f_β 晶体管共射极截止频率
- f_T 晶体管的特征频率
- g_m 跨导
- $h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$ 晶体管小信号混合参数(共发射极接法)
- $r_{b'b}$ 晶体管基区体电阻
- r_{be} 晶体管共发射极输入电阻(微变电阻)
- r_D 二极管正向导通时的电阻
- A_{os} 集成运放的开环增益
- C_B PN 结的势垒电容
- C_D PN 结的扩散电容
- C_j PN 结的结电容
- C_i, C_o 电路的输入、输出等效电容
- D 二极管、场效应管的漏极
- D_z 稳压二极管
- G 场效应管的栅极
- I_{CBO} 发射极开路时 c-b 间的反向电流
- I_{CEO} 基极开路时 c-e 间的穿透电流

- I_{CM} 集电极最大允许电流
 I_D 二极管的电流,场效应管的漏极电流
 I_{Dss} 耗尽型场效应管 $V_{GS} = 0$ 时的 I_D 值(饱和漏源电流)
 I_{DO} 增强型场效应管 $V_{GS} = 2V_T$ 时的 I_D 值
 $I_F, I_{F(AV)}$ 二极管的正向电流,最大平均整流电流
 I_R 二极管的反向电流
 $I_{R(sat)}$ 二极管的反向饱和电流
 N 电子型半导体
 P 空穴型半导体
 P_{CM} 集电极最大允许耗散功率
 P_{DM} 漏极最大允许耗散功率
 $S(S)$ 场效应管的源极(整流电路的脉动系数)
 S_R 集成运放的转换速率
 $T(T)$ 晶体管(温度、周期)
 $V_{(BR)}$ 二极管的反向击穿电压
 $V_{(BR),CEO}$ 基极开路时 c-e 间的反向击穿电压
 $V_{GS(off)}$ 耗尽型场效应管的夹断电压
 $V_{GS(th)}$ 增强型场效应管的开启电压,温度的电压当量
 V_{th} 二极管、晶体管发射结的死区电压
 $\alpha, \bar{\alpha}$ 晶体管共基极交、直流电流放大系数
 $\beta, \bar{\beta}$ 晶体管共发射极交、直流电流放大系数

三、其它符号

- K_{CMR} 共模抑制比
 Q 静态工作点, LC 回路的品质因数
 η 效率
 τ 时间常数
 ϕ 相位角
 δ 矩形脉冲的占空比

目 录

第一章 半导体二极管及其应用.....	1
§ 1.1 PN 结.....	1
1.1.1 本征半导体的导电特性	1
1.1.2 杂质半导体及其导电特性	4
1.1.3 PN 结的形成及其单向导电性.....	6
§ 1.2 半导体二极管.....	8
1.2.1 半导体二极管的结构及类型	8
1.2.2 半导体二极管的主要特性	9
§ 1.3 半导体二极管的主要参数及性能检测.....	11
1.3.1 半导体二极管的主要参数	11
1.3.2 半导体二极管的选择及性能参数检测	14
§ 1.4 半导体二极管的应用.....	16
1.4.1 半导体二极管的电路模型	16
1.4.2 半导体二极管的应用举例	17
§ 1.5 稳压二极管及其应用.....	20
1.5.1 稳压二极管的击穿特性及主要参数	20
1.5.2 稳压二极管的应用举例	22
§ 1.6 开关二极管及其应用.....	24
1.6.1 二极管的开关特性	24
1.6.2 开关二极管	25
1.6.3 开关二极管的应用举例	26
§ 1.7 变容二极管及其应用.....	27
1.7.1 二极管的电容效应	27
1.7.2 变容二极管	29
1.7.3 变容二极管的应用举例	30
§ 1.8 发光二极管及其应用.....	31
1.8.1 发光二极管	31

1.8.2 发光二极管的应用举例	32
本章小结	33
学习本章目的和要求	34
复习思考题	34
练习题	36
第二章 晶体管及其基本放大电路	40
§ 2.1 晶体管的结构及其工作原理	40
2.1.1 晶体管的结构	40
2.1.2 晶体管的工作原理	41
§ 2.2 晶体管的伏安特性及主要参数	46
2.2.1 晶体管的伏安特性	46
2.2.2 温度对晶体管伏安特性的影响	49
2.2.3 晶体管的主要参数	50
§ 2.3 晶体管的开关特性	53
2.3.1 晶体管的开关作用	53
2.3.2 晶体管的开关特性	53
§ 2.4 晶体管的选择及检测	55
2.4.1 选择晶体管时的注意事项	55
2.4.2 晶体管的检测	56
2.4.3 晶体管的型号命名方法	58
§ 2.5 晶体管基本放大电路	58
2.5.1 晶体管基本放大电路的组成	60
2.5.2 基本放大电路的工作原理	62
2.5.3 放大电路的性能指标	66
§ 2.6 放大电路的基本分析方法	69
2.6.1 图解分析法	69
2.6.2 微变等效电路分析法	76
§ 2.7 放大电路静态工作点的稳定	82
2.7.1 静态工作点的设置原则	83
2.7.2 稳定静态工作点的措施	83

§ 2.8 基本放大电路的三种组态·····	89
2.8.1 共集电极基本放大电路 ·····	89
2.8.2 共基极基本放大电路 ·····	91
2.8.3 三种基本组态放大电路性能的比较 ·····	93
§ 2.9 放大电路的频率特性·····	93
2.9.1 放大电路频率特性的一般概念 ·····	93
2.9.2 共发射极基本放大电路的频率特性 ·····	97
本章小结·····	103
学习本章目的和要求·····	105
复习思考题·····	106
练习题·····	108
第三章 场效应管基本放大电路及多级放大电路 ·····	117
§ 3.1 结型场效应管 (JFET)·····	117
3.1.1 结型场效应管的结构 ·····	117
3.1.2 结型场效应管的工作原理 ·····	118
3.1.3 结型场效应管的伏安特性曲线 ·····	121
§ 3.2 绝缘栅型场效应管 (IGFET)·····	123
3.2.1 绝缘栅型场效应管的结构 ·····	123
3.2.2 绝缘栅型场效应管的工作原理 ·····	124
3.2.3 N 沟道增强型 MOS 管的伏安特性 ·····	127
3.2.4 各类场效应管特性的比较 ·····	127
§ 3.3 场效应管的主要参数及选用·····	130
3.3.1 场效应管的主要参数 ·····	130
3.3.2 场效应管与晶体管的比较及使用注意事项 ·····	131
§ 3.4 场效应管基本放大电路·····	132
3.4.1 场效应管基本放大电路的组成 ·····	132
3.4.2 场效应管基本放大电路的分析 ·····	133
§ 3.5 多级放大电路·····	136
3.5.1 多级放大电路的耦合方式 ·····	136
3.5.2 多级放大电路的分析 ·····	139
本章小结·····	142

学习本章目的和要求	143
复习思考题	143
练习题	144
第四章 放大电路中的反馈	149
§ 4.1 反馈的基本概念	149
4.1.1 反馈的概念	149
4.1.2 反馈形式	151
§ 4.2 负反馈放大电路	156
4.2.1 负反馈放大电路的一般表达式	156
4.2.2 负反馈放大电路的四种基本组态	158
§ 4.3 负反馈对放大电路性能的影响	167
4.3.1 负反馈对放大倍数的影响	167
4.3.2 负反馈对输入电阻的影响	168
4.3.3 负反馈对输出电阻的影响	171
4.3.4 负反馈对通频带的影响	174
4.3.5 负反馈对非线性失真的影响	175
4.3.6 放大电路中引入负反馈的一般原则	176
§ 4.4 负反馈放大电路的分析方法	177
4.4.1 深度负反馈放大电路的分析方法	177
4.4.2 非深度负反馈放大电路的分析方法	183
本章小结	191
学习本章目的和要求	193
复习思考题	193
练习题	195
第五章 模拟集成电路基础	201
§ 5.1 集成电路的特点	201
5.1.1 集成电路中元器件的特点	201
5.1.2 集成电路结构形式上的特点	202
§ 5.2 晶体管恒流源电路与有源负载放大电路	203
5.2.1 晶体管恒流源电路	204

§ 5.2.2 有源负载放大电路	207
§ 5.3 差动放大电路	208
5.3.1 直接耦合放大电路的零点漂移问题	208
5.3.2 差动放大电路	209
5.3.3 差动放大电路四种组态性能的比较	219
5.3.4 差动放大电路的改进	223
§ 5.4 直接耦合式功率放大电路	228
5.4.1 功率放大电路的特点	229
5.4.2 直接耦合式功率放大电路	231
5.4.3 准互补功率放大电路	236
5.4.4 单电源供电互补对称功率放大电路	237
5.4.5 集成功率放大电路	238
本章小结	240
学习本章目的和要求	241
复习思考题	242
练习题	244
第六章 集成运算放大电路及其应用	251
§ 6.1 集成运放的电路结构及主要参数	251
6.1.1 集成运放的电路结构	251
6.1.2 集成运放的主要参数	256
6.1.3 各类集成运放的主要特点及选用原则	258
§ 6.2 集成运放的应用	259
6.2.1 集成运放的开环特性	260
6.2.2 集成运放在信号运算方面的应用	263
6.2.3 集成运放在信号处理方面的应用	276
本章小结	281
学习本章目的和要求	283
复习思考题	283
练习题	284
第七章 振荡电路	292

§ 7.1 正弦波振荡电路基础	292
7.1.1 自激振荡的条件	292
7.1.2 振荡的建立与振幅的稳定	293
7.1.3 正弦波振荡电路的基本组成与分类	294
7.1.4 正弦波振荡电路的一般分析步骤	295
§ 7.2 RC 正弦波振荡电路	296
7.2.1 RC 串、并联网络的频率特性	296
7.2.2 文氏桥式正弦波振荡电路	299
§ 7.3 LC 正弦波振荡电路	300
7.3.1 LC 并联谐振回路的频率特性	300
7.3.2 变压器反馈式正弦波振荡电路	303
7.3.3 三点式振荡电路	306
§ 7.4 石英晶体振荡电路	312
7.4.1 石英晶体的基本特性	312
7.4.2 石英晶体振荡电路	314
§ 7.5 非正弦波振荡电路	316
7.5.1 非正弦波振荡电路与正弦波振荡电路的区别	316
7.5.2 矩形波振荡电路	318
7.5.3 三角波与锯齿波振荡电路	321
本章小结	324
学习本章目的和要求	326
复习思考题	326
练习题	327
第八章 无线电广播与收音机基础	333
§ 8.1 无线电广播的基本过程	333
8.1.1 无线电广播的发送过程	333
8.1.2 无线电广播的接收过程	335
8.1.3 无线电波波段的划分与传播	337
§ 8.2 调幅与检波	339
8.2.1 调幅	339