

电子技术基础

(第二版)

上

华中工学院工业电子学教研室

康华光 主编

高等学校教材

电子技术基础

(第二版)

上册

华中工学院工业电子学教研室 编

康华光 主编

人民教育出版社

本书是在第一版的试用基础上，按照高等工业学校《电子技术基础教学大纲》(草案)(四年制自动化类和电力类专业试用)，总结提高、修改增删而成的。本书分上、下两册出版。上册包括：放大电路基础，频率特性与多级放大器，场效应管放大器，反馈放大器与正弦波振荡器，功率放大器，集成运算放大器及其应用，直流稳压电源和晶闸管电路；下册包括：逻辑门电路，逻辑代数及其应用，触发器，基本数字部件，脉冲的产生与整形电路和金属-氧化物-半导体场效应管数字集成电路。

书中通过对各种半导体器件及其电路的分析，阐述电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法。各部分内容均介绍了电路实例，并配有一定数量的例题、思考题和习题。

本书经高等学校工科电工教材编审委员会电子技术编审小组委托南京工学院李士雄教授主审。

本书可作为高等学校电力类、自动化类专业“电子技术基础”课程的教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

本书责任编辑 张志军

**注意：未经教育部同意，任何单位
不得出版本教材的习题解答**

高等学校教材

电子技术基础

(第二版)

上册

华中工学院工业电子学教研室编

康华光 主编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 22.25 字数 538,000

1979年3月第1版 1982年10月第2版 1983年4月第1次印刷

印数 00,001—31,500

书号 15012·0440 定价 2.25 元

第二版序

本书是在第一版的试用基础上,并按照高等工业学校《电子技术基础教学大纲》(草案)(四年制自动化类和电力类专业试用),总结提高、修改增删而成的。主要做了下列几方面的工作:(1)从本课程的目的和任务出发,在保证打好基础的前提下,精选了内容,例如删去了“电子电路的计算机辅助分析”一章,适当精简了器件内部的物理过程、放大器的频率特性分析、分立元件电路以及设计方面的内容等,在篇幅上有较大的缩减;(2)删繁就简改写了第二、四、六章的大部分内容。同时,将第一版的第九、十章各分为两章,以利于教学;(3)增加了部分新内容,如集成运算放大器的应用电路,中规模数字集成电路等;(4)加强了电路分析方法,如用“虚短”的概念分析集成运算放大器的线性应用电路,在数字电路中,突出了组合逻辑与时序逻辑电路的分析方法;(5)近几年来,由于大规模集成电路的飞速发展,出现了微处理机对各个科学技术领域的渗透,为此,我们充实了“MOS 数字集成电路”一章的内容;(6)重新整理并增删了各章所附的思考题和习题。此外,在编排上,把基本内容排大字,选讲内容排小字,自学参考内容既排小字,又带*号。

本版各章基本上由原编者修订,参加的人员有汤之璋、康华光、陈婉儿、王岩、陈大钦、邹寿彬、朱立群等同志,全书由康华光同志定稿。在修订过程中,得到了汤之璋教授的帮助与指导,陈婉儿同志协助校阅了第一至第六章的书稿,肖锡湘、陈晓天、丘小云、石友惠、罗玉兰以及其他同志参加了许多工作。

本书由南京工学院李士雄教授主审,参加审阅工作的还有陈天授、陈黎明、皇甫正贤,郑虎申等同志;在本书第一版的试用期

间,蒙全国有关兄弟院校的师生寄来不少宝贵意见和建议,编者在此深表谢忱。

本版内容虽有所改进,但离教学要求尚有差距,恳请使用本教材的师生和其他读者予以批评指正,以便不断提高。

编 者

1982年10月于武汉

原 序

本书是根据高等学校工科基础课电工、无线电类教材编写会议(一九七七年十一月合肥会议)所制订的“电子技术基础”(电力类)教材编写大纲编写的。在编写过程中,我们力图以马列主义、毛泽东思想为指导,运用辩证唯物主义观点和方法来阐明本学科规律。

“电子技术基础”是电力工程类各专业的一门技术基础课,它是研究各种半导体器件的性能、电路及其应用的学科。从本学科内容大的方面来划分,本书上、中两册属模拟电子技术,下册属数字电子技术;前者主要是讨论线性电路,后者则着重讨论脉冲数字电路。

教材中注意总结我们近年来的教学实践经验,加强了基础理论,如加强了半导体的物理基础和电路的基本分析方法;同时也注意吸取国内外的先进技术,如加强了线性集成电路和数字集成电路(包括中、大规模集成电路)的原理和应用,新增了电子电路的计算机辅助分析等内容。

在内容的安排上,注意贯彻从实际出发,由浅入深、由特殊到一般、从感性上升到理性等原则。通过各种半导体器件及其电路

来阐明电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法。对于基本的和常用的半导体电路(包括脉冲数字电路),除了作定性的分析外,还介绍了工程计算或设计方法。为了加深对课堂知识的理解,列举了若干电路实例,并配有一定数量的例题、思考题和习题。

在使用本教材时,请注意下列几点:

(1) 本课程是在学完普通物理学和电工原理的大部分内容之后开设的,课程之间的相互配合和衔接非常重要。例如,在第一章用能带理论来解释半导体内两种载流子——电子和空穴的导电规律时,应以普通物理学中讲的固体能带理论为基础;又如在分析放大器时,既讨论了稳态分析(频域),也介绍了瞬态分析(时域),在“运算放大器”一章中,又有积分、微分电路以及其它应用,这些内容应以电工原理中的无源线性电路的瞬态分析为基础,只有配合得好,才能取得满意的效果。

(2) 本教材是按课程总学时数约 200(包括实验课等环节)而编写的,除了基本内容之外,还编入了部分较深入的内容,这些内容均在标题前注有星号(*)或用小字排印,自成体系。不同专业可按学时多少,由教师灵活选择,也可供读者自学参考。

(3) 课程中各个教学环节的配合十分重要,除了课堂讲授外,还必须通过习题课和实验课等环节加以补充,有些内容可以把这几个环节有机地结合起来。对于实验课,必须予以高度重视,通过实验课,不仅可以验证理论,加深对理论知识的理解,更重要的是,可以学会电子测试技术,使理论紧密结合实践。

参加本书编写工作的有汤之璋(第一章)、陈婉儿(第一、二、九章)、陈大钦(第三、五、十章)、康华光(第四、十一章)、王岩(第六、七、十三章)、林家瑞(第六章)、邹寿彬(第八、十二章)、周劲青(第十一章)和江庚和(第十三章)等同志,最后由康华光同志定稿。在

编写过程中,张瑾、朱立群、赵月怀、肖锡湘、杨华、石友惠、汪菊华、罗玉兰以及其他同志参加了许多工作,给予很大支持。

本书由南京工学院李士雄副教授主审,参加主审工作的还有江正战、张志明、衣承斌、陈黎明和丁康源等同志。

在武汉和南京举行的审稿会上,承西安交通大学沈尚贤教授、清华大学童诗白教授、浙江大学邓汉馨副教授、上海交通大学徐俊荣副教授以及重庆大学、山东工学院、沈阳机电学院、合肥工业大学、大连工学院、湖南大学、华南工学院、同济大学、哈尔滨工业大学、天津大学、太原工学院和昆明工学院等兄弟院校的教师代表对初稿进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见。

在编写本书第八章(电子电路的计算机辅助分析)的过程中,承中国科学院湖北岩体土力学研究所计算机室协助解题。

对所有为本教材进行审阅并提出宝贵意见以及在编写出版过程中给予热情帮助和支持的同志们,我们在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,加之时间比较仓促,书中错误和不妥之处,在所难免,殷切希望使用本教材的师生及其他读者,给予批评指正。

编 者

1979年3月

本书常用符号表

- A** 放大倍数
- a** 整流元件的阳极(正极)
- A_f 反馈放大器的放大倍数
- A_o 放大器空载时的电压放大倍数
- A_v 放大器带负载时的开环电压放大倍数
- A_{vf} 放大器带反馈时的闭环电压放大倍数
- B** 势垒(电容)
- b** 半导体三极管的基极
- 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_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** 二极管, 扩散系数
- d** 场效应管的漏极
- E** 直流电源电压、能量
- E_C 集电极电源电压
- E_B 发射极电源电压
- E_D 漏极电源电压
- E_G 栅极电源电压
- e** 半导体三极管的发射极, 电子的电荷量, 自然对数的底
- \mathcal{E}** 电场强度
- F** 反馈系数
- F_v 电压反馈系数
- f** 频率

- f_L 放大器的下限频率
 f_H 放大器的上限频率
 f_a 半导体三极管共基极截止频率
 f_T 特征频率
G 电导
 g 微变电导, 场效应管的栅极
 g_m 双口有源器件的互导(跨导)
 h 双口网络的混合参数
I, i 电流†
 I_s 信号源电流
 I_i 输入电流
 I_o 输出电流
J 电流密度
K 绝对温度的单位(开尔文)
 k 波尔兹曼常数, 整流元件的阴极(负极)
L 负载, 电感, 自感系数
 l 长度
M 雪崩倍增系数, 互感系数
N 电子型半导体, 绕组匝数
 n 电子浓度, 绕组匝数比
NF 噪声系数
P 空穴型半导体
 p 空穴浓度
Q, q 电荷, 品质因数, 静态工作点

† 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

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(可调电阻)
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	放大器的输入电阻
r_o	放大器的输出电阻
S	面积, 开关
s	场效应管的源极, 复频率变量
T	温度(绝对温度以K为单位, 摄氏温度用 $^{\circ}\text{C}$ 表示), 双口有源器件†
Tr	变压器
t	时间
V, v	电压††
V_s	信号源电压
V_i	输入电压
V_o	输出电压
V_γ	二极管、三极管的门坎电压
V_T	场效应管的开启电压, 温度的电压当量
V_P	场效应管的夹断电压
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

† 双口有源器件指半导体三极管、场效应管等。

†† V, v 的各种不同表示方法与前页脚注†类同。

- γ 稳压系数
 η 效率
 θ 整流元件的导电角
 μ_r 半导体三极管的内部电压反馈系数
 ρ 直接耦合放大器的共模抑制比
 σ 电导率
 τ 时间常数
 φ 相角
 Ω 电阻的单位(欧姆)
 ω 角频率

目 录

第一章 放大电路基础	1
1.1 半导体的物理基础	1
1.1.1 导体、半导体和绝缘体	1
1.1.2 半导体的共价键结构	2
1.1.3 本征半导体、空穴及其导电作用	6
1.1.4 杂质半导体	9
1.1.5 半导体中载流子的漂移和扩散	14
1.2 PN 结及其单向导电性	17
1.2.1 PN 结的形成	17
1.2.2 PN 结的单向导电性	22
1.2.3 非平衡载流子的注入	26
1.2.4 PN 结的反向击穿	29
1.3 半导体二极管	31
1.3.1 二极管的结构	31
1.3.2 二极管的伏安特性	32
1.3.3 二极管的直流参数	34
1.3.4 二极管的微变参数	35
1.4 半导体三极管	39
1.4.1 三极管结构简介	41
1.4.2 三极管的电流分配与放大原理	42
1.4.3 三极管的特性曲线	50
1.4.4 三极管的主要参数	55
1.5 基本放大电路	64
1.6 图解分析法	67
1.6.1 静态工作情况分析	67
1.6.2 动态工作情况分析	71
1.7 微变等效电路分析法	85
1.7.1 半导体三极管的混合参数及其等效电路	86
1.7.2 用 h 参数等效电路分析共射极基本放大电路	97
1.8 放大器的工作点稳定问题	107

1.8.1	温度对工作点的影响	108
1.8.2	射极偏置电路	114
1.8.3	集电极-基极偏置电路	125
1.9	单级放大器的设计	129
1.10	共集电极电路——射极输出器	134
1.11	共基极电路	144
	本章小结	147
	参考文献	151
	思考题和习题	151
第二章	频率特性与多级放大器	165
2.1	频率特性的基本概念和分析方法	165
2.1.1	频率特性的基本概念	166
2.1.2	对数频率特性	170
2.2	RC耦合单级放大器的低频特性	175
2.3	RC耦合单级放大器的高频特性	181
2.3.1	半导体三极管的混合 π 型等效电路	181
2.3.2	单级放大器的混合 π 型等效电路及高频特性	190
2.4	单级放大器的瞬态特性	195
2.5	RC耦合多级放大器	201
2.5.1	多级放大器的一般问题	201
2.5.2	RC耦合多级放大器电路及电压放大倍数	204
2.6	多级放大器的频率特性	209
2.6.1	多级放大器的低频特性	209
2.6.2	多级放大器的高频特性与通频带	210
2.6.3	采用组合电路增宽频带	213
*2.7	多级放大器中的干扰和噪声	215
2.7.1	放大器中的噪声	215
2.7.2	放大器中的干扰	217
*2.8	放大器的安装工艺与调试	222
	本章小结	227
	参考文献	229
	思考题和习题	229
第三章	场效应管放大器	236

3.1	结型场效应管	236
3.1.1	结型场效应管的结构和基本工作原理	237
3.1.2	结型场效应管的特性曲线及参数	240
3.2	绝缘栅场效应管	250
3.2.1	N 沟道增强型绝缘栅场效应管的结构和基本工作原理	251
3.2.2	N 沟道增强型绝缘栅场效应管的特性曲线及参数	255
3.2.3	N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管的工作特点	258
3.2.4	各种场效应管的特性比较	259
3.2.5	场效应管的特点及使用注意事项	262
3.3	场效应管放大器	266
3.3.1	场效应管的直流偏置电路及静态分析	266
3.3.2	场效应管放大器的微变等效电路分析法	271
3.3.3	三种基本放大电路的性能比较	280
	本章小结	282
	参考文献	283
	思考题和习题	283
第四章	反馈放大器与正弦波振荡器	288
4.1	反馈的基本概念	288
4.2	负反馈放大器的方框图及放大倍数的一般表达式	291
4.2.1	负反馈放大器的方框图	291
4.2.2	负反馈放大器放大倍数的一般表达式	293
4.3	反馈的分类	296
4.4	负反馈对放大器性能的改善	305
4.4.1	增加放大倍数的恒定性	306
4.4.2	扩展频带	309
4.4.3	减少非线性失真	311
4.4.4	抑制干扰和噪声	312
4.4.5	对输入电阻和输出电阻的影响	313
4.5	负反馈放大器的分析方法	321
4.5.1	反馈放大器划分为基本放大器和反馈网络的原理和法则	322
4.5.2	分析计算举例	324
4.6	负反馈放大器的稳定问题	337
4.6.1	负反馈放大器的自激及稳定工作的条件	338

4.6.2 反馈放大器的补偿方法	343
4.7 负反馈放大器实例	350
4.8 正弦波振荡器的一般问题	356
4.9 RC正弦波振荡器	359
4.9.1 RC桥式振荡器	359
4.9.2 RC移相式振荡器	365
*4.9.3 RC正弦波振荡器实例	367
4.10 LC正弦波振荡器	370
4.10.1 LC并联谐振回路的选频特性	370
4.10.2 变压器反馈式LC振荡器	373
4.10.3 三点式LC振荡器	377
4.10.4 正弦波振荡器的频率稳定问题	382
4.10.5 石英晶体振荡器	384
*4.10.6 LC振荡器实例	388
本章小结	391
参考文献	394
思考题和习题	394
附录 IV 反馈放大器划分为基本放大器(\hat{A} 方框)和反馈网络(\hat{F} 方框)的原理和法则	406
第五章 功率放大器	412
5.1 功率放大器的一般问题	412
5.2 互补对称功率放大电路	415
5.2.1 工作在乙类的基本互补对称电路	415
5.2.2 工作在甲乙类的互补对称电路	423
5.2.3 采用一个电源的互补对称电路	424
5.2.4 复合互补对称电路	428
5.3 变压器耦合功率放大器	433
5.3.1 变压器耦合单边功率放大器	435
5.3.2 变压器耦合推挽功率放大器	440
5.4 功率管的散热问题	444
*5.5 半导体三极管的二次击穿	448
本章小结	450
参考文献	451

思考题和习题	451
第六章 集成运算放大器及其应用	455
6.1 运算放大器的基本概念	455
*6.2 运算放大器的级间耦合方式与零点漂移	458
6.2.1 级间耦合方式	459
6.2.2 零点漂移	461
6.3 差动式放大器	464
6.3.1 基本差动放大器	464
6.3.2 具有恒流源的差动式放大器	475
6.3.3 差动式放大器的传输特性	481
6.4 集成运算放大器	483
6.4.1 模拟集成电路的特点	483
6.4.2 集成运算放大器的典型电路	485
6.5 集成运算放大器的主要技术指标	499
6.5.1 集成运算放大器主要技术指标的含义	499
6.5.2 集成运算放大器主要技术指标的测量	504
6.6 运算放大器的两种基本电路	507
6.6.1 反相放大器	508
6.6.2 同相放大器	510
6.7 集成运算放大器的线性应用	513
6.7.1 加法器	514
6.7.2 减法器	515
6.7.3 积分器	517
6.7.4 微分器	520
6.7.5 对数放大器	525
6.7.6 线性整流器	527
6.7.7 有源滤波器	528
6.7.8 正弦波信号产生器	535
6.8 集成运算放大器的非线性应用	536
6.8.1 比较器	537
6.8.2 非正弦波信号产生器	539
*6.9 集成运算放大器使用时的一些实际问题	556
本章小结	567

参考文献	568
思考题和习题	568
附录 VI-1 几种常用的集成运放简介	581
1. 8FC1 低增益集成运算放大器	581
2. 8FC2 中增益集成运算放大器	582
3. BG305 高增益集成运算放大器	583
4. 8FC3 高增益集成运算放大器	587
附录 VI-2 几种集成运放主要参数表	585
第七章 直流稳压电源	589
7.1 单相桥式整流电路	590
7.2 滤波电路	593
7.2.1 电容滤波电路	594
7.2.2 其他滤波电路	598
*7.2.3 倍压整流电路	602
7.3 稳压管及简单稳压电路	603
7.3.1 硅稳压管	603
7.3.2 稳压管稳压电路的工作原理及参数选择	607
7.4 带放大器的串联反馈式稳压电路	610
7.4.1 电路的组成及稳压原理	610
7.4.2 提高稳压电源性能的措施	613
7.4.3 稳压电源的质量指标	616
*7.4.4 直流稳压电源实例	621
7.5 集成稳压电源	622
本章小结	625
参考文献	626
思考题和习题	626
第八章 晶闸管电路	632
8.1 晶闸管	632
8.1.1 晶闸管的结构和工作原理	632
8.1.2 晶闸管的伏安特性	635
8.1.3 晶闸管的主要定额	636
8.2 可控整流电路	643
8.2.1 单相半波可控整流电路	643