

高等学校试用教材

电子技术基础

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

内 容 简 介

本书是华中工学院自动控制系工业电子学教研室近年来在总结教学经验和学习国内外较新的教材和文献资料的基础上编写而成的。本书分上、中、下三册出版。上册包括：放大电路基础，频率特性与多级放大，场效应管放大器以及反馈放大器与正弦波振荡器；中册包括：功率放大器，运算放大器，直流稳压电源和电子电路的计算机辅助分析；下册包括：脉冲数字电路，触发器与多谐振荡器，基本数字部件，场效应管数字集成电路和晶闸管电路。

书中通过各种半导体器件及其电路，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和习题。

本书可供高等学校电力工程专业和与其相近的专业作为“电子技术基础”课程的试用教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

高等学校试用教材

电 子 技 术 基 础

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 印 刷 一 厂 印 装

*

开本 787×1092¹/₃₂ 印张 14 千字 337,000

1979年3月第1版 1979年9月第1次印刷

印数 00,001—105,000

书号 15012·0140 定价 1.15 元

序 言

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的规律。

“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”和“脉冲数字电路基础”两章中,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。“电子电路的计算机辅助分析”一章,各校可根据自己的条件,酌情处理。

(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

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_v	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_E	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 ^①
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

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

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
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 ^①
Tr	变压器
t	时间
V, v	电压 ^②

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前页脚注①类同。

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
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
φ	相角
$^*\Omega$	电阻的单位(欧姆)
ω	角频率

* 本书中表示单位的外文符号均为正体,电阻(Ω)因缺字,采用斜体代替。

目 录

第一章 放大电路基础

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与能带	2
1.1.3 本征半导体、空穴及其导电作用	7
1.1.4 杂质半导体	10
1.1.5 半导体中载流子的漂移和扩散	15
1.2 PN 结及其单向导电性.....	19
1.2.1 PN 结的形成	20
1.2.2 PN 结的单向导电性	24
1.2.3 非平衡载流子的注入	28
1.2.4 PN 结的反向击穿	30
1.3 半导体二极管	32
1.3.1 二极管的结构	32
1.3.2 二极管的伏安特性	33
1.3.3 二极管参数	35
*1.3.4 国产半导体器件的符号和命名方法	37
1.4 二极管的基本电路.....	38
1.4.1 简单二极管电路及其图解分析	39
1.4.2 二极管电路的微变等效电路分析	41
1.5 半导体三极管.....	44
1.5.1 三极管结构简介	45
1.5.2 三极管的电流分配与放大原理	47
1.5.3 三极管的特性曲线	54
1.5.4 三极管的主要参数	60
1.6 放大电路的图解分析法	71
1.6.1 静态工作情况分析	75
1.6.2 动态工作情况分析	77
1.7 放大器的微变等效电路分析法	91

1.7.1 半导体三极管的混合参数及其等效电路	91
1.7.2 用 h 参数等效电路分析共射极基本放大电路	103
1.8 放大器的工作点稳定问题	113
1.8.1 温度对工作点的影响	113
1.8.2 射极偏置电路	119
1.8.3 集电极-基极偏置电路	129
1.9 单级放大器的设计	138
1.10 共集电极电路——射极输出器	143
1.11 共基极电路	153
1.12 恒流源电路	158
本章小结	162
参考文献	164
思考题和习题	164

第二章 频率特性与多级放大器

2.1 放大器频率响应的概念	174
2.2 RC 耦合单极放大器的低频特性	178
2.2.1 隔直电容的影响	180
2.2.2 射极旁路电容的影响	183
2.3 单级放大器的高频特性	190
2.3.1 半导体三极管的频率参数	190
2.3.2 半导体三极管的混合 π 型等效电路	193
2.3.3 单级放大器的混合 π 型简化电路	200
2.4 单级放大器的瞬态特性	204
2.4.1 阶跃电压作为放大器的基本信号	205
2.4.2 单级放大器的阶跃响应	206
2.5 RC 耦合多级放大器	212
2.5.1 多级放大器的一般问题	212
2.5.2 RC 耦合多级放大器电路	213
2.5.3 电压放大倍数的计算	214
2.6 多级放大器的频率特性	219
2.6.1 多级放大器的低频特性	219
2.6.2 多级放大器的高频特性	220

*2.7 多级放大器的通频带	225
2.7.1 通频带与级数之间的关系	225
2.7.2 采用组合电路增宽频带	228
*2.8 多级放大器中的干扰和噪声	230
2.8.1 放大器中的噪声	231
2.8.2 放大器中的干扰	234
*2.9 放大器的安装工艺与调试	239
本章小结	243
参考文献	245
思考题和习题	246

第三章 场效应管放大器

3.1 结型场效应管	250
3.1.1 结型场效应管的结构和基本工作原理	251
3.1.2 结型场效应管的特性曲线及参数	254
3.2 绝缘栅场效应管	263
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	264
3.2.2 N 沟道增强型绝缘栅场效应管的特性曲线及参数	267
3.2.3 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管的工作特点	272
3.2.4 各种场效应管的特性比较	273
3.2.5 场效应管的特点及使用注意事项	276
3.3 场效应管放大器	277
3.3.1 场效应管的直流偏置电路及静态分析	277
3.3.2 场效应管放大器的微变等效电路分析法	283
3.3.3 三种基本放大电路性能比较	293
3.3.4 场效应管放大器实例	293
本章小结	297
参考文献	298
思考题和习题	298

第四章 反馈放大器与正弦波振荡器

4.1 反馈的基本概念与分类	302
4.1.1 反馈的基本概念	302
4.1.2 反馈的分类	303

4.2	负反馈放大器的方框图及放大倍数的一般表示式	309
4.2.1	负反馈放大器的方框图	309
4.2.2	负反馈放大器放大倍数的一般表示式	311
4.3	负反馈对放大器性能的改善	316
4.3.1	增加放大倍数的恒定性	316
4.3.2	扩展频带	318
4.3.3	减少非线性失真	321
4.3.4	抑制干扰和噪声	323
4.3.5	对输入电阻和输出电阻的影响	323
4.4	负反馈放大器放大倍数的近似估算	325
	小结	332
*4.5	负反馈放大器输入电阻及输出电阻的计算	333
4.5.1	输入电阻的计算	334
4.5.2	输出电阻的计算	337
*4.6	负反馈放大器的分析方法	343
4.6.1	电压串联负反馈电路	345
4.6.2	电流串联负反馈电路	350
4.6.3	电压并联负反馈电路	353
4.6.4	电流并联负反馈电路	356
	小结	359
*4.7	负反馈放大器的稳定问题	360
4.7.1	负反馈放大器的自激及稳定工作的条件	360
4.7.2	反馈放大器的补偿方法	366
4.8	正弦波振荡器的一般问题	373
4.9	RC 正弦波振荡器	376
4.9.1	RC 桥式振荡器	376
*4.9.2	RC 移相式振荡器	383
*4.9.3	RC 正弦波振荡器实例	387
4.10	LC 正弦波振荡器	391
4.10.1	LC 并联谐振回路的选频特性	391
4.10.2	变压器反馈式 LC 振荡器	395
4.10.3	其他 LC 振荡器	398

*4·10·4	LC 振荡器元件参数的选择	402
4·10·5	正弦波振荡器的频率稳定问题	404
4·10·6	石英晶体振荡器	406
*4·10·7	LC 振荡器实例	410
本章小结	413
参考文献	416
思考题和习题	416
附录一	反馈放大器划分为基本放大器(A 方框)和反馈网络 (F 方框)的原理和法则	426
附录二	正弦波振荡器的频率稳定性	431

第一章 放大电路基础

本章在复习物理学中的半导体物理基础上,首先介绍晶体的共价键结构和能带图,然后介绍本征半导体以及 N 型、 P 型半导体的导电性能。接着讨论 PN 结的物理特性和单向导电原理,半导体二极管的伏安特性、参数及基本电路分析。在讨论二极管的基础上,研究三极管的工作原理、特性和参数。作为半导体电路分析的基本工具,重点讨论了共射极基本放大电路的图解分析法和等效电路分析法,并介绍了温度稳定电路,随后通过实例说明单级放大电路的工程设计方法。对于放大电路的其他两种基本组态——共集电极电路和共基极电路,也作了分析,并对三种组态的性能作了比较。最后,介绍了在实践中用得较多的恒流源电路。

1.1 半导体的物理基础

半导体器件是近代电子学的重要组成部分,由于半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小、功率转换效率高等优点而得到广泛的应用。特别是集成电路的出现,使电子装置在微型化和可靠性方面向前推进了一大步。

在研究半导体器件的特性与电路之前,我们先对半导体的物理基础作一简要的复习。

1.1.1 导体、半导体和绝缘体

在自然界中,存在着许多不同的物质,有的物质很容易传导电流,称为导体。金属一般都是导体,如铜、铝、银等。也有的物质几乎不传导电流,称为绝缘体,如橡皮、陶瓷、塑料和石英等。此外还有一类物质,它的导电性能介于导体和绝缘体之间,我们称它为

半导体,例如锗、硅、硒、砷化镓,一些硫化物和氧化物等。除了在导电能力方面区分导体、半导体和绝缘体外,半导体还具有许多不同于其他物质的特点:

1. 半导体对价电子的束缚较弱,当半导体受到外界光和热的刺激时,它便释放价电子,从而使导电能力发生显著的变化,这种对外界的敏感性使半导体具有多种用途,如制成各种光敏元件和热敏元件。

2. 在纯净的半导体中加入微量的杂质,则半导体的导电能力就会有急剧的增加,这是半导体最突出的性质。利用这个特性,可制造出各种不同的半导体器件。

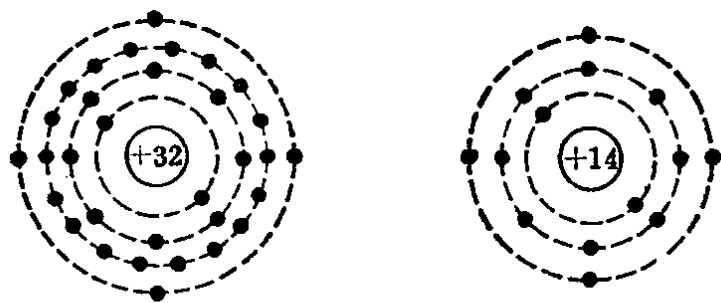
以上提出半导体的特点说明半导体的导电机构必然不同于其它物质,为了理解这些特点,我们必须了解半导体的结构与能带分布情况。

1.1.2 半导体的共价键结构与能带

1. 原子结构和共价键

在近代电子学中,用得最多的半导体是锗和硅,它们的原子结构见图 1.1.1(a)。锗和硅的外层电子都是 4 个,所以锗和硅都是四价元素。外层电子受原子核的束缚力最小,称为价电子。物质的化学性质是由最外层的价电子数决定的,半导体的导电性质也与价电子有关,因此价电子是我们研究的对象,一般画图时,只用图 1.1.1 (b)所示的简化模型。

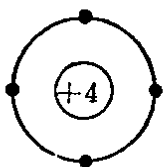
现在所用的半导体材料都要制成晶体。就是说这些物质的原子是按一定的规则整齐地排列着,组成某种形式的晶体点阵。例如锗和硅原子就是按四角形系统组成晶体点阵,即每个原子是处于正四面体中心,而有四个其它原子位于四面体的顶点,如图 1.1.2 所示。硅或锗原子组成晶体后,原子之间靠得很近,原来分属于每个原子的价电子就要受到相邻原子的影响而使价电子为两个原子所“共有”了,这样每个价电子个别的轨道



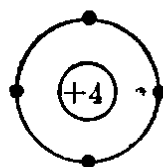
锗(Ge)原子

硅(Si)原子

(a)



锗(Ge)原子



硅(Si)原子

(b)

图 1·1·1 锗和硅原子结构模型

(a) 原子结构图 (b) 简化模型

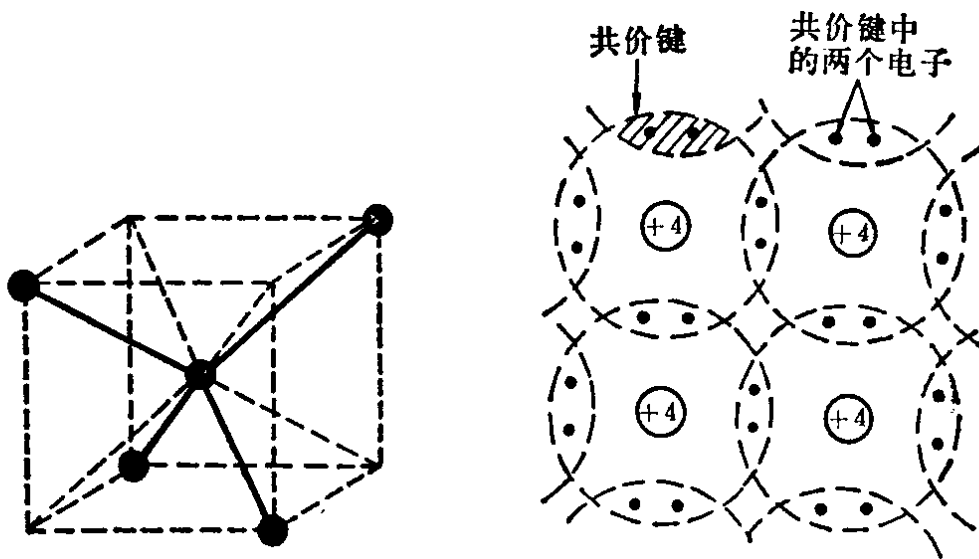


图 1·1·2 硅和锗的晶体结构

图 1·1·3 硅和锗晶体共价键结构

就变成两个相邻原子之间两个价电子的公共的轨道，形成了晶体中“共价键”结构。图 1·1·3 表示硅或锗晶体构成共价键的示意图，图中用 +4 表示原子核和除价电子外的内层电子所组成的惯性