

第二版

电工技术与电子技术

下 册

王鸿明 编

清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

第二版

电工技术与电子技术

下册

王鸿明 编

清华大学出版社

Beihang University Press

电工技术与电子技术

(下册)第二版

王鸿明 编

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书上、下册的第一版分别于1990年、1991年出版,1995年获第三届国家教委普通高等学校优秀教材二等奖。本书自出版至今已有八年,为适应现代电工学教学的需要,对第一版作了修改,出版第二版。

本书(第二版)根据原教委高教司1995年颁布的高等学校工科本科基础课程“电工技术(电工学Ⅰ)”、“电子技术(电工学Ⅱ)”课程教学基本要求编写的,仍分为上、下两册。上册是“电工技术”,内容有电路分析、交流铁心线圈与变压器、电动机、继电器-接触器控制和可编程序控制器(PLC)等内容;下册是“电子技术”,内容有模拟电子、数字电子、电力电子等。

本书凝聚了作者在清华大学多年从事电工学教学的丰富经验,寓教于学,文字叙述详细,概念阐述清楚,便于自学。在内容上强、弱电并重,除满足教学基本要求外还适当地增加了一些拓宽知识的内容,适用的专业面广,能满足现代电工学教学的需要。

本书(下册)可作为高等工科院校非电类专业本科生、专科生学习电子技术的教材或参考书,也可作为非电类工程技术人员了解有关电子知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与电子技术下册/王鸿明编. —2版. 北京:清华大学出版社,2000
ISBN 7-302-03996-8

I. 电… II. 王… III. ①电工技术②电子技术 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 44226 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市清华园胶印厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:850×1168 1/32 印张:15.875 字数:413 千字

版 次:2000 年 9 月第 2 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-03996-8/TM·31

印 数:0001~5000

定 价:20.00 元

第二版前言

《电工技术与电子技术》上、下册(第一版)分别于1990年、1991年出版,1995年获第三届全国国家教委普通高等学校优秀教材二等奖。自出版至今已有八年,在这八年里,我们国家的科学技术工作有了新进展,取得了新成绩,相应地对基础课教学提出了新要求。为了能够适应现代电工学教学的需要,在清华大学出版社的支持下,作者对《电工技术与电子技术》上册已作了修改,出版了第二版,现又对下册的第一版进行修订。

第二版的《电工技术与电子技术》下册的内容满足原教委高教司1995年颁布的高等学校工科本科基础课程“电子技术(电工学Ⅱ)”课程教学基本要求。第二版与第一版相比,内容的变动与调整如下:

(1) 半导体二极管、三极管的特性与模型在第一版中分别在两章内进行介绍,现将它们合并在一章内,并简化了分析过程。

(2) 将分立元件的放大电路集中为一章,提高了电路分析的起点,降低了计算要求,着重于概念的理解和应用,为学习集成运放打下基础。

(3) 由于集成功放和集成稳压电源的广泛应用,将集成功放、集成稳压电源与集成运算放大器合为一章,称为模拟集成电路及其应用。

(4) 为加强数字电子技术,将第一版中的第13章数字电路分成4章,即组合逻辑电路;时序逻辑电路;大规模集成电路和脉冲

信号的产生与整形。使数字电路内容的讲述更加充实。

(5) 考虑到电力电子技术的发展及广泛应用,对第一版中的硅晶体闸流管应用电路,扩展了内容,并增加了新型全控电力半导体元件及脉宽调制技术,使原来局限于晶闸管及其应用的内容加以扩展,并改为电力电子技术。

(6) 考虑到课程分工,将电工仪表及仪器的应用这部分内容安排在实验教学中,故将第一版的第 15 章中电工、电子测量删掉,而该章中与模拟电子、数字电子等有关的内容分别移到第二版的相应章节内讲述。

(7) 对第一版原有各章的习题进行了修改和补充,增加了习题的数量,便于读者选择。

本书第二版比第一版,在内容与讲述方式上均做了大量的修改,目的是使本教材能更好地适应现代电工学教学的需要。由于作者知识与能力所限,修改后的第二版一定还存在不足和问题,望读者批评指正。

本书第二版在修订过程中得到宗孔德教授的关心和支持,宗孔德教授并对本书的部分章节提出了修改意见,作者对宗孔德教授表示衷心的感谢。

作 者

1999 年 9 月

前 言

本教材是根据高等工科大学电工学课程指导小组审定的电工技术、电子技术课程教学基本要求编写的。教材分为上、下册。上册是电工技术,内容包括直流电路、正弦电流电路、三相电路、非正弦周期电流电路、过渡过程、变压器、电动机、继电器-接触器控制以及安全用电等。下册是电子技术,内容包括半导体二极管及应用;三极管、三极管基本放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、稳压电源;集成运算放大电路;数字集成电子电路;晶闸管应用电路;电工、电子测量等。

本教材在编写过程中除了注意到要满足基本要求外,还根据编者多年从事电工学教学工作的实践并吸取我校有关专业老师的意见,对现有教材作了研究后,适当地增加了一些内容。编者认为,这些内容在实用上或理论上将有助于使用这本教材的人士更好地理解课程的基本要求并为进一步学习电工、电子技术打下基础。与现有教材相比,本书增加的内容有:受控源,转移函数,波特图,含有两个电容元件的一阶 $R-C$ 电路过渡过程的分析等。这些内容的引入将对有关的电子电路的学习带来便利。此外,为适应“机、电一体化”发展方向的需要,本书适当增强了电动机的使用及大功率电子技术方面的内容。

在电子技术部分,以主要的篇幅介绍线性及数字集成电子电路的原理及使用,并配合适当的应用举例。所有这些将使本书所适用的专业面更广,并能为有志于进一步学习电工、电子技术的人士

打下良好的基础。

本书在编写过程中得到宗孔德教授的指点和帮助,他详细地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见和建议。这些意见和建议对于提高这本教材的质量起了很好的作用,编者在这里向宗孔德老师表示衷心的感谢。

本书在编写过程中还得到清华大学电机工程系应用电子学及电工学教研组领导及许多同志的关心和支持,在此谨向他们致以衷心的感谢。

限于本人的水平,本书中不妥和错误之处在所难免,望读者及同行老师们给予批评指正。

作 者

1989 年 5 月

目 录

第 10 章 半导体二极管、三极管的特性与模型	1
10.1 P-N 结	1
10.1.1 本征半导体与掺杂半导体	1
10.1.2 P-N 结	3
10.2 半导体二极管	5
10.2.1 半导体二极管的结构	5
10.2.2 半导体二极管的伏-安特性	6
10.2.3 二极管的主要参数	9
10.2.4 含二极管电路的分析与二极管的模型	10
10.2.5 一些特殊二极管	18
10.3 双极型晶体管	22
10.3.1 晶体管的电流控制作用	23
10.3.2 晶体管的特性曲线	25
10.3.3 晶体管的主要参数	29
10.3.4 晶体管的等效电路(模型)	30
10.4 场效应管	34
10.4.1 结型场效应管	35
10.4.2 绝缘栅型场效应管	39
习题	45
 第 11 章 基本放大电路	 51

11.1	阻容耦合放大电路	51
11.1.1	共发射极电路的组成与元件的作用	52
11.1.2	静态分析	54
11.1.3	动态分析	58
11.1.4	阻容耦合的场效应管共源极放大电路	64
11.2	差动放大电路	67
11.2.1	简单直接耦合放大电路存在的问题	67
11.2.2	基本差动放大电路	68
11.2.3	静态工作点稳定的差动放大电路	74
11.2.4	高输入电阻的差动放大电路	80
11.3	功率放大电路	82
11.3.1	射极输出器	82
11.3.2	互补对称功率放大电路	87
11.3.3	其他型式的互补对称功率放大电路	92
11.4	放大电路的频率特性——通频带	94
11.5	负反馈及其在放大电路中的应用	96
11.5.1	反馈的基本概念	96
11.5.2	负反馈放大器电压放大倍数的计算方法	107
11.5.3	负反馈对放大器性能的影响	109
	习题	110

第 12 章	模拟集成电路及其应用	123
12.1	概述	123
12.1.1	集成运放简介	123
12.1.2	集成运放的技术指标	127
12.1.3	集成运放的特点	129
12.2	集成运放的开环应用与闭环应用	132

12.2.1	开环应用	132
12.2.2	闭环应用	133
12.3	信号运算电路	138
12.3.1	反相放大电路与反相求和运算电路	138
12.3.2	同相放大电路与同相跟随器	144
12.3.3	差动放大电路	146
12.3.4	积分和微分运算电路	153
12.3.5	对数和指数运算电路	158
12.4	有源滤波器	161
12.4.1	一阶低通有源滤波器	162
12.4.2	二阶低通有源滤波器	163
12.4.3	滤波器的幅频特性	164
12.5	电压比较器	166
12.5.1	单限电压比较器	166
12.5.2	迟滞比较器	168
12.5.3	窗口比较器	174
12.6	信号发生电路	176
12.6.1	正弦波信号发生器	176
12.6.2	非正弦波信号发生器	183
12.7	压控振荡器	191
12.8	集成功率放大器和集成电路稳压电源	195
12.8.1	集成功率放大器	195
12.8.2	集成电路稳压电源	198
	习题	205
第 13 章	组合逻辑电路	220
13.1	数字电路概述	220
13.1.1	模拟量与数字量	220

13.1.2	数字电路举例	221
13.2	基本逻辑门电路	223
13.2.1	与逻辑关系和与门	223
13.2.2	或逻辑关系和或门	225
13.2.3	非逻辑关系和非门	226
13.3	逻辑代数	227
13.3.1	与、或、非门的逻辑表达式	227
13.3.2	逻辑代数的基本规律(定律)	229
13.3.3	基本定理	230
13.4	数字集成门电路	231
13.4.1	TTL 与非门	232
13.4.2	MOS 与非门	235
13.4.3	或非门	237
13.4.4	异或门	239
13.4.5	数字集成门电路的特性	240
13.4.6	集成门电路逻辑功能扩展	247
13.5	组合逻辑电路	254
13.5.1	逻辑函数	254
13.5.2	逻辑函数化简	260
13.5.3	组合逻辑电路设计	264
13.6	数字集成组合逻辑电路	266
13.6.1	编码器	266
13.6.2	译码器	273
13.6.3	数据选择器	281
13.6.4	数值比较器	283
13.6.5	加法器	287
13.7	竞争与冒险	290
	习题	291

第 14 章 时序逻辑电路	296
14.1 触发器	296
14.1.1 RS 触发器	297
14.1.2 D 触发器	303
14.1.3 JK 触发器	310
14.1.4 T(或 T') 触发器	315
14.2 寄存器	316
14.2.1 基本寄存器	316
14.2.2 移位寄存器	317
14.2.3 集成电路移位寄存器	321
14.2.4 应用举例	322
14.3 计数器	323
14.3.1 二进制计数器	324
14.3.2 十进制计数器	329
14.3.3 时序逻辑电路的分析方法	333
14.3.4 数字集成电路计数器	337
14.3.5 计数器应用举例	348
习题	350
 第 15 章 大规模集成电路	 358
15.1 数字信号与模拟信号的相互转换	358
15.1.1 D/A 转换	359
15.1.2 A/D 转换	363
15.1.3 应用举例	375
15.2 存储器与可编程逻辑器件	376
15.2.1 只读存储器	376
15.2.2 可编程逻辑器件(PLD)	383

习题	387
第 16 章 脉冲信号的产生与整形	393
16.1 由门电路构成的多谐振荡器、单稳态触发器和施密特触发器	393
16.1.1 多谐振荡器	393
16.1.2 单稳态触发器	400
16.1.3 施密特触发器(鉴幅器)	403
16.2 数字集成电路(555)定时器	405
16.2.1 电路结构	405
16.2.2 用 555 构成多谐振荡器	407
16.2.3 用 555 构成单稳态触发器	411
16.2.4 用 555 构成施密特触发器	413
16.3 应用举例	414
16.3.1 简易指针式频率计	414
16.3.2 数字频率计	416
16.3.3 数字式测温电路	419
习题	422
第 17 章 电力电子技术	427
17.1 电力半导体器件	427
17.1.1 晶体闸流管(SCR)	428
17.1.2 新型全控半导体器件	435
17.2 AC/DC 变换和 DC/DC 变换	440
17.2.1 二极管整流电路(不可控整流)	440
17.2.2 晶闸管可控整流电路	447
17.2.3 脉宽调制技术(PWM)	466
17.2.4 DC/DC 变换	470

17.3 DC/AC 变换	473
习题	477
参考文献	481
部分习题答案(供参考)	482
附录 I 半导体器件型号命名法(国家标准 GB249-64)	486
附录 II 半导体集成电路型号命名法(国家标准 GB3430-82)	487
附录 III 常用逻辑符号对照表	490
附录 IV 常用总限定符号	492

第 10 章

半导体二极管、三极管的特性与模型

半导体二极管、三极管是电子电路中应用广泛的电子元件。在这一章里将介绍二、三极管的导电过程、特性和它们的模型,目的是为使用这些器件打下基础。

为了便于理解半导体元器件的特性,将简要地介绍半导体 P-N 结的一些知识。

10.1 P-N 结

半导体器件是电子电路的重要组成部分,半导体电子器件的核心是 P-N 结。

10.1.1 本征半导体与掺杂半导体

1. 本征半导体

制造半导体器件的材料主要有半导体单晶硅和半导体单晶锗。硅和锗是四价元素,成晶体状的硅(或锗)原子,其外层的四个价电子都与邻近的原子形成共价键的结构,这种由单一的硅(或锗)原子构成的晶体称为本征半导体。

本征半导体内,处于共价键上的某些价电子,接受外界能量后,可以脱离共价键的束缚成为自由电子。这时,在该电子所在位

置处就会出现一个空位,称为空穴。出现一个空穴,表示原子少了一个电子,丢失电子的原子显正电,分析时可认为空穴是一个带正电的粒子。

在本征半导体内,自由电子与空穴成对出现。自由电子带负电,空穴带正电,二者电量相等,符号相反。在半导体内,自由电子和空穴都是载运电荷的粒子,称它们为载流子。故在半导体内,参与导电的粒子有两种,即自由电子和空穴。

半导体中的自由电子,在填补空穴后,可使失去电子的原子恢复电中性,这个过程称为复合。

2. 掺杂半导体

正常情况下,本征半导体内的载流子数目较少,为增强半导体的导电性,可用掺杂的方法提高导电能力。在硅(或锗)单晶内掺入五价元素或三价元素后,可使半导体的导电性能提高。硅单晶注入五价的砷(或磷)元素后,砷原子取代某些硅原子的位置,并与其他硅原子结成共价键,与硅原子形成共价键时只需要四个价电子,五价的砷原子外层的第五个价电子很容易成为自由电子,如图 10-1 (a)所示。砷原子失去一个外层电子后,成为固定在晶格上不能移动的正离子。

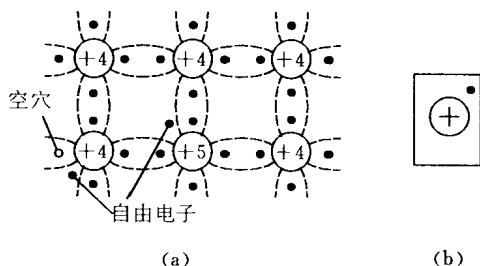


图 10-1 N 型半导体

(a) N 型半导体结构示意图; (b) N 型半导体符号