



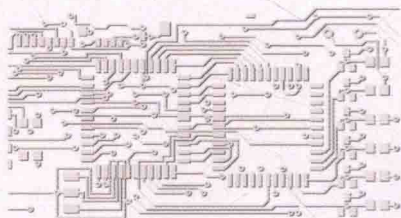
普通高等教育“十三五”规划教材

模拟电子电路简明教程

与仿真测试

MONI DIANZI DIANLU JIANMING JIAOCHENG
YU FANGZHEN CESHI

主 编 尹立强 张海燕
副主编 李景丽 韩亚峰



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



普通高等教育“十三五”规划教材

模拟电子电路简明教程与仿真测试

主 编 尹立强 张海燕
副主编 李景丽 韩亚峰



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书从模拟电子技术的基础理论知识出发,介绍了电子技术的基本概念、元器件特性及其应用电路,书中还给出了基于 Multisim 仿真软件对典型实验内容的仿真设计和分析。

全书共 10 章,主要内容包括:绪论、常用半导体器件、放大电路分析基础、场效应管及其放大电路、放大电路的频率特性、集成运算放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用、功率放大电路、直流电源。

本书可作为高等院校电气类各专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员的自学和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路简明教程与仿真测试 / 尹立强,张海燕主编. -- 北京:北京邮电大学出版社,2017.8
ISBN 978-7-5635-5145-3

I. ①模… II. ①尹…②张… III. ①模拟电路 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 165007 号

书 名: 模拟电子电路简明教程与仿真测试

著作责任者: 尹立强 张海燕 主编

责任编辑: 张珊珊

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 保定市画美凯印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 13.5

字 数: 353 千字

版 次: 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-5145-3

定价: 29.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

“模拟电子技术基础”课程是高等院校电气类专业重要的专业基础课程之一,本书在编写的过程中,本着“精选内容,打好基础,培养能力”的主旨,在结构安排、内容选取及编写时,突出了以下几点:

1. 在内容安排上,以管一路一用为主线,管为路而讲,以用为重点。各章顺序是按先器件后电路、先基础后应用的原则安排的。内容由浅入深、由简到繁、承前启后、相互呼应。

2. 力求用简练的语言循序渐进,深入浅出地让学生理解并掌握基本概念。对电子器件着重介绍其外部特性和参数,重点介绍使用方法和实际应用;对典型电路进行分析时,不作过于烦琐的理论推导;对集成电路主要介绍器件的型号、特点和应用。

3. EDA 技术在电子技术领域中得到了广泛应用,针对每章节重点内容,增加了基于仿真软件 Multisim 的仿真实训,旨在激发读者兴趣,加强读者的深入学习。

全书主要包括:第 1 章绪论、第 2 章常用半导体器件、第 3 章放大电路分析基础、第 4 章场效应管及其放大电路、第 5 章放大电路的频率特性、第 6 章集成运算放大电路、第 7 章负反馈放大电路、第 8 章集成运算放大器的应用、第 9 章功率放大电路、第 10 章直流电源。

第 1 章由张海燕编写,第 2 章、第 7 章、第 8 章由尹立强编写,第 3 章由李景丽和张海燕共同编写,第 4 章、第 5 章、第 6 章由李景丽编写,第 9 章和第 10 章由韩亚峰编写。

参与本书编写的作者均为长期工作在教学一线的老师,具有丰富的教学经验和深厚的教学感受,对学生的专业学习深度把握到位,能结合专业需求和当前知识更新、实践要求恰当地安排教学内容。本书作为教材使用时,建议安排学时为 72~80,部分章节可以作为选学或自学内容。

本书内容丰富、知识全面,将会向读者呈现一套完整的模拟电子技术知识体系。

由于作者水平有限,难免存在错漏之处,恳切希望专家和读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子技术概述	1
1.1.1 电子技术的发展历程	1
1.1.2 电子技术的发展前景	1
1.2 模拟信号和数字信号	2
1.3 电子系统及信号处理	3
1.3.1 电子信息系统的组成	3
1.3.2 电子系统中的模拟电路	3
1.3.3 电子信息系统的组成原则	4
1.4 电子技术的计算机辅助分析和设计软件	4
1.4.1 概述	4
1.4.2 Multisim 简介	4
1.5 模拟电子技术基础课程	5
1.5.1 模拟电子技术课程的特点	5
1.5.2 如何学习模拟电子技术基础课程	5
小结	6
习题	6
第 2 章 常用半导体器件	7
2.1 半导体基础	7
2.1.1 本征半导体	7
2.1.2 杂质半导体	8
2.2 PN 结	9
2.2.1 PN 结的形成	9
2.2.2 PN 结特性	10
2.3 半导体二极管	11
2.3.1 二极管的结构及特性	11
2.3.2 二极管的主要参数	12
2.3.3 二极管的等效电路	13

2.3.4 稳压二极管	14
2.3.5 发光二极管	15
2.4 晶体管	16
2.4.1 晶体管的结构及类型	17
2.4.2 晶体管的电流放大作用	17
2.4.3 晶体管的共射特性曲线	20
2.4.4 晶体管的主要参数	21
2.4.5 温度对晶体管的影响	22
仿真实训	24
仿真实训 1 二极管特性的 Multisim 仿真测试	24
仿真实训 2 晶体管输出特性的 Multisim 仿真测试	25
小结	26
习题	27
第 3 章 放大电路分析基础	31
3.1 放大的概念和放大电路的主要性能指标	31
3.1.1 放大的概念	31
3.1.2 放大电路的主要性能指标	32
3.2 基本共射放大电路的工作原理	34
3.2.1 基本共射放大电路的组成	34
3.2.2 设置静态工作点的必要性	35
3.2.3 基本共射放大电路的工作原理	35
3.3 放大电路的分析方法	36
3.3.1 直流通路和交流通路	36
3.3.2 阻容耦合共射放大电路	37
3.3.3 共射放大电路的静态分析	38
3.3.4 共射放大电路的动态分析	39
3.4 晶体管单级放大电路的其他两种基本形式	44
3.4.1 基本共基放大电路	45
3.4.2 基本共集放大电路	46
3.5 多级放大电路	48
3.5.1 多级放大电路的耦合方式	49
3.5.2 多级放大电路的动态特性	50
仿真实训	51
仿真实训 1 静态工作点对放大电路的影响	51
仿真实训 2 放大电路电压放大倍数的测量	53
仿真实训 3 放大电路最大不失真输出电压的测量	54
小结	54
习题	55

第 4 章 场效应管及其放大电路	59
4.1 场效应管	59
4.1.1 结型场效应管	59
4.1.2 绝缘栅型场效应管	63
4.1.3 场效应管的主要参数和特点	65
4.2 场效应管放大电路	67
4.2.1 场效应管放大电路的直流偏置方式	67
4.2.2 场效应管共源基本放大电路	69
4.2.3 场效应管共漏基本放大电路	70
仿真实训	71
仿真实训 1 场效应管放大电路动态参数测试	71
仿真实训 2 U_{GSQ} 对共源放大电路电压放大倍数的影响	72
小结	73
习题	74
第 5 章 放大电路的频率特性	77
5.1 频率响应的概念	77
5.1.1 放大电路的频率响应	77
5.1.2 对数频率特性曲线——波特图	78
5.2 单级放大器的高频响应	79
5.2.1 晶体三极管高频等效模型	79
5.2.2 单级共发射极放大电路的高频响应	82
5.3 多级放大电路的频率响应	87
5.3.1 多级放大电路频率响应的定性分析	87
5.3.2 多级放大电路截止频率的估算	89
仿真实训	90
静态工作点稳定电路频率响应的 Multisim 仿真分析	90
小结	92
习题	93
第 6 章 集成运算放大电路	96
6.1 集成运算放大电路概述	96
6.1.1 集成运放的组成及各部分的作用	96
6.1.2 集成运放的电压传输特性	97
6.1.3 集成运放的性能指标	97
6.1.4 集成运放的分类	99
6.2 差分放大电路	100
6.2.1 差分放大电路的工作原理	100
6.2.2 具有恒流源的差分放大电路	101

6.2.3 差分放大电路的差模传输特性	103
6.2.4 差分放大电路的输入、输出方式	103
6.3 集成运放中的电流源电路	105
6.3.1 镜像电流源	105
6.3.2 比例电流源	106
6.3.3 微电流源	106
仿真实训	107
差分放大电路的仿真测试	107
小结	110
习题	111
第7章 负反馈放大电路	113
7.1 反馈的概念及判断方法	113
7.1.1 反馈的基本概念	113
7.1.2 反馈的判断方法	114
7.2 负反馈放大电路的四种基本组态	116
7.2.1 反馈组态的判断	117
7.2.2 四种组态负反馈放大电路	118
7.3 深度负反馈放大倍数的分析	121
7.3.1 负反馈放大电路的一般表达式	121
7.3.2 深度负反馈的实质	122
7.3.3 基于反馈系数的放大倍数分析	122
7.4 负反馈对放大电路性能的影响	125
7.4.1 对放大倍数的影响	125
7.4.2 对输入、输出电阻的影响	126
7.4.3 对通频带的影响	127
7.4.4 对非线性失真的影响	128
7.4.5 放大电路中引入负反馈的一般原则	129
7.5 负反馈放大电路的稳定性	129
7.5.1 产生自激振荡的原因和条件	130
7.5.2 负反馈放大电路稳定性的分析	130
7.5.3 负反馈放大电路稳定性的判断	131
7.5.4 消除自激振荡的方法	132
仿真实训	134
仿真实训1 负反馈对静态工作点稳定性影响的 Multisim 仿真测试	134
仿真实训2 负反馈对放大倍数稳定性影响的 Multisim 仿真测试	135
小结	137
习题	139

第 8 章 集成运算放大器的应用	142
8.1 集成运算放大器概述	142
8.1.1 集成运算放大器的理想化条件	142
8.1.2 集成运算放大器的工作区	142
8.2 集成运算放大器的基本运算电路	144
8.2.1 比例运算电路	144
8.2.2 加减运算电路	147
8.2.3 积分运算电路和微分运算电路	150
8.2.4 对数运算电路和指数运算电路	151
8.2.5 乘法运算电路和除法运算电路	152
8.3 有源滤波器	153
8.3.1 滤波器的基础知识	153
8.3.2 低通有源滤波器	154
8.3.3 高通有源滤波器	157
8.3.4 有源带通滤波器	157
8.3.5 有源带阻滤波器	159
8.4 电压比较器	160
8.4.1 电压比较器的传输特性	160
8.4.2 单限电压比较器	161
8.4.3 滞回比较器	163
8.4.4 窗口比较器	165
仿真实训	165
仿真实训 1 由集成运放组成的反相比例运算电路特性测试	165
仿真实训 2 滞回比较器电压传输特性的测试	167
小结	168
习题	169
第 9 章 功率放大电路	173
9.1 功率放大电路的类型	173
9.1.1 按工作状态分类	173
9.1.2 按工作信号频段分类	173
9.2 乙类推挽互补对称功率放大电路	174
9.2.1 OCL 电路组成和工作原理	174
9.2.2 OCL 电路性能分析	175
9.2.3 单电源互补对称电路	176
9.3 甲乙类互补对称功率放大电路	177
9.3.1 交越失真	177
9.3.2 实用甲乙类互补对称功率放大电路	178
9.3.3 准互补推挽电路	179

9.3.4 功率管保护	180
仿真实训	181
仿真实训 1 消除互补输出级交越失真方法的仿真分析	181
仿真实训 2 OCL 电路输出功率和效率的仿真测试	183
小结	184
习题	184
第 10 章 直流电源	188
10.1 整流电路	189
10.1.1 半波整流电路	189
10.1.2 全波整流电路	189
10.1.3 桥式整流电路	190
10.2 滤波电路	191
10.2.1 电容滤波器	191
10.2.2 其他形式的滤波电路	193
10.3 倍压整流电路	195
10.3.1 二倍压整流电路	195
10.3.2 多倍压整流电路	195
10.4 稳压电路	196
10.4.1 硅稳压管稳压电路	196
10.4.2 串联型稳压电路	197
仿真实训	198
三端稳压器 W7805 稳压性能的仿真分析	198
小结	200
习题	200
参考文献	206

第1章 绪 论

教学目标与要求:

- 了解电子技术的概念和发展状况
- 理解模拟信号和数字信号
- 掌握电子系统的组成及各部分的作用
- 了解设计电子系统时应遵循的原则
- 了解电子技术的仿真分析工具

1.1 电子技术概述

电子技术是根据电子学的原理,运用电子元器件设计和制造某种特定功能的电路以解决实际问题的科学,电子技术是对电子信号进行处理的技术,处理的方式主要有:信号的发生、放大、滤波、转换。电子技术包括模拟(Analog)电子技术和数字(Digital)电子技术。电子技术研究的是电子器件及其电子器件构成的电路的应用,而半导体器件是构成各种分立、集成电子电路最基本的元器件。

1.1.1 电子技术的发展历程

电子技术是19世纪末20世纪初开始发展起来的新兴技术,20世纪发展最迅速,应用最广泛,成为近代科学技术发展的一个重要标志。在18世纪末和19世纪初的这个时期,由于生产发展的需要,在电磁现象方面的研究工作发展得很快。1895年,H. A. Lorentz假定了电子存在。1897年,J. J. Thompson用试验找出了电子。1904年,J. A. Fleming发明了最简单的二极管(diode或valve),用于检测微弱的无线电信号。1906年,L. D. Forest在二极管中安上了第三个电极(栅极,grid)发明了具有放大作用的三极管,这是电子学早期历史中最重要里程碑。1948年美国贝尔实验室的几位研究人员发明晶体管。1958年集成电路的第一个样品见之于世。集成电路的出现和应用,标志着电子技术发展到了一个新的阶段。

1.1.2 电子技术的发展前景

科技的日新月异,使得电子技术的广泛应用和快速发展成为可能。电子技术在以后的日

子,有其广泛的发展前景。

1. 智能化和人性化

电子技术的智能化,是电子技术具有类似人的智能,可以依据一定的程序,进行有效的判断并能做出决定。随着模糊控制、纳米技术等人工智能技术的快速发展和推广,电子技术产品的智能化将成为主要特性;智能化的发展使得电子技术可以更加的人性化。人性化是电子技术的一个特性,人是电子技术产品的使用者,所以赋予电子技术需要满足人性化的需求。因此,电子技术产品不仅要具有最优性能,还要加强人们对色彩、造型、舒适度等方面的研究,满足人们对电子技术产品人性化需求。

2. 集成化

电子系统集成系统,应该包含电子子系统和电力应用系统两个部分。其中,电力电子系统的集成在于建立一系列的标准芯片或者是模块,通过集成满足用户需要的智能化应用系统。通过电子技术的集成,使得电子技术产品结构优化,性能达到最大化。

3. 网络化

随着网络成为人们日常生活中非常普及的一种工具,远程控制和监控技术得到迅速发展,从而使电子技术也顺应网络化的发展趋势,网络化特性更加的明显。综上所述,新技术的快速发展,使电子技术在不断地发展,这也导致电子技术在人们生活中更多地应用,满足人们的需求,也促进社会建设和经济发展。可以断言,电子技术必将成为信息产业与传统产业之间的重要环节和桥梁,也必将为大幅度节省、降低材料损耗、提高生产效率、加速经济发展提供重要的技术支撑。

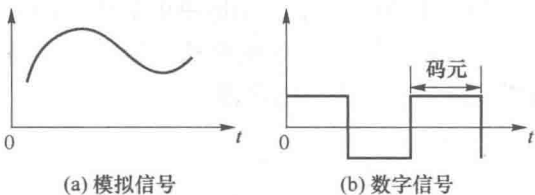
1.2 模拟信号和数字信号

信号是反映消息的物理量,例如工业控制中的温度、压力、流量,自然界的声信号等,因而信号是消息的表现形式。由于非电的物理量可以通过各种传感器较容易地转换成电信号,而电信号又容易传送和控制,所以电信号成为应用最广的信号。

电信号是指随着时间而变化的电压或电流,因此在数学描述上可将它表示为时间的函数,并可画出其波形。信息通过电信号进行传送、交换、存储、提取等。电子电路中的信号均为电信号,一般也简称为信号。在电子线路中将信号分为模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号是指信息参数在给定范围内表现为连续的信号。或在一段连续的时间间隔内,其代表信息的特征量可以在任意瞬间呈现为任意数值的信号,其信号的幅度,或频率,或相位随时间作连续变化,如广播的声音信号,或图像信号等。典型模拟信号如图 1-1(a)所示。



2. 数字信号

数字信号指幅度的取值是离散的,幅值表示被限制在有限个数值之内。二进制码就是一种数字信号。二进制码受噪声的影响小,易于由数字电路进行处理,所以得到了广泛的应用。典型的数字信号如图 1-1(b)所示。

图 1-1 信号

1.3 电子系统及信号处理

1.3.1 电子信息系统的组成

如图 1-2 所示为典型的电子信息系统的示意图。

系统首先要采集信号,即进行信号的提取。这些信号来源于各种物理量的传感器、接收器或者来源于信号发生器。采集到的信号必须经过信号的预处理和加工,然后再送至驱动执行部件执行。或由 A/D 转换器转换为数字信号,经过计算机处理后,再经 D/A 转换器转换为模拟信,再送到执行机构执行。

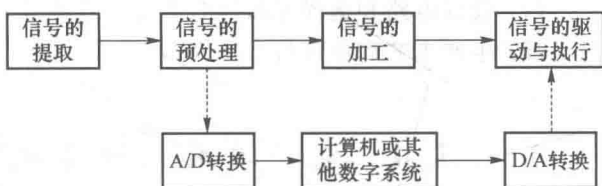


图 1-2 电子信息系统的示意图

该系统中各部分的具体作用如下。

信号的提取:主要是通过传感器或输入电路,将外界信号如温度、声音或图像等变换为电信号;

信号的预处理和信号的加工:提取到的信号一般比较小,需要通过该部分电路对信号进行滤波、放大等处理;

A/D 转换和 D/A 转换:A/D 转换是将模拟信号转换为数字信号,以便于数字系统做数字处理;D/A 转换是将处理好的数字信号转换为模拟信号输出;

计算机或其他数字系统:主要完成信号的分析、变换、判决、存储等,该部分主要采用数字电子技术。

对模拟信号处理的电路为模拟电路,对数字信号处理的电路为数字电路,所以图 1-2 所示为模拟-数字混合的电子系统。信号的提取、预处理、处理、驱动由模拟电路组成;计算机或其他数字系统由数字电路组成;A/D、D/A 转换器为模拟电路和数字电路的接口电路。

1.3.2 电子系统中的模拟电路

对于模拟信号最基本的处理是放大,而且放大电路是构成各种模拟电路的基础。在电子系统中,常用的模拟电路及其功能如下。

- (1) 放大电路:用于信号的电压、电流或功率放大。
- (2) 滤波电路:用于信号的提取、变换或抗干扰。
- (3) 运算电路:用于信号的比例、加、减、乘、除、积分、微分等运算。
- (4) 信号转换电路:用于信号的转换。如将电压信号转换为电流信号或将电流信号转换为电压信号、将交流信号变换为直流信号或将直流信号变换为交流信号等。
- (5) 信号发生电路:用于产生正弦波、矩形波、三角波、锯齿波信号等。
- (6) 直流电源:用于将交流电转换为不同输出电压和输出电流的直流电,供给各种电子电路的供电电源。

1.3.3 电子信息系统的组成原则

设计电子系统时,在满足功能和系统性能指标要求的前提下,应尽可能做到以下几点:

- (1) 电路尽量简单。电路越简单,所用的电子元器件就越少,连线、焊点就越少。故障率就越低。
- (2) 需要考虑电磁兼容性。
- (3) 需要考虑系统的可测性。
- (4) 设计电路和选择元器件时需要综合统筹考虑。注意性价比。
- (5) 生产工艺简单可行。

1.4 电子技术的计算机辅助分析和设计软件

1.4.1 概 述

随着计算机的飞速发展,以计算机辅助设计(Computer Aided Design,CAD)为基础的电子设计自动化(Electronic Design Automation,EDA)技术已成为电子学领域的重要学科。

利用 EDA 工具,电子设计师可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统,大量工作可以通过计算机完成,并可以将电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程在计算机上自动处理完成。

EDA 工具层出不穷,目前进入我国并具有广泛影响的 EDA 软件有:PSPICE、Multisim、OrCAD、PCAD、Protel、Viewlogic、Mentor、Graphics、Synopsys、LSIlogic、Cadence、MicroSim 等。这些工具都有较强的功能,一般可用于几个方面,例如很多软件都可以进行电路设计与仿真,同时以可以进行 PCB 自动布局布线,可输出多种网表文件与第三方软件接口。在这些仿真软件中,Multisim 是目前教学中普遍采用的仿真软件,它是著名的仿真软件 EWB 的升级版,下面着重介绍之。

1.4.2 Multisim 简介

Multisim 软件有较为详细的电路分析手段,如电路的瞬态分析和稳态分析、时域和频域分析、器件的线性和非线性分析、电路的噪声分析和失真分析,以及离散傅里叶分析、电路零极点分析、交直流灵敏分析和电路容差分析等共计十四种电路分析方法。另外它还拥有了强大的 MCU 模块,强大的数字仪器环境和数字分析环境,使其成为为数不多的经典仿真软件之一。

使用 Multisim 可交互式地搭建电路原理图,并对电路行为进行仿真。Multisim 提炼了 SPICE 仿真的复杂内容,这样使用者无须懂得深入的 SPICE 技术就可以很快地进行捕获、仿真和分析新的设计,使其更适合电子学教育。

Multisim 和 Ultibord 推出了很多专业设计特性,主要是高级仿真工具、增强的元件库和扩展的用户社区,主要的特性包括:

- (1) 所见即所得的设计环境;
- (2) 互动式的仿真界面;
- (3) 元件库包括 1 200 多个新元器件和 500 多个新 SPICE 模块,其中包括 100 多个开关模式电源模块;
- (4) 动态显示元件(如 LED,七段显示器等);
- (5) 汇聚帮助(Convergence Assistant)功能能够自动调节 SPICE 参数,纠正仿真错误;
- (6) 数据的可视化分析功能,包括一个新的电流探针仪器和用于不同测量的静态探针,以及对 BSIM4 参数的支持;
- (7) 具有 3D 效果的仿真电路。

NI Multisim 软件结合了直观的捕捉和功能强大的仿真,能够快速、轻松、高效地对电路进行设计和验证。Multisim 软件使模拟电路、数字电路的设计及仿真更为方便,并且极其广泛地应用于教学实验中,方便老师的教学讲解,也便于学生的理解学习,加强了对 Multisim 软件的认识。

1.5 模拟电子技术基础课程

1.5.1 模拟电子技术课程的特点

模拟电子技术基础课是入门性的技术基础课。学习的目的是初步掌握模拟电子电路的基本理论、基本知识和基本技能。本课程与物理、数学等有明显的差别,主要表现在它的工程性和实践性上。

1. 工程性

(1) 实际工程需要证明其可行性。电路的定性分析就是对电路是否满足功能和性能要求的可行性分析。

(2) 实际工程在满足基本性能的要求下允许存在一定的误差范围,在电子电路的定量分析元允许存在一定的误差范围。

(3) 近似分析要合理。估算就是近似分析,但在估算前必须考虑“研究的是什么问题、在什么条件下、哪些参数被忽略不计及其原因”。

(4) 估算不同的参数需要采用不同的模型。模拟电子电路归根结底是“电路”,其特殊性表现在含有非线性特性的半导体器件。在求解模拟电子电路时通常将其转换成用线性元件组成的电路,并且在不同的条件下、解决不同问题时,应构造不同的等效模型。

2. 实践性

实用的模拟电子电路都要通过调试才能达到预期的指标,掌握电子仪器的使用方法、模拟电路的测试方法、故障的判断和排除方法、元器件参数对电路性能的影响、对所测试电路原理的理解、电路的仿真方法等都是要认真学习知识。

1.5.2 如何学习模拟电子技术基础课程

1. 重点掌握基本概念、基本电路、基本分析方法

(1) 应熟悉掌握每一个基本的概念,明确其物理意义,并且还要了解其求解方法和求解过

程中的注意事项。

(2) 应熟悉掌握每一种基本电路。模拟电子电路千变万化,但是基本电路和组成原则是不变的。掌握了基本电路就能读懂电子电路图,进一步明确其功能和特点。

(3) 应熟悉掌握基本的分析方法:包括电路的识别方法、性能指标的估算和描述方法、电路形式以及电路参数的选择方法。

2. 学会全面、辩证地分析模拟电子电路中的问题

由于一个电子电路是一个整体,各方面性能是相互联系、相互制约的,当改善电路某方面性能而采取某种措施时,要考虑到这种措施的实施还改变了电路的哪些方面,这种改变是能容忍的吗。切忌顾此失彼。

3. 注意电路的基本定理、基本定律在模拟电路中的应用

当模拟电子系统中的半导体器件用其等效电路取代后,那么它就是一般电路了。所以,电路的基本定理、定律均可用于模拟电子电路的分析计算,如常用的基尔霍夫定理、叠加定理、戴维南定理等。

4. 注重实践

(1) 做好模拟电路的每个实验,结合基本理论,进一步加深理解,培养电子电路实际操作能力。

(2) 多做练习题,提高对基本电路、基本分析方法、基本理论的理解。

(3) 有条件的同学可以在课余时间学习制作一些实用的电子电路,如音频放大电路、声响电路、收音机电路、声响和光电报警电路等。通过对这些电路的焊接、测试(如用示波器观察电路的有关波形、听听声音的变化,测试电路的电压、电流等),这样可以提高自己对电子电路的兴趣,也可以提高自己的实际操作水平。

小 结

本章简要介绍了电子技术的概念和发展状况,明确了模拟信号和数字信号,介绍了电子系统的组成及各部分的作用,介绍了电子技术系统中常用的仿真软件——multisim,最后针对模拟电子技术基础课程特点,指明了学习该课程的途径和方法。

习 题

- 1.1 什么是模拟信号?什么是数字信号?
- 1.2 典型的电子系统由哪些部分组成?各部分作用是什么?
- 1.3 常用的EDA软件有哪些?各有什么特点?
- 1.4 试举出几个生活中电子系统的例子。

第2章 常用半导体器件

教学目标与要求:

- 了解半导体的特性
- 理解PN结的形成和单向导电性
- 掌握二极管的伏安特性
- 理解半导体三极管的基本结构、工作原理
- 掌握三极管的输入、输出特性

2.1 半导体基础

自然界中的物质按导电能力不同可分为导体、半导体和绝缘体。导体是能够导电的物体,其电阻率很小,如金、银、铁和铝等。绝缘体指的是几乎不能导电的物体,如橡胶、陶瓷、塑料、玻璃和干木头等。半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物体,如硅、锗、硒等。半导体材料应用广泛,半导体器件是构成电子电路的基本元件。概括起来,半导体有如下三个特殊性。

1) 热敏性:半导体的电阻率随温度升高而显著减小。常用于检测温度的变化。

2) 光敏性:在无光照时电阻率很高,但一有光照电阻率则显著下降。利用这个特性可以制成光敏元件。

3) 可掺杂性:在纯净的半导体中加入杂质,导电能力猛增几万倍至百万倍。

2.1.1 本征半导体

本征半导体指纯净的具有晶体结构的半导体。硅和锗是4价元素,原子的最外层轨道上有4个价电子,每个原子周围有四个相邻的原子,原子之间通过共价键紧密结合在一起,两个相邻原子共用一对电子。硅晶体的平面结构图如图2-1所示。

在温度为热力学温度零度(约 -273°C)时,价电子不能从外界获得能量,也就不能挣脱共价键的束缚。此时本征半导体中没有可以自由运动的带电粒子,接近于绝缘体。

室温下,由于热运动少数价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子,同时在共价键中留下一个空位,这个空位称为空穴。失去价电子的原子成为正离子,就好像空穴带正电荷一样,故将空穴看成带正电荷的载流子,如图2-2所示。本征半导体是由热激发产生自由电子和空穴的,并且自由电子和空穴是成对出现的,它们都参与导电。