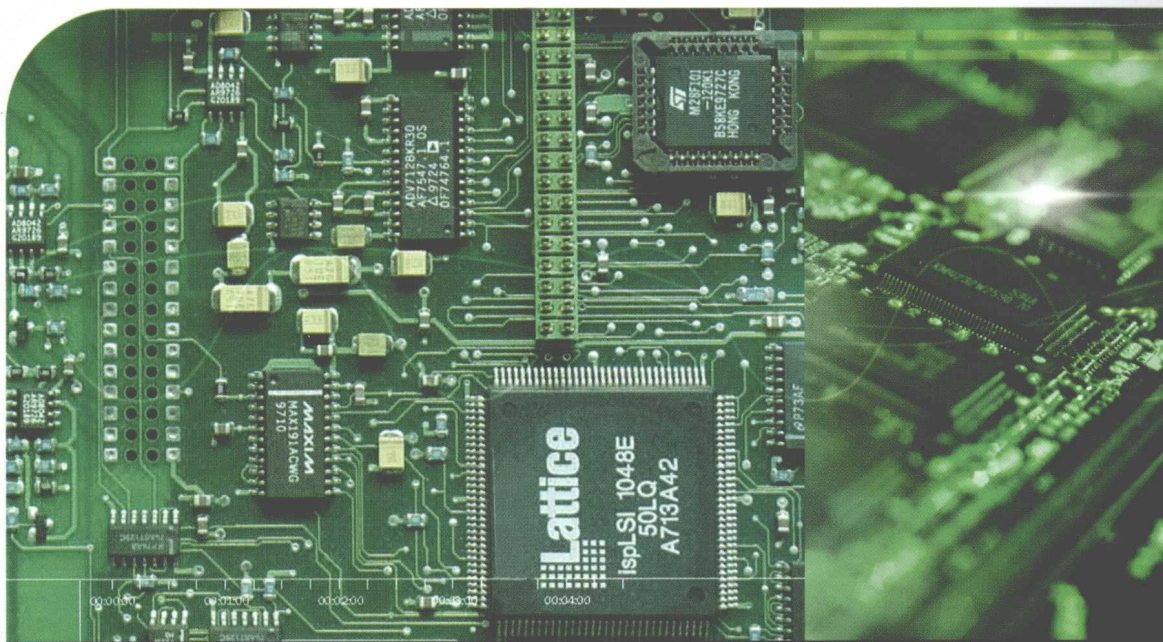




高职高专“十二五”规划教材



模拟电子技术

陈杰 戴丽萍 主编
周玲 刘海英 刘文娟 副主编

高职高专“十二五”规划教材

模拟电子技术

	陈 杰	戴丽萍	主 编
周 玲	刘海英	刘文娟	副主编
		周洪江	主 审

经济科学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/陈杰,戴丽萍主编. —北京:经济科学出版社,2010.7
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5058-9644-4

I. ①模… II. ①陈… ②戴… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 130577 号

责任编辑:王东萍
责任校对:徐领柱
技术编辑:李长建

模拟电子技术

陈杰 戴丽萍 主编

周玲 刘海英 刘文娟 副主编

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址:北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编:100142

教材编辑中心电话:88191344 发行部电话:88191540

网址:www.esp.com.cn

电子邮件:esbj3@esp.com.cn

北京富博印刷有限公司印装

787×1092 16开 15.5印张 290千字

2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5058-9644-4 定价:28.90元

(图书出现印装问题,本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

前 言

随着科技的进步和社会的发展，电子技术在工业生产和日常生活中扮演着越来越重要的角色。知识的不断更新，要求教材也得不断更新。对于高职高专的电子技术教学来说，一本深入浅出、实用性强且切合时代脉搏的教材是十分必要的。本书注重应用能力和实践技能的培养，具有以下特点：

(1) 坚持理论联系实际，着眼于提高学生解决实际问题的能力。既注重传统的基础知识介绍，也安排了拓展知识，保证了教材内容的传统性和先进性的有机结合。

(2) 注重高等职业教育特点，加强实践能力的培养。

(3) 文字简明、概念清晰、条理清楚、讲解到位、插图规范，易教易学。

(4) 安排有“技能训练”模块，充实实践教学，提高学生的实践操作能力。

全书共分为8章，第1章是绪论，主要介绍一些基础知识；第2章是半导体二极管及其应用，主要介绍半导体基础、半导体二极管及其应用；第3章是晶体管及其放大电路，主要介绍半导体三极管及其放大电路的分析；第4章是功率放大电路，主要介绍几种常用的功率放大电路；第5章是集成运算放大器；第6章是反馈放大电路及其应用；第7章是集成运算放大器及其应用；第8章是电子线路应用实例，主要介绍几种实用的电子线路，为学生课外阅读提供了方便。全书各章均配有适量的习题，供学生课后复习巩固使用。另外，书中也安排有“知识拓展”模块，供有兴趣的读者深入研究。教学中注意各个教学环节的配合，切实安排好习题课与实验课，这对于培养应用型人才尤为重要。

为了配合教学，本书配备了丰富的教学资源，可从经济科学出版社网站（www.esp.com.cn）下载。

本书由陈杰和戴丽萍担任主编。其中戴丽萍编写第1章至第7章以及附录部分；陈杰编写第8章并负责全书统稿。此外，周玲、刘海英、刘文娟参与了部分图表的绘制和文字整理工作。

本书可作为高职高专院校模拟电子技术课程的教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，时间也比较仓促，书中错误和不妥之处在所难免，敬请同行专家和读者予以指正，在此表示衷心的感谢！

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
本章导读	1
1.1 电子线路的发展历程	1
1.1.1 早期电子学	1
1.1.2 近代电子学	2
1.1.3 现代电子学	2
1.2 电子系统与信号	3
1.2.1 电子系统	3
1.2.2 信号	4
1.2.3 电子线路的分类	4
1.3 放大电路基础	4
1.3.1 信号放大	4
1.3.2 电路模型	5
1.3.3 性能指标	6
本章小结	7
习题	7
第 2 章 半导体二极管及其应用	8
本章导读	8
2.1 半导体概述	8
2.1.1 半导体材料	8
2.1.2 共价键结构	8
2.1.3 本征半导体	9
2.1.4 杂质半导体	9
2.2 半导体二极管.....	11
2.2.1 PN 结及其特性	11
2.2.2 二极管的结构及其型号.....	13
2.2.3 二极管的伏安特性及其参数.....	14
2.2.4 二极管 $V-I$ 特性的建模.....	16
2.3 特殊二极管.....	17
2.4 整流电路.....	21
2.4.1 单相半波整流.....	21
2.4.2 单相桥式整流.....	23
2.4.3 倍压整流.....	24
2.5 稳压电路.....	25
本章小结	27
习题	27
技能训练	29
知识拓展	30

第3章 晶体管及其放大电路	35
本章导读	35
3.1 半导体三极管	35
3.1.1 三极管的结构及工作原理	35
3.1.2 三极管的特性曲线及参数	38
3.2 基本放大电路及其静态分析	41
3.2.1 基本放大电路的电路组成及工作原理	42
3.2.2 基本放大电路的静态工作点	44
3.3 图解分析法	45
3.3.1 直流、交流负载线	45
3.3.2 动态分析	46
3.3.3 波形失真	47
3.4 微变等效电路分析法	48
3.4.1 微变等效电路	48
3.4.2 电压放大倍数	50
3.4.3 输入、输出电阻	51
3.5 分压式射极偏置放大电路	53
3.5.1 分压式射极偏置放大电路静态工作点的稳定	54
3.5.2 分压式射极偏置放大电路的计算	55
3.6 共集和共基电路	56
3.6.1 共集电路	56
3.6.2 共基电路	59
3.6.3 三种基本放大电路的性能比较	59
3.7 阻容耦合多级放大电路	60
3.7.1 级间耦合方式	60
3.7.2 多级放大电路的参数	62
3.7.3 组合放大电路	63
3.8 场效应管放大电路	64
3.8.1 结型场效应管	64
3.8.2 金属—氧化物—半导体场效应管	67
3.8.3 场效应管的主要参数及使用注意事项	70
3.8.4 场效应管放大电路	70
本章小结	74
习题	74
技能训练	78
知识拓展	81
第4章 功率放大电路	88
本章导读	88
4.1 功率放大电路的特点及效率提高	88
4.2 乙类双电源互补对称功率放大电路	90
4.2.1 乙类双电源互补对称功率放大电路的电路组成及工作原理	90
4.2.2 乙类双电源互补对称功率放大电路分析	91
4.3 甲乙类互补对称功率放大电路	93
4.3.1 甲乙类双电源互补对称功率放大电路	93
4.3.2 甲乙类单电源互补对称功率放大电路	94

4.3.3	准互补对称功率放大电路	95
4.3.4	具有输出自举作用的功率放大电路	96
4.3.5	桥式平衡功率放大电路	97
4.4	集成功率放大电路	98
4.4.1	集成功率放大电路 LM386	98
4.4.2	集成功率放大电路的应用	100
本章小结		103
习题		103
技能训练		105
知识拓展		106
第5章	集成运算放大器	115
本章导读		115
5.1	直流放大器的级间耦合及零点漂移	115
5.2	差动放大电路	116
5.2.1	基本差动放大电路	116
5.2.2	带恒流源的差动放大器	122
5.2.3	FET 差动放大电路	125
5.2.4	差动放大电路的传输特性	126
5.3	集成运算放大器	127
5.3.1	集成运算放大器的电路结构	128
5.3.2	集成运算放大器的主要参数	130
本章小结		130
习题		131
技能训练		132
知识拓展		135
第6章	反馈放大电路及其应用	140
本章导读		140
6.1	反馈及其分类	140
6.1.1	反馈的基本概念	140
6.1.2	反馈的分类及其作用	141
6.2	负反馈放大电路及其分析方法	142
6.2.1	负反馈放大电路的方框图	142
6.2.2	负反馈放大电路的分析方法	142
6.2.3	负反馈对放大电路性能的影响	146
6.2.4	负反馈放大电路的稳定	149
6.2.5	深度负反馈下的近似计算	151
6.3	LC 正弦波振荡电路	154
6.3.1	LC 正弦波振荡电路的基本原理	154
6.3.2	变压器反馈式振荡电路	155
6.3.3	电感三点式振荡电路	156
6.3.4	电容三点式振荡电路	157
6.3.5	石英晶体振荡电路	158
本章小结		161
习题		161
技能训练		164

知识拓展	166
第7章 集成运算放大器及其应用	170
本章导读	170
7.1 基本运算电路	170
7.1.1 运放工作在线性工作区时的特点	170
7.1.2 运放工作在非线性工作区时的特点	171
7.1.3 比例运算电路	171
7.1.4 加减法运算电路	173
7.1.5 积分与微分运算电路	175
7.2 信号处理电路	177
7.2.1 有源滤波电路	177
7.2.2 电压比较器	181
7.3 RC正弦波振荡器	185
7.3.1 RC串并联网络的频率特性	185
7.3.2 RC桥式振荡电路分析	186
7.3.3 RC移相式振荡电路	187
7.4 其他应用电路	188
7.4.1 全波精密整流电路	188
7.4.2 三角波发生器	189
7.5 使用集成运算放大器应注意的问题	191
7.5.1 选用元件	191
7.5.2 消振	191
7.5.3 调零	191
7.5.4 保护	192
7.5.5 扩大输出电流	192
本章小结	192
习题	192
技能训练	194
知识拓展	196
第8章 电子线路应用实例	201
本章导读	201
8.1 稳压电源	201
8.1.1 串联型晶体管直流稳压电源	201
8.1.2 集成稳压电源	204
8.2 电子电位差计	207
8.3 温度控制电路	208
8.3.1 电路结构	208
8.3.2 控温原理	208
知识拓展	209
附录	214
附录I 常用电子元器件的型号	214
附录II 常用实验仪器简介	219
附录III 电子技术相关名词	227
模拟试题1	232
模拟试题2	235
参考文献	240

绪 论

本章导读

电子学的崛起、发展和广泛应用是 20 世纪科学技术领域最伟大的发展之一。在电磁波理论和自由电子发展的基础上,1904 年出现了第一只真空二极管,一般认为这标志着电子学的诞生。电磁波频谱资源的开发和利用是电子学发展的基础和动力。从电磁频谱统一的观点看,光已经像微波一样进入到电子学的领域,成为无线电电子学中不可分割的组成部分。

电子学的基本任务是:研究带电粒子流与电磁场相互作用的物理概念和物理过程,以及探索利用相互作用的不同物理机制实现粒子与场之间能量有效转化的方法和条件。从电子器件的观点看,电子学可分为真空电子学与固态电子学;而从电子运动规律的观点看,现代电子学主要处理自由电子、准自由电子和束缚电子的运动规律及其与电磁场的相互作用。1958 年,电子学领域出现三个重要发现和发明:集成电路、激光和相对论自由电子的回旋辐射。相应地,半导体电子学(微电子学)、激光电子学和相对论电子学等现代电子学领域则发端于此。电子器件的小型化、微型化、功能集成化将电磁频谱的开拓和占领推向光波和红外毫米波。

1.1 电子线路的发展历程

1.1.1 早期电子学

电子学的诞生是与电磁波的发明和自由电子的发现紧紧联系在一起的,它们均在 19 世纪几乎同步地取得长足进展。

1831 年,法拉第(M. Farady)从实验中发现电磁感应定律;1873 年麦克斯韦(J. C. Maxwell)提出电磁波辐射理论和光的电磁波学说;1887 年赫兹(H. R. Hertz)用实验证实了电磁波的存在。此后,人们很快认识到整个电磁波谱,并开启了开发利用电磁波谱的历程。

1897 年约·汤姆孙(J. J. Thomson)的研究认定阴极射线为带负电的粒子,这种粒子即电



子带有普遍性,并非阴极射线中特有。他还测定了电子的荷质比,证明了电子的存在,一般认为这标志着自由电子的发现。

1895年,马可尼(M. G. Marconi)和波波夫(Bobov)分别进行无线电波传播实验。1901年,马可尼成功进行了横贯大西洋的无线电报实验。1902年,费森登(R. A. Fessenden)应用交流电机发射高频连续波。他按照和莫尔斯(H. M. Morse)电码的长短记号相同的瞬间波动不规则音的变化,而使电波的振幅发生变化,成功地发出连续波。1906年就用这连续波从美国的马萨诸塞海岸播送音乐,这是最早的播音。同年12月,无线电话的历史也开始了。通信技术的日益发展迫切需要性能优良的信号源、检波器等。

马可尼通信公司的顾问技师弗来明(J. A. Fleming)在爱迪生电灯公司工作时就注意到热电子发射现象,并利用这个原理于1904年发明了作为检波器的二极电子管,这是电子管出现的开始。1906年,美国的特福雷斯特(L. D. Forest)发明三极电子管,诞生了非线性有源器件。电子管的发明是电子学的第一次重大技术突破,使电子学开始踏上了坦途,拉开了电子科学技术新时代的序幕。

1.1.2 近代电子学

电子管的发明主要是特福雷斯特(L. D. Forest)与美国电信电话公司以及通用电气公司的科学家们共同研究的结果,开创了电子管电路的理论研究。这期间,以静电控制的普通电子管为标志,无线电波的波长在1 m以上。

从1938年至1948年,这十年间在电子学方面,最重要的是出现了动态控制的微波电子管,微波电子学则应运而生,由于微波的突破而出现了雷达、电子对抗等技术领域。

从1948年到1958年,这十年间重要的突破是对半导体的深入研究而发明了晶体管,这是一个划时代的发明,由此产生了另一个重要突破,即电子计算机。与此同时,电子物理的崛起和发展,电子物理的出现,使电子器件有了牢固的基础。

1947年12月23日,科学家们在做锗表面实验的过程中发明了世界上第一个点接触晶体管。第一个晶体管诞生于两个月后,肖克莱发表了晶体管的理论基础——PN结理论。晶体管的发明是电子学的第二次重大技术突破。1950年,出现面接触晶体管,1953年,出现面结型场效应晶体管(FET),1960年,制成金属氧化物半导体(MOS)场效应晶体管,1963年制成互补对称金属氧化物(CMOS),这一系列进展给电子技术带来了新的飞跃。特别是硅平面晶体管的出现,预示着微电子学的崛起,集成电路应运而生就不远了。

1.1.3 现代电子学

20世纪50年代后期,由于技术发展和需求推动,电子学获得了迅猛的发展。一方面,对



电子器件的小型化、微型化提出了越来越高的要求,另一方面则是将电磁频谱的开拓和占领推向光波和红外毫米波,即更高的工作频率,电子学出现了三个突破性的进展。

1958年9月12日,第一块集成电路(IC)在TI公司诞生,同年仙童公司的诺伊斯(B. Noyce)独立发明了硅IC。IC的诞生标志着微电子技术开始步入电子学的殿堂,这是电子学的第三次重大技术突破。IC技术是近50年来世界发展最快的技术。目前,已经可以在一个芯片上集成 $10^8 \sim 10^9$ 个晶体管,线宽仅为 $0.18 \mu\text{m}$ 。这一发展态势尚在继续中,对科学技术产生了极其重大的影响。

1.2 电子系统与信号

1.2.1 电子系统

由若干相互连接、相互作用的基本电路组成的,具有特定功能的电路整体,称为电子系统。电子系统有大有小,大到航天飞机的测控系统、小到出租车计价器,它们都是电子系统。图1-1所示为一个电子系统的框图。

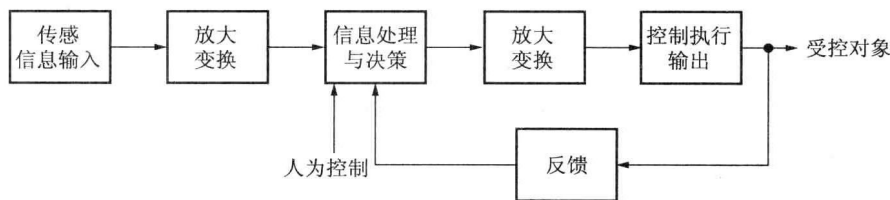


图 1-1 电子系统的框图

电子系统的组成通常有模拟系统和数字系统。如今电子系统的组成器件有中大规模或超大规模集成电路、专用集成电路、可编程器件、少量分立元件和机电元件等。

电子系统按复杂程度可以分为非智能型和智能型。非智能型是功能简单或功能固定的电子系统;而智能型是参照人类活动规律,具有记忆力、学习能力,易于接收信息、命令,有分析、判断和决策能力,可以控制或执行所作决定的能力。

电子系统按功能可以分为以下几类:

- (1) 测控系统,如工业生产控制等;
- (2) 测量系统,如电量及非电量的精密测量等;
- (3) 数据处理系统,如语音、图像、雷达信息处理等;
- (4) 通信系统,如数字通信、微波通信等;
- (5) 计算机系统,计算机本身就是一个电子系统;
- (6) 家电系统,如多媒体彩电、数字式视频光盘机等。



1.2.2 信号

信号是反映消息的物理量,如温度、压力、流量、自然界的声信号等等,因而信号是消息的表现形式。信息需要借助于某些物理量(如声、光、电)的变化来表示和传递。由于非电的物理量很容易转换成电信号,而且电信号又容易传送和控制,因此电信号成为应用最为广泛的信号。电信号是指随时间而变化的电压 u 或电流 i ,记作 $u=f(t)$ 或 $i=f(t)$ 。

电子电路中的信号可以分为模拟信号和数字信号。模拟信号对应任意时间值 t 均有确定的函数值 u 或 i ,并且 u 或 i 的幅值是连续取值的,即在时间和数值上均具有连续性。数字信号在时间和数值上均具有离散性, u 或 i 的变化在时间上不连续,总是发生在离散的瞬间,且它们的数值是一个最小量值的整数倍,当其值小于最小量值时,信号将毫无意义,如图 1-2 所示。

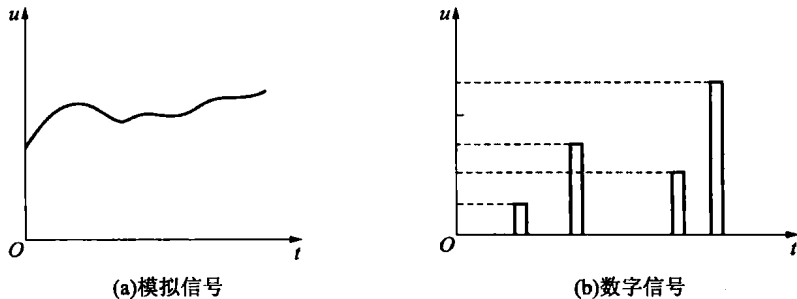


图 1-2 电路信号

1.2.3 电子线路的分类

包含有源器件的网络统称为电子线路。电子线路的分类方法很多,按照工作频率可分为低频电子线路、调频电子线路和微波电子线路。低频通常是指频率低于 300 kHz。语音的电信号、生物电信号、地震电信号、机械振动的电信号等都属于低频。

电子电路按照它们处理信号的不同,可以分为模拟电路和数字电路。在模拟电路中处理的是模拟信号,在数字电路中处理的是数字信号。模拟电路按照组成的不同可以分为分立电路和集成电路。模拟集成电路按功能大致可分为线性放大器、功率放大器、比较器、乘法器、稳压器、转换器(DAC 与 ADC)、锁相环等。

1.3 放大电路基础

1.3.1 信号放大

信号放大的本质是实现能量的控制。在放大电路中提供一个能源,由能量较小的输入信



号控制这个能源,使之输出较大的能量,然后推动负载。小能量对大能量的控制作用称为放大作用。

放大的对象是变化量。电子学中放大的目的是将微弱的信号放大成较大的信号。放大电路通常有输入和输出的四端网络表示,如图 1-3 所示。 u_s 为信号源电压, R_s 为信号源内阻, R_L 为负载, u_i 和 u_o 分别为输入和输出电压, i_i 和 i_o 分别为输入和输出电流。

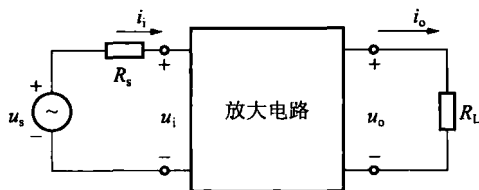


图 1-3 放大电路框图

1.3.2 电路模型

放大电路是一个双口网络。从端口特性来研究放大电路,可将其等效成具有某种端口特性的等效电路。输入端口特性可以等效为一个输入电阻,输出端口特性可以根据不同情况等效成不同的电路形式。

根据放大电路输入和输出所取的量不同,放大电路可以分为四种类型,即电压放大、电流放大、互阻放大和互导放大。图 1-4 所示分别给出了电压放大和电流放大电路的模型。

电压放大电路是只考虑输出电压和输入电压的关系, A_{u_0} 表示的是电路的开路电压增益;电流放大电路是只考虑输出电流和输入电流的关系, A_{i_0} 表示的是电路的短路电流增益。

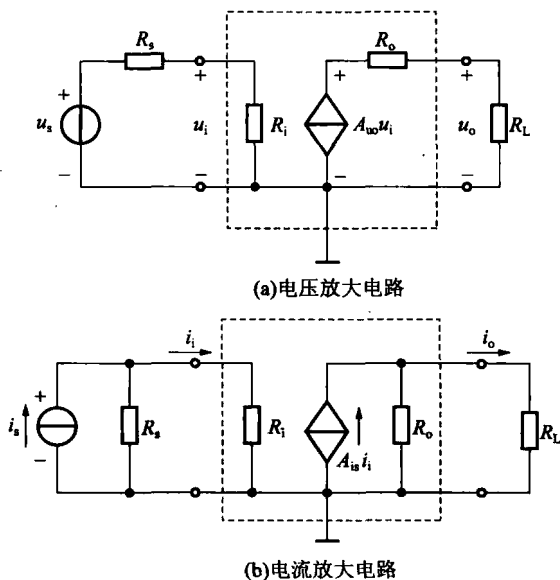


图 1-4 放大电路的模型



1.3.3 性能指标

放大电路放大的对象是变化量,研究放大电路时更重要的是研究其放大性能。对于放大电路的放大性能有两个方面的要求:一是放大倍数要尽可能大;二是输出信号要尽可能不失真。衡量放大电路性能的重要指标有放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 和失真。

1. 放大倍数

电压放大倍数的定义为输出电压和输入电压的比值。通常又将电压放大倍数称为电压增益,其表达式为

$$A_u = \frac{u_o}{u_i}$$

电流放大倍数的定义为输出电流和输入电流的比值。通常又将电流放大倍数称为电流增益,其表达式为

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

2. 输入电阻 R_i

放大电路的输入端可以用一个等效交流电阻 R_i 来表示,它定义为输入电阻,就是从放大器输入端向内看去的电阻,等于输入电压与输入电流的比值。如图 1-5 所示,一般假定在放大器输入端外加一测试电压 u_i ,计算出相应的测试电流 i_i ,则

$$R_i = \frac{u_i}{i_i}$$

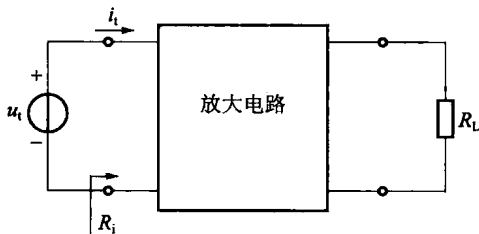


图 1-5 放大电路的输入电阻

3. 输出电阻 R_o

从放大电路输出端看,放大电路对于负载 R_L 相当于一个信号源,该信号源的内阻就是放大电路的输出电阻,用 R_o 表示,它定义为从放大器输出端向内看去的电阻。如图 1-6 所示,信号源短路、负载开路时,输出电阻等于在放大器输出端外加的测试电压 u_t 与相应产生的测试电流 i_t 之比,即

$$R_o = \left. \frac{u_t}{i_t} \right|_{u_s=0, R_L=\infty}$$

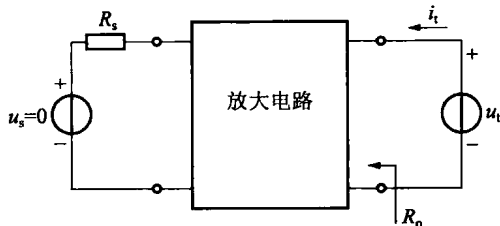


图 1-6 放大电路的输出电阻

4. 失真

输出信号的波形未能完全复现输入信号的波形的现象称为失真(distortion)。

放大电路对不同频率信号产生的放大倍数和相移不同,使得输出信号波形和输入信号波形不同,这种现象称为频率失真,包含有幅度失真和相位失真。幅度失真是对不同频率的信号增益不同而产生的失真;相位失真是对不同频率的信号相移不同而产生的失真。

非线性失真是指由元器件非线性特性引起的失真,包含有截止失真和饱和失真。



本章小结

本章简要介绍了电子系统和信号的概念,给出了模拟信号和数字信号的区别,指出模拟电路处理的是模拟信号;提出放大的概念,放大电路的分类;放大电路的主要性能指标是增益、输入电阻、输出电阻和失真。



习 题

1. 什么是放大电路,按输入和输出量不同,放大电路可分为哪几类,衡量放大电路性能的重要指标是什么?
2. 在某放大电路输入端测量到输入正弦信号电流和电压的峰-峰值分别为 $5 \mu\text{A}$ 和 5mV ,输出端接 $2 \text{k}\Omega$ 电阻负载,测量到正弦电压信号峰-峰值为 1V 。试计算该放大电路的电压增益 A_u 、电流增益 A_i 、功率增益 A_p 。
3. 一电压放大电路输出端短接时,输出电流为 1mA ,负载电阻断开时,输出电压为 1.1V ,求该放大电路的输出电阻 R_o 。

第 2 章

半导体二极管及其应用



本章导读

半导体器件是组成各种电子电路的核心元件,本章主要介绍半导体基础、半导体二极管、特殊二极管以及二极管整流电路、滤波电路和稳压电路。在实训部分介绍了二极管的实际测量和判断极性的方法。

2.1 半导体概述

2.1.1 半导体材料

我们曾学过物理,对于物理中所提到的导体和绝缘体,大家肯定是记忆犹新的。

导体(conductor):容易传导电流的材料称为导体,如金属、电解液等。

绝缘体(nonconductor):几乎不传导电流的材料称为绝缘体,如橡胶、陶瓷、石英、塑料等。

但是自然界中还存在着一种物质,它的导电能力介于导体和绝缘体之间,并且当受到外界光和热的刺激,或掺入微量的杂质时,该物质的导电能力将发生显著变化,我们称这类物质为半导体(semiconductor),如硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等。我们将受原子核束缚力最小的电子称为价电子,而半导体的导电性就是由价电子决定的。

2.1.2 共价键结构

锗和硅的外层电子都是四个,也就是说它们的价电子数都是四个。因此它们的晶体内原子的排列可简单的画成如图 2-1 所示形式。由图可知,相邻原子的价电子为两个原子所共有,因此两个价电子的公共轨道就形成了晶体中的共价键,共价键内的两个电子称为束缚电子。

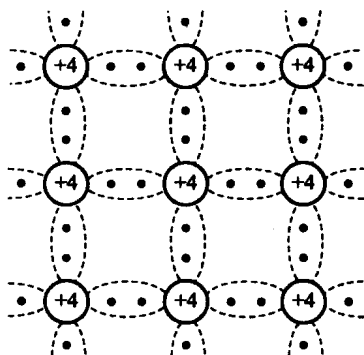


图 2-1 半导体中的共价键

2.1.3 本征半导体

完全纯净、结构完整的半导体晶体称为本征半导体(intrinsic semiconductor)。通常在绝对零度和无外界激发下,硅和锗晶体是不导电的,也就是它们的内部不存在自由电子。而自由电子就是在外界激发下能挣脱共价键的束缚而自由活动的电子。当束缚电子成为自由电子后,在共价键中所留的空位,就称之为空穴(hole)。在半导体中,将能移动的电荷统称为载流子(charge carriers),包括自由电子和空穴。如图 2-2 所示就是本征激发后形成的自由电子和空穴。

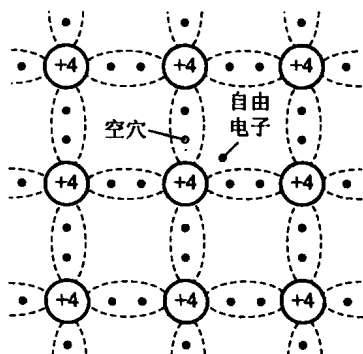


图 2-2 自由电子和空穴

2.1.4 杂质半导体

我们经常所用到的半导体并不是本征半导体,而是杂质半导体,在本征半导体中掺入微量的杂质元素,其导电性能就会发生显著的改变。掺有杂质的本征半导体称为杂质半导体(extrinsic semiconductor)。因掺入杂质的不同,杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. 电子半导体(N 型半导体)

在本征半导体内掺入少量五价元素,如磷(P)、砷(As),五价元素以四个价电子与相邻硅