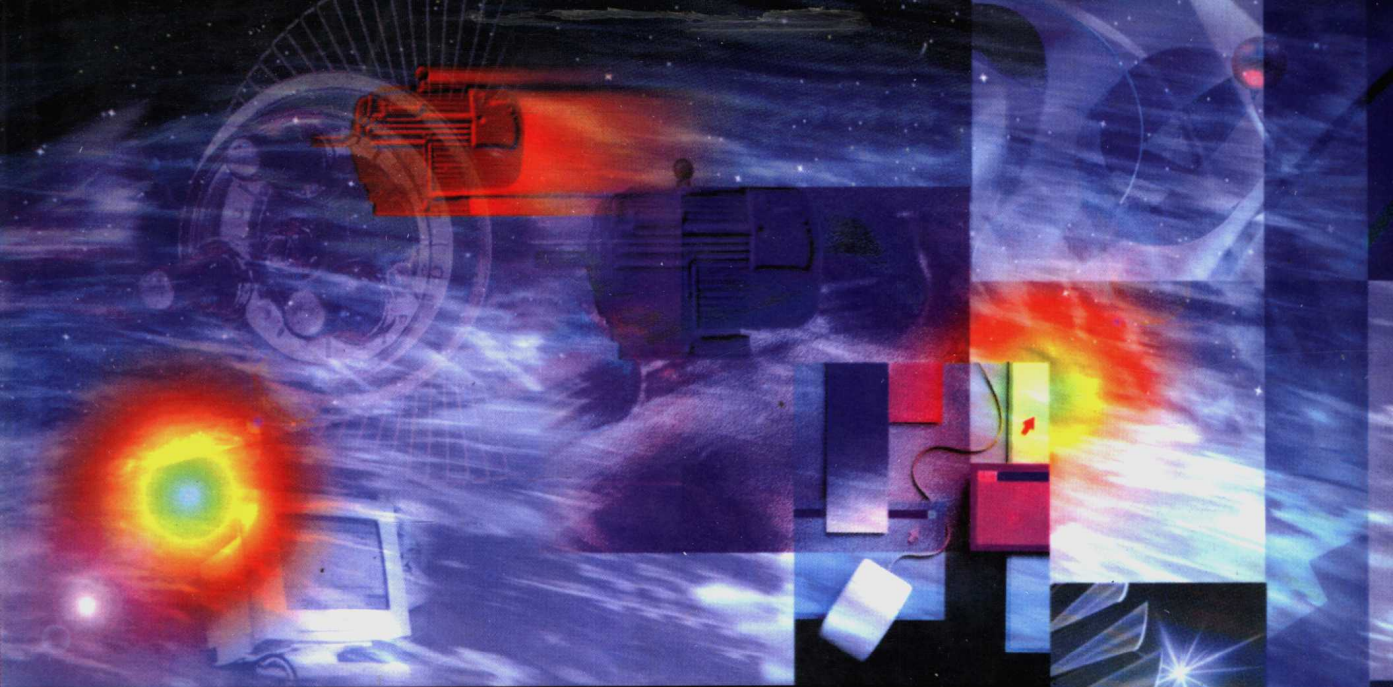
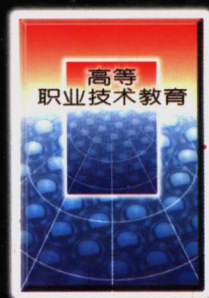




高等职业技术教育机电类专业规划教材



模拟电子技术基础

高等职业技术教育机电类专业教材编委会 组编

沈任元 吴 勇 主编



高等职业技术教育机电类专业规划教材

模拟电子技术基础

高等职业技术教育机电类专业教材编委会 组编

主 编 沈任元 吴 勇
参 编 郑英兰 唐俊英 田培成
主 审 梁 森



机械工业出版社

本书是参照国家教委 1990 年 7 月制定的《高等学校工程专科电子技术基础课程教学要求》，并在机械工业电类高职教育教材建设协作组 1998 年会议精神指导下编写的。与本书配套的教材有《数字电子技术基础》和《常用电子元器件简明手册》。

本书包括“基础篇”和“应用篇”两部分内容。“基础篇”共分十一章，内容是：半导体二极管及其整流滤波电路、半导体三极管及其基本放大电路、场效应晶体管及其基本放大电路、集成运算放大电路、集成运算放大器基本应用电路、功率放大电路、信号发生电路、直流稳压电路、晶闸管及其应用、电子电路读图等。“应用篇”共分十章，与“基础篇”部分对应。各章均有练习题供读者练习。

本书适用于普通高职、普通高校大专班、职工大学电气、电子类专业的电子技术基础课程教材。还可供中等专业学校或普通高校本科有关专业或从事电子技术的工程人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术基础/沈任元, 吴勇主编. —北京: 机械工业出版社, 2000.6

高等职业技术教育机电类专业规划教材

ISBN 7-111-07935-3

I. 模… II. ① 沈… ② 吴… III. 模拟电路-高等学校: 技术学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 04737 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 贡克勤 刘 辉 版式设计: 冉晓化 责任校对: 李汝庚

封面设计: 姚 毅 责任印制: 路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版·第 5 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·15.5 印张·382 千字

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

高等职业技术教育机电类专业教材编委会

名誉主任委员	严雪怡 刘际远		
主任委员	上海电机技术高等专科学校	孙兴旺	副校长
副主任委员	福建高级工业专门学校	黄森彬	副校长
	南京机械高等专科学校	左健民	副校长
	陕西工业职业技术学院	翟 轰	校 长
	湘潭机电高等专科学校	曾家驹	副校长
	包头职业技术学院	李俊梅	副校长
	无锡职业技术学院	韩亚平	调研员
	浙江机电职工大学	管 平	副校长
	机械工业出版社教材编辑室	林 松	主 任
	(排名不分先后)		
委员单位	邢台职业技术学院		
	湖南工业职业技术学院		
	(等 26 所院校)		

序

职业教育指受教育者获得某种职业或生产劳动的职业道德、知识和技能的教育。机电行业的职业技术教育是培养在生产一线的技术、管理和运行人员。他们主要从事成熟的技术和管理规范的应用与运作。随着社会经济的发展和科学技术的进步,生产领域的技术含量在不断提高。用人单位要求生产一线的技术、管理和运行人员的知识与能力结构与之适应。行业发展的要求促使职业技术教育的高层次——高等职业等教育蓬勃成长。

高职教育与高等工程专科、中专教育培养的人才属同一类型,都是技术型人才,毕业生将就业于技术含量不同的用人单位。高等职业教育的专业设置必须适应地区经济与行业的需求。高等职业教育是能力本位教育,应以职业分析入手,按岗位群职业能力来确定课程设置与各种活动。

机械工业出版社出版了大量的本科、高工专、中专教材,其中有相当一批教材符合高等职业教育的需求,具有很强的职业教育特色,在此基础上这次又推出了机械类、电气类、数控类三个高职专业的高职教材。

专门课课程的开发应遵循适当综合化与适当实施化。综合化有利于破除原来各课程的学科化倾向,删除与岗位群职业能力关系不大的内容;有利于删除一些陈旧的内容,增添与岗位群能力所需要的新技术、新知识,如微电子技术、计算机技术等。实施化是课程内容要按培养工艺实施与运行人员的职业能力来阐述,将必要的知识支撑点溶于能力培养的过程中,注重实践性教学,注重探索教学模式以达到满意的教学效果。

本教材倾注了众多编写人员的心血,他们为探索我国机电行业高职教育作出了可贵的尝试。今后还要依靠广大教师在实践中不断改进,不断完善,为创建我国的职业技术教育体系而奋斗。

赵克松

前 言

本套教材是参照原国家教委 1990 年 7 月制定的《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》，并在机械工业电类高职教育教材建设协作组 1998 年会议精神指导下编写的。本套电子技术基础教材包括《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》和《常用电子元器件简明手册》，在《模拟电子技术基础》和《数字电子技术基础》中都包括有两部分内容，即“基础篇”和“应用篇”。

根据高等职业教育培养目标的要求，高职培养的人才必须具有大学专科的理论基础，并具有较强的本专业技术应用的技能。高职教育培养的人才面向基层、面向生产第一线的实用人才。这类人才不同于将学科体系转化为图纸和设计方案的工程技术人员，而主要是如何把方案和图纸转化为实物和产品的实施型高级技术人才。因此课程内容必然要按照培养目标来制订，由于电子技术涉及的各个领域发展非常迅速，电子技术教材的基本内容也必须逐步更新。特别是在大规模集成电路被广泛采用的今天，电子技术正朝着专用电子集成电路方向，以至向硬件、软件合为一体的各种电子系统集成方向发展，以硬件电路设计为主的传统设计方向也向器件内部资源及外部引脚功能加以利用的方法转化。只有培养学生会思考、会学习，才能跟上飞速发展的时代节拍。

本书在力求保证基础、掌握基本概念的基础上，注重集成电路以及新器件原理分析和应用。编写中强调了理论联系实际和读图能力，尽量做到使学生既能知道“来龙”又可晓得“去脉”，从而提高学习的兴趣，以利加强学生的专业意识，为此，我们编写的目标是：

(1) 电子技术基础是一门专业基础性质的课程，内容的安排上要遵循循序渐进的原则，由浅入深，由易到难。

(2) 在“基础篇”中，以“必须”和“够用”为原则。对典型电路分析时，不作过于繁杂的推导，一般只介绍工程估算法，有时只给出定性的结论。对于电子器件着重介绍工作原理、外特性和主要参数，重点放在掌握使用方法上，对分立元件组成的电路尽可能精简，明确分立为集成服务的方向，在数字电路中以 CMOS 集成电路为主。对精选的集成电路主要介绍它们的电路特点和基本应用。

(3) 各章均附有习题。有要求学生掌握基本概念、电路原理分析、重要参数的工程估算，以及集成电路的应用电路设计等内容。

(4) 在“应用篇”中，为配合基础理论学习、扩大知识面，选材编排上力求与“基础篇”的各章节相对应，举一些实用的简化电子电路。在讲清基本知识和理论后，可采取课堂讲解、讨论或学生自学的办法，使学生对所学的理论知识与实际应用挂钩，使学生能在更接近实际的氛围中进行学习。作为一本技术基础课教材，要能起到有引导入门和培养学生有创造、开拓的实际应用知识能力的作用。

(5) 为加强学生阅读专业外文文献的能力，在教材中首次出现的电子技术名词之后附注了英文。

(6) 为培养学生的读图能力，在《模拟电子技术基础》专门有一章读图方法的介绍。目

的是使学生熟悉电子电路的读图方法,来增强分析问题和解决实际问题的综合能力。

(7) 在《常用电子元器件简明手册》中选编了典型元器件的数据,便于理论教学、实践、实训和课程设计查阅和选用。在讲述器件时要结合手册查阅器件符号、参数、外形等内容。

本套教材教学参考学时范围为《模拟电子技术基础》80~96学时,《数字电子技术基础》60~80学时,有关章节内容可根据各校专业要求及学时情况酌情调整。本套教材适用范围:普通高职、普通高校大专班、职工大学电气、电子类专业的电子技术基础课程教材。还可供中等专业学校或普通高校本科有关专业或从事电子技术的工程人员参考。

本书由沈任元、吴勇担任主编,田培成、唐俊英、郑英兰参加编写。具体执笔分工如下:在《模拟电子技术基础》中,郑英兰编写了第一、二、四章,田培成编写了第三章,唐俊英编写了第五章,吴勇编写了第六、七、八章,沈任元编写了绪论、第九、十、十一章。在《数字电子技术基础》中,郑英兰编写了第一章,田培成编写了绪论、第二、三章,吴勇编写了第四章,唐俊英编写了第五、六章,沈任元编写了第七章。沈任元、吴勇、唐俊英、田培成、郑英兰编写了《常用电子元器件简明手册》。

本书由上海电机技术高等专科学校梁森担任主审。1999年6月在上海召开了本教材的审稿会。参加审稿会有上海交通大学许鸿量教授、上海理工大学周良权副教授、上海发电设备成套设计研究所刘春林高级工程师、上海江森电视机厂王坦高级工程师、上海电机技术高等专科学校成叶琴高级讲师等专家。以上同志对本教材书稿进行了认真、负责和仔细的审阅,提出了许多宝贵的意见和修改建议,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,在取材新颖性和实用性等方面定有诸多不足,敬请兄弟院校的师生和广大读者给予批评和指正。我们衷心盼望本书能对有志从事电子电路应用的读者有所帮助。请您把对本书的意见和建议告诉我们。E-mail: ren yuan@citiz.net

编 者

2000年1月

本书模拟电子电路常用符号一览表

一、文字符号的一般规定

1. 电压和电流

U_B, I_B 大写字母、大写下标,
分别表示基极的直流电压、电流值

U_b, I_b 大写字母、小写下标,
分别表示基极的交流电压、电流有效值

u_B, i_B 小写字母、大写下标,
分别表示基极的电压、电流瞬时值 (含有直流分量)

u_b, i_b 小写字母、小写下标,
分别表示基极的交流电压、电流瞬时值

$\Delta U, \Delta I$ 分别表示直流电压、电流的变化量

2. 电源电压

V_{CC} 三极管集电极电源电压

V_{BB} 三极管基极电源电压

V_{EE} 三极管发射极电源电压

V_{DD} MOS管漏极电源电压

V_{SS} MOS管源极电源电压

V_{GG} MOS管栅极电源电压、晶闸管控制极电源电压

V_{AA} 晶闸管阳极电源电压

3. 器件符号

V 晶体三极管、场效应晶体管

VT 晶闸管

VD 晶体二极管

MOS 绝缘栅型场效应晶体管

A 运算放大器件

S 开关

SB 按钮

SQ 限位开关

T 变压器

K 继电器

KM 接触器

二、基本符号

1. 电压和电流

U_B 基极对地电压

U_C 集电极对地电压

U_E 发射极对地电压

U_{BC} 三极管基集电压

U_{BE} 三极管基射电压

$U_{(BR)CEO}$ 基极开路三极管集射间击穿电压

$U_{(BR)EBO}$ 集电极开路三极管射基间击穿电压

U_I 输入电压

U_{IC} 共模输入电压

U_{ID} 差模输入电压

U_{IDM} 最大差模输入电压

U_{Id} 净输入电压

U_L 负载电压

U_O 输出电压

$U_{O(sat)}^+$ 运放正饱和输出电压

U_{CE} 三极管的集射电压

U_{CES} 三极管的集射饱和压降

U_{GD} 栅漏电压

U_{GS} 栅源电压

$U_{GS(off)}$ 夹断电压

$U_{GS(th)}$ 开启电压

U_{RM} 二极管反向工作峰值电压

U_{BO} 正向转折电压

U_{DRM} 断态重复峰值电压

$U_{O(sat)}^-$ 运放负饱和输出电压

U_{OC} 开路电压、共模信号输出电压

U_{OD} 差模信号输出电压

U_R 基准、参考电压

U_S 信号源电压

U_Z 稳压管的稳定电压

U_{TH} 阈值电压、门限电压

U_F 通态平均电压

U_G 控制极触发电压

I_B 基极电流

I_C 集电极电流

I_E 发射极电流

I_{BQ}, I_{CQ}, I_{EQ}	基极、集电极、发射极静态电流	R_{α}	集电极、发射极间输出电阻
I_D	漏电流	R_L	负载电阻
I_{DSS}	饱和电流	R'_L	等效负载电阻
I_{BS}	临界饱和基极电流	R_O	输出电阻
I_{CS}	临界饱和集电极电流	R_o	输出动态电阻
I_{CBO}	发射极开路集基极间反向电流	R_S	信号源电阻
I_{CEO}	基极开路集射极间反向电流	R_z	稳压管的动态电阻
I_{CM}	集电极最大允许电流	R_{id}	运放开环输入电阻
I_F	二极管最大整流电流、反馈电流	C	通用电容
I_I	输入电流	C_{bc}	三极管基集极间电容
I_L	负载电流	C_{be}	三极管基射极间电容
I_O	输出电流	C_o	放大电路输出端的电容
I_{Id}	净输入电流	C_i	放大电路输入端的电容
I_H	维持电流	4. 频率	
I_G	触发电流	f_T	晶体管的特征频率
I_N	集成运放反相输入端电流	f_{β}	晶体管的截止频率
I_P	集成运放同相输入端电流	f_H	放大电路的上限频率
I_R	基准电流、二极管反向电流	f_L	放大电路的下限频率
I_Z	稳压管稳定电流	f_o	振荡频率
2. 功率		f_p	并联谐振频率
P_C	集电极功率损耗	f_s	串联谐振频率
P_{CM}	集电极最大允许功率损耗	f_m	最高工作频率
P_E	直流电源提供的功率	5. 器件、电路的引出端	
P_V	三极管耗散功率	b	晶体三极管基极
P_I	输入功率	c	晶体三极管集电极
P_O	输出功率	e	晶体三极管发射极
P_{Omax}	最大输出功率	s	MOS管源极
P_T	晶闸管损耗功率	g	MOS管栅极、晶闸管控制极
P_Z	稳压管额定功率	d	MOS管漏极
3. 电阻、电容、电感		a	晶闸管阳极
R	通用电阻	k	晶闸管阴极
R_P	电位器	N	集成运放反相输入端
R_T	热敏电阻	P	集成运放同相输入端
R_B	基极偏置电阻	6. 参数符号	
R_C	集电极电阻	$\bar{\beta}$	共发射极直流电流放大倍数
R_E	发射极电阻	β	共发射极交流电流放大倍数
R_F	反馈电阻	α	共基极交流电流放大倍数
R_I	输入电阻	g_m	场效应管的低频跨导
R_i	输入动态电阻	A	放大倍数通用符号
R_{be}	基极、发射极间输入电阻	A_f	闭环放大倍数
		A_U	电压放大倍数

A_u	交流电压放大倍数
A_I	电流放大倍数
A_P	功率放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
C_{TV}	稳压管温度系数
S	脉动、相对稳压系数

γ	纹波因数
η	效率、单结晶体管的分压比
S_R	纹波抑制比
S_U	稳压系数
S_T	稳压温度系数
S_I	负载调整率、电流调整率
K_{CMR}	共模抑制比

目 录

序
前言

本书模拟电子电路常用符号一览表
绪论

基 础 篇

第一章 半导体二极管及其应用

电路 3

第一节 半导体基本知识 3

第二节 半导体二极管 4

一、二极管的结构及符号 4

二、二极管的伏安特性 4

三、二极管的主要参数 5

四、二极管使用注意事项 5

五、特殊二极管介绍 5

第三节 整流电路 8

一、单相半波整流电路 8

二、单相全波整流电路 9

第四节 滤波电路 12

一、滤波的概念 12

二、电容滤波电路 12

三、电感滤波电路 14

四、复式滤波电路 15

第五节 倍压整流电路 16

本章小结 16

练习题 17

第二章 半导体三极管及其放大

电路 19

第一节 半导体三极管 19

一、三极管的结构及符号 19

二、三极管中的电流分配和放大作用 20

三、三极管的特性曲线 21

四、三极管的主要参数 22

五、三极管的选择要点 24

第二节 共射基本放大电路 24

一、放大电路的组成 25

二、放大电路的工作原理 26

三、放大电路参数的工程估算 28

第三节 静态工作点稳定及分压式射极

偏置电路 31

第四节 其它组态放大电路 32

一、共集电路—射极输出器 32

二、共基极放大电路 34

三、三种组态的基本放大电路的比较 35

第五节 多级放大电路 36

一、电子电路的一般构成形式 36

二、级间耦合方式及特点 36

第六节 放大电路的频率响应 39

第七节 特殊三极管介绍 40

一、复合管 40

二、光敏三极管 41

三、光耦合器 41

本章小结 42

练习题 42

第三章 场效应晶体管及其基本

放大电路 47

一、增强型绝缘栅场效应晶体管的

结构及工作原理 47

二、耗尽型绝缘栅场效应晶体管的

结构及工作原理 49

三、结型场效应晶体管的特性 50

四、场效应晶体管的主要参数 50

五、使用 MOS 晶体管的注意事项 52

六、场效应晶体管的偏置电路及

放大电路 52

七、功率 MOS 晶体管介绍 54

本章小结 55

练习题 55

第四章 集成运算放大器 57

第一节 基本差动放大电路 57

一、直接耦合放大电路需要解决的

问题 57

二、差动放大电路	58	第三节 电压—电流变换电路	96
第二节 集成运算放大器	63	一、电压—电流转换电路	96
一、集成运放的电路结构及符号	63	二、电流—电压转换电路	98
二、集成运放的特点	64	三、恒流源电路	98
三、集成运放的分类	65	第四节 运放在信号处理方面的应用	98
四、集成运放的电压传输特性和参数	66	一、单电源交流放大电路	98
本章小结	68	二、线性整流电路	99
练习题	68	三、有源滤波电路	101
第五章 负反馈放大电路	70	第五节 运放的非线性应用	103
第一节 反馈的基本概念	70	一、单值电压比较器	104
一、什么是反馈	70	二、迟滞电压比较器	104
二、反馈的极性及其判断	71	三、窗口比较器	107
三、直流反馈和交流反馈	72	第六节 集成运放的选择原则和使用	107
第二节 负反馈放大电路的四种组态	73	一、集成运放的选择原则	107
一、负反馈放大电路的一般关系式	73	二、集成运放使用时应注意的问题	108
二、反馈类型及其判断	73	本章小结	109
三、四种类型的负反馈放大电路	74	练习题	109
第三节 负反馈对放大电路性能的影响	77	第七章 功率放大电路	115
一、提高放大倍数的稳定性	77	第一节 功率放大电路的特点和分类	115
二、扩展频带	77	第二节 双电源互补对称功率放大电路	
三、减小非线性失真	77	(OCL 电路)	116
四、抑制内部的干扰和噪声	78	一、基本电路及工作原理	116
五、负反馈能改变输入电阻和输出		二、功率参数分析	116
电阻	78	三、交越失真及其消除	118
第四节 深度负反馈放大电路的电压		第三节 单电源甲乙类互补对称功率放大	
放大倍数的估算	80	电路 (OTL 电路)	119
一、深度负反馈的特点	80	一、单电源互补对称功率放大电路	119
二、深度负反馈放大电路的参数估算	81	二、实用的甲乙类单电源互补对称功率	
本章小结	84	放大电路	119
练习题	84	三、OTL 电路调试方法	120
第六章 集成运算放大器基本应用		第四节 集成功率放大器介绍	120
电路	89	一、TDA2030A 音频集成功率放大器	
第一节 集成运放的基本电路	89	简介	120
一、负反馈是运放线性应用的必要		二、TDA2030A 集成功放的典型	
条件	89	应用	121
二、线性运放的三种基本电路	89	第五节 功率管的散热问题	122
第二节 模拟信号运算电路	93	本章小结	123
一、比例运算电路	93	练习题	123
二、加法运算电路	93	第八章 波形发生和变换电路	126
三、减法运算电路	94	第一节 正弦波振荡电路	126
四、积分运算电路	94	一、正弦波振荡电路的基本概念	126
五、微分运算电路	95	二、RC 正弦波振荡电路	128
		三、LC 正弦波振荡电路	130

四、石英晶体振荡电路	133
第二节 非正弦信号发生电路	134
一、方波发生器	135
二、三角波发生器	136
三、锯齿波发生器	137
本章小结	137
练习题	138
第九章 直流稳压电源	143
第一节 概述	143
一、电子设备中对直流电源的要求	143
二、引起直流稳压电源输出不稳定的主要原因	143
三、直流稳压电源的性能指标简易测试方法	144
第二节 直流稳压电源的分类和工作原理	145
一、硅稳压管并联稳压电路	145
二、串联型稳压电路	147
三、串联型集成稳压器	148
四、开关型稳压电源	153
本章小结	157
练习题	157
第十章 晶闸管及其应用	160
第一节 晶闸管	160
一、晶闸管的外形和结构	160
二、工作原理	160
三、伏安特性	162

四、主要特性参数	163
五、其它晶闸管	164
第二节 单相可控整流电路	165
一、阻性负载单相桥式半控整流电路	165
二、感性负载单相桥式半控整流电路	167
第三节 晶闸管触发电路	168
一、对触发电路的要求	168
二、触发电路	168
第四节 固态继电器原理及应用	173
一、固态继电器分类	173
二、固态继电器的主要特点	174
三、固态继电器使用注意事项	175
本章小结	175
练习题	175
第十一章 电子电路的读图	177
第一节 电子电路图的基本分类	177
一、系统框图	177
二、电路图	178
三、逻辑图	178
四、安装图	178
五、印制板图	178
第二节 电子电路的读图步骤	178
第三节 读图举例	180
本章小结	182
练习题	182

应 用 篇

第十二章 半导体二极管及其应用电路	197
第十三章 半导体三极管及其放大电路	202
第十四章 场效应管及其基本放大电路	205
第十五章 集成运算放大器	208
第十六章 负反馈放大电路	210

第十七章 集成运算放大器基本应用电路	212
第十八章 功率放大电路	217
第十九章 波形发生和变换电路	220
第二十章 直流稳压电源	224
第二十一章 晶闸管电路	229
附录 电子工作台使用简介	232
参考文献	236

绪 论

提到“模拟电路”这个名词，许多人也许会感到陌生，但你一定听说过扩音机。当我们在大会场中，从扬声器里清楚地听到发言者对着话筒发出的声音，扬声器之所以能够发出很大的声音，首先靠一种能对声音作出灵敏反应的声敏器件，它能把声音转换成微弱的电压信号，再经过放大电路，将输入信号变成大功率的输出信号。扬声器里发出很强的声音，不是声音的简单扩大，而是用小的输入信号，通过晶体管放大电路来控制电源提供的能量大小，在输出负载（扬声器）上取得大的输出信号。扩音机的放大电路框图见图 0-1。

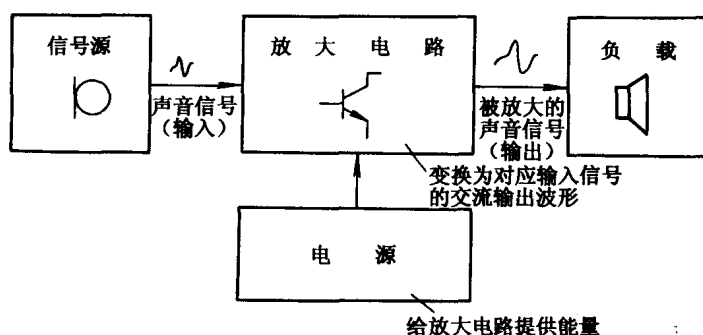


图 0-1 扩音机的原理框图

以上这个例子说明，在扩音过程中，人们用电压信号来模拟声音信号，这两种物理量之间在一定的范围内保持着比例关系。模拟电子技术是研究用硅、锗等材料做成的电子器件（electronic device）组成的电子电路，对连续变化信号（例如正弦波）进行控制、处理等应用的科学技术。电子技术按照处理信号的不同方式，可分为模拟电子技术（analog electronics）和数字电子技术（digital electronics）。如果电子电路中信号是连续变化的，则属于模拟电路（analog circuit）；如果电子电路中信号具有突然的改变、脉冲式的（例如矩形波），则属于数字电路（digital circuit）。这两种电路的区别在于电路中电子器件工作状态不一样，后者经常工作在开关状态，时通时断，前者工作在线性变化的状态中。牢记这一点，在以后学习中就容易理解两种电路工作的特殊性。

电子技术是当代迅速发展的学科，它在自动控制、通信、计算机、家用电器等各个领域的应用日益广泛。如果在模拟电子电路的输入端接入其它如气敏的、湿敏的、磁敏的、光敏的、热敏的、压敏的等敏感元件，人们就可以制作出煤气报警器、去湿机、金属裂纹探测器、自动路灯控制器、温度控制器、电子秤等设备（或装置）。我们日常生活中使用的电话、收音机、电子玩具、电视机、VCD 机、摄录机等家用电器都是电子技术应用的产品。

高等职业学校电类专业都必修模拟电子技术和数字电子技术这两门课。它们是属于电子技术入门性质的技术基础课程。以后同学们还要转向学习专业课，会接触到工程实际。这本教材主要讲述模拟电子技术中最基本的内容，在学习过程中将会遇到很多基本概念、基本原理、基本电子电路、基本分析方法。在学习过程中要进一步培养观察和思考问题的能力以及严谨

认真的学风、实事求是的科学态度。我们学习的电子技术不是神秘莫测、不可驾驭的技术，也不是烦琐冗长的数学推导和运算，而是电子技术的许多活生生的应用。电子技术是一门实践性很强的课程，我们除了要牢固掌握电子技术基本理论外，还要非常重视实验技术。如果仅仅只有书本理论知识而缺乏实践，就不可能把电子技术真正学到手。同学们在学习基本知识的过程中，需要配合阅读大量类似教材“应用篇”的应用实例电路，并通过电子实验和课程设计，学会运用工程估算法，学会使用常用的电子仪器和查阅电子器件手册，学会调试测量电子电路的基本方法。勤于实践、注意理论联系实际，才能学好电子技术基础这一门课程。

基 础 篇

第一章 半导体二极管及其应用电路

半导体二极管 (semiconductor diode)、三极管、场效应管是电路中最常用的半导体器件, PN 结 (PN junction) 是构成各种半导体器件的重要基础, 本章首先讨论半导体的导电性和二极管的形成及其特点, 接着介绍几种特殊二极管, 最后介绍二极管应用电路。

第一节 半导体基本知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体, 常用的半导体有硅、锗、硒、砷化镓以及大多数金属氧化物和硫化物等。

半导体的导电能力受各种因素影响:

1. 热敏特性 温度升高, 大多数半导体的电阻率下降。例如, 有些半导体的导电能力受环境温度影响很大。纯锗温度每升高 10°C 它的电阻率就会减少到原来的一半左右。由于半导体的电阻率对温度特别灵敏, 利用这种特性就可以做成各种热敏元件。

2. 光敏特性 许多半导体受到光照辐射, 电阻率下降。硫化镉, 在没有光照时, 电阻高达几十兆欧, 受到阳光照射时, 电阻可降到几十千欧。利用这种特性可制成各种光电元件。

3. 掺杂特性 在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质 (impurity) 后, 它的导电能力就可增加几十万甚至几百万倍。例如, 在纯硅中掺入百万分之一的硼后, 硅的电阻率就从大约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减少到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 左右。利用这种特性就可制成各种不同用途的半导体器件, 如半导体二极管、三极管、晶闸管、场效应晶体管等。

纯净的半导体 (本征半导体, intrinsic semiconductor) 掺入微量元素后就成为杂质半导体。由于掺入的杂质不同, 杂质半导体可分为 N 型半导体 (N-type semiconductor) 和 P 型半导体 (P-type semiconductor)。P 型或 N 型半导体的导电能力虽然较高, 但并不能直接用来制造半导体器件。

PN 结是构成各种半导体的基础。PN 结是采用特定的制造工艺, 使一块半导体的两边分别形成 P 型半导体和 N 型半导体, 它们交界面就形成 PN 结。PN 结具有单向导电性 (unilateral conductivity)。即在 PN 结上加正向电压时, PN 结电阻很低, 正向电流 (forward current) 较大, PN 结处于导通状态 (turn-on state); 加反向电压时, PN 结电阻很高, 反向电流很小, PN 结处于截止状态 (cut-off state)。

第二节 半导体二极管

一、二极管的结构及符号

将PN结加上相应的电极引线和管壳,就成为半导体二极管。由P区引出的电极称为阳极(anode)(正极),由N区引出的电极称为阴极(cathode)(负极)。按结构分,二极管有点接触型和面接触型两类。点接触型二极管的特点是PN结面积小(结电容小),因此不能通过较大电流,但其高频性能好,故一般适用于高频和小功率的电路中,也用作数字电路中的开关元件。面接触型二极管(一般为硅管)的特点是PN结面积大,故可通过较大电流(可达上千安培),但其结电容大、工作频率低,因此,一般用作整流。根据半导体二极管材料的不同,可分为硅二极管和锗二极管。图1-1是二极管的表示符号。

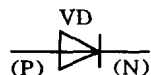


图1-1 半导体二极管表示符号

二、二极管的伏安特性 (volt-ampere characteristics)

二极管最主要的特性就是单向导电性,可以用伏安特性曲线来说明。所谓伏安特性曲线就是电压与电流的关系曲线,如图1-2所示。

(一) 正向特性 (forward characteristics)

当二极管的正向电压很小时,几乎没有电流通过二极管。正向电压超过某数值后,才有正向电流流过二极管,这一电压值称为死区电压。硅管的死区电压一般为0.5V,锗管则约为0.1V。图1-2中①为死区。

二极管的正向电压大于死区电压后,有较大的正向电流通过二极管,称为二极管导通。正向电流随着电压的增加而迅速增大,如图1-2②所示。硅二极管电流上升曲线比锗二极管更陡。

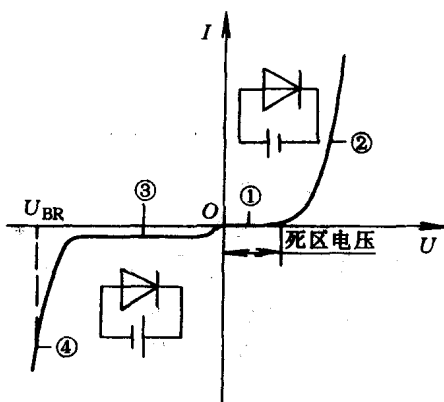


图1-2 二极管的伏安特性

(二) 反向特性 (reverse characteristics)

当二极管加上反向电压时,只有极小的反向电流流过二极管。在同样的温度下,硅管的反向电流比锗管小得多,锗管是微安级(μA),硅管是纳安级(nA)。

二极管的反向电流具有两个特点:第一个特点是它随温度上升而增长很快,另一个特点是只要外加的反向电压在一定范围之内,反向电流基本不随反向电压变化,如图1-2③所示。

(三) 反向击穿 (reverse breakdown) 特性

当反向电压高到一定数值时,反向电流将突然增大,二极管失去单向导电性,这种现象称为电击穿,如图1-2④所示。发生击穿时的电压 U_{BR} 称为反向击穿电压(breakdown voltage)。如果二极管的反向电压超过这个数值,而没有适当的限流措施,会因电流大、电压高,将使管子过热而造成永久性的损坏,这叫做热击穿。

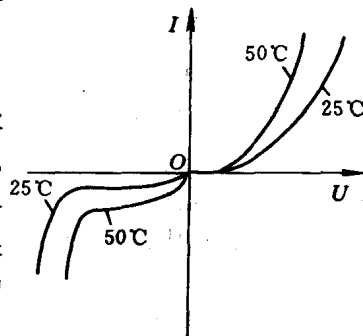


图1-3 温度对二极管特性的影响

(四) 温度对特性的影响

由于半导体的导电性能与温度有关,所以二极管的特性对