



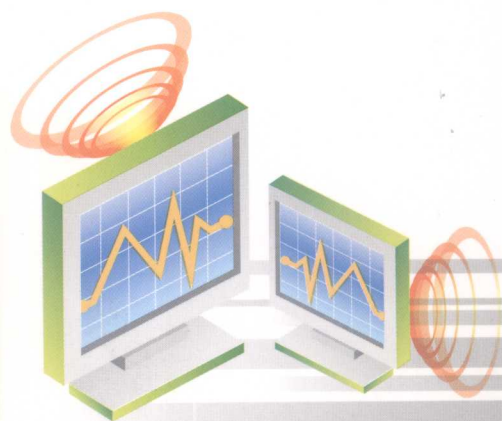
21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科

电子通信系列

实用规划教材



模拟电子技术

主 编 陆秀令 韩清涛



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

模拟电子技术

主 编 陆秀令 韩清涛
副主编 焦冬莉 张 伟
参 编 李 蕾 鲁子卉
龙卓珉 张松华



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

举报电话：010-62753024

电子邮箱：bjup@bjup.pku.edu.cn

定价：35.00 元

未经许可，不得转载

内 容 简 介

本书是为了适应当前模拟电子技术基础课程的教学改革而编写的。全书共分 11 章, 内容包括: 半导体二极管及其应用电路、双极型三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、集成运算放大器、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用、波形产生及变换电路、功率放大电路、直流稳压电源、电力电子电路、模拟电子电路的仿真技术——EWB 软件介绍。

本书可作为高等院校本科、高职高专、成人高校、本科院校主办的二级学院和民办高校的电气、自动化、电子、通信、机电一体化、计算机等专业的教材, 也可作相关专业的自考教材, 还可供从事电子技术方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/陆秀令, 韩清涛主编. —北京: 北京大学出版社, 2008. 1

(21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 978 - 7 - 301 - 12340 - 9

I. 模… II. ①陆…②韩… III. 模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 083174 号

书 名: 模拟电子技术

著作责任者: 陆秀令 韩清涛 主编

策 划 编 辑: 徐 凡

责 任 编 辑: 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978 - 7 - 301 - 12340 - 9/TN · 0027

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 456 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010 - 62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 殷瑞祥

顾 问 宋铁成

副主任 (按拼音顺序排名)

曹茂永 陈殿仁 李白萍 王霓虹

魏立峰 袁德成 周立求

委 员 (按拼音顺序排名)

曹继华 郭 勇 黄联芬 蒋兴华 蒋 中

刘化君 聂 翔 谭海曙 王宝兴 吴舒辞

阎 毅 杨 雷 姚胜兴 张立毅 张雪英

张宗念 赵明富 周开利

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自20世纪90年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005年4月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共70余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005年8月在北京召开了《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了32本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北大出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在2006年与读者见面了。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才培养”目标,具有以下特点:

(1) **强调大基础:**针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性:**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来,把工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景

的问题,避免空洞。

(3) **坚持科学发展观:**教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全:**与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

前 言

随着电子技术的迅速发展和教学改革的不断深入,新的内容越来越多。但是受限于新的教学大纲和学生知识结构的变化,所允许的授课时间越来越少。为适宜新的形势发展,北京大学出版社组织全国部分高校多年从事本课程教学的老师,在分析目前国内外教材的基础上,结合多年的教学体会编写了这本《模拟电子技术》。本书的主要特色如下。

1. 内容的取舍以现代电子技术的基本知识、基础理论为主,使电子技术的基本理论与各种新技术有机结合在一起,文字阐述详尽,公式简明易记,鲜有数学推导。

2. 基础理论的编写安排符合教学规律,注重分析方法,使学生容易自学。

3. 引入 EWB 仿真技术,每章后面都有仿真示例,通过这些仿真示例,可以大大提高学生理论和实践结合的能力,从而解决传统教学课堂中课堂与实验室、理论与实践脱节的现象。

4. 随着科学技术的发展,集成电路与分立元件相比,具有明显的优势。因此本教材注重集成电路的教学,在集成电路的编写中,注意集成电路的框图结构和工作原理上的讲解,不拘泥于内部具体电路。

全书共分 11 章,标记“*”的内容为选讲内容。第 1 章为半导体二极管及其应用电路,第 2 章为双极型三极管及其放大电路,第 3 章为场效应管及其放大电路,第 4 章为集成运算放大器,第 5 章为负反馈放大电路,第 6 章为集成运算放大器的应用,第 7 章为波形产生及变换电路,第 8 章为功率放大电路,第 9 章为直流稳压电源,第 10 章为电力电子电路,第 11 章为模拟电子电路的仿真技术——EWB 软件介绍。

本书由湖南工学院陆秀令负责统稿,东莞理工学院韩清涛协助统稿,具体编写的章节分工如下:陆秀令编写第 1、2、7 章,中北大学分院焦冬莉编写第 3、10 章,湖南工学院龙卓珉编写第 4 章,河南科技学院张伟编写第 5 章,韩清涛编写第 6 章,东北电力学院李蕾编写第 8 章,北华大学鲁子卉编写第 9 章,湖南工学院张松华编写第 11 章和部分章的仿真示例。

由于编者水平有限,加之时间仓促,本书不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2007 年 12 月

本书常用符号说明

A 放大倍数	G 电导
A_F 反馈放大电路的增益、放大倍数	g 微变电导
A_i 电流增益、放大倍数	g 场效应管的栅极
A_{uo} 开环电压增益、放大倍数	g_m 跨导
A_u 电压增益、放大倍数	I, i 电流
A_{uc} 共模电压增益、共模电压放大倍数	I_C 集电极静态电流、直流电流
A_{ud} 差模电压增益、差模电压放大倍数	I_c 集电极电流交流分量有效值
A_{uF} 闭环电压增益、闭环电压放大倍数	I_{cm} 集电极电流交流分量幅值
a 整流元件的阳极(正极)	ΔI_c 集电极电流变化值
BW 频带宽度、通频带	I_D 二极管静态电流、漏极静态电流
b 三极管的基极	I_P 二极管正向电流平均值
C 电容	I_1, i_1 输入电流
C_B 势垒电容	I_{BQ} 输入偏置电流
C_b 隔直电容(耦合电容)	I_{IO} 输入失调电流
$C_{b'c}$ 基极-集电极电容	I_i 输入电流有效值
$C_{b'e}$ 基极-发射极电容	I_L, i_L 负载电流
C_D 扩散电容	I_o 输出电流有效值
C_e 发射极旁路电容	I_{OAV} 输出电流平均值
C_F 反馈电容	I_{OM} 最大输出电流
C_i 输入电容	I_{OS} 输出短路电流
C_j 结电容	I_R 二极管反向电流
C_L 负载电容	I_S 信号源电流、二极管反向饱和电流
C_o 输出电容	I_+, i_+ 运放同相端输入电流
c 三极管的集电极	I_-, i_- 运放反向端输入电流
D 二极管	i_C 集电极总电流
D_Z 稳压二极管	i_c 集电极电流交流分量
d 场效应管的漏极	i_f 反馈电流
e 三极管的发射极	i_i 总输入电流
F 反馈系数	K 热力学温度单位
F_U 电压反馈系数	K_{CMR} 共模抑制比
f 频率	K_r 纹波系数
f_H 放大电路的上限频率	k 玻耳兹曼常数
f_L 放大电路的下限频率	k 整流元件的阴极(负极)
f_0 谐振频率、中心频率	L 自感系数、电感
f_T 特征频率	M 互感系数互感

- N 绕组的匝数比
 n 电子浓度
 P 功率
 P 空穴型半导体
 p 空穴浓度
 Q 静态工作点品质因数
 q 电子的电荷量
 R 电阻
 R_b 、 R_c 、 R_e 半导三极管放大电路的基极、集电极、发射极电阻
 R_d 、 R_g 、 R_s 场效应管放大电路漏极、栅极、源极电阻
 R_f 反馈电阻
 R_i 直流输入电阻
 R_i 放大电路的交流输入电阻
 R_L 负载电阻
 R_o 放大电路交流输出电阻
 R_S 信号源内阻
 R_p 电位器(可变电阻)
 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
 S 开关
 S_R 转换速率
 S_r 稳压系数
 s 复频率变量
 s 场效应管源极
 T 温度
 T 双口有源器件(半导体三极管、场效应管、单结晶体管)
 Tr 变压器
 t 时间
 U 、 u 电压(下标含义和 I 、 i 的下标含义相同)
 $U_{(BR)CBO}$ 发射极开路, 集电极-基极反向击穿电压
 $U_{(BR)CEO}$ 基极开路, 集电极-发射极反向击穿电压
 $U_{(BR)EBO}$ 集电极开路, 发射极-基极反向击穿电压
 $U_{(BR)DS}$ 漏-源极击穿电压
 $U_{(BR)GD}$ 栅-漏极击穿电压
 $U_{(BR)GS}$ 栅-源极击穿电压
 U_D 二极管导通时压降
 $U_{GS(off)}$ 场效应管的夹断电压
 $U_{GS(th)}$ 场效应管的开启电压
 U_H 回差电压
 U_I 直流信号输入电压
 u_{ic} 共模输入电压
 u_{id} 差模输入电压
 U_i 输入电压有效值
 U_{id} 净输入电压
 U_{on} 二极管、三极管的门限电压
 U_P 单结晶体管的峰点电压
 U_{REF} 参考电压、基准电压
 U_s 信号源电压有效值
 U_T 温度的电压当量
 U_{T+} 上限阈值电压
 U_{T-} 下限阈值电压
 U_V 单晶体管的谷点电压
 u_X 模拟乘法器 X 端的输入电压
 u_Y 模拟乘法器 Y 端的输入电压
 U_Z 稳压器的稳定电压、模拟乘法器的输出电压
 U_+ 、 u_+ 运算放大器的同相输入电压
 U_- 、 u_- 运算放大器的同相输入电压
 u_f 反馈电压
 V_{BB} 三极管的基极电源
 V_{CC} 三极管的集电极电源
 V_{DD} 场效应管的漏极电源
 V_{EE} 三极管的发射极电源
 V_{GG} 场效应管的栅极电源
 V_{SS} 场效应管的源极电源
 VT 晶闸管
 X 电抗、反馈电路中输入信号
 Y 导纳
 Z 阻抗
 α 三极管共基极接法的电流放大系数、晶闸管的控制角
 β 三极管共发射极接法的电流放大系数

θ	整流器件的导电角(二极管、三极管、晶闸管)	τ	时间常数
η	效率、单结晶体管的分压比	τ_c	充电时间常数
φ	相位角、相移	τ_d	放电时间常数
		ω	角频率

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

序号	书 号	书 名	编 著 者	定 价
1	978-7-301-10759-1/TN·0031	DSP 技术及应用	吴冬梅 张玉杰	26.00
2	978-7-301-10760-7/TN·0032	单片机原理与应用技术	魏立峰 王宝兴	25.00
3	978-7-301-10765-2/TN·0035	电工学(少学时、单册)	蒋 中 刘国林	29.00
4	978-7-301-10766-9/TN·0036	电工与电子技术(上册)	吴舒辞 朱俊杰	21.00
5	978-7-301-10767-6/TN·0037	电工与电子技术(下册)	徐卓农 李士军	22.00
6	978-7-301-10699-0/TN·0026	电子工艺实习	周春阳	19.00
7	978-7-301-10744-7/TN·0027	电子工艺学教程	张立毅 王华奎	32.00
8	978-7-301-10915-6/TN·0039	电子线路 CAD	吕建平 梅军进	34.00
9	978-7-301-10764-1/TN·0034	数据通信技术教程	吴延海 陈光军	29.00
10	978-7-301-10768-3/TN·0038	数字信号处理	阎 毅 黄联芬	24.00
11	978-7-301-10756-0/TN·0028	现代交换技术	茅正冲 姚 军	30.00
12	978-7-301-10761-4/TN·0033	信号与系统	华 容 隋晓红	33.00
13	978-7-301-10762-5/H·1669	信息与通信工程专业英语	韩定定 赵菊敏	24.00
14	978-7-301-10757-7/TN·0029	自动控制原理	袁德成 王玉德	29.00
15	978-7-301-11443-8/TN·0040	高频电子线路	宋述祥 周冬梅	31.00
16	978-7-301-11507-7/TP·0898	微机原理与接口技术	陈光军 傅越千	34.00
17	978-7-301-11442-1/TP·0892	MATLAB 基础及其应用教程	周开利 邓春晖	24.00
18	978-7-301-11508-4/TP·0899	计算机网络	郭银景	31.00
19	978-7-301-12178-8/TN·0025	通信原理	隋晓红 钟晓玲	32.00
20	978-7-301-12175-7/TM·0003	电子系统综合设计	郭 勇 余小平	25.00
21	978-7-301-11503-9/TN·0042	EDA 技术基础	赵明富 李立军	22.00
22	978-7-301-12176-4/TP·0868	数字图像处理	曹茂永	23.00
23	978-7-301-12177-1/TN·0024	现代通信系统	李白萍 王志明	27.00
24	978-7-301-13121-3/TN·0044	模拟电子技术实验教程	谭海曙	24.00
25	978-7-301-12340-9/TN·0027	模拟电子技术	陆秀令 韩清涛	32.00
26	978-7-301-11502-2/TM·0041	移动通信	郭俊强 李 成	24.00
27	978-7-301-11504-6/TN·0043	数字电子技术	梅开乡 郭 颖	35.00
28	978-7-301-12179-5/TN·0026	电路分析	王艳红	32.00(估)

电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源下载地址: <http://www.pup6.com/ebook.htm>, 欢迎下载。

欢迎免费索取样书, 请填写并通过 E-mail 提交教师调查表, 下载地址: <http://www.pup6.com/down/教师信息调查表 excel 版.xls>, 欢迎订购。

联系方式: 010-62750667, xufan666@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

目 录

第1章 半导体二极管及其应用电路..... 1

1.1 半导体基本知识..... 1	
1.1.1 本征半导体..... 1	
1.1.2 杂质半导体..... 2	
1.2 PN结..... 3	
1.2.1 PN结的形成..... 3	
1.2.2 PN结的单向导电性..... 4	
1.2.3 二极管的击穿特性..... 5	
1.2.4 PN结的电容特性..... 5	
1.3 半导体二极管..... 6	
1.3.1 二极管的结构..... 6	
1.3.2 二极管的 $U-I$ 特性..... 7	
1.3.3 二极管的主要参数..... 9	
1.3.4 特殊二极管..... 10	
1.4 二极管电路的分析方法..... 12	
1.5 二极管应用电路..... 15	
1.6 半二极管使用常识和二极管 选管原则..... 16	
1.6.1 半导体的命名方式..... 16	
1.6.2 半导体选管原则..... 18	
1.7 仿真实例..... 18	
1.8 小结..... 19	
1.9 习题..... 20	

第2章 双极型三极管及其放大电路... 23

2.1 双极型三极管..... 23	
2.1.1 BJT的结构..... 23	
2.1.2 BJT放大原理..... 24	
2.1.3 BJT特性曲线..... 27	
2.1.4 BJT主要参数..... 29	
2.2 共射极放大电路..... 31	
2.2.1 电路结构..... 31	
2.2.2 工作原理..... 32	
2.2.3 主要技术指标..... 32	
2.3 放大电路的基本分析方法..... 33	
2.3.1 放大电路的静态分析..... 33	
2.3.2 放大电路的动态分析..... 36	

2.4 放大电路静态工作点稳定的问题... 40

2.4.1 温度对静态工作点的影响... 40

2.4.2 分压式偏置共射极放大 电路..... 41

2.5 共集电极放大电路..... 44

2.5.1 电路结构与静态分析..... 44

2.5.2 动态分析..... 45

2.5.3 特点与应用..... 46

2.6 共基极放大电路..... 47

2.6.1 电路结构与静态分析..... 47

2.6.2 动态分析..... 48

2.6.3 3种基本组态的比较..... 49

2.7 多级放大电路..... 50

2.7.1 多级放大电路的耦合方式... 50

2.7.2 多级放大电路的分析方法... 51

2.8 放大电路的频率响应..... 52

2.8.1 频率响应的概念..... 52

2.8.2 单级放大电路的频率响应... 54

2.8.3 多级放大电路的频率响应... 60

* 2.9 仿真实例..... 62

2.10 小结..... 64

2.11 习题..... 65

第3章 场效应管及其放大电路..... 72

3.1 结型场效应管(JFET)..... 72

3.1.1 结型场效应管的结构和 基本工作原理..... 72

3.1.2 结型场效应管的特性曲线... 75

3.2 绝缘栅型场效应管..... 76

3.2.1 N沟道增强型 MOS 场效应管..... 77

3.2.2 N沟道耗尽型 MOS管..... 79

3.2.3 P沟道 MOSFET简介..... 80

3.2.4 各种 FET 的结构符号及特性 曲线的比较..... 81

3.3 场效应管的主要参数、特点及

使用注意事项..... 82

3.3.1 场效应管的参数..... 82

3.3.2 场效应管的特点	83	5.1.1 反馈的概念	122
3.3.3 使用注意事项	84	5.1.2 反馈的类型和判定	122
3.4 场效应管放大电路	85	5.1.3 4种类型的负反馈组态	123
3.4.1 场效应管放大电路的静态偏置 与分析方法	85	5.2 负反馈放大电路的方框图及增益的 一般表达式	127
3.4.2 场效应管放大电路的小信号 模型分析法	88	5.2.1 负反馈放大电路的 方框图	127
* 3.5 仿真实例	92	5.2.2 负反馈放大电路增益的 一般表达式	127
3.6 小结	94	5.3 负反馈对放大电路性能的影响	128
3.7 习题	95	5.3.1 负反馈使放大倍数稳定性 提高	129
第4章 集成运算放大器	98	5.3.2 负反馈使放大电路通频带 展宽	129
4.1 概述	98	5.3.3 负反馈使非线性失真 减小	130
4.2 集成电流源电路	99	5.3.4 负反馈对放大器的输入电阻和 输出电阻的影响	130
4.2.1 比例电流源	99	5.4 深度负反馈放大电路的分析 方法	133
4.2.2 镜像电流源	100	5.4.1 深度负反馈放大电路的近似 计算	133
4.2.3 微电流源	100	5.4.2 深度负反馈放大电路的计算 举例	136
4.2.4 集成源负载放大电路	100	5.5 负反馈放大电路的稳定性问题	139
4.3 差动放大电路	101	5.5.1 产生自激振荡的原因和 条件	139
4.3.1 基本差分放大电路	101	5.5.2 自激振荡的判断方法	140
4.3.2 具有恒流源的差分放大 电路	105	5.5.3 常用消除自激振荡的 方法	141
4.3.3 场效应管差分放大电路	105	* 5.6 深度负反馈放大电路的小信号 模型分析法	144
4.4 集成运算放大器	107	* 5.7 仿真实例	147
4.4.1 集成运算放大器的典型 结构	107	5.8 小结	149
4.4.2 通用型集成运算放大器	108	5.9 习题	150
4.5 理想集成运算放大器及传输 特性	110	第6章 集成运算放大器的应用	154
4.5.1 集成运算放大器的电路 符号	110	6.1 运算电路	154
4.5.2 集成运算放大器的理想化 条件	111	6.1.1 比例放大电路	154
4.5.3 集成运算放大器的传输 特性	111	6.1.2 加法运算电路	156
4.6 集成运算放大器的主要性能 指标	112	6.1.3 减法运算电路	158
* 4.7 专用型集成运算放大器	114	6.1.4 微分和积分运算电路	158
* 4.8 仿真实例	116	6.1.5 指数和对数运算电路	160
4.9 小结	118	6.1.6 乘法运算电路	161
4.10 习题	118		
第5章 负反馈放大电路	122		
5.1 反馈的基本概念	122		

6.2 有源滤波电路·····	161	8.3.2 甲乙类单电源互补对称功率放大电路·····	208
6.2.1 低通滤波电路 LPF ·····	161	8.3.3 准互补推挽功率放大电路·····	209
6.2.2 高通滤波电路 HPF ·····	163	* 8.4 集成功率放大器·····	209
6.2.3 带通滤波电路 BPF 和带阻滤波电路 BEF ·····	164	* 8.5 功率器件的散热·····	212
6.3 电压比较器·····	166	* 8.6 仿真实例·····	214
6.3.1 简单电压比较器·····	166	8.7 小结·····	215
6.3.2 滞回比较器·····	167	8.8 习题·····	215
6.3.3 窗口比较器·····	168		
* 6.4 模拟乘法器·····	168	第 9 章 直流稳压电源 ·····	219
6.4.1 可变跨导模拟乘法器·····	169	9.1 直流电源的组成·····	219
6.4.2 模拟乘法器的简单应用·····	170	9.2 单相整流电路·····	219
* 6.5 开关电容滤波电路·····	171	9.2.1 单相半波整流电路·····	220
* 6.6 仿真实例·····	172	9.2.2 单相全波整流电路·····	221
6.7 小结·····	174	9.2.3 单相桥式整流电路·····	222
6.8 习题·····	174	9.3 滤波电路·····	224
第 7 章 波形产生及变换电路 ·····	178	9.3.1 电容滤波电路·····	224
7.1 正弦波振荡电路·····	178	9.3.2 其他形式滤波电路·····	227
7.1.1 产生正弦波的振荡条件·····	178	9.4 稳压电路·····	229
7.1.2 RC 正弦波的振荡电路·····	179	9.4.1 稳压电路及其主要技术指标·····	229
7.1.3 LC 正弦波的振荡电路·····	182	9.4.2 集成稳压电路·····	232
7.1.4 石英晶体正弦波振荡电路·····	186	9.4.3 开关型稳压电路·····	238
7.2 非正弦波振荡电路·····	189	* 9.5 仿真实例·····	240
7.2.1 矩形波发生电路·····	189	9.6 小结·····	243
7.2.2 三角波和锯齿波发生电路·····	191	9.7 习题·····	244
* 7.3 仿真实例·····	192	* 第 10 章 电力电子电路 ·····	246
7.4 小结·····	194	10.1 晶闸管·····	247
7.5 习题·····	194	10.1.1 晶闸管的结构和可控单向导电性·····	248
第 8 章 功率放大电路 ·····	199	10.1.2 晶闸管的工作原理和伏安特性·····	250
8.1 功率放大电路概述·····	199	10.1.3 晶闸管的主要特性参数·····	252
8.1.1 功率放大电路的分类·····	199	10.2 触发电路·····	254
8.1.2 功率放大电路的特点和提高输出功率的方法·····	201	10.2.1 单结晶体管·····	254
8.2 乙类双电源互补对称功率放大电路·····	204	10.2.2 单结晶体管触发电路·····	257
8.2.1 电路组成和工作原理·····	204	10.3 晶闸管应用电路·····	261
8.2.2 功率参数分析计算·····	205	10.3.1 整流电路·····	261
8.3 甲乙类互补对称功率放大电路·····	206	10.3.2 实际应用电路·····	264
8.3.1 甲乙类双电源互补对称功率放大电路·····	207	10.4 晶闸管的命名与使用·····	265
		10.4.1 国产晶闸管的型号与命名方法·····	265

10.4.2	晶闸管的简易判别和使用	
266	注意事项	266
10.4.3	晶闸管的派生器件	267
10.4.4	全控型电力电子器件	268
* 10.5	仿真实例	269
10.6	小结	271
10.7	习题	272

* 第 11 章 EWB 软件介绍 275

11.1	EWB 软件介绍	275
11.1.1	EWB 的功能介绍	275

11.1.2	EWB 的运行环境与安装	276
11.2	EWB 的基本操作与入门	277
11.2.1	EWB 的基本界面和菜单介绍	277
11.2.2	EWB 的操作使用方法	283
11.3	EWB 应用举例	289
11.4	小结	294

参考答案 295

参考文献 301

第 1 章 半导体二极管及其应用电路

教学提示：半导体器件是近代电子设备的重要组成部分，具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小的优点，在工业上得到广泛使用。对纯净的半导体材料掺杂，便可制成 P 型和 N 型半导体。PN 结由 P 型半导体和 N 型半导体相结合而成，PN 结具有单向导电性、电容特性和击穿特性。二极管的基本结构就是一个 PN 结，二极管电路主要采用模型分析法。

教学要求：本章让学生了解半导体材料特性和 PN 结的形成原理。熟悉二极管的单向导电性和二极管的外特性。重点掌握二极管电路的分析方法、二极管的参数和不同类型二极管的使用方法。

1.1 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。在自然界中，属于半导体的物质很多，用来制造半导体器件的材料主要是硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等，其中硅的应用最为广泛。

1.1.1 本征半导体

纯净的半导体称为本征半导体。常用的半导体材料是硅和锗，它们都是四价元素，在原子结构中最外层轨道上有 4 个价电子。为便于讨论，采用如图 1.1 所示的简化原子结构模型。把硅或锗材料拉制成单晶体时，相邻两个原子的一对最外层电子(价电子)成为共有电子。它们一方面围绕自身的原子核运动，另一方面又出现在相邻原子所属的轨道上。即价电子不仅受到自身原子核的作用，同时还受到相邻原子核的吸引。于是，两个相邻的原子共用一对价电子，组成共价键结构。故在晶体中，每个原子都和周围的 4 个原子以共价键的形式互相紧密地联系起来，如图 1.2 所示。

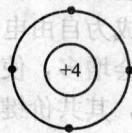


图 1.1 简化原子结构模型

共价键中的价电子在热或光照的作用下而获得一定的能量，其中少数能够摆脱共价键的束缚而成为自由电子。同时，必然在共价键中留下空位，称为空穴，这种现象称为本征激发。空穴带正电，如图 1.3 所示。由于共价键中出现了空穴，在外电场作用下，邻近价电子就可填补在这个空位上。而在这个电子原来的位置上又留下了新的空位，以后其他的电子又可以转移到这个新的空位上。这种价电子填补空位的运动可以看成空穴在运动，但其运动的方向与价电子的方向相反。自由电子和空穴在运动中相遇时会因重新结合而成对消失，这种现象称为复合。这样就使共价键中出现了一定的电荷迁移。一方面自由电子产生定向移动，形成电子电流；另一方面，价电子也按一定的方向依次填补空穴，即空穴产生了定向移动，形成所谓的空穴电流。

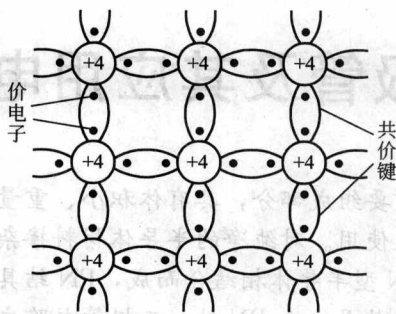


图 1.2 单晶硅和锗的共价键结构示意图

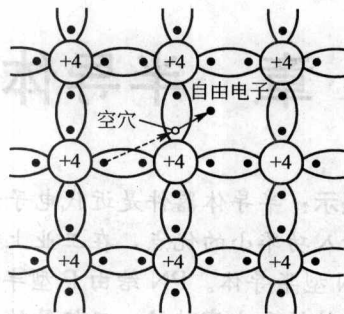


图 1.3 本征激发产生电子和空穴

由此可见, 半导体中存在着两种载流子: 带负电的自由电子和带正电的空穴。在本征半导体中, 自由电子与空穴是同时成对产生的, 因此, 它们的浓度是相等的。用 n 和 p 分别表示电子和空穴的浓度, 即 $n_i = p_i$, 下标 i 表示为本征半导体。

在本征半导体内, 自由电子和空穴总是成对出现的, 也就是说有一个自由电子就必有一个空穴。因此任何时候, 本征半导体中的自由电子和空穴数目总是相等的。在常温下, 本征半导体载流子的浓度很低, 因此其导电能力很弱。

1.1.2 杂质半导体

为了提高半导体的导电能力, 可在本征半导体中掺入微量杂质元素, 掺杂后的半导体称为杂质半导体。按掺入杂质的不同有 N 型半导体和 P 型半导体之分。

在四价的硅(或锗)中掺入五价元素, 如磷、砷、锑等。杂质原子代替了晶格中某些四价元素原子的位置, 由于杂质原子的最外层有 5 个价电子。因此, 它与周围 4 个硅(锗)原子组成共价键时, 还多余一个价电子。这个多余的价电子在室温下就能挣脱共价键的束缚而成为自由电子, 因此, 自由电子的浓度大大增加。这时由本征激发产生的空穴被复合的机会增多, 使空穴浓度反而减小。这种以电子导电为主的半导体称为 N 型(或电子型)半导体, 其共价键结构如图 1.4 所示。在 N 型半导体中, 自由电子为多数载流子(简称多子), 空穴为少数载流子(简称少子)。

在四价的硅(或锗)中掺入三价元素, 如硼、铝、镓等。由于杂质原子的最外层只有 3 个价电子, 当杂质原子与周围的四价元素形成共价键时, 因缺少一个价电子而产生一个空穴。室温下这个空穴极易被邻近共价键中的价电子所填补, 使杂质原子变成负离子, 称为受主负离子, 这种掺杂使空穴的浓度大大增加, 这就是以空穴导电为主的半导体, 称为 P 型(或空穴型)半导体, 其共价键结构如图 1.5 所示。在 P 型半导体中空穴为多子, 自由电子为少子。

必须指出: 杂质离子虽然带电荷, 但不能移动, 因此, 它不是载流子; 杂质半导体中虽然有一种载流子占多数, 但整个半导体仍呈电中性。

杂质半导体的导电性能主要取决于多子浓度, 多子浓度主要取决于掺杂浓度。多子浓度的值较大并且稳定, 因此导电性能得到显著改善。少子浓度主要与本征激发有关, 因此对温度敏感, 其大小随温度的升高而增大。