



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

模拟电子技术基础

胡宴如 耿苏燕 主 编

▼……(第2版)……▲



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

模拟电子技术基础

(第2版)

Moni Dianzi Jishu Jichu

胡宴如 耿苏燕 主编

责任编辑：王 燕 责任校对：王 燕 责任印制：王 燕 责任校对：王 燕 责任印制：王 燕

出版发行：高等教育出版社 地址：北京市西城区德外大街4号 邮编：100120 电话：(010) 58281000 1000 1000 1000 1000

印 刷：北京印刷厂 印 数：200 000 开 本：787×1092 1/16 印 次：2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷 32.10元



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

书 号：58282-00

内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第1版的基础上,根据教育部《电子技术基础课程教学基本要求》修订而成。全书由半导体二极管及其基本应用、半导体三极管及其基本应用、放大电路基础、负反馈放大电路、放大电路的频率响应、集成放大器的应用、信号发生电路、直流稳压电源等8章和附录组成。

本书力求条理分明、概念清楚、重点突出、难点分散、注重应用。每节前均给出学习要求和学习指导;节后有讨论题;每章后有小结、自测题与习题;书中还精选了适量的 Multisim 仿真实例、典型电路设计实例和知识拓展等内容。全书采用双色套印,以利于突出重点,提高可读性。

本书可作为高等院校电气信息、电子信息类专业模拟电子技术基础课程的教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 胡宴如,耿苏燕主编. —2版.

—北京:高等教育出版社,2010.4

ISBN 978-7-04-028853-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 023493 号

策划编辑	韩颖	责任编辑	王勇莉	封面设计	赵阳	责任绘图	杜晓丹
版式设计	范晓红	责任校对	王效珍	责任印制	韩刚		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 26
字 数 590 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004年7月第1版
2010年4月第2版
印 次 2010年4月第1次印刷
定 价 35.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 28853-00

第2版前言

本书是根据教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制订的《电子技术基础课程教学基本要求》编写的普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第1版基础上,总结近年来教学改革的经验教训并吸取各方面的建议和意见修订而成的,适合作为高等院校电气信息、电子信息类各专业模拟电子技术基础课程的教材,也可作为工程技术人员的参考书。本次修订仍遵循第1版的编写思想,进一步精选内容,突出重点,注重实用电路的分析、设计与仿真,适度引入新器件和新技术。

与第1版相比,本版主要作了如下变动:

(1) 全书由原9章调整为8章,取消了原第7章集成模拟乘法器及其应用,将其中模拟乘法器的工作原理及其在运算电路中的应用等内容并入第6章,删去模拟乘法器调制与解调电路等内容。新增了附录用于介绍 Multisim10 的使用,并提供常用元器件参数供参考。

(2) 全书采用双色套印,将重要名词、概念、公式、基本电路、结论等用蓝色标志,将图中需要注意或区别之处也用蓝色标志,既突出重点,提高可读性,又增加了教材的新鲜感。

各节前新增了学习要求和学习指导,以便于读者自学。

各章后新增自测题,以帮助读者自我检查是否已掌握了该章最基本的知识。

在章节后新增了知识拓展内容,提供与该节内容相关的新技术信息、应用电路设计方法与设计实例或加深拓宽的知识,供读者阅读参考。有利于培养读者具备较强的模拟电路工程应用能力。

在章节后新增了适量的 Multisim 仿真实例,以帮助读者生动形象地理解教材的重点和难点,提高调整、测试、分析电路的技能,培养自主学习的兴趣与能力。

(3) 对场效应管,从应用角度出发,删去了对结构与工作原理过细的分析,加强了基本应用电路的讨论,增加了 CMOS 集成运放的介绍。对原第6章,从提高集成放大器应用能力的角度出发,改革了内容与叙述方式,以利于读者理解运用运放来构成实用电路、满足工程需求的方法,提高设计与创新能力。另外,适度介绍了电流模集成运放、丁类音频集成功放、集成函数发生器、直接数字合成(DDS)波形发生器等新技术。

(4) 本书力求将理论讲授、自学、讨论、习题、仿真、实验和自测等教学环节有机结合,形成优化的教学体系,便于实施启发引导、教学互动,提高教学效果。

本书共8章,第1~4章分别为半导体二极管及其基本应用、半导体三极管及其基本应用、放大电路基础和负反馈放大电路,这些是本课程的基本内容。通过这一部分的教学使读者建立

模拟电子技术的基本概念,掌握基本电路和基本分析方法。第5章为放大电路的频率响应,重点对放大电路的高频响应、负反馈放大电路的自激与频率补偿进行讨论,并较详细地介绍了集成运放的频率特性及高频参数。第6章为集成放大器的应用,除了重点介绍集成运放的基本应用电路及其分析方法外,还介绍了集成功放和其他多种常用集成放大器的应用。该章内容视不同专业可适当取舍。第7章为信号发生电路,主要介绍正弦波和非正弦波发生电路的工作原理,并对频率合成技术作适当介绍。第8章为直流稳压电源,主要介绍直流稳压电路的组成、桥式整流电容滤波电路及其工作原理、线性与开关集成稳压器的应用,本章内容可结合实践课来完成。书中“知识拓展”和打“*”号的内容可选学。

本书由胡宴如和耿苏燕共同主编,耿苏燕编写第1、2、4、6章中除了Multisim仿真以外的全部内容以及附录B,并负责全书的统稿;胡宴如编写第3、5、8章中除了Multisim仿真以外的全部内容;周正编写第7章、附录A以及本书中所有有关Multisim仿真的章节,胡旭峰、马丽祥、李晓明等同志协助完成讨论题、习题以及图稿等的编写工作。

本书承蒙南京航空航天大学王成华教授认真细致地审阅,提出了很多宝贵的修改意见,在此谨致以衷心感谢。书中可能存在错漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009年8月

第1版前言

本书是教育科学“十五”国家级规划课题研究成果。随着我国高等教育的迅速发展,为了满足高等学校应用型人才培养需要,在全国高等学校教学研究中心以及高等教育出版社的支持下,根据长期教学改革和实践的经验,我们编写了此书。它适用于本科电气信息和电子信息类专业,作为“模拟电子技术基础”、“线性电子线路”等课程的教材或教学参考书,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

模拟电子技术是本科电气信息和电子信息类专业重要的技术基础课,它内容丰富,应用广泛,新技术、新器件发展迅速。考虑到应用型本科人才培养的特点,本书在编写中特别注意以下几点:

- (1) 保证基础,突出重点,难点分散,加强基本概念、基本理论和基本分析方法的讨论。
- (2) 注重应用,加强理论与工程应用的结合,加强电路的构成与应用方法的介绍,加强集成电路应用技术的介绍。
- (3) 注意内容的适度更新,适当引入新器件和新技术。
- (4) 力图深入浅出,简单明了,概念清楚,层次分明,利于教学。

本书的第1~4章分别为半导体二极管及其电路分析、半导体三极管及其电路分析、放大电路基础和负反馈放大电路,这些是本课程的基本内容。通过这一部分的教学使学生建立模拟电子技术的基本概念,掌握其基本理论、基本分析方法。在第1章和第2章中加强了二极管和三极管应用电路及其基本分析方法的讨论,使器件与电路的结合更为紧密,并使学生比较容易适应电子电路的基本分析方法,以利读者“入门”。将三种组态放大电路、差分放大电路、互补对称放大电路、多级放大电路及集成运算放大器等合并为第3章,着重于放大电路的基本工作原理、基本特性的分析,尽量精简分立元器件电路的内容,压缩集成器件内部电路的分析,并使集成运算放大器的介绍提前,便于后续各章更多地涉及集成运算放大器的应用。第4章中以集成运算放大器构成的反馈放大电路为主进行反馈概念的分析,突出深度负反馈放大电路的特点,使反馈概念清楚、简明,易于理解。

第5章为放大电路的频率响应。该章从最简单的 RC 电路频率响应入手,介绍放大电路的频率响应,重点对放大电路的高频响应进行分析。为了分散难点,加强应用,将负反馈放大电路的自激与频率补偿也列入该章讨论。通过该章的教学,使学生了解频率响应的分析方法、半导体器件极间电容对放大电路特性的影响,认识集成运放内部或外部频率补偿电路的作用,理解集成运放高频参数的含义。第6章为模拟集成放大器的线性应用,除了重点介绍通用集成运放的应

用外,还介绍了其他多种常用集成放大器和一些新型集成器件的应用。该章附录中还对集成运放应用中的一些实际问题进行了说明。该章内容视专业不同可适当取舍。第7章为集成模拟乘法器及其应用,可作为选学内容,对于开设“非线性电子线路”或“高频电子线路”的专业,本章可以不学。第8章为信号发生电路,主要介绍正弦波和非正弦波振荡电路的工作原理,同时对电压比较器、锁相频率合成技术作适当介绍。第9章为直流稳压电源,主要介绍线性 and 开关集成稳压器的应用,本章内容可结合实践课来完成。

关于本书符号在这里做一点说明。研究电子电路时,在一定的频率范围内可以忽略管子结电容及电路中电抗元件的影响,而把它作为电阻性电路进行分析。由于在线性电阻性电路中,其输出信号具有与输入信号相同的波形,仅幅度和极性有所变化,因此,为了使电路关系表示更为简洁,不论是直流信号还是交流信号,是正弦信号还是非正弦信号,凡是变化的信号本书均用瞬时值表示。在实际应用中,某些场合必须考虑各种电抗元件对电子电路性能的影响,例如,放大电路中晶体管极间电容和分布电容对其上限频率的影响,耦合电容和旁路电容对其下限频率的影响,在这些场合,输出信号与输入信号之间不仅有幅度的变化,而且还有附加相移的变化,因此,这些电路中的电流、电压均采用相量表示。

本书每节后均编有讨论题,可作为课堂讨论用;部分章后编有应用知识附录,可供课堂讲授,也可布置学生自学。本书课堂教学约60学时,书中打“*”号的内容可视专业不同选学。

本书由胡宴如和耿苏燕共同主编,第3、5、7、8、9章由胡宴如负责,第1、2、4、6章由耿苏燕负责,胡旭峰、马丽祥、李晓明等同志协助主编完成附录、讨论题、习题以及图稿等的编写工作。

本书承蒙教育部电气与电子信息类基础课教学指导委员会委员、南京航空航天大学王成华教授百忙之中认真细致地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见和建议,在此,谨致以衷心的感谢。

书中错漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2004年2月

本书常用符号说明

(一) 符号表示的一般规定

1. 基本参数的通用符号

参数名称	电流	电压	功率	电位	放大倍数	电阻	电导	电抗	阻抗	电感	电容
通用符号	$I、i$	$U、u$	$P、p$	$V、v$	A	$R、r$	$G、g$	X	Z	L	C

参数名称	时间	周期	频率	角频率	带宽	相位	反馈系数	时间常数	热力学温度	效率
通用符号	t	T	f	ω	BW	φ	F	τ	T	η

2. 下标含义

下标符号	含 义	
i; i	输入; 电流	例如: R_i 为输入电阻, u_i 为输入电压, i_i 为输入电流; A_i 为电流放大倍数
o	输出	例如: R_o 为输出电阻, u_o 为输出电压, i_o 为输出电流
u	电压	例如: A_u 为电压放大倍数
L	负载	例如: R_L 为负载电阻
F、f	反馈	例如: A_f 为加有反馈时的放大倍数, u_f 为反馈电压, R_f 为反馈电阻
m	振幅; 最大值; 中频	例如: U_{om} 为输出电压振幅; P_{om} 为最大不失真输出功率; A_{um} 为中频电压放大倍数
M	最大值	例如: I_{CM} 为集电极最大允许电流, P_{CM} 为集电极最大允许耗散功率
REF	基准	例如: I_{REF} 为基准电流, U_{REF} 为基准电压
B、b	基极	例如: i_b 为基极电流, R_b 为基极电阻
E、e	发射极	例如: i_e 为发射极电流, R_e 为发射极电阻
C、c	集电极; 共模	例如: i_c 为集电极电流, u_{ce} 为集电极和发射极之间的电压; u_{ic} 为共模输入电压
D、d	漏极; 差模; 二极管	例如: i_D 为漏极电流或二极管电流; u_{id} 为差模输入电压, A_{ud} 为差模电压放大倍数

续表

下标符号	含 义	
G、g	栅极;电导	例如: V_G 为栅极电位; A_g 为互导放大倍数
S、s	源极;信号源;饱和	例如: I_{CS} 为集电极饱和电流, I_{BS} 为基极临界饱和电流, U_{CES} 为晶体管饱和压降; u_s 为源极电压或信号源电压; A_{us} 为源电压放大倍数
H	上限	例如: f_H 为上限频率, ω_H 为上限角频率; U_{TH} 为上门限电压; U_{OH} 为输出高电平电压
L	下限	例如: f_L 为下限频率, ω_L 为下限角频率; U_{TL} 为下门限电压; U_{OL} 为输出低电平电压
Z	稳压二极管	例如: U_Z 、 I_Z 为稳压二极管的稳定电压和稳定电流; P_{ZM} 、 I_{ZM} 为稳压二极管最大耗散功率和最大工作电流。
AV	平均值	例如: $U_{O(AV)}$ 为输出电压平均值, $I_{D(AV)}$ 为二极管电流平均值
on	导通电压	例如: $U_{D(on)}$ 为二极管导通电压, $U_{BE(on)}$ 为晶体管导通电压

3. 电压、电流的表示规律

表示规律	含义	示例
字母和下标都大写	直流量	U_{BE} : 基极和发射极之间的直流电压
字母和下标都大写,且下标有 Q	静态量	U_{BEQ} : 基极和发射极之间的静态电压
字母和下标都小写	动态量(信号量)的瞬时值	u_{be} : 基极和发射极之间信号电压的瞬时值
字母小写,下标大写	总量的瞬时值	u_{BE} : 基极和发射极之间总电压的瞬时值
字母大写,下标小写	交流量的有效值	U_{be} : 基极和发射极之间交流电压的有效值
字母大写且上面加点,下标小写	正弦相量	$\dot{U}_{be}$: 基极和发射极之间的正弦电压相量
字母大写,下标小写且加 m	交流量的振幅	U_{bem} : 基极和发射极之间交流电压的振幅
大写 V,下标双字重复且为大写	直流供电电压	V_{CC} : 集电极直流供电电压 V_{DD} : 漏极直流供电电压,或二极管直流供电电压

(二) 其他常用符号

符号	含义	符号	含义
U_T	温度电压当量,常温下约为 26 mV	I_{CBO}	集电极-基极反向饱和电流
U_{th}	二极管死区电压	I_{CEO}	晶体管穿透电流
$U_{(BR)}$	二极管反向击穿电压	β	共发射极交流电流放大系数
U_{RM}	二极管最高反向工作电压	$U_{(BR)CEO}$	基极开路时,集电极-发射极间的击穿电压
I_F	二极管最大整流电流	r_{be}	共发射极输入电阻
R_D	二极管的直流电阻,或漏极电阻	r_{ce}	共发射极输出电阻
r_d, r_D	二极管的交流电阻(也称动态电阻),二极管导通电阻	$r_{bb'}$	晶体管基区体电阻,对低频小功率管近似为 200 Ω
$U_{GS(th)}$	场效应管开启电压	$C_{b'e}$	发射结电容
$U_{GS(off)}$	场效应管夹断电压	$C_{b'c}$	集电结电容
I_{DSS}	漏极饱和电流	f_T	晶体管特征频率
g_m	低频跨导	f_β	共发射极截止频率
r_{ds}	漏源动态电阻	u_{ot}	空载输出电压
BW_c	集成运放的单位增益带宽	f_0	振荡频率或谐振频率
K_{CMR}	共模抑制比	U_{omax}	最大不失真输出电压振幅
S_R	集成运放的转换速率,也称摆率	$\dot{A}_u$	考虑电抗元件影响时的电压放大倍数

目 录

第 1 章 半导体二极管及其基本应用	1	学习指导	25
引言	1	1.4.1 稳压二极管	25
1.1 半导体基础知识	1	1.4.2 发光二极管和光电二极管	27
学习要求	1	1.4.3 变容二极管和肖特基二极管	28
学习指导	1	1.4.4 稳压管稳压电路的 Multisim 仿真	29
1.1.1 本征半导体	1	讨论题	29
1.1.2 杂质半导体	2	本章小结	30
1.1.3 PN 结	4	自测题	31
知识拓展	6	习题	32
讨论题	7		
1.2 二极管及其特性	7	第 2 章 半导体三极管及其基本应用	36
学习要求	7	引言	36
学习指导	7	2.1 晶体管及其特性	36
1.2.1 二极管的结构与类型	7	学习要求	36
1.2.2 二极管的伏安特性	7	学习指导	36
1.2.3 二极管的主要参数	10	2.1.1 晶体管的结构	36
1.2.4 二极管伏安特性的 Multisim 仿真	10	2.1.2 晶体管的工作原理	37
知识拓展	11	2.1.3 晶体管的伏安特性	40
讨论题	12	2.1.4 晶体管的主要参数	43
1.3 二极管基本应用电路及其分析		2.1.5 晶体管伏安特性的 Multisim 仿真	44
方法	12	知识拓展	45
学习要求	12	讨论题	48
学习指导	12	2.2 晶体管基本应用电路及其分析	
1.3.1 理想模型分析法和恒压降模型分		方法	48
析法	13	学习要求	48
1.3.2 图解分析法和小信号模型分析法	19	学习指导	49
1.3.3 二极管应用电路的 Multisim 仿真	22	2.2.1 晶体管直流电路及其分析	49
讨论题	24	2.2.2 晶体管开关电路及晶体管工作状态	
1.4 特殊二极管	25	的判断	51
学习要求	25	2.2.3 晶体管基本放大电路及其分析	53

2.2.4 晶体管应用电路的 Multisim 仿真	61	3.3 差分放大电路	114
知识拓展	63	学习要求	114
讨论题	66	学习指导	114
2.3 场效应管及其基本应用	66	3.3.1 基本差分放大电路	114
学习要求	66	3.3.2 电流源与具有电流源的差分放大 电路	119
学习指导	66	3.3.3 差分放大电路的输入、输出方式	124
2.3.1 MOS 场效应管的结构、工作原理 及伏安特性	66	3.3.4 差分放大电路的差模传输特性及 应用	128
2.3.2 结型场效应管的结构、工作原理及 伏安特性	72	3.3.5 差分放大电路的 Multisim 仿真	130
2.3.3 场效应管的主要参数	73	讨论题	134
2.3.4 场效应管基本应用电路及其分析	74	3.4 互补对称功率放大电路	134
2.3.5 场效应管伏安特性的 Multisim 仿真	78	学习要求	134
知识拓展	79	学习指导	135
讨论题	81	3.4.1 功率放大电路的特点与分类	135
本章小结	81	3.4.2 乙类双电源互补对称功率放大 电路	135
自测题	82	3.4.3 甲乙类双电源互补对称功率放大 电路	139
习题	85	3.4.4 单电源互补对称功率放大电路	142
第 3 章 放大电路基础	89	3.4.5 OTL 电路的 Multisim 仿真	143
引言	89	讨论题	145
3.1 放大电路的基本知识	89	3.5 多级放大电路	145
学习要求	89	学习要求	145
学习指导	89	学习指导	145
3.1.1 放大电路的组成与放大的概念	89	3.5.1 多级放大电路的组成及耦合方式	146
3.1.2 放大电路的主要性能指标	90	3.5.2 多级放大电路性能指标的估算	148
讨论题	93	3.5.3 集成运算放大器及其基本应用	149
3.2 基本组态放大电路	94	知识拓展——集成运放应用电路实例	155
学习要求	94	讨论题	158
学习指导	94	本章小结	159
3.2.1 共发射极放大电路	94	自测题	160
3.2.2 共集电极放大电路	100	习题	162
3.2.3 共基极放大电路	102	第 4 章 负反馈放大电路	171
3.2.4 场效应管放大电路	104	引言	171
3.2.5 基本组态放大电路的 Multisim 仿真	108	4.1 反馈放大电路的组成及基本 类型	171
知识拓展——共发射极放大电路设计	112		
讨论题	114		

学习要求	171	学习指导	199
学习指导	171	5.1.1 一阶 RC 低通电路的频率响应	199
4.1.1 反馈放大电路的组成及基本关系式	171	5.1.2 一阶 RC 高通电路的频率响应	202
4.1.2 反馈的分类与判断	172	讨论题	203
知识拓展	179	5.2 晶体管放大电路的频率响应	203
讨论题	180	学习要求	203
4.2 负反馈对放大电路性能的影响	180	学习指导	203
学习要求	180	5.2.1 晶体管的高频特性	203
学习指导	180	5.2.2 单管共发射极放大电路的频率响应	205
4.2.1 提高放大倍数的稳定性	180	5.2.3 多级放大电路的频率响应	210
4.2.2 扩展通频带	181	5.2.4 共发射极放大电路频率响应的 Multisim 仿真	212
4.2.3 减小非线性失真	182	讨论题	214
4.2.4 改变输入电阻和输出电阻	182	5.3 负反馈放大电路的自激与相位补偿	214
4.2.5 负反馈对放大电路性能影响的 Multisim 仿真	183	学习要求	214
讨论题	186	学习指导	214
4.3 负反馈放大电路应用中的几个问题	186	5.3.1 负反馈放大电路的自激振荡条件	214
学习要求	186	5.3.2 负反馈放大电路稳定性的判断	215
学习指导	186	5.3.3 负反馈放大电路的相位补偿	217
4.3.1 放大电路引入负反馈的一般原则	187	5.3.4 集成运放的频率特性及其高频参数	218
4.3.2 深度负反馈放大电路的特点及性能估算	187	5.3.5 集成运放构成的放大电路频率响应的 Multisim 仿真	220
4.3.3 负反馈放大电路的稳定性	191	讨论题	223
4.3.4 深度负反馈放大电路的 Multisim 仿真	192	本章小结	223
讨论题	193	自测题	223
本章小结	193	习题	224
自测题	194	第 6 章 集成放大器的应用	227
习题	196	引言	227
第 5 章 放大电路的频率响应	199	6.1 基本运算电路	227
引言	199	学习要求	227
5.1 简单 RC 低通和高通电路的频率响应	199	学习指导	227
学习要求	199	6.1.1 比例运算电路	227
		6.1.2 加减运算电路	229
		6.1.3 微分与积分运算电路	232

6.1.4 对数与指数运算电路	234	6.5.1 甲乙类集成功放及其应用	275
6.1.5 模拟乘法器在运算电路中的应用	235	6.5.2 丁类集成功放及其应用	278
6.1.6 运算电路的 Multisim 仿真	238	知识拓展——集成功放应用电路设计	281
知识拓展	240	讨论题	282
讨论题	242	本章小结	282
*6.2 集成运放构成的交流放大电路	242	自测题	283
学习要求	242	习题	285
学习指导	242		
6.2.1 反相交流放大电路	242	第7章 信号发生电路	292
6.2.2 同相交流放大电路	244	引言	292
6.2.3 交流电压跟随器与汇集放大电路	246	7.1 正弦波振荡电路	292
6.2.4 单电源反相放大电路的 Multisim		学习要求	292
仿真	247	学习指导	292
知识拓展——集成运放应用电路设计	248	7.1.1 正弦波振荡电路的工作原理	292
讨论题	251	7.1.2 RC 振荡电路	295
6.3 有源滤波电路	252	7.1.3 LC 振荡电路	297
学习要求	252	7.1.4 石英晶体振荡电路	301
学习指导	252	7.1.5 RC 正弦波振荡电路的 Multisim	
6.3.1 有源低通滤波电路	252	仿真	304
6.3.2 有源高通滤波电路	255	知识拓展——RC 桥式振荡电路设计	306
6.3.3 有源带通滤波电路	256	讨论题	307
6.3.4 有源带阻滤波电路	257	7.2 非正弦波发生电路	307
6.3.5 有源低通滤波电路的 Multisim		学习要求	307
仿真	258	学习指导	307
知识拓展——滤波电路设计	262	7.2.1 电压比较器	308
讨论题	263	7.2.2 方波发生电路	311
*6.4 电子系统预处理放大电路	263	7.2.3 三角波和锯齿波发生电路	313
学习要求	263	7.2.4 压控振荡器与集成函数发生器	315
学习指导	263	7.2.5 非正弦波发生电路的 Multisim	
6.4.1 仪用放大器	264	仿真	319
6.4.2 程控增益放大器	266	知识拓展	324
6.4.3 跨导型放大器	268	讨论题	325
6.4.4 隔离放大器	270	*7.3 锁相频率合成电路	325
6.4.5 电流反馈型集成运放	271	学习要求	325
讨论题	274	学习指导	325
*6.5 集成功率放大器	275	7.3.1 锁相环路	325
学习要求	275	7.3.2 锁相频率合成电路	327
学习指导	275	讨论题	328

本章小结	328	8.2.3 三端固定输出集成稳压器	347
自测题	329	8.2.4 三端可调输出集成稳压器	349
习题	331	知识拓展——直流稳压电源设计	352
第 8 章 直流稳压电源	336	讨论题	353
引言	336	8.3 开关稳压电路	354
8.1 单相整流滤波电路	336	学习要求	354
学习要求	336	学习指导	354
学习指导	336	8.3.1 开关稳压电路的特点及类型	354
8.1.1 直流稳压电源的组成	336	8.3.2 开关稳压电路的工作原理	355
8.1.2 单相整流电路	337	8.3.3 集成开关稳压器及其应用实例	358
8.1.3 滤波电路	339	讨论题	361
8.1.4 桥式整流电容滤波电路的 Multisim		本章小结	361
仿真	342	自测题	262
讨论题	343	习题	363
8.2 线性稳压电路	344	附录 A Multisim10 软件简介	367
学习要求	344	附录 B 常用器件参数选录	385
学习指导	344	部分自测题和习题答案	390
8.2.1 稳压电路的主要技术指标	344	参考文献	398
8.2.2 串联型稳压电路的工作原理	346		

第 1 章 半导体二极管及其基本应用

引言 半导体二极管(简称二极管)实质上是一个 PN 结,其主要特性是单向导电性。它是最简单的半导体器件,但应用很广泛,常用于构成整流、限幅、逻辑门、低电压稳压等电路。本章首先简介半导体基础知识;然后重点讨论普通二极管的主要特性,并结合实例介绍二极管的基本应用电路及分析;最后简介常用的特殊二极管。

1.1 半导体基础知识

学习要求 (1)了解本征半导体和杂质半导体的导电机理,理解半导体器件性能受温度影响的原因;
(2)理解 PN 结的工作原理,掌握 PN 结的单向导电性。

学习指导 重点:自由电子与空穴、载流子、N 型和 P 型半导体、多子与少子、扩散运动与漂移运动、扩散电流与漂移电流、PN 结、PN 结的正偏与反偏、PN 结的单向导电性等概念。提示:学习本节内容,是为后续学习半导体器件的工作原理和伏安特性打基础,因此应着重掌握基本概念,而对半导体内部工作机理,不必过于深究。

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有硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等,其中硅应用最多。

1.1.1 本征半导体

纯净的单晶半导体称为本征半导体。所谓单晶,是指晶格排列完全一致的晶体,而晶体则指由原子、离子或分子按照一定的空间次序排列而形成的具有规则外形的固体。

硅和锗都是四价元素,其原子的最外层轨道上有四个电子(称为价电子),原子结构模型如图 1.1.1(a)所示,外圈上的 4 个黑点表示 4 个价电子,内圈中的“+4”表示四价元素原子核和内层电子所具有的正电荷数。硅和锗本征半导体的结构如图 1.1.1(b)所示,原子在空间形成有序排列的点阵(称为晶格),每个原子都和相邻的 4 个原子结合组成 4 个电子对,这种电子对中的价电子同时受自身原子核和相邻原子核的束缚,因此称为共用电子对。价电子为相邻原子所共有,这种结构称为共价键。

在绝对零度且无光照时,价电子不能摆脱共价键的束缚,这时的本征半导体不导电。

在室温或光照下,少数价电子能够获得足够的能量摆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,如图 1.1.1(b)所示,这种现象称为本征激发,这个空位称为空穴。可见

本征激发会成对产生自由电子和空穴。原子失去价电子后将带正电,可等效地看成是因为有了带正电的空穴。空穴很容易吸引邻近共价键中的价电子去填补,使空位发生转移,这种价电子填补空位的运动可以看成空穴在运动,但其运动方向与价电子运动方向相反。

自由电子和空穴在运动中相遇时会重新结合而成对消失,这种现象称为复合。温度一定时,自由电子和空穴的产生与复合将达到动态平衡,这时自由电子-空穴对的浓度一定。

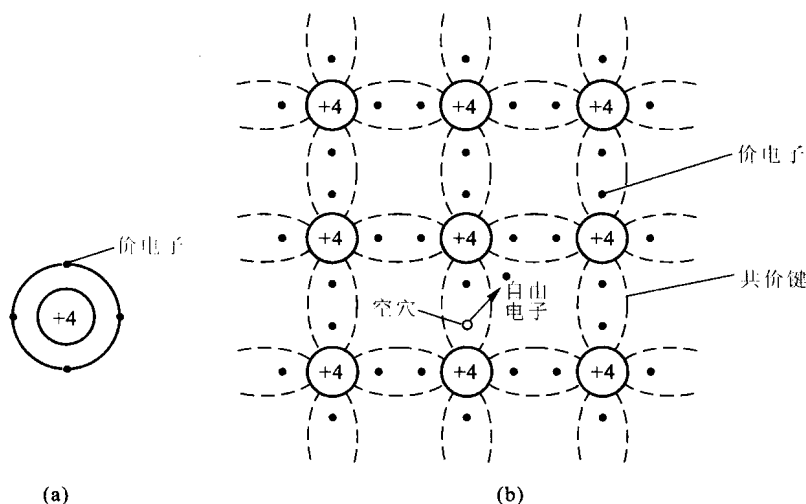


图 1.1.1 硅(或锗)本征半导体的结构示意图
(a) 硅(或锗)的原子结构模型 (b) 本征半导体的结构示意图

能运动的带电粒子称为载流子。在电场作用下,载流子将作定向运动形成电流,这种运动称为漂移运动,所形成的电流称为漂移电流。可见,半导体中有自由电子(带负电)和空穴(带正电)两种载流子参与导电,这与导体导电不一样,导体中只有自由电子一种载流子参与导电。

在常温下,本征半导体的载流子浓度很低,因此导电能力很弱。

1.1.2 杂质半导体

采用一定的工艺在本征半导体中掺入微量杂质元素后,可大大改善半导体的导电性能。掺杂后的半导体称为杂质半导体,它是制造半导体器件的主要材料。

杂质半导体有 N 型和 P 型之分,掺入五价元素(如磷、砷、锑)后形成的杂质半导体称为 N 型半导体(或电子型半导体),掺入三价元素(如硼、铝、镓)后形成的杂质半导体称为 P 型半导体(或空穴型半导体)。

在 N 型半导体中,掺入的五价杂质原子将替代晶格中某些四价元素原子的位置,如图 1.1.2 (a) 所示。杂质原子与周围的四价元素原子相结合组成共价键时多余一个价电子,这个价电子