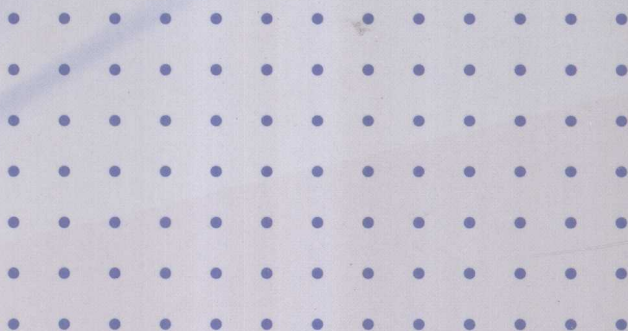




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



集成电子技术 基础教程

第二版 上册

浙江大学电工电子基础教学中心

电子技术课程组编

郑家龙 陈隆道 蔡忠法 主编



高等教育出版社



普通高等教育 “-”



教材

集成电子技术 基础教程

第二版 上册

浙江大学电工电子基础教学中心

电子技术课程组编

郑家龙 陈隆道 蔡忠法 主编



高等教育出版社

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在原面向 21 世纪课程教材——《集成电子技术基础教程》(郑家龙,王小海,章安元 主编)的基础上,结合多年来对教材结构、教学内容、教学方法和教学手段改革的实践经验,按照“教育部电子电气基础课程教学指导分委员会”制订的教学基本要求修订而成。修订后的教材继续保留原教材“模数”紧密结合的特点,结构上分为 4 篇。上册包含一、二两篇。第一篇为电子器件基础,内容包括电子器件的特性与模型、半导体器件的工作机理等两章。第二篇为模拟电子电路,共有 8 章,内容包括:放大电路分析入门、放大电路动态分析、集成运算放大器、负反馈放大电路、放大电路的频率响应与稳定性分析、正弦波发生电路、功率变换电路、模拟信号处理电路等。

本书可作为高等学校电气信息类、机电类专业电子技术基础课程教材,也可供远程教育、成人和职业教育相关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

集成电子技术基础教程. 上册/郑家龙,陈隆道,蔡
忠法主编;浙江大学电工电子基础教学中心电子技术
课程组编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2008.6
ISBN 978-7-04-023950-8

I. 集… II. ①郑…②陈…③蔡…④浙… III. 集
成电路—高等学校—教材 IV. TN4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 070624 号

策划编辑 韩 颖 责任编辑 李葛平 封面设计 张申申 版式设计 张 岚
责任校对 张 颖 责任印制 陈伟光

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 北京市白帆印务有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 27.75
字 数 500 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2002 年 7 月第 1 版
2008 年 6 月第 2 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 31.70 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 23950-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在原面向 21 世纪课程教材——《集成电子技术基础教程》(第一版)的基础上,总结浙江大学多年来对“电子技术基础”课程的教学改革经验,参照“教育部电子电气基础课程教学指导分委员会”2005 年制订的教学基本要求修订而成的。修订后的教材继续保留原教材“模数”紧密结合的特点,结构上仍分为 4 篇。

上册包含一、二两篇。第一篇为电子器件基础,内容包括电子器件的特性与模型、半导体器件的工作机理等两章。第二篇为模拟电子电路,共有 8 章,内容包括:放大电路分析入门、放大电路动态分析、集成运算放大器、负反馈放大电路、放大电路的频率响应与稳定性分析、正弦波发生电路、功率变换电路、模拟信号处理电路等。

下册包含三、四两篇。第三篇为数字电子电路,共有 7 章,内容包括:数字电路的基本问题、集成逻辑门电路、逻辑代数与基本组合逻辑电路、集成组合逻辑电路、集成触发器和基本时序电路、中规模集成时序电路、大规模数字集成电路等。第四篇为电子电路综合与应用,共有 5 章,内容包括:函数信号发生电路、信号转换电路、信号传输电路、开关功率变换器、电子系统设计示例等。

根据不同的教学安排,使用本教材时可以按先第一、二篇,后第三、四篇的顺序讲授(即先“模电”、后“数电”);也可以按先第一、三篇,后第二、四篇讲授(即先“数电”、后“模电”)。为配合讲课,本书还配有电子教案和习题解答。

本书在修订过程中,着重考虑了以下几点。

1. 进一步完善原教材中“模数”紧密结合的特点。

由于第二版修订后篇幅增加,出版时分为两册,但教材结构上仍保留原来的四篇。即第一篇仍为基础篇,第四篇仍为“模数”综合应用篇,第二、三篇分别为“模电”篇和“数电”篇。目的是希望读者不要把“模电”与“数电”分割开来,使它们通过“模数”综合应用,对电子技术有一个完整的认识,这也反映了现代电子技术的发展趋势。

但修订时,考虑到知识的关联性和教学的连贯性,对原教材第四篇中

的“信号发生电路”(现为“正弦波发生电路”)和“信号处理电路”(现为“模拟信号处理电路”)两部分内容调整到第二篇中,使第二篇“模拟电子电路”在结构上更为完整。另外,“开关功率变换器”(原名“开关电源”)部分内容则从原“模电”篇移至第四篇,并单列一章,以适应电力电子技术的发展现状。

2. 着力解决初学者“入门难”的问题。

第二版修订时,不但要求本教材在文字上“易学”、“易懂”,更要求从教材结构上解决从“电路”课程过渡到“电子电路”的接轨。为此,本教材第一篇中,首先出现的不是“半导体器件和PN结”,而是从“电子器件的特性和模型”开始,在初学者习惯了电子电路结构及其分析方法后,再介绍“电子器件的工作机理”。目的是学会运用“电路”课程中的方法解决“电子电路”中的非线性问题,并且把学习的难点分散。

第二篇中,为了解决放大电路分析中常常困扰初学者的“静态和动态”等问题,专辟一章“放大电路分析入门”,把“电路”课程中的定理、定律复习、拓展,使之较好地解决“电子电路”分析中的问题。

3. 在第三篇“数字电子电路”中,修订时着重考虑以下几方面。

首先把“数字电路”中必须熟练掌握的一些基本内容和基本概念集中并提前到“数字电路的基本问题”一章,以便让学生尽快熟悉“数字电路”的分析方法。对于“组合逻辑电路”和“时序逻辑电路”,借助其小规模集成电路了解它们的工作原理和分析方法;而对于中规模数字集成电路,则主要通过应用来理解。

为了配合先“数电”、后“模电”的讲课顺序,对第三篇的第2章:“集成逻辑门电路”内容作了较大的修改。如有意识地降低集成门电路内部电路的分析要求,突出集成门电路的性能和技术指标,从而较好地解决了初学者的入门困难。其实,该章内容并非学习重点,但却是难点。这样处理有利于解决目前电子技术课程学时紧、内容多的现状。

对可编程逻辑器件(PLD),本教材不以内部的逻辑电路作为重点内容,而是主要通过简单的示例,学会如何实现“可编程”和程序编写的基本方法。

本书上册第一篇的第1、2章和第二篇的第1、2章由郑家龙、陈隆道编写。第二篇的第3、5章由蔡忠法编写,第4、6、7章由沈红编写,第8章由章安元编写。下册第三篇的第1、2、3、4章由王小海编写,第5、6、7章由祁才君编写。第四篇的第1、3章由章安元编写,第2、5章由阮秉涛编写,张德华编写了第4章,并对下册的习题进行了复核和编写。在本书编写过程中,王小海负责编写组的统一组织、书稿的整理和下册的统稿工作;上册的统稿由郑家龙负责。

本书上册由清华大学华成英教授审阅,下册由华中科技大学彭容修教授,秦臻、罗杰副教授审阅,彭容修教授主审。他们对本书进行了十分仔细的审阅,并

提出了许多宝贵的修改意见,在此表示真诚的感谢。

本书编写过程中,高光天高级工程师不但向编写组提供了AD公司最新的参考资料,并且对教材的结构和内容提出了十分宝贵的意见,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,衷心欢迎各高校老师和广大读者批评指正。

编者

2008年1月于杭州

进入 20 世纪 90 年代以来,微电子技术取得了突飞猛进的发展。如今,它已成为国民经济的强大推动力,成为带动 21 世纪科技进步的强力支柱。因此,从事各行各业的科技人员,都要求或多或少地掌握电子技术最基本的理论和技能,以便为推动本专业的发展发挥更大的作用。

本书是在原教材《模拟集成电子技术教程》(邓汉馨、郑家龙主编,高等教育出版社出版)和《集成电子技术教程》(王小海主编,浙江大学出版社出版)的基础上,根据面向 21 世纪的教材结构和教学内容改革要求,重新编写而成的。全书共四篇 18 章,内容涵盖了高等学校工科本科电气类、自控类和电子类,原“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”两门课程的相关教学要求。

本书力图在教材体系、内容更新和能力的培养等几方面有所突破,并且希望用较少的篇幅,讲清本课程最重要和最基本的内容。

一、将模拟电子技术和数字电子技术内容紧密相结合

模拟电子技术和数字电子技术是电子技术课程中的两个分支。长期以来,由于它们分别组成了独立的课程,已形成了各自的教材体系。而实际上,在一个电子系统中,往往将两者紧密结合起来,而且目前的集成器件中,有的已将二者集成在同一块芯片中。如果将这两部分内容统一安排,将有利于学生对二者共性的理解和综合运用能力的提高。

本书第一篇是电子器件与电子电路基础,主要介绍半导体二极管、三极管、场效应管和集成电路中电子器件的外特性以及由它们组成的基本电子电路及其静态分析方法,是模拟电路和数字电路的共同基础。第二篇为数字电路和系统,内容包括数字逻辑基础、集成门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路以及大规模集成电路。对于近年来快速发展起来的可编程逻辑器件及其应用,从介绍集成门电路开始便融入以上各部分内容之中,并作为基本逻辑部件介绍它的设计方法。第三篇为模拟电路和系统,内容包括放大电路的动态分析与频率响应,集成运算放大器,反馈放大电路及应用和功率变换电路。第四篇为电子系统组成和应用,通过介绍信号发生电路、信号处理电路、信号转换电路和信号传输电路,将模拟和数字电路的应用紧密结合在以上四个方面。最后,通过电子

系统设计示例,进一步引入电子系统设计的概念。本篇的目的是希望读者体会到,为了达到同一个目标,既可以采用模拟电路,也可以用数字电路,而且在一个电子系统中,往往必须综合运用模拟和数字技术,才能更好地达到预定的目的。

二、本书在注重电子电路基础的前提下,加强了电子电路应用能力的培养

作为电子技术方面的入门性课程,本书首先应将重点放在电子电路基本原理和基本分析方法的讨论上。但如果仅限于这些基础,读者将往往会在“从原理到应用”的过程中遇到困难,特别对于那些在本课程后较少设置电子技术应用方面课程的专业学生尤其如此。为此,本书在第二篇和第四篇的最后,都适当地安排了电子电路设计方面的示例。通过示例,希望读者能够初步了解电子系统的设计方法,并且可以将所学知识融会贯通,从而进一步加深对基础知识的理解。

三、注重教学内容的更新

电子技术的发展日新月异,新器件、新电路层出不穷。但学校中,本课程的学时数是有限的,并且还有减少的趋势。因此本书在编写中作了以下几方面的努力。

1. 适当减少对分立器件内部机理的介绍,如将PN结的机理安排在附录中,使读者将注意力更多地集中在器件的外特性及其性能参数上。

2. 从主要是学会正确使用集成器件的目标出发,本书把重点放在与集成器件性能指标相关的、最基本单元电路(特别是输入、输出级电路)的原理和分析方法上,而不介绍复杂的集成器件内部电路,以减少学习中的难点。

3. 对于新的集成电子器件,如电流模放大器、集成开关电容滤波器、程控放大器、可编程逻辑器件和在系统可编程模拟电路等,本书都作了一定的介绍,并且与它们的应用领域紧密结合。

4. 电子电路设计自动化(EDA)是21世纪电子工程师必须掌握的工具,但它涉及的面很广。本书结合第二篇中各章内容,初步介绍了数字逻辑电路设计中的基本工具——ABEL-HDL(硬件描述语言)的使用;结合第三篇中多级放大电路和精密运算电路的计算,介绍了应用PSPICE软件的分析过程,并在附录B中简要介绍这两种软件的使用方法。此外,还在本课程的实验课中让学生进一步掌握这两种软件的使用。

本书作为电子技术课程教材,要求在校学生两个学期中学完。由于本书采用了模块化的结构,对教材的使用比较灵活。例如,第一、二篇安排在第一个学期,参考学时为50~60;第三、四篇安排在第二个学期,参考学时为60~70。即通常称为先“数字”后“模拟”的教学安排。对于少学时的学校,可将某些章节(目录中打“*”号)的内容(特别是第四篇的某些章节)删去,让学有潜力的学

生自学。

参加本书编写工作的教师分工如下:第一篇,章安元;第二篇,王小海、祁才君;第三篇,蔡忠法、沈红;第四篇,章安元、阮秉涛;附录,郑家龙、蔡忠法、祁才君。郑家龙、王小海、章安元负责编写大纲的定稿和全书的统稿协调。在本书的编写过程中,浙江大学电工电子基础教学中心电子学组的全体老师给予了大力支持,雷剑虹等老师还为本书试做了部分习题,并绘制了部分图稿。

本书在编写过程中得到了学校教务部和电气工程学院有关领导的大力支持。

本书由华中科技大学康华光教授主审,参加审阅的有彭容修教授,杨华、张林副教授。他们在百忙中细致、认真、逐字逐句地审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵的意见,在此我们表示诚挚的谢意,并希望继续给予关心和支持。

尽管编写组的同志对全书的体系和内容作了不少的努力,但限于时间和水平,肯定还会有很多缺点和错误,恳请使用本教材的老师和同学、各位读者给予指正,不胜感激。

编者

2002年3月于浙江大学

为了方便阅读,对读者容易混淆的基本符号和与电子器件性能参数相关的符号作如下说明。

一、电压(V)和电流(I)

电子电路中的电压和电流往往不是单一的直流或交流,而是二者兼有;有时需要强调其中的直流分量,有时则需要强调交流分量或动态变化量。为此,需要用大、小写字母及下标,甚至再加上辅助符号才能说明清楚。否则可能造成概念上的混淆。现以电路的输入电压(电流)为例加以说明。

1. 大写字母、大写下标,如 $V_I(I_I)$ 表示直流输入电压(电流)或输入电压(电流)中的直流分量;而直流电源电压常用大写双下标表示,如 V_{CC} 、 V_{BB} 、 V_{EE} 、 V_{DD} 、 V_{SS} 等,其中下标 C、B、E、D、S 为所对应的电极符号。

2. 大写字母、小写下标,如 $V_i(I_i)$ 表示交流输入电压(电流)有效值;而 $\dot{V}_i(\dot{I}_i)$ 为交流相量值(复数);交流输入电压(或电流)的幅值常用 $V_{im}(I_{im})$ 表示。

3. 小写字母、小写下标,如 $v_i(i_i)$ 表示交流输入电压(电流)的瞬时值。

4. 小写字母、大写下标,如 $v_I(i_I)$ 一般用来表示非正弦输入电压(电流)的瞬时总量。其中如含有直流分量和交流分量,则它们又可表示为 $v_I = V_I + v_i$ (或 $i_I = I_I + i_i$)。

5. Δ 、小写字母、大写下标,如 $\Delta v_i(\Delta i_i)$ 一般用来表示非正弦输入电压(电流)的瞬时变化量。如输入电压(电流)中仅含交流量,则 Δv_i 与 v_i (或 Δi_i 与 i_i) 是等价的。

6. Δ 、大写字母、大写下标,如 $\Delta V_I(\Delta I_I)$ 表示直流输入电压(电流)的变化量。

二、功率(P)和效率(η)

P_o	交流输出功率
P_{om}	最大交流输出功率
P_T	三极管平均功耗

P_E 电源消耗的平均功率

$\eta_{\max}$ 最大效率

三、频率(f)

f_{bw} (或 BW) 放大电路通频带宽度

f_H, f_L 放大电路上、下限频率(或 -3 dB 频率),波特图中称为转折频率

f_c 与放大器增益为 0 dB 相对应的信号频率

f_p 滤波器通带截止频率(或 -3 dB 频率)

f_o 振荡频率、重复频率、特征频率

四、时间(t)

t_f 下降时间

t_r 上升时间

t_w 脉冲宽度

t_{pd} 门电路平均传输延迟时间

T 周期

τ 时间常数

五、增益(A)

$A_v(\dot{A}_v)$ 电压增益(复数电压增益 $\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}$)

A_{vo} 开路电压增益(R_L 等于无穷大时电压增益)

A_{vs} 源电压增益(输出电压与信号源电压之比)

A_{vd} 差模电压增益(对差模输入信号的电压增益)

A_{vc} 共模电压增益(对共模输入信号的电压增益)

A_{vp} 滤波器的通带增益

A_{vf} 反馈放大电路的闭环电压增益

六、与电子器件相关的符号

1. 二极管和稳压二极管

V_T 温度的电压当量(室温下, $V_T \approx 26$ mV)

V_{on} 二极管伏安特性曲线中的开启电压

C_j PN 结电容

C_B 势垒电容

C_D 扩散电容

P 空穴型半导体

N	电子型半导体
r_d	二极管导通时的动态电阻
r_z	稳压二极管在稳压区的动态电阻
I_F	二极管允许的最大整流电流
$V_{(BR)}$	二极管反向击穿电压
V_{RM}	二极管允许的最高反向工作电压(通常取 $V_{RM} = \frac{V_{(BR)}}{2}$)
V_Z	稳压二极管稳定电压
$\frac{dV_Z}{dT}$	稳定电压的温度系数
$I_{Z(max)}$	稳压二极管允许的最大稳定电流
P_{ZM}	稳压二极管允许的最大耗散功率($P_{ZM} = V_Z \cdot I_{Z(max)}$)
2. 双极型三极管	
$\alpha(\bar{\alpha})$	共基接法时交流(直流)电流放大系数
$\beta(\bar{\beta})$	共射接法时交流(直流)电流放大系数
$r_{be} (= r_{bb'} + r_{b'e})$	b-e 间的动态电阻(它由 $r_{bb'}$ 和 $r_{b'e}$ 组成)
r_{ce}	c-e 间的动态电阻
g_m	跨导($g_m = \frac{\Delta i_c}{\Delta v_{BE}} = \frac{\beta}{r_{be}}$)
I_{CBO}	发射极开路时, b-c 间的反向电流
I_{CEO}	基极开路时, c-e 间的穿透电流 [$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$]
I_{CM}	集电极最大允许电流(此时 β 明显下降)
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$V_{(BR)CEO}$	基极开路时, c-e 间的击穿电压
$V_{(BR)CER}$	be 间接电阻 R 时, c-e 间的击穿电压
$V_{(BR)CBO}$	发射极开路时, c-b 间的击穿电压
$V_{(BR)EBO}$	集电极开路时, e-b 间的击穿电压
I_{CS}	集电极饱和电流
I_{BS}	基极临界饱和电流
V_{CES}	c-e 之间的饱和压降
f_T	半导体三极管特征频率(此时 β 下降为 1)
$C_{ob}(C_{b'c})$	共基接法时, 三极管输出电容(集电结等效电容)
$C_{b'e}$	发射结等效电容

3. 场效应管

IV

符号说明

V_T	增强型场效应管的开启电压
I_{DO}	增强型场效应管 $v_{GS} = 2V_T$ 时的 i_D
V_P	耗尽型场效应管的夹断电压
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $V_{GS} = 0$ 时的 i_D (也称饱和漏极电流)

g_m	跨导 ($g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}}$)
r_{ds}	d-s 间的动态电阻
P_{DM}	场效应管漏极最大耗散功率
$V_{(BR)DS}$	d-s 间的击穿电压
$V_{(BR)GS}$	g-s 间的击穿电压
C_{gd} 、 C_{gs} 、 C_{ds}	场效应管各电极之间的分布电容

4. 集成运算放大器

A_{od}	差模电压增益
A_{oc}	共模电压增益
R_{id}	差模输入电阻
R_{ic}	共模输入电阻
R_o	输出电阻
V_{om}^+ 、 V_{om}^-	正向和负向最大输出电压幅度
V_{IO}	输入失调电压
$\frac{dV_{IO}}{dT}$	输入失调电压温漂
I_{IO}	输入失调电流
$\frac{dI_{IO}}{dT}$	输入失调电流温漂
I_{IB}	输入偏置电流

K_{CMR}	共模抑制比 $\left(K_{CMR} = \left \frac{\dot{A}_{od}}{\dot{A}_{oc}} \right \right)$
-----------	---

$V_{IC(max)}$	最大共模输入电压
f_H	-3 dB 带宽
f_e	单位增益带宽 ($f_e \approx A_{od} \cdot f_H$)
SR	转换速率 $\left(SR = \left \frac{dv_o}{dt} \right _{max} \right)$

5. 集成门电路

$V_{OL(max)}$	门电路输出低电平上限值 (对应于 $I_{OL(max)}$)
---------------	----------------------------------

$V_{OH(max)}$	门电路输出高电平下限值(对应于 $I_{OH(max)}$)
$V_{IL(max)} (V_{off})$	门电路输入低电平上限值(关门电平)
$V_{IH(max)} (V_{on})$	门电路输入高电平上限值(开门电平)
$I_{OL(max)}$	低电平输出时的灌电流允许值
$I_{OH(max)}$	高电平输出时的拉电流允许值
$I_{IL(max)}$	低电平输入时的最大输入电流
$I_{IH(max)}$	高电平输入时的最大输入电流
$V_{NL(max)}$	低电平输入时的噪声容限($\leq V_{IL(max)} - V_{OL(max)}$)
$V_{NH(max)}$	高电平输入时的噪声容限($\leq V_{OH(min)} - V_{IH(min)}$)
N_{OL}	低电平扇出系数($N_{OL} = \frac{I_{OL(max)}}{I_{IL(max)}}$)
N_{OH}	高电平扇出系数($N_{OH} = \frac{I_{OH(max)}}{I_{IH(max)}}$)
t_{PHL}	输出从高电平转换为低电平所需时间
t_{PLH}	输出从低电平转换为高电平所需时间
t_{pd}	平均传输延迟时间($t_{pd} = \frac{t_{PHL} + t_{PLH}}{2}$)

第一篇 电子器件基础 1

本篇导读 1

第 1 章 电子器件的特性与模型 3

1.1.1 常用电路元件的伏安特性 3

1.1.2 半导体二极管的伏安特性及其模型 8

1.1.3 稳压二极管的伏安特性及其模型 14

1.1.4 双极型三极管的伏安特性及其模型 17

1.1.5 场效应管的伏安特性及其模型 24

习题 35

第 2 章 半导体器件的工作机理 45

1.2.1 半导体材料与 PN 结 45

1.2.2 半导体二极管 58

1.2.3 特种二极管 62

1.2.4 双极型三极管 66

1.2.5 场效应管 75

1.2.6 集成电路中的电子器件 82

1.2.7 半导体器件的制造工艺简介 86

习题 92

第二篇 模拟电子电路 99

本篇导读 99

第 1 章 放大电路分析入门 101

2.1.1 怎样分析交直流共存的放大电路 101

2.1.2 放大电路中等效输入、输出内阻的计算 109

2.1.3 基本放大电路的组成及其静态分析	113
习题	128
第2章 放大电路动态分析	136
2.2.1 放大电路的动态性能指标	136
2.2.2 三极管的低频小信号模型	145
2.2.3 基本放大电路的动态分析	149
2.2.4 多级放大电路	164
习题	175
第3章 集成运算放大器	183
2.3.1 集成运算放大器概述	183
2.3.2 集成运放中的电流源偏置电路	185
2.3.3 差分放大电路	188
2.3.4 集成运放的中间级和输出级	202
2.3.5 集成运放的主要性能指标	206
习题	217
第4章 负反馈放大电路	224
2.4.1 反馈的基本概念与分类	224
2.4.2 负反馈对放大电路性能的影响	239
2.4.3 集成运放构成的负反馈电路	243
2.4.4 分立元件构成的负反馈电路	252
习题	255
第5章 放大电路的频率响应与稳定性分析	263
2.5.1 频率响应概述	263
2.5.2 三极管的高频小信号模型	269
2.5.3 放大电路的分频段分析法	272
2.5.4 多级放大电路和集成运放的频率响应	277
2.5.5 负反馈放大电路的稳定性	281
习题	288
第6章 正弦波发生电路	291
2.6.1 产生正弦振荡的条件	291
2.6.2 RC 正弦波振荡器	293
2.6.3 LC 正弦波振荡器	297