

国外电子信息科学经典教材系列

电子电路分析与设计

Electronic Circuit Analysis and Design
(Second Edition)

[美] Donald A. Neamen 著

赵桂钦 卜艳萍 译

国外电子信息科学经典教材系列

电子电路分析与设计

Electronic Circuit Analysis and Design
Second Edition

[美] Donald A. Neamen 著
赵桂钦 卜艳萍 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了电子学的基本概念,模拟电路和数字电路的结构及特点,以及各种电路的设计方法。电子学的内容包括半导体材料、器件(二极管、三极管、场效应管)及其基本电路、理想的集成运算放大器;模拟电路包括理想运算放大器及其组成部分、构成运算放大器的各种电路、集成运算放大器的非理想效应、运算放大器在有源滤波器、振荡器中的应用;数字电路包括BJT和FET逻辑门在内的数字电子技术的基本内容和设计方法。本书结构设计合理,理论讲述透彻,包含大量实际应用模型的例题,全面清晰地剖析了电路的分析和设计方法。

本书可以作为电子学、通信、计算机等专业的本科或研究生教材,也可供电子工程技术人员参考。



Donald A. Neamen

Electronic Circuit Analysis and Design, Second Edition

ISBN:0-07-240957-6

Copyright © 2001, 1996 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No Part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education(Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封底贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号:01-2002-2413

图书在版编目(CIP)数据

电子电路分析与设计/[美]尼曼(Neamen,D. A.)著;赵桂钦,卜艳萍译.—北京:电子工业出版社,2003.1
(国外电子信息科学经典教材系列)

书名原文:Electronic Circuit Analysis and Design

ISBN 7-5053-7621-7

I. 电… II. ①尼…②赵…③卜… III. ①电子电路—电路设计—教材②电子电路—电路分析—教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 108218 号

责任编辑:邓小瑜 赵丽松

印 刷:北京大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:62.25 字数:1594 千字

版 次:2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:86.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

译 者 序

本书由三部分组成。第1部分介绍电子学的基本概念,包括半导体材料、半导体器件(二极管、三极管、场效应管)及其基本电路,以及理想的集成运算放大器。第2部分讲述模拟电子学更深层次的内容,介绍了理想运算放大器及其组成部分,讨论了构成运算放大器的各种电路的分析和设计方法,分析了集成运算放大器中的非理想效应,以及运算放大器在有源滤波器、振荡器中的应用。第3部分由最后两章组成,阐述包括BJT和FET逻辑门在内的数字电子技术的基本内容。全书各部分自成体系,教师可根据需要自由安排讲授次序。

本书的特点是,每章都有一个概述,介绍本章的基本内容;每章都有解题技巧来帮助读者分析电路;每章最后都有小结,总结本章的全部结论,并复习本章涉及的基本概念;每章末尾列出许多复习题,帮助读者了解对概念的掌握程度;随后还附有大量的习题,这些习题涵盖了各种难度。通过解答习题,读者不仅可以提高对电子电路知识的综合应用能力,而且还能提高对电子电路软件的应用能力。

作为一本基础理论教材,本书克服了只讲授原理和原理电路的缺点,将大量的实际应用模型作为例题展现给读者,在很大程度上提高了读者的阅读兴趣。这既强化了所涉及的理论概念,又使读者了解了这些理论在实际中的应用。

书中的许多例题不仅有手工计算的结果,还有借助PSpice设计得到的结果,读者可以通过比较二者的异同来了解电子电路理论与实际应用之间的差异。

本书弥补了国内同类教材内容过于简化,例题和习题偏少,对例题的解答不够详尽,对设计类问题不够重视等缺点。

本书可以作为电子学、计算机、通信等专业的教材,对电子工程技术人员也是一本很有价值的参考书。

值得一提的是,本书是英文原版的中译本,电路中的符号和物理量及其正斜体均采用原版模式。

上海交通大学赵桂钦负责全书的审校。序言及第1~8章由赵桂钦翻译,第10~17章由上海交通大学卜艳萍翻译,第9章及附录部分由上海师范大学李宁翻译。在本书的翻译过程中,得到了上海交通大学技术学院领导的大力支持,译者在此表示衷心的感谢。翻译过程中还得到陈绍东、周伟的大力支持。译者还要感谢上海大学彭章友、杨雪霞老师、兰州铁道学院董民政老师,他们的意见和建议使译文更加完善。

由于译者水平有限,书中的错误和不足在所难免,诚望广大读者批评指正。

译 者

关于作者

Donald Neamen 是 New Mexico 大学电子与计算机工程系的教授、副系主任。他在 New Mexico 大学获得博士学位后,成为 Hanscom 空军基地固态科学实验室的电子工程师。1976 年,他在 New Mexico 大学 EECE 系任助理教授,负责讲授半导体物理与器件、电子学等课程。

1980 年 Neamen 教授获得 New Mexico 大学杰出教师奖。1983 年和 1985 年,被 Tau Beta Pi 评为工程学院的杰出教师。1990 年及 1994~1999 年,被 EECE 系的毕业生评为最有才华的教师。他还获得了工程学院 1994 年度教学优秀奖。

除教学之外,Neamen 教授还为 Martin Marietta 公司、Sandia 国立实验室、Raytheon 公司工作。他发表过多篇论文,另外还写作出版了《半导体物理与器件:基本原理》(第 2 版)一书。

序 言

原则与目的

《电子电路分析与设计》是为电子与计算机工程专业的大学生编写的电子学主要教材。本书第2版的目的是为分析和设计模拟及数字电子电路提供基本方法。

现在,大多数电子电路都设计为集成电路(IC),在集成电路中,整个电路加工制造在一个半导体材料单片上。集成电路可以包含上百万个半导体器件和其他元件,能完成许多复杂的功能,微处理器就是这样一种电路。我们最终的目标是要理解这些集成电路的工作原理、特性及其局限性。

本书首先对分立晶体管电路进行分析和设计,然后逐渐增加所学习电路的复杂性。读者最终应能够分析和设计集成电路的基本单元,如数字逻辑门等。

本书对电子电路的复杂课题只进行介绍,而不包括更进一步的引深材料。像砷化镓之类的材料用于特殊领域的特殊技术,尽管在几个特殊的应用中可能会提到它的用途,但在书中并不专门介绍此类技术。IC的设计与制造在本书中也没有涉及,因为这些主题单独就可以写成一本书。

计算机辅助分析与设计(PSpice)

计算机分析和计算机辅助设计(CAD)在电子学中占有非常重要的地位。SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis,以集成电路为重点的仿真程序)是目前最流行的电子电路仿真程序之一,它是由 California 大学开发出来的。PSpice 是 SPICE 的个人计算机版。书中包括一个介绍 PSpice 电路建模程序的内容详尽的附录 B。该附录给出了应用实例,教师可在本课程的任何部分介绍 PSpice。

我们认为,在介绍性的电子课程中应谨慎使用计算机分析。这种介绍性课程的目的是为了学习器件模型基础、电路结构和电路的基本特性。我们相信,通过手算的方法分析和计算电路可以加强认识。因此,在本课程中,计算机分析仅作为对手算分析结果的检验。

在本书的一些地方,给出了与手算结果相关的 PSpice 结果。书中还列出了与计算机仿真结果相对应的 PSpice 图表。最后几章包含计算机仿真的特殊问题。教师可随意将 PSpice 用于自测题或习题,来验证手算分析的正确性。

在本书的一些章节中,尤其是频率响应和反馈中,频繁使用了计算机分析。即使在这种情况下,计算机分析仍需在掌握了电路的基本特性之后进行。计算机仿真程序是帮助用户分析和设计电子电路的工具,我们必须对电路分析的基本概念有彻底的理解,这绝不能由计算机取而代之。

强调设计

设计是工程的核心。好的设计是由大量的分析经验发展而来的。本书在对电路的分析中指出了它们的各种特点和性质,其目的在于找到电路设计中所需的感觉。

本书包括许多设计例题、设计自测题以及各章末尾的设计题。这些问题是用一个 RD 或 D 来标识的。RD 主要是对已经设计好的电路进行再设计。再设计问题通常都比较简单,并

且大多数结果都是惟一的。满足外在的设计标准是设计过程的第一步。标有 D 的是真正的设计问题,在一般情况下,它的解决方案不是惟一的。本书各章末尾都有扩展性的设计题。

预备知识

本书的使用对象是电子与计算机工程专业三年级学生。要求学生应预先了解电子电路的直流分析、正弦稳态分析以及 RC 电路的暂态分析方面的知识。书中广泛使用了 Thevenin 定理和 Norton 定理这些网络概念。另外,还需要 Laplace 变换等背景知识。而对半导体器件物理方面的预备知识不作要求。

组织结构

本书由三部分构成。第 1 部分的内容为前 8 章,包括半导体器件及其在基本电路中的应用。第 1 章介绍半导体材料和二极管。第 2 章介绍二极管在电路中的应用。第 3 章介绍双极型晶体管。第 4 章讲述双极型晶体管在线性放大器中的运用。第 5 章讨论场效应管(FET),重点是金属-氧化物-半导体 FET(MOSFET)。第 6 章介绍 FET 构成的线性放大器。尽管对双极型晶体管的讨论先于 FET,但这几章在写作上是相互独立的,因此, FET 及其电路也可放在双极型晶体管之前讨论。第 7 章是晶体管及晶体管电路的频率响应。第 8 章介绍了包括功率放大器在内的一些特殊应用。

尽管许多 BJT 电路和 FET 电路的结构非常相似,我们仍认为,第 1 部分的重点应该放在分析和设计技巧上。因此,如果将这两种类型的晶体管放在同一章将会引起不必要的困惑。在第 2 部分,两种类型的晶体管电路会在同一章出现。

第 1 部分介绍的基本上是电子学的基本概念。第 2 部分涵盖了模拟电子学更深一步的内容。第 3 部分介绍数字电子电路。后两部分是相互独立的,它们在书中的次序可以交换,尽管许多学生和教师不会考虑从第 6 章跳到第 16 章。

第 2 部分包括第 9~15 章,这一部分包含了许多先进的模拟电子技术,其重点是运算放大器。第 9 章介绍理想运算放大器和理想运算放大器电路。第 10 章分析恒流源偏置电路,介绍有源负载,二者在集成电路中都有广泛的应用。差动放大器是运算放大器的心脏,第 11 章对此进行了讨论。第 12 章分析了反馈。第 13 章的内容涉及构成运算放大器的各种电路的分析和设计。第 14 章分析模拟 IC 中的非理想效应。第 15 章讲的是 IC 在有源滤波器、振荡器等方面的应用。

第 3 部分由第 16 章和第 17 章组成,包括 BJT 和 FET 逻辑门在内的数字电子技术的基本内容。第 16 章分析了 MOS 数字电子电路。因为 MOSFET 在数字电子技术中应用广泛,所以对它们的介绍先于双极型电路。第 17 章介绍双极型数字电路,射极耦合逻辑电路和典型的晶体管-晶体管逻辑电路。

本书最后附有五个附录。附录 A 给出了物理单位及其相互间的转换。附录 B 介绍 PSpice 及分析类型,给出了几个关于 PSpice 电路模型及其输出响应的例题,并对几个有用的题目提供了 SPICE 和 PSpice 的完整讨论,使读者能够借此掌握 PSpice。附录 C 是制造商提供的一些器件和电路的数据表。附录 D 列出了标准电阻电容参数。附录 E 给出的是各章末尾部分习题的答案。

第 2 版的特点

- 每章都有一个概述,介绍本章的基本内容。概述将本章与前面章节的内容相互衔接,同

时说明学习本章的目的,即读者应在本章学到哪些知识。

- 大量贯穿全书始终的应用实例强化了所涉及的理论概念。这些例题提供了分析和设计的所有细节,读者不需要对这些分析和设计进行补充。
- 自测题贯穿于每章的始终,这些问题通常出现在某个例题之后,而不是很长的一节之后,这样有利于读者随时检查对所学主要内容的理解程度。每个自测题都给出了答案,这样读者就不必到书后寻找答案。解答这些问题有利于读者对目前所学内容的掌握。
- 每一章都有解题技巧来帮助读者分析电路。尽管问题的解决有不同的方法,这些解题技巧仍有助于读者对电路的分析。
- 每章最后都有小结,用来总结本章的全部结论,并复习本章涉及的基本概念。
- 小结之后紧跟着一个要点。这一部分说明学习本章的目的和读者应具备的能力。要点为进入下一章的学习提供帮助。
- 每章末尾都有一些复习题。这些问题用于自我测验,它能帮助读者了解自己对本章概念的掌握程度。
- 每章最后还设计了大量的习题,这些习题与各小节的主题相对应。第2版增加了约300个新的习题。这些习题的设置涵盖了各种难度。用RD表示再设计型问题,用D表示设计型问题,用星号(*)代表难度较大的问题。习题还包括分立的计算机仿真问题和扩展性的设计问题。
- 附录E给出了部分习题的答案。读者知道这些问题的答案有助于问题的解决。
- 附录C中给出了制造商提供的数据图表,用来选择器件和电路。这些数据图表使读者可以将所学的基本概念和电路特性与实际的电路特性和局限性联系起来。
- 提供一个包含200个重要图形的PowerPoint幻灯片的网址,一个与EWB和其他重要网址链接的解答手册,以及本书的补充资料。网址为 <http://www.mhhe.com/neamen>。

致谢

我自己多年来教过的学生心存感激,他们对本书的改进给了很多帮助。他们的热心和建设性的批评是无价的。每当他们认为发现了教授出现的某个失误时,都异常高兴,这一点对我来说是十分宝贵的。我还要感谢New Mexico大学的Cox教授、Hawkins教授及McNeil教授,他们在教学中使用了第1版,并提出了非常好的改进建议。

感谢New Mexico大学为写作本书提供的良好环境。

我要感谢McGraw-Hill出版社的热情支持。感谢出版发行人Tom Casson、主编Catherine Fields给予的鼓励和支持。特别感谢McGraw-Hill的高级开发编辑Kelley Butcher,她对每一细节的关注,她的大力支持,以及在整个项目中表现出的自始至终的热情都有目共睹,令我感激。感谢项目经理Karen Nelson所作出的努力,他指导了本书的后期工作直到出版,这些努力包括对我在校对工作中温和而坚定的督促。

我要感谢四个特别小组:一个是原始手稿各个阶段的评阅人;第二个是花费整个宝贵的周末来讨论和评估原稿计划的中心小组;第三个是正确性检查小组,他们对例题、自测题和习题进行了检查,以减少我引入的错误;第四小组由一些个人组成,他们审阅了本书的第1版和第2版的手稿。他们的工作以及提出的建议使这本书更加完善。他们对本书所作的不可估量的贡献是大家公认的。

第 1 版的评阅者

Timothy F. Darling
*University of California—
Santa Barbara*
Daniel J. Moore
*Rose Hulman Institute of
Technology*
R. G. Deshmukh
Florida Institute of Technology
Khalil Najafi
University of Michigan—Ann Arbor
Godi Fischer
University of Rhode Island
Bruce Johnson
University of Nevada—Reno
Dennis Polla
University of Minnesota
Donnie K. Reinhard
Michigan State University
Raymond S. Winton
Mississippi State University
Wesley G. Lawson
University of Maryland
Eugene D. Fabricius
*California Polytechnic State
University—San Luis Obispo*
Glen C. Gerhard
University of Arizona
David J. Dumin
Clemson University
James C. Gottling
Ohio State University
Daniel W. Hart
Valparaiso University
William Wilson
Rice University
Anura P. Jayasumana
Colorado State University
Charles E. Smith
University of Mississippi
Robert J. Krueger
*University of Wisconsin—
Milwaukee*
Philip C. Munro
Youngstown State University
Thomas Wong
Illinois Institute of Technology

中心小组参与者

Donnie K. Reinhard
Michigan State University
Richard Hester
Texas Instruments
Peter E. Engler
New Jersey Institute of Technology
Mahmood Navi
*California Polytechnic State
University—San Luis Obispo*
Stuart M. Wentworth
Auburn University
Farid Tranjan
*University of North Carolina—
Charlotte*
Arthur F. Witulski
University of Arizona
Michael Hassul
*California State University—
Long Beach*
Glen C. Gerhard
University of Arizona
Daniel J. Moore
*Rose Hulman Institute of
Technology*
Ronald S. Gyurcsik
North Carolina State University

正确性检查者

Daniel J. Moore
*Rose Hulman Institute of
Technology*
William Davis
*Virginia Polytechnic Institute and
State University*
Paul Weston
University of Illinois—Urbana
Hongyan Diao
University of Houston
Calvin L. Finn
University of Idaho
Tony King
University of Houston

George Aliftiras
*Virginia Polytechnic Institute and
State University*
Howard Hao Wu
University of Houston
Montanez Wade
Tennessee State University
William Schneider
University of Houston
Carl Erickson
Messiah College
William Kuhn
*Virginia Polytechnic Institute and
State University*
Maritza Kozicki
Sam Stone

第 2 版的评阅者

Kay D. Baker
Utah State University
Paul Benkeser
Georgia Institute of Technology

John Brews
University of Arizona
Steven M. Durbin
Florida State University
Martin Feldman
Louisiana State University
Jack Lee
University of Texas at Austin
Daniel J. Moore
*Rose Hulman Institute of
Technology*
Farid Najm
*University of Illinois—
Urbana-Champaign*
Mehmet Ozturk
North Carolina State University
Donald Parker
Texas A&M University
Andrew Rys
Kansas State University
Mahmoud Wagdy
*California State University—
Long Beach*

读者对本书的任何意见、建议或校正都请通过以下地址转寄给我: McGraw-Hill, 1333 Burr Ridge Parkway, Burr Ridge, IL 60521.

Donald A. Neamen

目 录

第 1 部分 半导体器件及其基本应用	1
第 1 章 半导体材料及二极管	3
1.0 概述	3
1.1 半导体材料及其特性	3
1.1.1 本征半导体	3
1.1.2 杂质半导体	6
1.1.3 漂移电流和扩散电流	7
1.1.4 过剩载流子	9
1.2 PN 结	10
1.2.1 在平衡状态下的 PN 结	10
1.2.2 PN 结反向偏置	11
1.2.3 PN 结正向偏置	12
1.2.4 在理想情况下电流-电压的关系	13
1.2.5 PN 结二极管	14
1.3 二极管电路:直流分析及其模型	17
1.3.1 迭代法和图解法	18
1.3.2 分段线性模型	20
1.3.3 计算机仿真与分析	22
1.3.4 二极管模型概要	23
1.4 二极管电路:交流等效电路	23
1.4.1 正弦分析	23
1.4.2 小信号等效电路	25
1.5 其他类型的二极管	26
1.5.1 太阳能电池	26
1.5.2 光电二极管	27
1.5.3 发光二极管	27
1.5.4 肖特基势垒二极管	27
1.5.5 齐纳二极管	29
1.6 小结	30
第 2 章 二极管电路	37
2.0 概述	37
2.1 整流电路	37
2.1.1 半波整流	38
2.1.2 全波整流	40

2.1.3	滤波器、脉动电压及二极管电路	42
2.1.4	倍压电路	48
2.2	齐纳二极管电路	48
2.2.1	理想基准电压电路	49
2.2.2	齐纳电阻和基准电压变化率	50
2.3	限幅器和钳位电路	51
2.3.1	限幅器	51
2.3.2	钳位器	55
2.4	多二极管电路	57
2.4.1	二极管电路举例	57
2.4.2	二极管逻辑电路	61
2.5	光电二极管和发光二极管电路	63
2.5.1	光电二极管电路	63
2.5.2	发光二极管电路	63
2.6	小结	64
第3章	双极型晶体管	74
3.0	概述	74
3.1	双极型晶体管基础	74
3.1.1	晶体管的结构	74
3.1.2	NPN 晶体管:在线性放大状态下的运用	75
3.1.3	PNP 晶体管:在线性放大状态下的运用	79
3.1.4	电路符号和约定	80
3.1.5	电流-电压特性	81
3.1.6	非理想晶体管的漏电流和击穿电压	84
3.2	晶体管电路的直流分析	87
3.2.1	共射极电路	87
3.2.2	负载线和工作模式	90
3.2.3	普通双极型电路:直流分析	93
3.3	晶体管的基本应用	101
3.3.1	开关	101
3.3.2	数字逻辑	102
3.3.3	放大器	104
3.4	双极型晶体管的偏置	107
3.4.1	单一基极电阻偏置	107
3.4.2	分压式偏置和偏置稳定性	109
3.4.3	集成电路的偏置	113
3.5	多级电路	114
3.6	小结	117
第4章	基本 BJT 放大器	128
4.0	概述	128

4.1	模拟信号和线性放大器	128
4.2	双极型线性放大器	129
4.2.1	图解分析法和交流等效电路	130
4.2.2	双极型晶体管的混合 π 型小信号等效电路	133
4.2.3	包含 Early 效应的混合 π 型等效电路	138
4.2.4	混合 π 型拓展等效电路	141
4.2.5	其他小信号参数和等效电路	141
4.3	晶体管放大器的基本结构	147
4.4	共射极放大器	149
4.4.1	基本共射极放大器电路	149
4.4.2	含射极电阻的电路	151
4.4.3	含射极旁路电容的电路	153
4.4.4	前置共射极放大器的概念	156
4.5	交流负载线分析	157
4.5.1	交流负载线	157
4.5.2	最大对称振幅	160
4.6	共集电极放大器(射极跟随器)	161
4.6.1	小信号电压增益	162
4.6.2	输入和输出阻抗	163
4.6.3	小信号电流增益	165
4.7	共基极放大器	170
4.7.1	小信号电压和电流增益	170
4.7.2	输入输出电阻	171
4.8	三种基本放大器:总结与比较	173
4.9	多级放大器	173
4.9.1	多级分析:串联组态	174
4.9.2	共射-共基组态	177
4.10	功率分析	179
4.11	小结	182
第5章	场效应晶体管	195
5.0	概述	195
5.1	MOS 场效应晶体管	195
5.1.1	二端 MOS 结构	195
5.1.2	N 沟道增强型 MOSFET	197
5.1.3	理想 MOSFET 的电流-电压特性	198
5.1.4	电路符号及约定	202
5.1.5	其他 MOSFET 结构和电路符号	203
5.1.6	晶体管工作原理小结	207
5.1.7	非理想电流-电压特性	207
5.2	MOSFET 直流电路的分析	210

5.2.1	共源极电路	210
5.2.2	负载线和工作模式	214
5.2.3	常见的 MOSFET 组态:直流分析	215
5.2.4	恒流源偏置	224
5.3	基本 MOSFET 应用:开关、数字逻辑门及放大器	226
5.3.1	NMOS 倒相器	226
5.3.2	数字逻辑门	227
5.3.3	MOSFET 小信号放大器	228
5.4	结型场效应晶体管	229
5.4.1	PN JFET 和 MESFET 的工作原理	229
5.4.2	电流-电压特性	233
5.4.3	通用 JFET 电路的直流分析	235
5.5	小结	240
第 6 章	基本 FET 放大器	251
6.0	概述	251
6.1	MOSFET 放大器	251
6.1.1	图解分析法、负载线及小信号参数	251
6.1.2	小信号等效电路	254
6.1.3	体效应模型	257
6.2	晶体管放大器的基本组态	258
6.3	共源极放大器	259
6.3.1	共源极电路的基本结构	259
6.3.2	含源极电阻的共源极放大器	262
6.3.3	含源极旁路电容的共源极电路	264
6.4	源极跟随器	266
6.4.1	小信号电压增益	266
6.4.2	输入输出电阻	269
6.5	共栅极结构	271
6.5.1	小信号电压增益和电流增益	271
6.5.2	输入输出电阻	272
6.6	三种基本放大器组态:总结与比较	273
6.7	单级集成电路 MOSFET 放大器	274
6.7.1	带有增强型负载的 NMOS 放大器	274
6.7.2	带有耗尽型负载的 NMOS 放大器	277
6.7.3	带有 PMOS 负载的 NMOS 放大器	280
6.8	多级放大器	282
6.8.1	直流分析	282
6.8.2	小信号分析	285
6.9	基本 JFET 放大器	287
6.9.1	小信号等效电路	287

6.9.2 小信号分析	288
6.10 小结	291
第7章 频率响应	302
7.0 概述	302
7.1 放大器的频率响应	302
7.1.1 等效电路	303
7.1.2 频率响应分析	303
7.2 系统传递函数	304
7.2.1 s 域分析	304
7.2.2 一阶函数	306
7.2.3 Bode 图	306
7.2.4 短路和开路时间常数	311
7.3 频率响应:含有电路电容的晶体管放大器	314
7.3.1 耦合电容的影响	314
7.3.2 负载电容的影响	320
7.3.3 耦合电容和负载电容	321
7.3.4 旁路电容的影响	324
7.3.5 组合效应:耦合电容和旁路电容	327
7.4 频率响应:双极型晶体管	329
7.4.1 拓展的混合 π 等效电路	329
7.4.2 短路电流增益	331
7.4.3 特征频率	332
7.4.4 Miller 效应和 Miller 电容	334
7.5 频率响应:FET	337
7.5.1 高频等效电路	337
7.5.2 特征频率	339
7.5.3 Miller 效应和 Miller 电容	341
7.6 晶体管电路的高频响应	343
7.6.1 共射极和共源极电路	343
7.6.2 共基极、共栅极和共射-共基电路	346
7.6.3 射极跟随器和源极跟随器	352
7.6.4 高频放大器的设计	355
7.7 小结	357
第8章 输出级和功率放大器	373
8.0 概述	373
8.1 功率放大器	373
8.2 功率管	374
8.2.1 双极型功率管	374
8.2.2 MOSFET 功率管	377
8.2.3 散热片	378

8.3	功率放大器的类型	382
8.3.1	A类功率放大器	382
8.3.2	B类功率放大器	386
8.3.3	AB类功率放大器	389
8.3.4	C类功率放大器	393
8.4	A类功率放大器	393
8.4.1	电感耦合功率放大器	393
8.4.2	具有变压器耦合的共射极功率放大器	394
8.4.3	具有变压器耦合的射极跟随器功率放大器	395
8.5	AB类推挽互补对称输出级电路	397
8.5.1	具有二极管偏置的AB类输出级电路	397
8.5.2	用 V_{BE} 倍增器提供偏置的AB类功率放大器	399
8.5.3	具有输入缓冲器的AB类输出级电路	401
8.5.4	使用Darlington管的AB类输出级电路	404
8.6	小结	405
第2部分 模拟电子技术		415
第9章 理想运算放大器		419
9.0	概述	419
9.1	运算放大器	419
9.1.1	理想参数	420
9.1.2	拓展的理想参数	421
9.1.3	分析方法	422
9.1.4	PSpice模型	423
9.2	反相放大器	423
9.2.1	基本放大器	423
9.2.2	含有T形网络的放大器	425
9.2.3	增益有限的影响	427
9.3	加法器	429
9.4	同相放大器	430
9.4.1	基本放大器	431
9.4.2	电压跟随器	431
9.5	运算放大器的应用	432
9.5.1	电流-电压转换器	433
9.5.2	电压-电流转换器	433
9.5.3	差动放大器	435
9.5.4	仪器放大器	439
9.5.5	积分器和微分器	441
9.5.6	非线性应用	443
9.6	运算放大器电路的设计	444

9.6.1	加法器的设计	444
9.6.2	基准压源的设计	446
9.6.3	差动放大器和桥式电路的设计	448
9.7	小结	450
第 10 章	集成电路的偏置和有源负载	462
10.0	概述	462
10.1	双极型晶体管电流源	462
10.1.1	双晶体管电流源电路	462
10.1.2	改进的电流源电路	466
10.1.3	Widlar 电流源	470
10.1.4	多晶体管电流镜	475
10.2	FET 电流源	477
10.2.1	基本双晶体管 MOSFET 电流源	477
10.2.2	多 MOSFET 电流源电路	480
10.2.3	独立于偏置的电流源	483
10.2.4	JFET 电流源	484
10.3	有源负载电路	486
10.3.1	BJT 有源负载电路的直流分析	487
10.3.2	BJT 有源负载的电压增益	488
10.3.3	直流分析:MOSFET 有源负载电路	489
10.3.4	MOSFET 有源负载电路的电压增益	490
10.3.5	讨论	491
10.4	有源负载电路的小信号分析	491
10.4.1	BJT 有源负载电路的小信号分析	491
10.4.2	MOSFET 有源负载电路的小信号分析	494
10.4.3	小信号分析:改进的 MOSFET 有源负载	495
10.5	小结	496
第 11 章	差动放大器和多级放大器	509
11.0	概述	509
11.1	差动放大器	509
11.2	基本的 BJT 差分对	509
11.2.1	术语和性能描述	509
11.2.2	直流传输特性	512
11.2.3	小信号等效电路分析	516
11.2.4	差模和共模增益	520
11.2.5	共模抑制比	524
11.2.6	差模和共模输入阻抗	525
11.3	基本的 FET 差分对	529
11.3.1	直流传输特性	529
11.3.2	差模和共模输入阻抗	533