

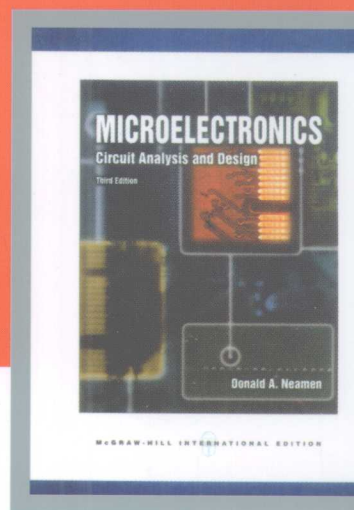
信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

Mc  
Graw  
Hill Education

Microelectronics  
Circuit Analysis and Design  
(Third Edition)

电子电路分析与设计  
——半导体器件及其基本应用  
(第3版)

Donald A. Neamen 著  
王宏宝 于红云 刘俊岭 译



Mc  
Graw  
Hill

清华大学出版社

信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

Mc  
Graw  
Hill Education

Microelectronics  
Circuit Analysis and Design  
(Third Edition)

电子电路分析与设计  
——半导体器件及其基本应用  
(第3版)

Donald A. Neamen 著  
王宏宝 于红云 刘俊岭 译

清华大学出版社  
北京

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2007-2427

Donald A. Neamen

**Microelectronics: Circuit Analysis and Design, 3th edition**

ISBN: 0-07-125443-9

Copyright © 2007 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 by 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 Tsinghua University Press.

本书中文简体字翻译版由清华大学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。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

#### 图书在版编目(CIP)数据

电子电路分析与设计——半导体器件及其基本应用(第3版)/(美)纽曼(Neamen, D. A.)著;王宏宝,于红云,刘俊岭译. —北京:清华大学出版社,2009.1

(信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列)

ISBN 978-7-302-17895-8

I. 电… II. ①纽… ②王… ③于… ④刘… III. 半导体器件—教材 IV. TN303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 088875 号

责任编辑: 王一玲 陈志辉

责任校对: 白 蕾

责任印制: 孟凡玉

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 33.25 字 数: 802 千字

版 次: 2009 年 1 月第 1 版 印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 59.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770177 转 3103 产品编号: 024350-01

## 中译版序

清华大学出版社曾经于 2000 年引进 Donald A. Neamen 教授的《电子电路分析与设计》(Electronic Circuit Analysis and Design)(第 2 版),受到了国内广大高校师生的欢迎。2007 年本书推出了第 3 版,并由从事电子技术教学近 40 年的清华大学王宏宝教授主持翻译出版,应清华大学出版社之邀,本人再次推荐本书。

Microelectronics: Circuit Analysis and Design(第 3 版)包括半导体器件及其基本应用、模拟电子技术和数字电子技术 3 个部分,共 17 章。第 1 部分包括第 1~8 章,主要阐述半导体材料和二极管、二极管电路、场效应管及其放大电路、双极型晶体管及其放大电路、频率响应、输出级和功率放大电路等。第 2 部分包括第 9~15 章,主要阐述理想运放及其基本应用、集成电路的偏置电路和有源负载、差分及多级放大电路、反馈及稳定性、运算放大电路、运算放大电路的非理想效应、集成电路的应用和设计等。第 3 部分包括第 16 章和第 17 章,主要阐述 NMOS、CMOS、BiCMOS、ECL 逻辑电路的组成,不同类型门电路的工作原理和电气特性,触发器、时序逻辑电路、存储器的构成和逻辑功能等。

### 一、本书基本特点

1. 内容丰富,视野开阔,知识面较宽,涵盖了我国高等院校模拟电子技术和数字电子技术课程大部分教学基本要求,因而可作为电子技术基础及同类课程的参考书或教材。

2. 本书虽然篇幅较多,但各章结构合理、层次清楚、思路清晰、叙述详细、文字流畅。各章一般在叙述一个重要问题之后,均有例题及其评述或讨论,有些还给出设计举例、自测题等。使读者像面对一个循循善诱的老师一样,在启发引导下,由浅入深,循序渐进,因而易于阅读和学习。

### 二、内容编排特点

1. 半导体器件及其基本应用、模拟电子技术和数字电子技术 3 个部分的序言具有高度的概括性,阐明了本部分有关的基本知识、基本概念和基本方法,对于“教”与“学”均具有指导意义。

2. 在第 1 部分中,将场效应管及其放大电路置于晶体三极管及其放大电路之前,适应了集成电路的发展和当前芯片应用的现状。而且,在全书中均有意识地对场效应管的应用加以关注。

3. 每章均具有“设计举例”一节,设计题目均为结合本章基本内容的实际问题。例如,利用二极管、MOSFET 管和 BJT 管设计电子温度计,利用二极管和

稳压管设计直流电源,利用 FET 和 BJT 设计实用放大器,利用集成运放设计有源滤波器,利用 CMOS 和 ECL 电路的基本结构设计门电路,等等。特别注重理论联系实际,且叙述具有示范性,利于提高读者电子电路的设计能力。

4. 全书具有大量的例题、思考题、练习题、测试题、设计应用题和计算机仿真题,教学目的明确,层次分明,内容丰富。且大部分题目配有答案,利于自学。

综上所述,与国内出版的同类教材相比,本书具有明显的特色。它正好弥补国内同类教材因篇幅所限叙述不够详尽、内容较为浓缩、例题和习题较少、设计举例不多的缺憾。因此,无论对于教师还是对于学生,本书均具有很好的参考价值。

华成英

2008年7月于清华园

## 目的和宗旨

《电子电路分析与设计》是电气工程与计算机科学专业的本科生电子学必修课程所用的教材。本书第3版的目的是为模拟电子电路及数字电子电路的分析和设计打下坚实的基础。

现在,多数电子电路的设计都使用集成电路(ICs)。集成电路将整个电路制造在单片半导体材料上,它包含数百万个半导体器件和其他元件,能执行很复杂的功能。微处理器就是这种电路的一个实例。这本教材的根本目的就是要熟悉组成集成电路的一些基本电子电路的工作原理、电路特性以及限制因素。

本书首先分析和设计分立晶体管电路,所研究的电路其复杂程度不断提高。而在本书的最后,将使读者能够分析和设计集成电路的部件单元,比如数字逻辑门电路。

本书是研究复杂电子电路的入门教材,因而没有介绍那些更先进的材料,比如砷化镓技术,砷化镓材料常应用在一些特殊的场合,在参考文献中介绍了它的几种特殊应用的实例。当然,本书也未涉及布线技术及集成电路制造技术,因为这些内容可以完全独立于本教材之外进行专门介绍。

## 计算机辅助分析和设计(PSpice)

计算机分析和计算机辅助设计(CAD)是电子工程中的重要环节。当前最为流行的一种电子电路仿真程序是由加州大学开发的侧重于集成电路的仿真程序(SPICE),其专门用于个人计算机的版本称为 PSpice。使用本教材的各位教师可结合课程的各个知识点介绍 PSpice 的应用。

本教材着重对电路进行手工分析和设计。然而,在有些地方应用 PSpice 的分析结果,它们与手工分析的结果相关联。

书中还有 PSpice 原理图以及计算机仿真结果。在大多数章的末尾有专门的计算机仿真题。然而,在教师的讲课过程中,可以随意要求将 PSpice 用于任何一道练习题和习题,以检验手工分析的结果。

在某些章节,特别是频率响应和反馈这两章,更是大量应用计算机分析。但是,即使在这样的情况下,也只是在充分了解了电路的基本特性以后才考虑使用计算机分析方法。计算机是电子电路辅助分析和辅助设计的工具,但不能代替对电路分析基本概念的准确理解。

## 设计的重要性

设计工作相当于工程的“心脏”。一个好的设计积累了电路分析的大量经验。在本教材中,当我们在进行电路分析的时候,将着重阐明电路的各种特性和性能,这些都为我们进行应用电路设计提供直觉知识。

本书有许多设计例题、设计练习题和章末尾的设计习题。许多设计例题和设计习题具有一组设计指标要求,由于此要求而可能产生唯一的解。尽管书中所介绍的设计类型可能并非是最严密的形式,但就作者看来,这是学习电子电路设计的第一步。在每章习题的末尾,有单独的一小节是应用设计题,它包含答案不确定、不唯一的开放式(open-ended)设计题。

## 必备条件

本书的适用对象是电气工程与计算机专业本科低年级学生。学习本书的必要先修知识应该包括电子电路的直流分析和正弦稳态分析以及  $RC$  电路的瞬态分析。有关各种网络的概念,例如,戴维南定理和诺顿定理,它们广泛应用在电子电路的分析中。有关拉普拉斯变换的一些基础知识也是非常有用的。但是关于半导体物理的相关知识不要求在学习本课程之前必须具备。

## 本书的体系结构

全书分为3个部分。第1部分由前8章组成,包括半导体材料、基本二极管原理、二极管电路、基本晶体管原理以及晶体管电路等内容。第2部分介绍更高级一些的电子电路,比如运算放大器电路、集成电路偏置技术以及其他实用的模拟电路。第3部分则介绍数字电子电路,包括CMOS集成电路。在书末还有6个附录(中译版略去了附录)。

第1部分 第1章介绍半导体材料和PN结,由此发展到二极管电路以及第2章的二极管应用电路。第3章讲解场效应晶体管,重点介绍金属-氧化物-半导体 FET(MOSFET)。第4章则讲解基本 FET 线性放大器。第5章讨论双极型晶体管。第6章则讲解基本双极型线性放大器及其应用。

讲解 MOSFET 的第3章和第4章以及讲解双极型晶体管的第5章和第6章在书中是相互独立的两部分内容。因而教师可以如本教材中所示先讲 MOSFET 内容后讲双极型晶体管内容,也可以采用更加传统一点的方法,即先讲双极型晶体管内容,后讲 MOSFET 内容,如下表所示。

最初几章内容可能的讲解次序

本书次序		传统次序	
章	内 容	章	内 容
1	PN 结	1	PN 结
2	二极管电路	2	二极管电路
3	MOS 晶体管	5	双极型晶体管
4	MOSFET 电路	6	双极型电路
5	双极型晶体管	3	MOS 晶体管
6	双极型电路	4	MOSFET 电路

第7章用单独一章内容讨论晶体管和晶体管电路的频率特性。第3章~第6章的重点是电路的分析和设计技术,所以在这其中的某一章如果混合讲解两种不同的晶体管将会引起不必要的混乱。然而,从第7章开始则在同一章中既讨论MOSFET电路,也讨论双极型电路。最后的第8章介绍输出级电路和功率放大器电路,从而结束本书第1部分的内容。

**第2部分** 从第9章~第15章的内容是介绍更高级一点的模拟电路。这一部分的重点放在运算放大器和构成集成电路(ICs)的一些基本电路模块上。第9章介绍理想运算放大器和理想运放电路。第10章介绍恒流源偏置电路和有源负载电路,这两种电路广泛应用于ICs中。第11章讨论差分放大器,它是运算放大器的核心电路。第12章讨论反馈。第13章则对构成运算放大器的各种电路进行分析和设计。第14章分析模拟ICs的非理想效应。第15章讨论模拟ICs的应用,比如有源滤波器和振荡器电路等。

**第3部分** 这一部分内容包括第16章和第17章,它们分析数字电路。第16章讨论MOS数字电路的分析和设计。这一章的重点是CMOS电路,它是构成最流行的数字电路的基础。首先介绍基本的数字逻辑门电路,然后介绍移位寄存器、触发器和基本的A/D和D/A转换器电路。第17章介绍双极型数字电路,包括射极耦合逻辑电路和传统的晶体管-晶体管逻辑(TTL)电路。

如果有的教师希望在讲解模拟电路之前先讲解数字电路,则可以将第3部分编写成与第2部分没有关联。因而,这些教师可以从第1、2、3章跳到第16章进行讲解。这种跳跃对于学生们来说可能有些困难,但也不是不可行的。

附录 (略)

### 第3版的特点

(1) 每章的开始都有一个简短的内容介绍,对于前一章的内容和新一章的内容起承上启下的作用。每章内容的讲解目的,即读者将从本章内容的学习中获得些什么,这些都在每章正文开始之前的本章内容简介中用圆点标记列表的形式展示出来,以便读者阅读。

(2) 在每章中的每个主要小节,开始时都用一小段文字再次阐述本节所要讲解的内容。

(3) 本书通篇包含大量的实用例题以加强对书中所讲理论和概念的理解。这些例题在分析和设计电路时都很详细,所以读者不必担心会遗漏掉什么步骤。

(4) 紧跟每个例题的后面必有一道练习题。练习题和例题非常相似,所以读者可以立刻检查自己对于刚刚学过的内容的理解程度。每道练习题都给出答案,因而读者不用到书末去寻找答案。这些练习题可以帮助读者在学习新的一小节内容之前加强对刚学过的这一小节内容的理解和掌握。

(5) 在每章主要小节的末尾有理解测试题。这些测试题一般比例题后面的练习题更加综合。这些测试题也能使读者在学习新的一节内容之前加强对所学知识的理解和掌握。同样,理解测试题也给出了答案。

(6) 解题技巧贯穿在每章的内容当中,以帮助读者很好地分析电路。尽管求解一道题可能存在不止一种方法,但这些解题技巧足以帮助读者初步亲自动手分析电路。

(7) 每章的最后一小节都有一个设计题。这种特定的电路设计和刚刚学过的这章内容有关。经过本书整个课程的学习,将使同学们学会设计并构建电子温度计电路。尽管每一个应用设计并非都是电子温度计,但是每个设计都向学生形象地阐明了如何在现实社会中



应用这些设计。

(8) 每章正文最后一小节是本章内容小结。它总结这一章所推导出的全部结论并且复习所讲解的基本概念。小结部分也是用圆点标记的列表形式列出,以便参考。

(9) 小结之后的内容是本章重点。这一小节阐述通过本章讲解已经实现的目标以及读者通过学习应该掌握的能力。它能帮助读者在学习下一章之前评估自己的进步。

(10) 每章结尾列出了复习题。这些复习题如同自测题一样能帮助读者检验对课文中提出的基本概念的掌握程度。

(11) 每章的最后罗列了大量的习题,以每一小节的标题为纲来进行编排。在第3版中收入了许多新的习题,还有一些设计题,而且分为不同的难易程度。带“D”字头的是设计类型的习题,带“\*”号的设计题是难题。单独列出了计算机仿真题和答案不确定、不唯一的开放式(open-ended)设计题。

(12) 书末给出了部分习题的答案。知道了习题的答案,就可以帮助读者加强解题的能力。

(13) (略)

## 补充材料

本教材有多种、广泛的补充材料,不但有在线的,还有除教材正文以外的补充材料。本书网站所包含的资源,既适用于教师也适用于学生。针对学生网站内容有两个新的特点:算法问题和图片。算法题使学生能够实践循环算法的一步一步解题过程,从而联想创造出无限多个问题。图片通过展示各个不同的领域,从 Fairchild 半导体到 Apple 公司,工作的工程师们的访谈过程,给同学们提供一些有关现实电子工程领域的直观知识。许多有用的链接也会出现在此网站上。

网站上有适合教师的安全可靠、使用方便的内容,包括教材中所有的插图、所有的题解以及实验数据的 PPT。此外,教师还可以获取 McGraw-Hill 专门为教师们准备的新工具 COSMOS 的演示版。

## 致谢

(略)

# 目 录

## 序言 1 电子学导论

## 第 1 部分 半导体器件及其基本应用

第 1 章 半导体材料和二极管	7
本章内容	7
1.1 半导体材料及其特性	7
1.2 PN 结	17
1.3 二极管电路：直流分析及模型	26
1.4 二极管电路：交流等效电路	33
1.5 其他类型的二极管	37
1.6 设计举例：二极管温度计	41
1.7 本章小结	43
复习题	44
习题	44
第 2 章 二极管电路	50
本章内容	50
2.1 整流电路	50
2.2 齐纳二极管电路	66
2.3 限幅电路和钳位电路	71
2.4 多二极管电路	77
2.5 光电二极管和发光二极管电路	85
2.6 设计举例：直流电源	87
2.7 本章小结	88
复习题	89
习题	90
第 3 章 场效应晶体管	98
本章内容	98
3.1 MOS 场效应晶体管	98

3.2	MOSFET 电路的直流分析	116
3.3	MOSFET 的基本应用: 开关、数字逻辑门以及放大器	137
3.4	恒流源偏置	140
3.5	多级 MOSFET 电路	145
3.6	结型场效应晶体管	148
3.7	设计举例: 用 MOS 晶体管设计二极管温度计	159
3.8	本章小结	161
	复习题	161
	习题	162
<b>第 4 章</b>	<b>基本 FET 放大器</b>	<b>171</b>
	本章内容	171
4.1	MOSFET 放大器	171
4.2	MOSFET 放大器的基本组态	180
4.3	共源放大器电路	180
4.4	共漏(源极跟随器)放大器	190
4.5	共栅放大器	196
4.6	三种基本的放大器组态: 总结和比较	199
4.7	集成电路单级 MOSFET 放大器	200
4.8	多级放大器	213
4.9	基本 JFET 放大器	216
4.10	设计举例: 两级放大器	221
4.11	本章小结	223
	复习题	224
	习题	224
<b>第 5 章</b>	<b>双极型晶体管</b>	<b>235</b>
	本章内容	235
5.1	基本双极型晶体管	235
5.2	晶体管电路的直流分析	248
5.3	晶体管的基本应用	269
5.4	双极型晶体管的偏置	275
5.5	多级电路	287
5.6	设计举例: 采用双极型晶体管的二极管温度计	291
5.7	本章小结	292
	复习题	293
	习题	293

<b>第 6 章 基本的 BJT 放大器</b> .....	304
本章内容 .....	304
6.1 模拟信号和线性放大器 .....	304
6.2 双极型线性放大器 .....	305
6.3 晶体管放大器的基本结构 .....	327
6.4 共射极放大器 .....	329
6.5 交流负载线分析 .....	342
6.6 共集电极放大器(射极跟随器) .....	350
6.7 共基极放大器 .....	360
6.8 三种基本放大器的小结和比较 .....	363
6.9 多级放大器 .....	364
6.10 功率分析 .....	370
6.11 设计举例: 音频放大器 .....	372
6.12 本章小结 .....	375
复习题 .....	376
习题 .....	376
<b>第 7 章 频率响应</b> .....	388
本章内容 .....	388
7.1 放大器的频率响应 .....	388
7.2 系统传递函数 .....	390
7.3 带有电容的晶体管放大电路的频率响应 .....	401
7.4 双极型晶体管的频率响应 .....	417
7.5 FET 的频率响应 .....	427
7.6 晶体管电路的高频响应 .....	433
7.7 设计举例: 带耦合电容的两级放大器 .....	446
7.8 本章小结 .....	448
复习题 .....	449
习题 .....	449
<b>第 8 章 输出级和功率放大器</b> .....	463
本章内容 .....	463
8.1 功率放大器 .....	463
8.2 功率晶体管 .....	464
8.3 功率放大器分类 .....	474
8.4 甲类功率放大器 .....	486
8.5 甲乙类互补推挽输出级 .....	490
8.6 设计举例: 使用 MOSFET 的输出级 .....	497

8.7 本章小结 .....	499
复习题 .....	500
习题 .....	500
部分习题答案 .....	507

## 序言 2 电子电路设计

### 第 2 部分 模拟电子技术

第 9 章 理想运算放大器及运放电路 .....	523
第 10 章 集成电路偏置技术和有源负载 .....	573
第 11 章 差分放大器和多级放大器 .....	626
第 12 章 反馈及其稳定性 .....	703
第 13 章 运算放大器电路 .....	778
第 14 章 运算放大器电路的非理想效应 .....	826
第 15 章 集成电路的应用和设计 .....	866

## 序言 3 数字电子学导论

### 第 3 部分 数字电子技术

第 16 章 MOSFET 数字电路 .....	945
第 17 章 双极型数字电路 .....	1038

## 电子学导论

一谈到电子学这个词,大多数人都会想到电视机、膝上电脑或者 DVD 播放器。事实上,这些都是由包括放大器、信号源、直流电源和数字逻辑电路在内的子系统,即电子电路构成的电子系统。

电子学是研究电荷在空气、真空和半导体内运动的一门科学(注意此处不包括电荷在金属中的运动)。这一概念最早起源于 20 世纪早期,以便和电气工程(主要研究电动机、发电机和电缆传输)加以区别,当时的电子工程是一个崭新的领域,主要研究真空管中的电荷运动。如今,电子学研究的内容一般包括晶体管和晶体管电路。微电子学研究集成电路(IC)技术,它能够在一块半导体材料上制造包含数百万甚至更多个电路元件的电路系统。

一个称职的电气工程师应该具备多种技能,比如要会使用、设计或构建电子电路系统。所以在很多时候电气工程和电子工程之间的差别并不像当初定义的那么明显。

### 电子学发展简史

晶体管和集成电路的迅猛发展已经彰显了电子学的巨大威力。集成电路的应用已经渗透到我们日常生活中的方方面面,从即时通信的手机到汽车。集成电路应用的一个经典例子是体积很小的膝上电脑,它比几十年前装满整间房屋的大型计算机的性能还要好。

从 1947 年 12 月第一个晶体管诞生于贝尔实验室(由 William Shockley, John Bardeen 和 Walter Brattain 研制成功)开始,基础电子学获得了重大的突破。从那时起大约到 1959 年,晶体管还仅仅是作为分立的器件单个应用,所以制作电路时需要把晶体管的引脚和别的元件的引脚一个一个地焊接起来。

1958 年 9 月,美国得克萨斯仪器(Texas Instruments, TI)公司的 Jack Kilby 用锗半导体设计出了第一个集成电路。几乎在同一时期,美国仙童(Fairchild)半导体公司的 Robert Noyce 用硅半导体设计出了集成电路。整个 60 年代集成电路技术迅猛发展,不过那时主要使用的还是双极型晶体管技术。此后金属-氧化物-半导体场效应晶体管(MOSFET)和 MOS 集成电路技术占据了主要的市场,尤其在数字集成电路的设计、应用中。

随着集成电路技术的日益成熟和集成电路结构越来越复杂,电子设备的体积变得越来越小并且在一块芯片上电路所集成的器件数目也越来越多。如今在一块集成电路上可以含有运算电路单元、逻辑电路单元和存储功能单元,例如,微处理器集成电路芯片。

## 有源器件和无源器件

在无源电子器件中,无限长时间内传送到电子器件的平均功率总是大于或等于零。电阻、电容和电感都是无源器件。电感和电容可以储存能量,但是在无限长时间内不能产生大于零的平均功率。

有源器件,例如,直流供电电源、电池组和交流信号发生器等可以产生特定形式的功率。晶体管也可以认为是有源器件,因为它提供给负载的信号功率比接收到的信号大。这种现象称为放大作用。输出的额外功率是由该器件内部对直流能量和交流能量重新分配而获得的。

## 电子电路

在大多数电子电路中,都有两个输入(见图 PR1.1)。一个是来自供电电源的直流输入,用以给晶体管提供适当的直流电压和直流电流偏置。另一个是可以被电路放大的信号输入。尽管输出信号可以比输入信号大,但输出功率不会超过直流输入功率。所以直流供电的幅值限制了输出响应信号的大小。

所以在分析电子电路时将分为两个步骤进行:一是分析直流输入和直流电路响应;二是分析信号输入和交流响应。用受控电压源和电流源来模型化有源器件并表示放大器和信号增益。总之,对电路的直流分析和交流分析将使用不同的等效电路模型。

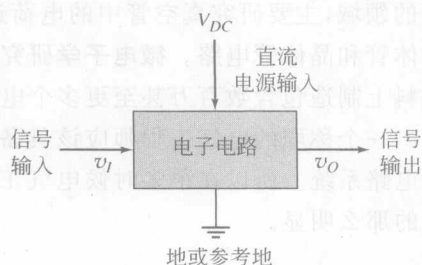


图 PR1.1 包含直流电源输入和信号输入的电子电路示意图

## 分立电路和集成电路

本书将分析分立电子电路的原理。分立电路就是由分立元件组成的电子电路,分立元件有电阻、电容和晶体管等。下面将重点分析和研究各种类型的分立电路,它们是组成集成电路的基本部件。例如,可以用各种各样的电子电路组成运算放大器,运算放大器是模拟电子学中重要的集成电路。文中也将讨论数字集成电路中用到的各种逻辑电路。

## 模拟信号和数字信号

图 PR1.2(a)所示的电压信号是模拟信号。模拟信号的幅值可以是任意值,也就是说幅值随时间连续变化。产生或处理此类信号的电路称为模拟电路。

另外一种信号只有两种不同的电平,称为数字信号(图 PR1.2(b)所示)。因为数字信号有离散的电平值,所以也称为量化值。处理数字信号的电路称为数字电路。

现实生活中绝大多数信号是模拟信号,例如,语音通信和音乐。放大此类信号需要很多电子电路,其中最重要的是使信号失真很小或者不失真。所以在信号放大器中,输出信号应

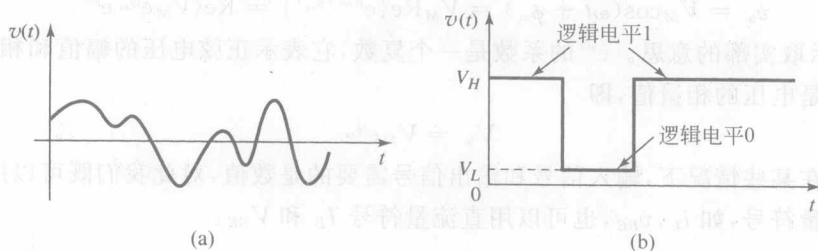


图 PR1.2 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号; (b) 数字信号

该是输入信号的线性函数。例如,功率放大器电路就是一个立体声系统,用以提供足够的功率驱动扬声器系统。再次强调必须使输入和输出之间保持线性关系,以使声音不失真地得到还原。

由于在电路设计和制造方面的突出优点,数字系统及其信号处理在目前电子学的应用中占有更重要的地位。数字处理器应用广泛,以至于可以实现模拟电路不能实现的功能。然而在很多场合必须由模拟信号转换为数字信号或者由数字信号转换为模拟信号。处理此类转换在电子学的应用中也占有重要的地位。

### 符号说明

表 PR1.1 所示的符号贯穿于本书的各章节。带有大写脚注的小写字母(如  $i_B, v_{BE}$ )表示包含直流量的瞬时总量;带有大写字母脚注的大写字母(如  $I_B, V_{BE}$ )表示直流量(静态电流、电压);小写字母带有小写脚注(如  $i_b, v_{be}$ )表示交流瞬时值;最后大写字母带有小写脚注(如  $I_b, V_{be}$ )表示交流有效值(相量值)。

表 PR1.1 符号说明小结

变 量	含 义	变 量	含 义
$i_B, v_{BE}$	包含直流量的瞬时总量	$i_b, v_{be}$	交流瞬时值
$I_B, V_{BE}$	直流量(静态电流、电压)	$I_b, V_{be}$	交流有效值(相量值)

例如,图 PR1.3 所示是叠加在直流电压上的正弦波电压。用上述符号,可以表示为

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be} = V_{BE} + V_M \cos(\omega t + \phi_m)$$

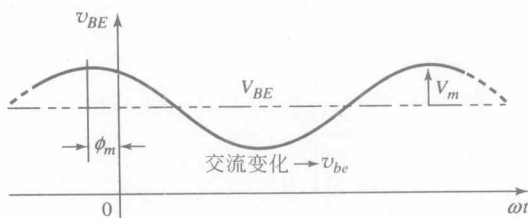


图 PR1.3 叠加在直流电压上的正弦电压波形,阐明本书所用符号的含义

根据欧拉恒等式定义的相量的概念以及指数函数与三角函数的关系,正弦波电压也可以写作



$$v_{be} = V_M \cos(\omega t + \phi_m) = V_M \operatorname{Re}\{e^{j(\omega t + \phi_m)}\} = \operatorname{Re}\{V_M e^{j\phi_m} e^{j\omega t}\}$$

其中  $\operatorname{Re}$  表示取实部的意思。 $e^{j\omega t}$  的系数是一个复数,它表示正弦电压的幅值和相位。于是,这个复数就是电压的相量值,即

$$V_{be} = V_M e^{j\phi_m}$$

本书中在某些情况下,输入信号和输出信号需要的是数值,对此我们既可以用包含直流量的瞬时总量符号,如  $i_B, v_{BE}$ ,也可以用直流量符号  $I_B$  和  $V_{BE}$ 。

### 总结

半导体器件是电子电路中的基本元件。其电气特性使得它们在信号处理中充当控制开关的作用。例如,大多数电气工程师只是电子元器件的使用者,而不是它们的制造者或设计者。然而,在了解总体系统特性和使用限制之前,必须掌握电子元器件的基本知识和进行基础的训练。在电子学中,学习运算放大电路、比例电路和集成电路之前应当充分掌握分立电路的知识及其分析、设计方法。

定义	量 变	定义	量 变
瞬时值	$i, v$	有效值	$I, V$
复数表示法	$I e^{j\phi}, V e^{j\phi}$	相量表示法	$\dot{I}, \dot{V}$

