

国外电子与通信教材系列

# 数字电路简明教程

## Digital Electronics

### A Simplified Approach

[美] Robert D. Thompson 著

马爱文 赵霞 李德良 等译

高鹏 审校

PEARSON  
Prentice  
Hall



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry  
<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

# 数字电路简明教程

Digital Electronics

A Simplified Approach

[美] Robert D. Thompson 著

马爱文 赵霞 李德良 等译

高鹏 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

当今,电子技术领域发生了迅猛而巨大的变化,电子技术所涵盖的内容更加广泛。本书通过详细讲述数字电路的基本概念及其基本应用,使读者加深对数字逻辑操作的理解和基本原理的掌握。

本书共13章,首先从逻辑代数基础入手,接着讲解了门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、可编程逻辑器件等内容。书中通过对各种数字逻辑器件及其电路的详细分析,系统地阐述了数字电路的基本概念、基本原理和基本分析方法,每章都有阶段性小结和本章小结,阶段性练习和本章习题,并附有一定数量的例题,非常利于自学和实际应用。

本书可作为高等工科院校电气类、电子类专业的基础课程教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Digital Electronics: A Simplified Approach*, ISBN: 0135056942 by Robert D. Thompson, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2001.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Simplified Chinese language edition published by Publishing House of Electronics Industry, Copyright © 2003.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China excluding Hong Kong, Macau and Taiwan.

本书中文简体专有翻译出版版权由Pearson教育集团所属的Prentice Hall授予电子工业出版社。其原文版权及中文翻译出版版权受法律保护。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)发行与销售。

版权贸易合同登记号:图字:01-2001-1174

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电路简明教程/(美)汤普森(Thompson, R. D.)著;马爱文等译.-北京:电子工业出版社,2003.7

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Digital Electronics: A Simplified Approach

ISBN 7-5053-7645-4

I. 数… II. ①汤… ②马… III. 数字电路-教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第054053号

责任编辑:马 岚

印刷者:北京兴华印刷厂

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:56.75 字数:1453千字

版 次:2003年7月第1版 2003年7月第1次印刷

定 价:79.00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

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。

吴佑寿

中国工程院院士、清华大学教授  
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研单位中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严谨与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

## 教材出版委员会

- |     |            |  |
|-----|------------|--|
| 主任  | 吴佑寿        | 中国工程院院士、清华大学教授   |
| 副主任 | 林金桐<br>杨千里 | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师<br>总参通信部副部长、中国电子学会会士、副理事长<br>中国通信学会常务理事    |
| 委员  | 林孝康        | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员 |
|     | 徐安士        | 北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任<br>教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员                |
|     | 樊昌信        | 西安电子科技大学教授、博士生导师<br>中国通信学会理事、IEEE 会士                         |
|     | 程时昕        | 东南大学教授、博士生导师<br>移动通信国家重点实验室主任                                |
|     | 郁道银        | 天津大学副校长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员                 |
|     | 阮秋琦        | 北方交通大学教授、博士生导师<br>计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长                     |
|     | 张晓林        | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子工程系主任<br>教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员     |
|     | 郑宝玉        | 南京邮电学院副院长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员                  |
|     | 朱世华        | 西安交通大学教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员       |
|     | 彭启琮        | 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长<br>教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员   |
|     | 毛军发        | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息学院副院长<br>教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员            |
|     | 赵尔沅        | 北京邮电大学教授、教材建设委员会主任   |
|     | 钟允若        | 原邮电科学研究院副院长、总工程师   |
|     | 刘彩         | 中国通信学会副理事长、秘书长   |
|     | 杜振民        | 电子工业出版社副社长   |

## 译 者 序

数字电子技术是通信和电子工程类各专业的一门专业基础课,是研究各种数字逻辑器件的物理特性、电路及其应用的一门学科。数字电路是微处理器、微计算器的硬件基础。本书内容精炼,重点突出,反映了作者具有丰富的教学实践经验和宽泛的专业知识面。全书从不同侧面介绍了数字电路的基本概念及其应用,能满足大多数读者的需求,使其在数字电路课程的学习中获得最大的收益。

在内容安排上,作者注意贯彻从实际出发,由浅入深、由特殊到一般、从感性上升到理性等原则,通过对各种逻辑器件及其电路的分析来阐述数字电路的基本概念、基本原理和基本分析方法。对于基本的和常用的逻辑电路,除了进行定性分析外,还介绍了其设计方法,给出了许多实际电路应用及其故障诊断的例子,对提高读者的实际应用及解决问题的能力有很大的帮助。

本书的一个重要特点是过程分析十分详细,循序渐进地引导读者理解逻辑操作和设计概念,并将所学知识综合运用。另外一个特点是各章都列出了重要术语和要点,然后在章中适当的时候进行阶段性小结,这样能够使读者从总体上清楚地知道学习目的,并及时总结各节所学知识。章末的习题量也比较大,供读者实践,并且较难的思考题都标有CT,这类稍难的习题一般是前面所学内容的逻辑应用或几个不同原理的综合运用,可供读者加深理解,使得对所学内容的掌握更上层楼。

本书由马爱文、赵霞、李德良、谢颖等人翻译,全书由高鹏审校,其他参译人员还有张政保、杨文飞、何英、王瑾、王子章、李力、王焕刚、张力和李蔚虹等。由于译者水平有限,书中一定存在不少错误和不妥之处,敬请各方面的读者给与批评指正。

# 目 录

第 1 章 简介 .....	1
1.1 历史回顾 .....	1
1.2 模拟 / 数字信号 .....	2
1.3 数字集成电路的分类 .....	3
1.4 各章的内容安排 .....	3
第 2 章 计数系统与编码 .....	6
2.1 十进制计数系统简要回顾 .....	7
2.2 二进制计数系统 .....	8
2.2.1 二进制数到十进制数的转换 .....	11
2.2.2 十进制数到二进制数的转换 .....	13
2.2.3 使用计数器 .....	15
2.3 八进制计数系统 .....	16
2.3.1 八进制数到十进制数的转换 .....	17
2.3.2 十进制数到八进制数的转换 .....	18
2.3.3 八进制数到二进制数的转换 .....	18
2.3.4 二进制数到八进制数的转换 .....	19
2.4 十六进制计数系统 .....	21
2.4.1 十六进制数到十进制数的转换 .....	22
2.4.2 十进制数到十六进制数的转换 .....	22
2.4.3 十六进制数到二进制数的转换 .....	23
2.4.4 二进制数到十六进制数的转换 .....	24
2.4.5 利用 BCO 和 BCH 的其他方法 .....	24
2.5 二进制编码的十进制数 .....	29
2.5.1 十进制数到 BCD 数的转换 .....	30
2.5.2 BCD 数到十进制数的转换 .....	30
2.6 格雷码 .....	32
2.6.1 格雷码到二进制数的转换 .....	34
2.6.2 二进制数到格雷码的转换 .....	34
2.7 其他特殊编码 .....	35
2.7.1 余 3 编码 .....	35
2.7.2 美国标准信息交换码 .....	36
习题 .....	42



第3章 逻辑门 .....	46
3.1 与门 .....	47
3.2 或门 .....	50
3.3 非门 .....	52
3.4 与、或、非组合逻辑电路 .....	57
3.5 与非门 .....	58
3.6 或非门 .....	61
3.7 逻辑电路的动态工作过程 .....	64
3.7.1 与门 .....	65
3.7.2 或门 .....	67
3.7.3 与非门 .....	69
3.7.4 或非门 .....	71
3.8 数字逻辑电路系列 .....	75
3.8.1 TTL 逻辑电路 .....	80
3.8.2 互补金属氧化物半导体逻辑芯片系列 .....	80
3.8.3 悬空输入 .....	81
3.8.4 未用的输入 .....	82
3.9 逻辑门的故障诊断 .....	83
3.9.1 逻辑探针 .....	84
3.9.2 集成电路逻辑接线柱 .....	85
3.9.3 逻辑脉冲发生器 .....	85
3.9.4 故障诊断 .....	85
3.10 逻辑门的实际应用 .....	92
本章小结 .....	94
习题 .....	95
第4章 布尔代数与逻辑电路 .....	101
4.1 布尔符号 .....	102
4.1.1 与函数 .....	102
4.1.2 或函数 .....	103
4.1.3 与非函数 .....	104
4.1.4 或非函数 .....	104
4.1.5 非函数 .....	105
4.2 实数和布尔代数的特性 .....	106
4.2.1 实数特性 .....	107
4.2.2 布尔代数的性质 .....	108
4.3 摩根定律 .....	114
4.4 解释布尔表达式 .....	119
4.5 可替换的逻辑门符号 .....	121
4.6 真值表 .....	127
4.6.1 积之和配置 .....	128

4.6.2	和之积配置 .....	130
4.7	用布尔代数简化布尔表达式 .....	138
4.8	用卡诺图简化布尔表达式 .....	141
4.8.1	无关项 .....	150
4.9	与非门和或非门的多种功能 .....	153
4.9.1	用与非门实现其他逻辑功能 .....	154
4.9.2	用或非门实现其他逻辑功能 .....	155
4.9.3	积之和及和之积电路的重要性 .....	157
4.9.4	SOP 电路的实现 .....	157
4.9.5	POS 电路的实现 .....	159
4.10	最终的逻辑电路设计 .....	161
4.10.1	由布尔表达式设计逻辑电路 .....	161
4.10.2	由真值表实现逻辑电路 .....	163
	本章小结 .....	173
	习题 .....	173
<b>第 5 章</b>	<b>组合逻辑电路 .....</b>	<b>179</b>
5.1	异或门 / 同或门 .....	180
5.1.1	异或门 .....	180
5.1.2	同或门 .....	182
5.2	奇偶 .....	184
5.2.1	奇偶配置 .....	185
5.2.2	奇校验 .....	185
5.2.3	偶校验 .....	186
5.2.4	奇偶发生器 .....	186
5.2.5	奇偶发生器 / 校验器 .....	187
5.3	控制电路 .....	192
5.3.1	SHIFT/LOAD 控制电路 .....	193
5.3.2	右移 / 左移控制电路 .....	194
5.3.3	磁带方向控制电路 .....	195
5.3.4	史密特触发输入电路 .....	195
5.4	检测 / 选择 / 分配逻辑电路 .....	196
5.4.1	BCD 无效和检测器 .....	196
5.4.2	数据选择 / 分配逻辑电路 .....	197
5.5	其他组合逻辑电路 .....	199
5.5.1	进位输出逻辑电路 .....	199
5.5.2	ROM 地址解码器逻辑电路 .....	204
5.6	故障诊断 .....	207
5.6.1	减计数操作 .....	208
	本章小结 .....	220
	习题 .....	221

第 6 章 锁存器和触发器电路 .....	226
6.1 低电平有效锁存器 .....	228
6.1.1 开关去抖——锁存器应用 .....	234
6.2 高电平有效的锁存器 .....	236
6.3 门限锁存器 .....	240
6.3.1 门限 S-C 锁存器 .....	241
6.3.2 门限 D 锁存器 .....	243
6.3.3 四位双稳锁存器 .....	244
6.4 D 触发器 .....	251
6.4.1 上升沿触发的 D 触发器 .....	251
6.4.2 数据手册中的参数 .....	254
6.4.3 下降沿触发的 D 触发器 .....	255
6.4.4 翻转操作 .....	260
6.5 J-K 触发器 .....	263
6.6 J-K 主从触发器 .....	266
6.7 触发器的实际应用 .....	275
6.7.1 移位寄存器 .....	275
6.7.2 并行数据传输 .....	277
6.7.3 时钟脉冲发生器 .....	278
6.7.4 计数器 .....	279
6.8 触发器故障诊断 .....	281
本章小结 .....	284
习题 .....	288
 第 7 章 计数器 .....	 296
7.1 异步计数器 .....	297
7.1.1 由 NGT 触发的触发器构成的模 8 加计数器 .....	297
7.1.2 由 PGT 触发的触发器构成的模 8 加计数器 .....	298
7.1.3 由 D 触发器构成的模 8 加计数器 .....	301
7.1.4 模 16 加计数器 .....	302
7.1.5 模 32 加计数器 .....	302
7.1.6 模 8 减计数器 .....	303
7.2 异步截位计数器 .....	305
7.2.1 模 5 加计数器 .....	305
7.2.2 模 24 加计数器 .....	308
7.2.3 异步 IC 计数器 .....	308
7.2.4 计数器的级联 .....	313
7.2.5 异步计数器的优/缺点 .....	315
7.3 同步计数器 .....	321
7.3.1 模 8 加计数器 .....	321
7.3.2 模 16 加计数器 .....	323

7.3.3	模 10 加计数器 .....	324
7.3.4	模 8 减计数器 .....	326
7.3.5	同步计数器的优 / 缺点 .....	327
7.4	同步加 / 减计数器 .....	328
7.5	同步可编程计数器 .....	331
7.5.1	可预置的计数器 .....	331
7.5.2	同步 IC 计数器 .....	333
7.6	同步计数器的设计 .....	362
7.6.1	模 16 加计数器的设计 .....	362
7.6.2	模 10 加计数器的设计 .....	369
7.6.3	模 6 加计数器的设计 .....	374
7.6.4	用 D 触发器设计同步计数器 .....	375
7.7	混合计数器 .....	377
7.8	计数器译码 .....	385
7.9	移位寄存器计数器 .....	389
7.10	计数器的实际应用 .....	400
7.10.1	分频 .....	400
7.10.2	计数 .....	401
7.11	计数器的故障诊断 .....	403
	本章小结 .....	406
	习题 .....	407
<b>第 8 章</b>	<b>寄存器 .....</b>	<b>417</b>
8.1	串行输入寄存器 .....	418
8.1.1	串行入 / 串行出移位寄存器 .....	419
8.1.2	串行入 / 并行出移位寄存器 .....	420
8.2	并行输入和通用寄存器 .....	424
8.2.1	并行入 / 串行出移位寄存器 .....	424
8.2.2	并行入 / 并行出寄存器 .....	426
8.2.3	通用寄存器 .....	427
8.3	寄存器的实际应用 .....	434
8.3.1	码检测器 .....	434
8.3.2	数据循环移位寄存器 .....	436
8.3.3	环形 / 约翰逊计数器 .....	436
8.3.4	乘法 / 除法寄存器 .....	440
8.4	寄存器的故障诊断 .....	444
	本章小结 .....	453
	习题 .....	454
<b>第 9 章</b>	<b>数字运算与电路 .....</b>	<b>459</b>
9.1	十进制 / 二进制运算 .....	459
9.1.1	模 9 补码 .....	460

9.1.2	模 10 补码 .....	463
9.1.3	二进制算法 .....	465
9.1.4	模 1 补码 .....	466
9.1.5	模 2 补码 .....	468
9.1.6	乘法 / 除法 .....	470
9.1.7	简要回顾 .....	472
9.2	BCD/XS3 运算 .....	473
9.2.1	二 - 十进制 (BCD) 加法 .....	474
9.2.2	余 3 编码 .....	476
9.3	二进制加法器 .....	480
9.3.1	半加器 .....	480
9.3.2	全加器 .....	480
9.3.3	加 / 减法器 .....	484
9.4	BCD 加法器 .....	485
9.5	算术逻辑单元 .....	488
	本章小结 .....	496
	习题 .....	497
<b>第 10 章</b>	<b>MSI 数字电路 .....</b>	<b>500</b>
10.1	译码器 .....	501
10.1.1	2-4 线译码器 .....	502
10.1.2	3-8 线译码器 .....	504
10.1.3	4-10 线译码器 .....	507
10.1.4	BCD-7 段码译码器 .....	509
10.2	编码器 .....	515
10.2.1	4-2 线编码器 .....	515
10.2.2	4-2 线优先编码器 .....	516
10.2.3	8-3 线优先编码器 .....	517
10.2.4	10-4 线优先编码器 .....	520
10.3	数据选择器 .....	526
10.3.1	2-1 线数据选择器 .....	527
10.3.2	4-1 线数据选择器 .....	529
10.3.3	8-1 线数据选择器 .....	530
10.4	数据分配器 .....	533
10.4.1	1-4 线数据分配器 .....	533
10.4.2	1-8 线数据分配器 .....	535
10.5	数值比较器 .....	536
10.6	应用及故障诊断 .....	544
10.6.1	地址译码器 .....	544
10.6.2	显示译码器 .....	547
10.6.3	逻辑功能产生器 .....	549

10.6.4	数据转换 .....	552
本章小结	.....	553
习题	.....	554
<b>第 11 章</b>	<b>接口和数据转换</b> .....	<b>564</b>
11.1	集成电路技术 .....	565
11.1.1	晶体管 - 晶体管逻辑 .....	565
11.1.2	CMOS 技术 .....	566
11.1.3	BiCMOS 技术 .....	566
11.2	电压 / 电流兼容性 .....	566
11.2.1	电流供出和电流灌入 .....	569
11.2.2	扇出和扇入 .....	570
11.2.3	噪声容限 / 免疫力 .....	573
11.2.4	接口要求 .....	574
11.2.5	集电极开路集成电路 .....	577
11.3	三态逻辑 .....	585
11.3.1	三态输出缓冲器 .....	587
11.3.2	总线收发器 .....	588
11.3.3	具有三态输出的寄存器 .....	589
11.4	数据转换 .....	596
11.4.1	数模转换 .....	597
11.4.2	数据转换规则 .....	607
11.4.3	模数转换 .....	608
11.5	应用与故障诊断 .....	618
本章小结	.....	621
习题	.....	621
<b>第 12 章</b>	<b>存储器</b> .....	<b>626</b>
12.1	存储器的基本概念 .....	627
12.2	只读存储器 .....	632
12.2.1	掩膜只读存储器 .....	634
12.2.2	可编程只读存储器 .....	636
12.2.3	可擦除可编程 ROM .....	639
12.2.4	电可擦除可编程 ROM .....	641
12.2.5	ROM 存取时间 .....	644
12.2.6	闪速存储器 .....	644
12.3	随机存取存储器 .....	650
12.3.1	静态 RAM .....	650
12.3.2	256 K × 1 SRAM .....	652
12.3.3	SRAM 的时序 .....	653
12.3.4	动态 RAM .....	656
12.3.5	1 M × 1 CMOS DRAM 时序 .....	658

12.3.6	刷新操作 .....	661
12.3.7	伪静态 RAM .....	662
12.3.8	静电释放 .....	664
12.4	存储器编址 .....	665
12.4.1	存储器地址 .....	665
12.4.2	地址译码 .....	670
	本章小结 .....	675
	习题 .....	676
<b>第 13 章</b>	<b>可编程逻辑器件 / 阵列 .....</b>	<b>682</b>
13.1	可编程逻辑符号体系 .....	683
13.2	体系结构 / 软件 .....	687
13.2.1	体系结构 .....	687
13.2.2	软件 .....	689
13.2.3	专用集成电路 .....	690
13.3	可编程逻辑器件 .....	694
13.3.1	可编程逻辑阵列 .....	694
13.3.2	可编程阵列逻辑 .....	694
13.4	现场可编程门阵列 .....	721
13.4.1	54SX 系列 FPGA .....	721
13.4.2	MX 系列 FPGA .....	722
	本章小结 .....	731
	习题 .....	731
<b>附录 A</b>	<b>逻辑电路技术 .....</b>	<b>736</b>
<b>附录 B</b>	<b>制造商数据表 .....</b>	<b>754</b>
<b>附录 C</b>	<b>IEEE 标准综述 ( 91-1984 ) 逻辑符号说明 .....</b>	<b>822</b>
<b>附录 D</b>	<b>部分习题答案 .....</b>	<b>841</b>
	<b>术语表 .....</b>	<b>877</b>

# 第1章 简介

## 1.1 历史回顾

20世纪初发明了真空管，早期的计算机使用了数以千计的这种体积很大且功耗也很大的器件来完成其计算任务。

ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) 计算机到1946年才公诸于众。它重达30吨，可以装满一个用来容纳两辆汽车的车库。通常情况下，ENIAC的可靠工作过程能够持续约7分钟，直到它采用的18 000个真空管中的某一个出现问题。ENIAC是通过接线来连接机器内的不同电路进行编程的。如果重新编程，则需要重新连接成千上万条的电线才能完成一项新任务。因此，重新编程是一件非常耗费时间的工作。尽管存在以上这些缺点，但是当ENIAC工作过程正常时，它还是能够完成每秒5 000次的加法或减法运算。

1948年，贝尔实验室发明了晶体管。这一历史性的事件没有获得媒体的太多关注。人们对这项发明将会对未来造成多么巨大的影响几乎没有什么认识。

20世纪50年代出现了5吨重的UNIVAC I (Universal Automatic Computer, 通用自动计算机)。UNIVAC I卖给了美国人口普查局。这些早期的基于真空管的计算机被归类为第一代计算机，其特征是体积巨大且真空管产生的热量过多。绝大多数现代计算器的计算功能与这些早期计算机的计算功能相当。

第二代计算机(1959~1964)采用了性能更加可靠的晶体二极管和晶体三极管。与真空管计算机相比，这些计算机体积更小、速度更快、价格更便宜且性能更可靠。

第三代计算机(1965~1970)采用了集成电路(IC)技术。通过将数百甚至数千个晶体管制作在一块硅片上的工艺，最终产生了集成电路。自然，IC技术的出现导致了计算机具有更快的处理速度、更强的存储能力以及更小的机器体积等优点。

微处理器则是当代计算机的识别特征。在过去的30年中，微处理器的性能和速度不断得到提高。制造技术方面的科技进步使得越来越多的元件能够集成到越来越小的空间中。例如，Intel的4004微处理器包含了2 300个晶体管；486DX2微处理器包含了120万个晶体管；Pentium处理器包含了310万个晶体管；Pentium II处理器则包含了750万个晶体管。

微处理器的更新换代比流行歌曲还要快。Intel公司的4004、Apple公司的6502、Motorola公司的6800以及Zilog公司的Z-80微处理器纷纷出现，又都成为了历史。但是，它们确实都为个人计算机(PC)和数字电路做出了历史贡献。

从早期的真空管到晶体管(20世纪50年代)，从晶体管到集成电路(20世纪60年代)，从集成电路到微处理器(20世纪70年代)，计算机逐步发展成为今天的外形小巧、功能强大的不可思议的机器。

自从1971年Intel公司的第一片微处理器出现以来，数字电子器件的生产迅速扩大，其发展速度大大超出了人们的想像。第一片微处理器，即Intel公司的4004，是一个4位芯片，每秒可以执



行6万条指令。Intel公司的8086微处理器于1978年面世,而1991年发布的486DX微处理器是一个32位芯片,每秒能够执行410万条指令。

像PC这种如今可称为高性能的数字系统,总有一天会进入博物馆成为历史文物。对于今天的许多PC而言,那一天可能已经不会太远。昨天的数字实验电路经过不断改进,今天就可以投产了。更快的微处理器和存储器件已经离我们很近了,这一点从PC的发展史中可以得到很好的证明。总之,数字技术在其他许多领域中也取得了很大的进展。

例如,到音乐商店走一走就可以发现光盘(CD)在许多场合已经完全取代了磁带。这些CD利用数字技术进行记录,目前其音质非常卓越。近年来,数字音频磁带(DAT)、盒式数字致密磁带(DCC)和袖珍磁盘(MD)已经重新定义了该行业的存储容量。计算机控制的机器人奇迹般地改变了生产能力。嵌入式计算机控制了大多数汽车引擎的功能。另外,辅助导航设备也已装备到许多新型汽车中。在医疗领域,已经在医院和医生诊疗室里使用了达到最新技术发展水平的数字设备。绝大多数的新楼房也已安装了安全系统。所有这一切的出现都应归功于数字技术。

在生活中,人们每天都可以大量地感受到数字技术,如石英闹钟、寻呼机、移动电话、微波炉、音乐、电视、视频游戏、个人计算机以及互连网络,等等。这样的名字不胜枚举,而且还在不断增加。

过去的几年中,微电子技术取得了显著的进展。20世纪90年代的集成电路比60年代和70年代的电路板要复杂得多。对工业的进一步要求是生产更高集成度、更快速度的电路,而这个要求却不是那么容易做到的。这些要求来自大众对便携式电子器件的狂热,以及对家用计算机完成更多工作的渴望。

在电子学领域中,我们面对的最直接任务是掌握数字电路的理论和应用知识。本书就是为了解决这个问题而编写的。在有些情况下,学习设计一个数字电路可以使我们更好地理解该电路的工作过程,本书将会按照该思路讲解一些电路的设计。

## 1.2 模拟/数字信号

为了掌握本节内容,首先需要比较“模拟”和“数字”这两个术语。模拟信号是在一定电压范围内连续变化的信号。图1.1中的信号就是一个包含无数个电平的交流正弦波信号。图1.2所示的是一个数字信号,是由离散电平组成的。该信号包含了两个电平,在数字技术中把它们称为逻辑低电平(逻辑0)和逻辑高电平(逻辑1)。在图1.2中很容易看出逻辑电平可以用于表示二进制的0和1。数字电路能够理解的正是这些低电平(0)和高电平(1)。这就是经常把二进制称为计算机和其他数字电路的机器语言的原因。

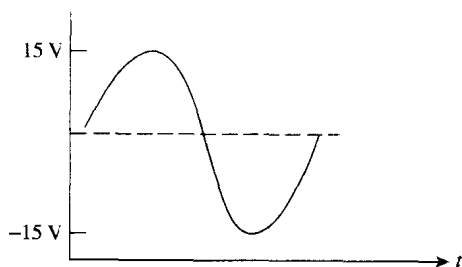


图 1.1 交流正弦波信号