



21 世纪 高 等 学 校 通 信 类 规 划 教 材

数字逻辑电路与系统设计

Digital Logic Circuits and System Design

蒋立平 主编

姜 萍 谭雪琴 花汉兵 编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



21 世纪高等学校通信类规划教材

数字逻辑电路与系统设计

Digital Logic Circuits and System Design

作者简介

蒋立平, 1955 年生, 江苏省常州市人。1982 年毕业于南京工学院无线电工程系, 南京理工大学电子技术中心主任、教授。主持建设的南京理工大学“电子学”课程群, 2004 年被评为江苏省优秀课程群, 主持建设的南京理工大学“数字逻辑电路”课程, 2006 年被评为江苏省“一类精品课程”, 主持建设的南京理工大学电工电子实验教学中心 2007 年被评为“江苏省实验教学示范中心”。主编《数字电路》、《模拟电路和数字电路》等教材, 其中《模拟电路与数字电路》为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

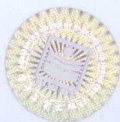
21 世纪高等学校通信类规划教材

- | | | | |
|-------------------|---------|-------------------|---------|
| —— 通信原理教程 | 樊昌信 编著 | —— 移动通信基础 | 杨家玮 等编著 |
| —— 通信原理与系统实验 | 樊昌信 主编 | —— 现代交换原理与技术 | 郑少仁 等编著 |
| —— 通信电子电路 | 谢沅清 等编著 | —— 卫星通信导论 (第 2 版) | 吴诗其 等编著 |
| —— 电子电路基础 (第 2 版) | 谢沅清 等编著 | —— 光波技术基础 | 陈根祥 等编著 |
| —— 数字信号处理 | 高西全 等编著 | —— 光通信技术与系统 | 胡 渝 主编 |
| —— 原理、实现及应用 | | —— 通信系统建模与仿真 | 韦 岗 等编著 |
| —— 随机过程理论 (第 2 版) | 周荫清 主编 | —— 数字通信技术 | 李式巨 编著 |
| —— 随机信号分析 (第 3 版) | 李晓峰 等编著 | —— 纠错编码基础与应用 | 周 亮 等编著 |
| —— 通信原理学习指导与习题解答 | 郭爱煌 等编著 | —— 信号分析 | 彭启琮 等编著 |
| —— 数字逻辑电路与系统设计 | 蒋立平 主编 | —— 信号与系统 (第 3 版) | 徐天成 等编著 |



策划编辑: 韩同平
责任编辑: 韩同平
封面设计: 张 昱

本书贴有激光防伪标志, 凡没有防伪标志者, 属盗版图书。



ISBN 978-7-121-06379-4



9 787121 063794 >

定价: 29.80 元

21 世纪高等学校通信类规划教材

数字逻辑电路与系统设计

Digital Logic Circuits and System Design

蒋立平 主编

姜 萍 谭雪琴 花汉兵 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本教材为江苏省高等学校精品教材立项研究项目。

本书是根据原国家教育委员会批准的电子技术基础课程的基本要求编写的。教材系统地介绍了数字逻辑电路的基本概念、基本理论、基本方法以及常用数字逻辑部件的功能和应用。主要内容包括：数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、常用组合逻辑功能器件、时序逻辑电路、常用时序逻辑功能器件、半导体存储器和可编程逻辑器件、脉冲信号的产生与整形、数模和模数转换。本教材将硬件描述语言的介绍渗透于各个章节。

本教材理论联系实际、循序渐进、便于教学。全书叙述简明，概念清楚；知识结构合理，重点突出；深入浅出，通俗易懂，图文并茂；例题、习题丰富，各章还配有复习思考题。

本教材可供高等学校电气信息类专业的本科生和研究生使用，也可供有关专业技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

数字逻辑电路与系统设计 / 蒋立平主编. —北京：电子工业出版社，2008.7

（21世纪高等学校通信类规划教材）

ISBN 978-7-121-06379-4

I. 数… II. 蒋… III. 数字电路：逻辑电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN790.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 050833 号

责任编辑：韩同平 特约编辑：李佩乾

印 刷：北京牛山世兴印刷厂

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：20.25 字数：585 千字

印 次：2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

教材建设是高等学校教学和学科建设的主要内容之一。近几年来,我国各高等学校实施了一系列面向21世纪教学改革计划,在教学内容和课程体系改革上取得了丰硕的成果,因此需要适时推出适应教改成果的教材。同时,通信技术发展十分迅速,原有教材或者内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,需要修订或重新编写;或者需要开设新课程,编写新教材以填补空白。

电子工业出版社作为以信息技术领域出版为特色的中央级科技与教育出版社,始终关注着电子信息技术的发展方向,始终把出版适应我国高等学校发展要求的高质量精品教材放在重要位置上,出版了一系列特色鲜明的教材,希望能把它们放在学生的书包里、课桌上,为培养高素质人才打下良好的基础。

基于上述考虑,经过一年多的调研,并征求多方的意见,根据国内高等学校通信专业的发展现状,以及教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革意见》的指示精神,电子工业出版社规划出版了这套《21世纪高等学校通信类规划教材》。

目前,我国多数高等学校都设有通信专业,但办学水平、特色及人才培养层次差异很大。这套教材定位于重点高校,即以研究型、研究教学型人才培养为主的高等学校通信类专业,包括其他相关专业的通信类课程教材。教材的作者全部来自于重点高校,多数是“信息与通信工程”一级学科设有全国重点学科的高校。

与以往出版的同类教材相比,这套教材具有以下特点:

(1) 专业特色鲜明:以重点院校本科通信类专业的专业课程教材为主线,兼顾其他相关专业的通信类课程。

(2) 突出系统性:本套规划教材覆盖了本科通信类专业的专业基础课、专业方向课及专业选修课,形成一个完整的教材系列,规模之大是以往教材中所不多见的。同时注意教材之间内容的合理划分与衔接,层次分明,重点突出,各高校可以根据需要组合选用,我们的目的是为通信类课程打造一套全方位解决方案。

(3) 体系、内容新颖:整个知识点建立在“高”、“新”平台上。基本理论阐述精练,深入浅出,便于自学;注意吸收新理论、新技术成果;加强实践性与应用性,结合实例进行讲解。

(4) 配套教学支持:多数教材配有教学课件(电子教案),部分重要课程配套出版教学辅导书或实验教材。

(5) 质量保证:多数教材为已出版教材的修订版,原教材在高校的影响大;重新规划的教材将在组织有关专家/教授对写作大纲和知识点进行充分讨论的基础上,选择优秀作者编写。

本套教材可作为高等学校通信专业及相关专业的本科生或研究生教材,也可供通信领域的有关专业人员学习参考。

为作好本套教材的出版工作,我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问,并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院(系)的院长(系主任)成立教材编委会,从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切联系和合作,广泛听取一线教师对教材的反馈意见,以便使我们的教材出版工作做得更好。

前 言

2004 年秋天在“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会”的主持下,重新修订了“数字电子技术基础课程基本教学要求”。基本要求再次强调了本课程的性质是“电子技术方面入门性质的技术基础课”。其任务在于“使学生获得数字电子技术方面的基本知识、基本理论和基本技能,为深入学习数字电子技术及其在专业中的应用打下基础”。本书正是为适应该基本教学要求而编写的。

当前,随着数字技术的高速发展,开发数字系统的方法和用来实现这些方法的工具已经发生了很大变化,但作为理论基础的基本原理没有改变。对于学生来说理解这些原理以便进行应用,其要求并未降低。就数字系统的硬件实现而言,标准中小规模数字集成电路已不再广泛使用,然而,这些器件经常还会以不同形式出现,这些电路对于研究数字系统基本构成模块的工作原理还具有重要意义。中小规模标准元件的接线及实验,在许多入门性的教学及基础实验课程中仍占有重要位置。为此本书较为完整地保留了传统数字逻辑电路教材的基础内容。

学习数字逻辑电路课程,常使学生感觉到的一个难点是:除了利用以逻辑代数为基础的规范方法(对组合逻辑电路按真值表→表达式→电路图步骤进行设计,对时序逻辑电路按状态定义→状态表→输出和驱动方程→电路图步骤进行设计)来进行电路设计外,如何能利用现有的中规模器件来实现一些较为复杂的数字电路与系统。为增强学生的系统设计能力,本书的一个特点是:除一些常规的例题外,增加了一些实用性强、应用广泛、有一定难度的实例。例如,简易键盘编码电路、多位数字译码显示、计算机输入/输出接口译码电路、数码管动态显示电路、BCD 码加法器、求两数之差绝对值电路、BCD—二进制代码转换电路、键盘扫描电路、串行加法器、串行累加器等。通过对这些实例的学习,除增强系统设计能力外,也有利于培养学生的逻辑思维能力。

将硬件描述语言渗透到各种应用中去,是本书的另一特点。硬件描述语言应用于基本器件的描述,使学生在对器件的认识之初就接触到硬件描述语言,这样循序渐进,使学生尽可能熟悉硬件描述语言与器件、系统的关系。因为可编程器件和硬件描述语言代表了数字电子技术应用的发展方向。

精选习题,让习题起到既利于学生对课程知识的巩固,又利于学生创新和开拓精神的培养的作用。通过习题的训练,使学生的知识学活,不因循守旧,敢于创新,使学生能触类旁通,举一反三,活跃思维。

本书作者长期从事电子技术类课程的教学和科研工作,在总结多年教学积累的基础上编写了本书:2004 年,涵盖数字逻辑电路的南京理工大学电子学课程群被评为江苏省高等学校优秀课程群;2006 年,数字逻辑电路课程被评为江苏省高等学校一类精品课程;本教材也是江苏省高等学校精品教材立项研究项目。

本书大部分图形符号采用标准 ANSI/IEEE Std.91—1984,考虑到传统逻辑符号当前仍在广泛使用,特别是考虑到用 ANSI/IEEE 标准逻辑符号绘制中规模集成模块电路的复杂性,本书在提出 ANSI/IEEE 标准逻辑符号的同时,一般也列出了传统逻辑符号图形,使读者在阅读时不至于为某些传统逻辑符号而感到困惑。事实上,传统逻辑符号已列入补充标准 ANSI/IEEE Std.91a—1991。

本书可以作为高等学校电气信息类专业数字逻辑电路的入门教材;对于那些不熟悉基本电子

学概念，或者对数字器件的电气特性不感兴趣的学生，可以跳过第 2 章，本书中其他部分的内容已尽可能地独立于这部分内容。

本书的第 1、2、3 章由姜萍编写，第 4、6 章由蒋立平编写，第 5、7 章由谭雪琴编写，第 8、9 章由花汉兵编写。蒋立平负责全书内容的规划和统稿。

本书在编写过程中引用了诸多学者和专家的著作和论文中的研究成果，在这里向他们表示衷心感谢。同时，也向一直热情支持和关心本书出版的电子工业出版社韩同平编辑表示感谢。

由于作者水平有限，错误和不当之处在所难免，敬请各位读者不吝赐教。

作 者

（作者电子邮件地址：jianglp@126.com）

（本书配有免费电子课件和部分习题解答，可登录 www.huaxin.edu.cn 下载）

目 录

绪论	(1)
第 1 章 数字逻辑基础	(3)
1.1 数制与数制转换	(3)
1.1.1 十进制	(3)
1.1.2 二进制	(4)
1.1.3 十六进制和八进制	(4)
1.1.4 二进制数与十进制数之间的转换	(5)
1.1.5 二进制数与十六进制数及八进制数之间的转换	(7)
1.2 几种简单的编码	(8)
1.2.1 二进制码 (BCD 码)	(8)
1.2.2 格雷码	(10)
1.2.3 奇偶校验码	(10)
1.2.4 字符数字码	(10)
1.3 算术运算	(11)
1.4 逻辑代数中的逻辑运算	(13)
1.4.1 基本逻辑运算	(14)
1.4.2 复合逻辑运算	(17)
1.4.3 正逻辑与负逻辑	(19)
1.5 逻辑代数的基本定律和规则	(20)
1.6 逻辑函数的标准形式	(24)
1.6.1 常用的逻辑函数式	(24)
1.6.2 函数的与或式和或与式	(24)
1.6.3 最小项和最大项	(25)
1.6.4 逻辑函数的标准与或式和标准或与式	(28)
1.7 逻辑函数式与真值表	(29)
1.8 逻辑函数的化简	(30)
1.8.1 公式化简法	(31)
1.8.2 卡诺图化简法	(32)
1.8.3 不完全确定的逻辑函数及其化简	(37)
1.8.4 逻辑函数式化简为其他形式	(39)
1.8.5 奎恩-麦克拉斯基化简法	(40)
1.8.6 多输出逻辑函数的化简	(42)
复习思考题	(44)

习题	(44)
第 2 章 逻辑门电路	(47)
2.1 晶体管的开关特性	(47)
2.2 分立元件门电路	(50)
2.3 TTL 门电路	(51)
2.3.1 TTL 与非门的电路结构	(51)
2.3.2 TTL 与非门的电压传输特性	(53)
2.3.3 TTL 与非门静态输入特性与输出特性	(55)
2.3.4 TTL 与非门的动态特性	(57)
2.3.5 其他类型的 TTL 门电路	(58)
2.3.6 TTL 数字集成电路	(62)
2.4 其他类型双极型数字集成电路	(65)
2.4.1 ECL 门电路	(65)
2.4.2 I ² L 电路	(67)
2.5 CMOS 门电路	(68)
2.5.1 CMOS 反相器的电路结构	(69)
2.5.2 CMOS 反相器的电压传输特性和电流传输特性	(69)
2.5.3 CMOS 反相器的静态输入特性和输出特性	(70)
2.5.4 CMOS 反相器的动态特性	(72)
2.5.5 其他类型的 CMOS 门电路	(73)
2.5.6 CMOS 数字集成电路	(76)
2.5.7 CMOS 集成电路的主要特点和使用注意事项	(77)
2.6 其他类型的 MOS 数字集成电路	(78)
2.6.1 PMOS 门电路	(78)
2.6.2 NMOS 门电路	(78)
2.6.3 E ² CMOS 电路	(80)
2.7 Bi-CMOS 电路	(80)
2.8 TTL 与 CMOS 电路的接口	(81)
复习思考题	(82)
习题	(82)
第 3 章 组合逻辑电路	(86)
3.1 概述	(86)
3.2 组合逻辑电路的分析	(87)
3.3 组合逻辑电路的设计	(88)
3.4 组合逻辑电路中的冒险	(89)
3.4.1 功能冒险与消除方法	(90)
3.4.2 逻辑冒险与消除方法	(92)
3.5 可编程逻辑器件和 VHDL 概述	(93)

3.5.1	VHDL 基本结构	(94)
3.5.2	VHDL 中的中间信号	(95)
3.5.3	VHDL 描述逻辑电路的进程形式	(96)
	复习思考题	(99)
	习题	(99)
	VHDL 编程设计题	(101)
第 4 章	常用组合逻辑功能器件	(102)
4.1	自顶向下的模块化设计方法	(102)
4.2	编码器	(104)
4.2.1	二进制编码器	(104)
4.2.2	二-十进制编码器	(105)
4.2.3	通用编码器集成电路	(106)
4.2.4	编码器应用举例	(109)
4.2.5	编码器的 VHDL 描述	(109)
4.3	译码器/数据分配器	(111)
4.3.1	二进制译码器	(111)
4.3.2	二-十进制译码器	(113)
4.3.3	通用译码器集成电路	(114)
4.3.4	数据分配器	(115)
4.3.5	显示译码器	(116)
4.3.6	译码器应用举例	(122)
4.3.7	译码器的 VHDL 描述	(123)
4.4	数据选择器	(124)
4.4.1	数据选择器的电路结构	(125)
4.4.2	通用数据选择器集成电路	(126)
4.4.3	数据选择器应用举例	(128)
4.4.4	数据选择器的 VHDL 描述	(131)
4.5	算术运算电路	(132)
4.5.1	基本加法器	(132)
4.5.2	高速加法器	(134)
4.5.3	通用加法器集成电路	(135)
4.5.4	加法器应用举例	(135)
4.5.5	加法器电路的 VHDL 描述	(137)
4.6	数值比较器	(140)
4.7	代码转换器	(143)
4.7.1	BCD-二进制码转换器	(143)
4.7.2	通用 BCD-二进制和二进制-BCD 码转换器集成电路	(144)
4.7.3	代码转换电路的 VHDL 描述	(145)
4.8	数字系统设计举例——算术逻辑单元	(147)

复习思考题	(151)
习题	(151)
VHDL 编程设计题	(153)
第 5 章 时序逻辑电路	(155)
5.1 概述	(155)
5.2 锁存器	(157)
5.2.1 普通锁存器	(157)
5.2.2 门控锁存器	(160)
5.3 触发器	(163)
5.3.1 主从触发器	(163)
5.3.2 边沿触发器	(167)
5.4 触发器使用中的几个问题	(171)
5.4.1 触发器逻辑功能的转换	(171)
5.4.2 触发器的脉冲工作特性	(174)
5.4.3 触发器的合理选用及使用注意事项	(177)
5.5 触发器应用举例	(178)
5.6 时序逻辑电路的分析与设计	(180)
5.6.1 同步时序逻辑电路的分析	(180)
5.6.2 异步时序逻辑电路的分析	(182)
5.6.3 同步时序逻辑电路的设计	(187)
5.6.4 有限状态机的 VHDL 描述	(191)
5.7 时序逻辑电路中的冒险	(194)
5.7.1 异步时序逻辑电路中的冒险	(195)
5.7.2 同步时序逻辑电路中的冒险	(196)
5.7.3 消除时序逻辑电路冒险的方法	(197)
复习思考题	(197)
习题	(197)
VHDL 编程设计题	(202)
第 6 章 常用时序逻辑功能器件	(203)
6.1 计数器	(203)
6.1.1 异步计数器	(203)
6.1.2 同步计数器	(209)
6.1.3 计数器应用	(220)
6.1.4 计数器的 VHDL 描述	(222)
6.2 寄存器和移位寄存器	(223)
6.2.1 寄存器	(223)
6.2.2 移位寄存器	(225)
6.2.3 移位寄存器应用举例	(229)

6.2.4 移位寄存器型计数器	(232)
6.2.5 移位寄存器的 VHDL 描述	(237)
复习思考题	(240)
习题	(240)
VHDL 编程设计题	(243)
第 7 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	(244)
7.1 概述	(244)
7.2 半导体存储器	(245)
7.2.1 半导体存储器概述	(245)
7.2.2 只读存储器 (ROM)	(246)
7.2.3 随机存取存储器 (RAM)	(252)
7.3 可编程逻辑器件 (PLD)	(254)
7.3.1 PLD 概述	(254)
7.3.2 可编程阵列逻辑 (PAL)	(256)
7.3.3 通用阵列逻辑 (GAL)	(263)
7.3.4 复杂的可编程逻辑器件 (CPLD)	(266)
7.3.5 现场可编程门阵列 (FPGA)	(271)
7.3.6 PLD 的开发过程	(274)
复习思考题	(275)
习题	(276)
第 8 章 脉冲信号的产生与整形	(278)
8.1 555 集成定时器	(278)
8.2 施密特触发电路	(280)
8.3 单稳态触发电路	(282)
8.3.1 用 555 定时器构成单稳态触发电路	(283)
8.3.2 用施密特触发电路构成单稳态触发电路	(284)
8.3.3 集成单稳态触发电路	(285)
8.3.4 单稳态触发电路的应用	(287)
8.3.5 单稳态触发电路的 VHDL 描述	(288)
8.4 多谐振荡器	(289)
8.4.1 用 555 定时器构成多谐振荡器	(290)
8.4.2 用施密特触发电路构成多谐振荡器	(292)
8.4.3 石英晶体多谐振荡器	(292)
复习思考题	(293)
习题	(293)
第 9 章 数模和模数转换	(296)
9.1 D/A 转换器	(296)

9.1.1	D/A 转换器的基本原理	(296)
9.1.2	权电阻网络 D/A 转换器	(297)
9.1.3	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	(297)
9.1.4	集成 D/A 转换器及主要技术参数	(298)
9.2	A/D 转换器	(300)
9.2.1	A/D 转换器的基本原理	(300)
9.2.2	逐次逼近型 A/D 转换器	(302)
9.2.3	双积分型 A/D 转换器	(304)
9.2.4	集成 A/D 转换器及主要技术参数	(306)
	复习思考题	(308)
	习题	(308)
	参考文献	(310)

绪 论

目前,人类已经进入数字时代,在过去的 30 年里,数字技术的发展速度是十分惊人的。在人们的日常生活中,生活用品已逐渐从模拟形式变化为数字形式,如数字摄像机、数码相机、数字化的移动电话、数字化的 X 光片、磁共振成像仪(MRI),以及医院使用的超声系统等,数字技术的应用随处可见,它已渗透到国民经济及人民生活的所有领域,并起着越来越重要的作用。可以这样说:数字化程度的高低,已成为衡量一个国家科学技术水平高低的一个重要标志。

随着集成电路的发展,特别是大规模和超大规模集成电路的发展,数字技术将在通信、商贸、交通控制、导航、医疗、天气检测、因特网等领域,在商业、工业和科研部门取得更大的成就。有理由相信,数字技术未来的发展速度会更快,对人类产生的影响将越来越深刻。

自然界中大部分的物理量都是模拟量,例如温度、时间、压力、距离和声音等。图 1 表示的是某一天中一个城市的温度变化情况,可以看出这是一条平滑的曲线,也就是说在给定的时间内温度值的变化是连续的。如果用整点时刻的值代表每个小时时间内的温度(这个过程称为“抽样”),便会得到如图 2 所示的用抽样值表示的温度与时间的关系图。如果再对整点时刻的温度值进行四舍五入(这个过程称为“量化”),并将其表示为二进制数值(这个过程称为“编码”),便会得到如图 3 所示温度变化的数字量图。可以看出一个模拟的物理量在经过抽样、量化、编码后,便会得到一个与之对应的数字量。

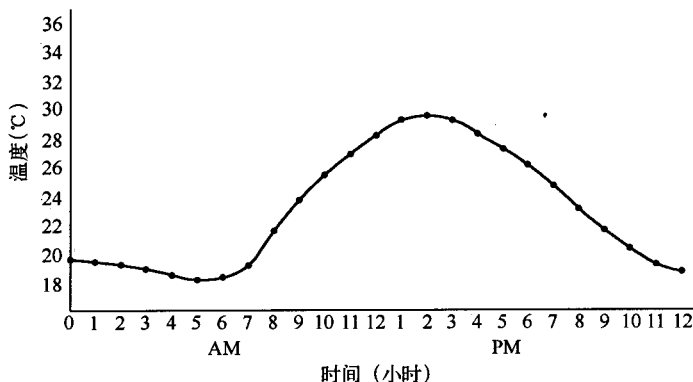


图 1 温度和时间关系图(用模拟量表示)

信号是运载信息的函数,信号常分为模拟信号、连续时间信号、离散时间信号和数字信号。电子电路中的信号一般分为两类:模拟信号,指该信号是时间的连续函数,在一定动态范围内幅值可取任意值;处理模拟信号的电路,称为模拟电路。数字信号,指该信号无论从时间上还是从大小上看其变化都是离散的,即不连续,信号的幅值只可以取有限个值;处理数字信号的电路称为数字电路。

和模拟电路相比,数字电路具有以下一些特点:

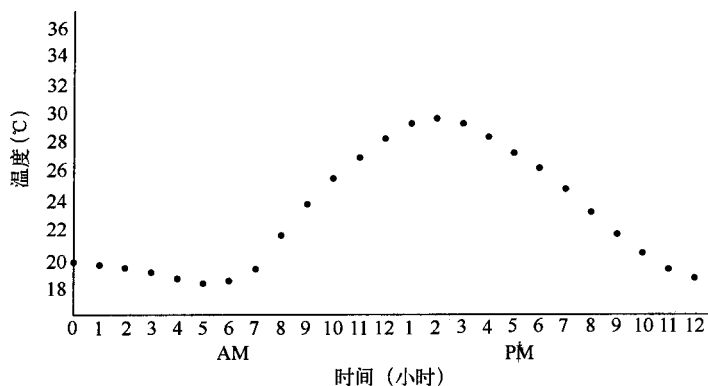


图 2 温度和时间关系图（用抽样值表示）

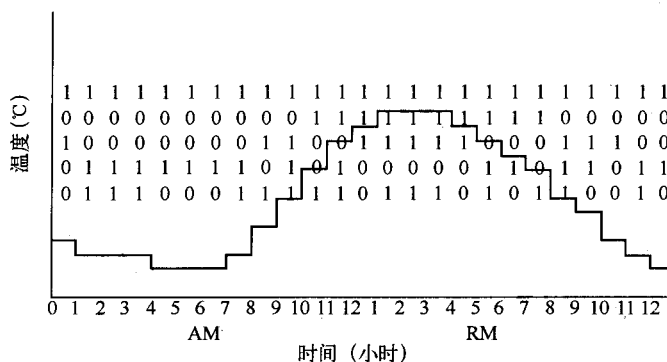


图 3 温度和时间关系图（用数字量表示）

（1）在数字电路中，工作信号是二进制的数字信号，即只有 0 和 1 两种可能的取值。反映到电路上，就是电压的高、低或脉冲的有、无两种状态。因此，凡是具有两个稳定状态的元件，其状态都可以用来表示二进制的两个数码，故其基本单元电路简单，这对实现电路的集成化十分有利。

（2）数字电路中处理的是二进制的数字信号，在稳态时，数字电路中的半导体器件一般都工作在截止和导通状态，即相当于开关工作时的开和关状态。而研究数字电路时关心的仅是输出和输入之间的逻辑关系。

（3）数字电路不仅能进行数值运算，而且能进行逻辑判断和逻辑运算，这在计算机技术及很多方面是不可缺少的，因此，也常把数字电路称为“数字逻辑电路”。

（4）数字电路工作可靠，精度高，并且具有较强的抗干扰能力。数字信号便于长期储存，可使大量的信息资源得以妥善保存，保密性好，使用方便，通用性强。

由于数字电路具有上述特点，其发展十分迅速。但是，数字电路也有一定的局限性。与此同时，模拟电路也有其优于数字电路的一些特点。因此，实际的电子系统往往是数字电路和模拟电路的结合。

第 1 章 数字逻辑基础

数字系统所处理的信息通常是用二进制数的形式表示的, 可采用的符号只有 0 和 1。本章首先介绍数制和编码, 并讨论了二进制的数值运算。为了对数字电路进行分析和设计, 本章还介绍了逻辑代数的基础知识, 包括逻辑代数的基本公式、常用公式和重要定理, 并讲述了逻辑函数的表示方法, 介绍如何应用逻辑代数的公式和定理来化简逻辑函数; 最后讨论了利用卡诺图化简逻辑函数的方法, 并介绍了不完全确定逻辑函数的概念。

1.1 数制与数制转换

所谓“数制”是指进位计数制, 即用进位的方式来计数。同一个数可以采用不同的进位计数制来计量。在日常生活中, 人们习惯于使用十进制, 而在数字电路中常采用二进制, 这意味着, 将十进制数输入到数字系统之前, 必须要把它转换为二进制数; 同样, 在一个数字系统的输出部分二进制数也必须要转换为十进制数, 以方便人们的读取。除了二进制和十进制外, 在数字系统中还广泛地采用八进制和十六进制, 由于八进制和十六进制可以方便地与二进制进行相互转换, 因此这两种进制一般可以用来表示数值较大的二进制数。

1.1.1 十进制

十进制是人们最常用的一种数制。它有以下特点。

(1) 采用 10 个计数符号 (也称数码): 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9。就是说, 十进制数中的任意 1 位, 只可能出现这 10 个符号中的某 1 个。

(2) 十进制数的进位规则是“逢十进一”。即每位计满十就向高位进 1, 进位基数为 10。所谓“基数”, 它表示该数制所采用的计数符号的个数及其进位的规则。因此, 同一个符号在一个十进制数中的不同位置时, 它所代表的数值是不同的。例如, 十进制数 1976.5 可写为:

$$1976.5 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$$

我们把一种数制中各位计数符号为 1 时所代表的数值称为该数位的“权”。十进制数中各位的权是基数 10 的整数次幂。

根据上述特点, 任何一个十进制数可以表示为:

$$(N)_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \quad (1.1)$$

式中, a_i 为基数 10 的 i 次幂的系数, 它可以是 0~9 中的任一个计数符号; n 为 $(N)_{10}$ 的整数位个数; m 为 $(N)_{10}$ 的小数位个数; 下标 10 为十进制的进位基数; 10^i 为 a_i 所在位的权。

通常把式 (1.1) 的表示形式称为按权展开式或多项式表示法。

从计数电路的角度来看, 采用十进制是不方便的。因为要构成计数电路, 必须把电路的状态

跟计数符号对应起来，十进制有 10 个符号，电路就必须有 10 个能严格区别的状态与之对应，这样将在技术上带来许多困难，而且也不经济，因此在计数电路中一般不直接采用十进制。

1.1.2 二进制

和十进制类似，二进制具有以下特点。

(1) 采用两个符号 0 和 1。

(2) 二进制的进位规则为“逢二进一”，即 $1+1=10$ （读为“壹零”）。必须注意，这里的“10”和十进制中的“10”是完全不同的，它实际上等值于十进制数“2”。

根据上述特点，任何具有 n 位整数 m 位小数的二进制数的按权展开式可表示为：

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i \tag{1.2}$$

式中，系数 a_i 可以是 0 或 1；下标 2 表示为二进制。

例如： $(101.11)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

根据二进制的特点，目前数字电路普遍采用二进制，其原因如下。

(1) 二进制的数字装置简单可靠，所用元器件少。二进制只有两个计数符号 0 和 1，因此它的每一位都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来实现。例如，继电器的闭合和断开，晶体管的饱和与截止等。只要规定一种状态代表“1”，另一种状态代表“0”，就可以表示二进制数。这样使数码的存储和传送变得简单而可靠。

(2) 二进制的基本运算规则简单。例如：

加法运算	$0+0=0$	$1+0=0+1=1$	$1+1=10$
乘法运算	$0 \times 0=0$	$0 \times 1=1 \times 0=0$	$1 \times 1=1$

因此二进制数的运算操作简便。

1.1.3 十六进制和八进制

用二进制表示一个数，所用的数位要比十进制多很多，例如表示十进制数 $(255)_{10}$ ，只需 3 位，而用二进制表示该数，却需 8 位，即 $(11111111)_2$ ，不便于书写和记忆。为此常采用十六进制和八进制来表示二进制。上述十进制和二进制的表示法可推广到十六进制和八进制。

十六进制中，采用 16 个计数符号：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F。符号 A~F 分别对应于十进制数的 10~15。进位规则是“逢十六进一”，进位基数是 16，十六进制数中各位的权是 16 的整数次幂。任何一个十六进制数，按权展开式为：

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i \tag{1.3}$$

例如： $(6D.4B)_{16} = 6 \times 16^1 + D \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + B \times 16^{-2}$
 $= 6 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + 11 \times 16^{-2}$

八进制中，采用八个计数符号：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7，进位规则是“逢八进一”，进位基数是 8。八进制数中各位的权是 8 的整数次幂，任何一个八进制数的按权展开式为：

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i \tag{1.4}$$

例如： $(374.6)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1}$