

WUTP

普通高等学校  
自动化类专业新编系列教材

Fundamentals of Digital Electronic Techniques

# 数字电子技术基础

主 编 彭容修

副主编 刘 泉



武汉理工大学出版社

普通高等学校自动化类专业新编系列教材

Fundamentals of Digital Electronic Techniques

# 数 字 电 子 技 术 基 础

主 编 彭容修  
副主编 刘 泉  
主 审 陈大钦

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

## 内 容 提 要

本书根据国家教育部高等工业学校电子技术课程教学指导小组 1993 年修订的“电子技术基础课程教学基本要求”编写,是普通高等学校自动化类专业新编系列教材之一。

全书共 12 章,包括:数字逻辑基础、集成逻辑门、组合逻辑电路的分析与设计、常用组合逻辑功能器件、触发器、时序逻辑电路分析与设计、常用时序逻辑功能器件、半导体存储器、数-模转换器与模-数转换器、脉冲波形的产生与变换、可编程逻辑器件及现代数字系统设计等。

全书叙述清楚,重点明确,例题习题多,为适应电子技术的最新发展,增加了具发展前景的器件和技术内容。

本书可作为高等学校电气信息类(包括自动化类、电气类、电子类等)专业“电子技术基础”课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/彭容修主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2001.10

普通高等学校自动化类专业新编系列教材

ISBN 7-5629-1759-0

I. 数…

II. 彭…

III. 数字电路-电子技术-高等学校-教材

IV. TN710

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

HTTP://www.whut.edu.cn/chubanl

E-mail:wutp@public.wh.hb.cn

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:武汉市科普教育印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:20.5

字 数:510 千字

版 次:2001 年 10 月第 1 版

印 次:2001 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1—5000 册

定 价:27.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换

本社购书热线电话:(027)87397097 87394412

## 前 言

自 20 世纪 60 年代以来,由于集成电路技术的发展,数字技术呈现系统集成化、设计自动化、用户专业化和测试智能化的新态势。为适应新世纪的需求,作为高校电类专业主要技术基础课的电子技术基础课程,必须以新编教材为引导,更新、调整教学内容。

本书参照国家教育部 1993 年颁布的《高等工业学校电子技术基础教学基本要求》,并考虑 21 世纪自动化类专业教学改革的需要而编写。教材力图达到以下教学要求:

(1)使学生通过课程学习打好两方面基础:一是正确使用电子电路特别是集成电路的基础;二是为学生将来进一步学习设计集成芯片(如 ASIC)打好初步基础。

(2)加强学生素质培养,除了突出基本理论、基本知识和基本分析方法外,还应注重综合能力、创新能力、计算机能力的培养。

为达到上述教学要求,本书在教学内容的组织上具体考虑如下:

1. 将教材重点放在基本概念和基本方法上。尽管 LSI、VLSI 已成为数字系统的主体,但小规模集成电路仍不失其基础地位,为此,本教材仍以集成电路的基础理论、基本电路和基本分析与设计方法为重点。

2. 为突出基础,适应发展,本书重点介绍通用系列集成电路的基本原理及特性,略去其内部复杂电路及分析,侧重器件的逻辑功能及输入、输出电气特性,使学生能以此为基础进行实际工程设计与应用。

3. 近年来,集成电路理论与设计、集成工艺技术、电子技术应用等都有很大的发展与突破,因此,本书加强了 CMOS,增加了 BiMOS、CPLD、FPGA 等一类新型集成电路器件基础知识的内容。

4. 增设了现代数字系统设计一章,将硬件描述语言 VHDL 和 Foundation 软件作为数字系统设计的入门性工具,并附有设计实例。

5. 为便于读者加深理解教材内容,教材中对重点、难点内容都安排了相应例题与复习思考题,力求做到通俗易懂,便于教学。

6. 为进一步加强培养学生分析问题和解决问题的能力,增加了具有启发意义和综合应用的习题。习题量、内容和难易程度覆盖不同层次高等学校的教学要求。

参加本书编写工作的有彭容修(第 1、2、3、4、5 章)、刘泉(第 6、7、9、10 章),马建国(第 8、11、12 章),胡莉、刘桂华分别参加了第 8 章和第 11 章的编写工作。本书彭容修任主编,刘泉任副主编,负责全书的组织和定稿。陈大钦任主审。

数字电子技术发展迅猛,新器件、新技术层出不穷,由于编者水平有限,在本教材的编写中一定存在不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 10 月

# 普通高等学校自动化类专业新编系列教材

## 出版说明

世纪之交,我国高等学校的人才培养工作正处在一个关键的历史时期。为了适应我国改革开放和社会主义现代化建设特别是社会主义市场经济体制对高等教育人才培养工作的新要求,为了适应世界科学技术发展的新趋势和新特点,原国家教育委员会组织对普通高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订,并于1998年7月由教育部正式颁布实施。修订后的专业目录中,自动化类专业的专业面大大拓宽,相应的专业培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。要适应新的专业培养目标和教学要求,组织一套新的自动化类专业系列教材就成了当务之急。为此,武汉理工大学出版社在广泛调研的基础上,组织国内近30所大学的近100位教授共同编写了这套系列教材。

本套教材定位于普通高等学校自动化类专业本科层次,遵照教育部颁发的《普通高等学校本科专业介绍》中所提出的培养目标和培养要求,依据2000年5月全国23所高等院校的70多位专家教授在武汉共同确定的指导思想和编写大纲进行编写,具有如下特点:

**观念新**——主动适应教学改革的需要和市场经济对人才培养的要求;

**内容新**——自动化技术在近20年来进展巨大,并与计算机技术、航空航天技术、建筑工程、生物工程、社会科学(社会系统与经济系统)联系越来越紧密,这套教材尽可能反映了这些内容,以适应21世纪自动化与控制工程人才的培养要求;

**体系新**——在以前的基础上重构和重组,而非重建。各门课程及内容的组成、顺序、比例更加优化,避免遗漏和不必要的重复;

**与国际接轨**——自动化类专业教育要面向世界,面向未来,面向区域经济。在借鉴发达国家高等教育的专业模式和课程设置的同时,适当兼顾当前各地区经济文化发展不平衡的现状;

**教学手段现代化**——本套教材力求具有网络化、电子化、数字化的特色,大力推进电子讲稿和多媒体课件的出版工作。

本系列教材是在21世纪初推出的目前系统优化、品种较全、作者阵容最强的一套普通高等学校自动化类(本科)系列教材。我们将高度重视,兢兢业业,保证质量,恳请选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修订、补充、完善全套教材。

21世纪已经到来,知识经济的曙光已经初现。面向新世纪的中国高等教育正在经历前所未有的变革和发展,人文与理工相通,科学与技术相融,教学与研究并重,知识与智慧同尊,以培养社会经济文化发展所需要的复合型人才,这是我国建立知识创新体系的重大挑战和空前机遇。我社愿与各位专家、读者真诚合作,共同努力,为新世纪的中国高等教育事业做出更大的贡献。

武汉理工大学出版社

2001年8月

# 普通高等学校自动化类专业新编系列教材

## 编审委员会

顾问：

郑大钟 熊有伦 戴冠中 萧德云 陈伯时 周祖德  
项国波 席裕庚 褚 健

主任委员：

萧蕴诗 张崇巍 陈大钦 吴 坚 陈福祥 高鸣涵

委员(按姓氏笔画顺序)：

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马建国 | 王 辉 | 王孝武 | 王明阳 | 王建华 | 王俊杰 |
| 文 方 | 方康玲 | 卢京潮 | 龙 伟 | 申功璋 | 叶春生 |
| 全书海 | 吕 锋 | 刘 泉 | 刘涤尘 | 刘京南 | 李汉强 |
| 李磊民 | 宋靖雁 | 林 都 | 林 辉 | 林锦国 | 杨 波 |
| 杨天怡 | 杨家本 | 周泽义 | 胡 超 | 赵英凯 | 赵曾贻 |
| 侯朝桢 | 钟 珞 | 须文波 | 翁维勤 | 夏承铨 | 郭圣权 |
| 徐科军 | 黄席樾 | 章卫国 | 彭容修 | 程耕国 | 温阳东 |
| 曾庆军 | 谢克明 | 熊前兴 | 黎明森 | 戴文进 |     |

编委会秘书：

黄 春

总责任编辑：

杨学忠 徐秋林

## 本书常用符号表(部分)

|                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| $A_0, A_1, A_2, \dots$ | 第 0、1、2、……位译码器地址输入             |
| $A > B, A = B, A < B$  | 数字比较器 $A > B, A = B, A < B$ 输出 |
| BCD                    | 二-十进制码                         |
| $C(CP, CLK)$           | 进位数, 触发器时钟脉冲输入端                |
| $C_{ext}$              | 外接电容端                          |
| $Cr(CLR)$              | 清零                             |
| CS                     | 片选信号输入                         |
| $D$                    | $D$ 触发器输入, 数据输入                |
| $D_S$                  | 移位寄存器串行输入                      |
| $D_{SR}$               | 右移串行输入                         |
| $D_{SL}$               | 左移串行输入                         |
| $E$                    | 使能控制端                          |
| $E_1, E_0$             | 使能输入、使能输出                      |
| FF                     | 触发器                            |
| G                      | 逻辑门                            |
| $G$                    | 进位产生变量                         |
| $f_{max}$              | 最高工作频率                         |
| $I_{BS}$               | 临界饱和基极电流                       |
| $I_{CS}$               | 集电极饱和电流                        |
| $I_{IL}$               | 低电平输入电流                        |
| $I_{IH}$               | 高电平输入电流                        |
| $JK$                   | $JK$ 触发器输入                     |
| $L$                    | 逻辑函数                           |
| $LD$                   | 预置控制                           |
| $m$                    | 最小项                            |
| $N$                    | 计数器计数输入端                       |
| $N_i$                  | 扇入数                            |
| $N_o$                  | 扇出数                            |
| $P_D$                  | 功耗                             |
| $P_{OFF}$              | 空载截止功耗                         |
| $P_{ON}$               | 空载导通功耗                         |
| $Q$                    | 触发器输出                          |
| $q$                    | 占空比                            |
| $R$                    | $RS$ 触发器输入                     |
| $R_D$                  | 触发器的直接置 0 端                    |
| $S$                    | $RS$ 触发器的输入                    |
| $S_D$                  | 触发器的直接置 1 端                    |



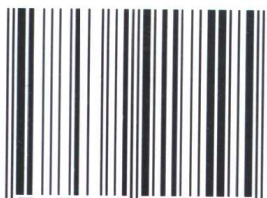
## 普通高等学校自动化类专业新编系列教材目录

- 自动化(专业)概论
- 工程电路分析
- 电路实验指导书
- 模拟电子技术基础
- **数字电子技术基础**
- 电子技术实验
- 自动控制原理
- 自动控制原理实验
- 系统工程概论
- 过程控制系统
- 运动控制系统
- 微机原理及应用
- 计算机控制系统
- 软件技术基础
- 网络技术基础
- 检测技术与仪表
- 信号处理技术
- 电力电子技术
- 电力工程概论
- 自动化专业英语

责任编辑: 杨学忠

封面设计: 杨 涛

ISBN 7-5629-1759-0



9 787562 917595 >

ISBN 7-5629-1759-0

TP · 55 定价: 27.50 元

## 目 录

|                                        |      |
|----------------------------------------|------|
| <b>1 数字逻辑基础</b> .....                  | (1)  |
| 1.1 绪    论 .....                       | (1)  |
| 1.1.1 数字技术的发展概况 .....                  | (1)  |
| 1.1.2 数字信号与数字电路 .....                  | (2)  |
| 1.2 数制与码制(常用数制与编码) .....               | (3)  |
| 1.2.1 数制 .....                         | (3)  |
| 1.2.2 几种常用数制之间的转换 .....                | (5)  |
| 1.2.3 码制 .....                         | (6)  |
| 1.2.4 算术运算和逻辑运算 .....                  | (8)  |
| 1.3 逻辑代数及其基本逻辑运算 .....                 | (9)  |
| 1.3.1 基本逻辑运算 .....                     | (9)  |
| 1.3.2 逻辑函数的几种表示方法及其相互转换 .....          | (12) |
| 1.3.3 逻辑函数各种表示方法的互相转换 .....            | (13) |
| 1.4 逻辑代数的基本定律和恒等式 .....                | (15) |
| 1.4.1 逻辑代数的基本定律 .....                  | (15) |
| 1.4.2 逻辑代数的基本规则 .....                  | (16) |
| 1.5 逻辑函数的变换与化简 .....                   | (17) |
| 1.5.1 逻辑函数表达式的变换 .....                 | (17) |
| 1.5.2 逻辑函数的代数法化简 .....                 | (18) |
| 1.5.3 逻辑函数的卡诺图化简法 .....                | (20) |
| 1.5.4 含无关项的逻辑函数及其卡诺图化简 .....           | (25) |
| 习题 .....                               | (27) |
| <b>2 集成逻辑门</b> .....                   | (29) |
| 2.1 概    述 .....                       | (29) |
| 2.2 MOS 集成门电路 .....                    | (30) |
| 2.2.1 MOS 管开关电路及其开关特性 .....            | (30) |
| 2.2.2 CMOS 反相器 .....                   | (31) |
| 2.2.3 CMOS 反相器的外部特性 .....              | (33) |
| 2.2.4 CMOS 与非门和或非门 .....               | (36) |
| 2.2.5 CMOS 三态门和漏极开路门 .....             | (38) |
| 2.2.6 CMOS 传输门 .....                   | (43) |
| 2.2.7 Bi-CMOS 门电路 .....                | (44) |
| 2.2.8 CMOS 电路系列、主要特点和使用中应注意的几个问题 ..... | (45) |

---

|       |                          |       |
|-------|--------------------------|-------|
| 2.3   | 其它类型的 MOS 集成门电路 .....    | (47)  |
| 2.3.1 | PMOS 门电路 .....           | (47)  |
| 2.3.2 | NMOS 门电路 .....           | (47)  |
| 2.4   | TTL 集成门电路 .....          | (50)  |
| 2.4.1 | 三极管开关电路及其特性 .....        | (50)  |
| 2.4.2 | TTL 反相器 .....            | (52)  |
| 2.4.3 | 其它类型的 TTL 门电路 .....      | (56)  |
| 2.4.4 | TTL 的不同系列及性能比较 .....     | (59)  |
| 2.4.5 | TTL 电路与 CMOS 电路的接口 ..... | (61)  |
|       | 习题 .....                 | (63)  |
| 3     | 组合逻辑电路的分析与设计 .....       | (68)  |
| 3.1   | 组合逻辑电路的分析 .....          | (68)  |
| 3.2   | 组合逻辑电路的设计 .....          | (72)  |
| 3.3   | 组合逻辑电路中的竞争冒险 .....       | (78)  |
| 3.3.1 | 竞争冒险现象及产生的原因 .....       | (78)  |
| 3.3.2 | 竞争冒险消除的方法 .....          | (79)  |
|       | 习题 .....                 | (81)  |
| 4     | 常用组合逻辑功能器件 .....         | (83)  |
| 4.1   | 编码器 .....                | (83)  |
| 4.1.1 | 编码器 .....                | (83)  |
| 4.1.2 | 集成编码器 .....              | (85)  |
| 4.2   | 译码器 .....                | (89)  |
| 4.2.1 | 二进制译码器 .....             | (90)  |
| 4.2.2 | 二-十进制译码器 .....           | (94)  |
| 4.2.3 | 显示译码器 .....              | (95)  |
| 4.3   | 数据选择器与数据分配器 .....        | (99)  |
| 4.3.1 | 数据选择器 .....              | (99)  |
| 4.3.2 | 数据分配器 .....              | (104) |
| 4.4   | 数值比较器 .....              | (106) |
| 4.4.1 | 1 位数值比较器 .....           | (106) |
| 4.4.2 | 两位数值比较器 .....            | (107) |
| 4.4.3 | 集成数值比较器 .....            | (107) |
| 4.5   | 加法器 .....                | (109) |
| 4.5.1 | 1 位加法器 .....             | (109) |
| 4.5.2 | 多位加法器 .....              | (111) |
|       | 习题 .....                 | (114) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 5 触 发 器 .....                | (121) |
| 5.1 触发器及其分类 .....            | (121) |
| 5.1.1 触发器 .....              | (121) |
| 5.1.2 触发器的分类 .....           | (121) |
| 5.2 基本 $RS$ 触发器 .....        | (122) |
| 5.2.1 电路结构及工作原理 .....        | (122) |
| 5.2.1 逻辑功能及触发方式 .....        | (122) |
| 5.3 TTL 时钟触发器 .....          | (124) |
| 5.3.1 同步 $RS$ 触发器 .....      | (124) |
| 5.3.2 主从 $JK$ 触发器 .....      | (127) |
| 5.3.3 边沿 $D$ 触发器 .....       | (132) |
| 5.4 CMOS 触发器 .....           | (136) |
| 5.4.1 CMOS 主从 $D$ 触发器 .....  | (136) |
| 5.4.2 CMOS 主从 $JK$ 触发器 ..... | (138) |
| 习题 .....                     | (140) |
| 6 时序逻辑电路分析与设计 .....          | (144) |
| 6.1 时序逻辑电路及其分类 .....         | (144) |
| 6.1.1 时序逻辑电路 .....           | (144) |
| 6.1.2 时序逻辑电路的分类 .....        | (145) |
| 6.2 时序逻辑电路状态的描述 .....        | (145) |
| 6.3 同步时序电路的分析方法 .....        | (146) |
| 6.3.1 同步时序电路的分析步骤 .....      | (146) |
| 6.3.2 同步时序电路的分析举例 .....      | (147) |
| 6.4 同步时序电路的设计方法 .....        | (152) |
| 6.4.1 同步时序电路的设计步骤 .....      | (152) |
| 6.4.2 同步时序电路的设计举例 .....      | (155) |
| 习题 .....                     | (158) |
| 7 常用时序逻辑功能器件 .....           | (162) |
| 7.1 数码寄存器 .....              | (162) |
| 7.2 移位寄存器 .....              | (164) |
| 7.2.1 单向移位寄存器 .....          | (164) |
| 7.2.2 数据的并行输入-串行输出 .....     | (165) |
| 7.2.3 数据串行输入-并行输出 .....      | (165) |
| 7.2.4 双向移位寄存器 .....          | (166) |
| 7.3 集成移位寄存器 .....            | (167) |
| 7.4 二进制计数器 .....             | (170) |
| 7.4.1 同步二进制加法计数器 .....       | (170) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 7.4.2 同步二进制减法计数器 .....        | (171) |
| 7.4.3 同步二进制可逆计数器 .....        | (172) |
| 7.5 8421BCD 码十进制计数器 .....     | (173) |
| 7.6 集成计数器 .....               | (177) |
| 7.6.1 集成十进制计数器 .....          | (177) |
| 7.6.2 可预置的同步加法计数器 .....       | (177) |
| 习题 .....                      | (181) |
| 8 半导体存储器 .....                | (184) |
| 8.1 只读存储器 (ROM) .....         | (184) |
| 8.1.1 掩模只读存储器 (MROM) .....    | (185) |
| 8.1.2 可编程 ROM .....           | (186) |
| 8.2 随机存储器 (RAM) .....         | (192) |
| 8.2.1 RAM 基本结构 .....          | (192) |
| 8.2.2 静态 RAM (SRAM) .....     | (193) |
| 8.2.3 动态随机存储器 (DRAM) .....    | (193) |
| 8.3 存储器容量的扩展 .....            | (194) |
| 8.3.1 位扩展 .....               | (194) |
| 8.3.2 字扩展 .....               | (195) |
| 习题 .....                      | (196) |
| 9 数-模转换器与模-数转换器 .....         | (198) |
| 9.1 D/A 转换器 .....             | (198) |
| 9.1.1 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器 ..... | (199) |
| 9.1.2 权电流型 D/A 转换器 .....      | (200) |
| 9.1.3 D/A 转换器的主要技术指标 .....    | (201) |
| 9.1.4 集成 D/A 转换器及其应用 .....    | (202) |
| 9.2 A/D 转换器 .....             | (204) |
| 9.2.1 A/D 转换器的一般工作过程 .....    | (204) |
| 9.2.2 并行比较型 A/D 转换器 .....     | (206) |
| 9.2.3 逐次比较型 A/D 转换器 .....     | (207) |
| 9.2.4 双积分式 A/D 转换器 .....      | (208) |
| 9.2.5 A/D 转换器的主要技术指标 .....    | (210) |
| 9.2.6 集成 A/D 转换器及其应用 .....    | (210) |
| 习题 .....                      | (212) |
| 10 脉冲波形的产生与变换 .....           | (214) |
| 10.1 多谐振荡器 .....              | (214) |
| 10.1.1 由门电路组成的多谐振荡器 .....     | (214) |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 10.1.2 石英晶体多谐振荡器 .....          | (215) |
| 10.2 单稳态触发器 .....               | (216) |
| 10.2.1 由门电路组成的微分型单稳态触发器 .....   | (216) |
| 10.2.2 集成单稳态触发器 .....           | (218) |
| 10.2.3 单稳态触发器的应用 .....          | (219) |
| 10.3 施密特触发器 .....               | (221) |
| 10.3.1 由门电路组成的施密特触发器 .....      | (221) |
| 10.3.2 集成施密特触发器 .....           | (222) |
| 10.3.3 施密特触发器的应用 .....          | (223) |
| 10.4 555 定时器 .....              | (225) |
| 10.4.1 555 定时器 .....            | (225) |
| 10.4.2 用 555 定时器组成的施密特触发器 ..... | (226) |
| 10.4.3 用 555 定时器组成的单稳态触发器 ..... | (226) |
| 10.4.4 用 555 定时器组成的多谐振荡器 .....  | (227) |
| 习题 .....                        | (230) |
| 11 可编程逻辑器件 .....                | (233) |
| 11.1 可编程逻辑器件的基本结构 .....         | (233) |
| 11.1.1 PLD 的表示方法 .....          | (233) |
| 11.1.2 可编程阵列逻辑器件(PAL) .....     | (235) |
| 11.1.3 可编程通用逻辑器件(GAL) .....     | (236) |
| 11.2 复杂可编程逻辑器件(CPLD) .....      | (240) |
| 11.2.1 基于乘积项的 CPLD 的基本结构 .....  | (240) |
| 11.2.2 基于查找表的 CPLD 的电路结构 .....  | (244) |
| 11.3 现场可编程门阵列(FPGA) .....       | (250) |
| 11.3.1 FPGA 的工作原理 .....         | (250) |
| 11.3.2 FPGA 的电路结构 .....         | (252) |
| 11.4 可编程逻辑器件的编程 .....           | (257) |
| 习题 .....                        | (260) |
| 12 现代数字系统设计 .....               | (263) |
| 12.1 现代数字系统设计概述 .....           | (263) |
| 12.1.1 数字系统的基本结构 .....          | (263) |
| 12.1.2 数字系统设计的基本要求 .....        | (264) |
| 12.2 现代数字系统设计方法 .....           | (264) |
| 12.2.1 自上而下的设计思想 .....          | (265) |
| 12.2.2 现代数字系统常用设计方法 .....       | (265) |
| 12.3 VHDL 语言 .....              | (270) |
| 12.3.1 VHDL 语言结构 .....          | (270) |

---

|        |                           |       |
|--------|---------------------------|-------|
| 12.3.2 | VHDL 数据类型及运算操作符 .....     | (271) |
| 12.3.3 | VHDL 基本描述语句 .....         | (273) |
| 12.3.4 | VHDL 语言的描述方式 .....        | (276) |
| 12.4   | 设计与仿真工具 .....             | (279) |
| 12.4.1 | 设计与仿真软件选择 .....           | (279) |
| 12.4.2 | Foundation 设计软件使用 .....   | (279) |
| 12.5   | 系统设计实例 .....              | (290) |
| 12.5.1 | 数字时钟的功能 .....             | (290) |
| 12.5.2 | 数字时钟芯片的设计 .....           | (290) |
| 12.5.3 | 软件仿真 .....                | (296) |
| 12.5.4 | 引脚锁定与下载 .....             | (296) |
|        | 习题 .....                  | (299) |
| 附录 A   | 美国标准信息交换码(ASCII) .....    | (300) |
| 附录 B   | 常用逻辑符号对照表 .....           | (301) |
| 附录 C   | 国产半导体集成电路型号命名法 .....      | (302) |
| 附录 D   | 电气图用图形符号——二进制逻辑单元简介 ..... | (304) |
| 参考文献   | .....                     | (312) |

## 1 数字逻辑基础

随着数字电子技术的飞速发展,人类社会已进入信息时代。在信息社会,人们每天都要通过电视、广播、Internet 等多种媒体获取大量信息。数字电子技术的巨大潜力使得现代信息传递、处理无一不采取数字方式。如数字通讯系统,不仅抗干扰能力强,保密性好,而且容易形成以计算机为中心的自动交换通讯网,利用计算机技术进行信息的处理与控制。数字电子技术已日益广泛地应用于控制、通讯、测量等各个领域。

本章首先介绍数字信号、数字逻辑的基本概念,逻辑代数的公式、定律及表示方法,然后重点讨论逻辑函数的变换与化简问题。

### 1.1 绪 论

#### 1.1.1 数字技术的发展概况

数字技术是研究数字电路及其在各种学科领域应用的一门科学,它的发展与电子器件紧密相关,每次器件更新换代都强烈地刺激了数字技术飞速的发展。

数字技术始于 19 世纪末,在电报通讯、电话及自动电话交换系统广泛应用的基础上,英国数学家乔治·布尔(George Boole)创立了布尔代数理论。这一理论建立了一套对于数字逻辑电路的分析方法和设计方法,为数字技术的发展奠定了基础。

数字技术经由电子管、半导体晶体管的时代后,在近 40 年取得了惊人的发展。1958 年,美国德克萨斯公司研制出了第一块数字集成电路。尽管该电路仅包含了几个元件,也只能完成简单的门电路功能,但它的出现是微电子技术的重大突破,为数字技术的发展开辟了广阔的应用前景。集成电路可以把成千上万的晶体管、电阻、电容等元件及它们的连线都制作在一个面积很小的芯片上,它与分立元件器件组成的电路相比,具有体积小、重量轻、功耗低、速度快、可靠性高及成本低等优点。集成技术的发展使数字集成电路很快从小规模集成电路(SSI)发展到中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)。近几十年来,集成度(即每块芯片上所包含的晶体管的个数)以每 6 年十倍的 Moore 规则迅速增长。当前,超大规模集成电路的制造水平已可在单个芯片上集成 10 亿只晶体管,芯片内部的布线细到亚微米( $0.1 \times 10^{-6} \text{m}$ )数量级,现已能生产出时钟频率高达 1GHz( $10^9 \text{Hz}$ )的微处理器和其它芯片。

集成电路的发展,在集成度迅速提高的同时也使其性能(速度、功耗、可靠性等)大大改善。集成电路发展中有一奇妙现象:即在芯片性能、功能和集成度不断提高的同时,其价格却不断下降,这一现象大大地加快了电子产品更新换代,使数字技术应用日益广泛。

从 20 世纪 80 年代中期开始,超大规模的专用集成电路 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)制作技术已趋成熟。厂商可以代用户将他们设计的复杂数字系统制作在一块芯片上,得到所需的片上系统。与此同时,各种用户可编程逻辑器件 PLD

(Programmable Logic Device),例如可编程阵列逻辑 PAL(Programmable Array Logic),可编程通用阵列逻辑器件 GAL(Generic Array Logic),现场可编程门阵列 FPGA(Field Programmable Gate Array)等也伴随产生。利用 PLD,用户只需编制一定的程序(通常称为软件),将其下载(输入)到可编程器件中,便可得到用户要设计的具有特定功能的芯片。这些专用和通用系统级芯片的应用不仅极大地提高了系统的性能,而且能将数字系统的设计、安装、调试融为一体,使硬件设计软件化。这样,缩短了设备研制周期,降低了成本。ASIC 已成为当今数字技术发展的主要方向。

可以预见,在纳米技术突破以后,数字技术还将以更快的速度发展,集成电路的材料也将不再局限于硅、锗、砷化镓等半导体材料,可能出现高分子材料或生物材料的新型器件。

### 1.1.2 数字信号与数字电路

在自然界存在的许多物理量中,有一些物理量如温度、湿度、压力、速度等,它们在时间上和数值上都具有连续变化的特点,在一定范围内可以取任意实数值。这种连续变化的物理量称为模拟量。在工程应用中,为了测量、传递和处理这些物理量,通常用传感器把它们转换成与之成比例的电压或电流。处理此类模拟信号的电路称为模拟电路。数字量是在时间和数量上都是离散的物理量,它们的数值只能按有限个量化单位取值。例如实际的钢产量值是 2686.7652t,取量化单位为 1t,则钢产量表示为 2686t。显然,用吨为量化单位,钢的产量的表示只能以吨为单位增加或减少。量化单位的选择,取决于我们所要求的精度。表示数字量的信号称为数字信号。数字信号所传递的内容称为数字信息。完成数字信号产生、传输和处理的电路称为数字电路。

在数字电路中,采用的是只有 0、1 两种数值所组成的数字信号,这种二值数字信号又称为二进制信号。这类信号中的数值 1 或 0 在数字电路中可以用高电平和低电平来表示,也可以用脉冲的有无来表示,如图 1.1.1 所示。图中每个 1 或 0 的持续时间为  $\Delta t$ ,称为一位(1bit)。图 1.1.1(b)所示数字信号波形是以有脉冲代表 1,无脉冲代表 0,称为脉冲型数字信号;图 1.1.1(a)是用高电平代表 1,低电平代表 0,称为电平型数字信号。

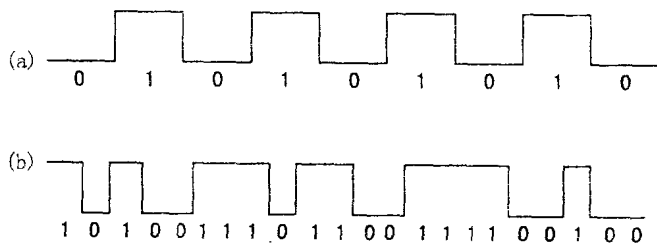


图 1.1.1 数字信号

在进行信号传递和处理时,数字方式与模拟方式相比有下述优点:

#### (1) 精度高,可靠性高

同一物理量可以用连续的模拟信号表示,也可以用离散的数字信号表示。用数字信号进行信息传递和处理,容易达到高精度和高可靠性。例如,当温度信息用与温度成正比的模拟信号传递时,若要求精度为千分之一,则要求传递路径上的干扰电压必须低于信号电压的千分之一;在干扰严重的地方,这样的要求往往很难实现。若用数字信号传输时,采用二进制,

也就是把所传送的数字量按照一定的规则编成一组脉冲序列。数字量的精度取决于量化单位的大小,进而决定了二进制数码的位数,即每组脉冲序列所能容纳的脉冲个数。数字量的大小决定于每组脉冲序列中脉冲的有无,只有当传递中遇到相当大的干扰时,才能改变数字信号脉冲序列中脉冲的有无,破坏信息内容,因而采用数字方式传递、处理信息具有较强的抗干扰能力,容易达到高精度和高可靠性。

(2)使用灵活,便于集成、系统化生产,成本低廉

随着半导体集成技术的发展,数字电子器件的体积越来越小,集成度越来越高,使用者可使用单片和微型计算机、单片信号处理器等功能很强的标准化的通用器件,也可以使用ASIC芯片设计系统。这些器件体积小,功耗低,可靠性高。

### 复习思考题

1.1.1 什么是模拟信号?什么是数字信号?

1.1.2 数字技术有哪些优点?

## 1.2 数制与码制(常用数制与编码)

用数字表示数量大小时,经常要采用多位数码。我们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。

在数字电路中广泛使用二进制数。如果二进制数的数位太长,会使得书写和记忆起来很不方便。为了弥补这一不足,常采用十六进制数。本节从大家习惯的十进制开始介绍这些不同的数制,进而再讨论这些数制间的相互转换,最后介绍几种常用的编码。

### 1.2.1 数制

#### 1. 十进制(Decimal)

十进制是人们在日常生活及生产中最熟悉、应用最广泛的计数方法。十进制数是由0、1、2、3、4、5、6、7、8、9等10个不同的数字符号组成,自左向右由高位到低位排列,低位数逢10向相邻高位进1;向高位借一个1,在相邻低位当10用。因此,十进制数的基数是10,十进制也称为以10为基数的计数体制。十进制数的每一个数字处在不同数位所代表的数值是不同的。例如,十进制数586可表示为

$$586 = 5 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 6 \times 10^0$$

其中, $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$ 分别为百位、十位、个位的“权”,也就是相应位的1所代表的实际数值。由此可见,位数越高,“权”值越重,相邻高位权值是相邻低位权值的10倍。

十进制数整数表示方法,也可扩展到表示小数。小数点以右各位数码的权值是基数10的负幂。例如,十进制小数5.816可表示为

$$5.816 = 5 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2} + 6 \times 10^{-3}$$

根据以上分析,任意十进制数可以表示为

$$(N)_{10} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 10^i \quad (1.2.1)$$

其中, $K_i$ 为基数10的*i*次幂的系数,它可为0~9中任一个数字;*i*可为 $-\infty$ 到 $+\infty$ 之间的