

新版

21世纪

高职高专系列教材

数字电子技术基础

◎张志良 主编

提供电子教案增值服务

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专系列教材

数字电子技术基础

张志良 主 编
华天京 副主编
邵 菁 参 编
张慧莉



机械工业出版社

本书内容包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波的产生与变换电路、数模转换和模数转换电路、半导体存储器与可编程逻辑器件、数字电路基础实验和数字电路综合应用。

本书根据职业技术教育要求和学生特点编写,内容覆盖面较宽,但难度较浅。在阐明基本概念的基础上,用较多篇幅介绍具体的数字集成电路及其应用。习题丰富,共有 1000 余道,可布置性好。并在与之配套的《数字电子技术学习指导与习题解答》中给出全部解答,便于教学和学生自学。

“基础实验”可由学生利用面包板、简易电源、集成块和少量电子元件在课余练习和完成。“综合应用”可作为课程设计选题,可行性好。

本书适用于高等职业技术教育电子类专业“数字电子技术”课程教材,也可用于其他专业、其他类型学校同类课程使用,并可供工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/张志良主编. —北京:机械工业出版社,2007.7

(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 978-7-111-21516-5

I. 数... II. 张... III. 数字电路—电子技术—高等学校:
技术学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 070778 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:赵丽欣 王 颖

责任印制:洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2007 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·16.25 印张·402 千字

0001—5000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21516-5

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页,倒页,脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379739

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专电子技术专业系列教材 编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖 炬 董维佳
俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬
任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪	邓 红	王树忠	王新新	尹立贤
白直灿	包中婷	冯满顺	华天京	吉雪峰
刘美玲	刘 涛	孙吉云	孙津平	朱晓红
李菊芳	邢树忠	陈子聪	杨元挺	张立群
张锡平	苟爱梅	姚建永	曹 毅	崔金辉
黄永定	章大钧	彭文敏	曾日波	谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“21 世纪高职高专系列教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多多个品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

“数字电子技术”是工科专业非常重要的专业基础课,随着电子技术和高职教育的发展,“数字电子技术”课程的教学出现了一些令人关注的新情况:

(1) 各种专用功能大规模集成电路大量涌现,中小规模数字集成电路单独应用越来越少,而是作为单元电路集成在专用功能大规模集成电路之中。

(2) 智能化单片机技术的发展,使软件替代硬件功能成为可能。例如计数、延时、波形发生、组合逻辑功能等。

为此,教材和教学重点也应根据新情况作相应调整。主要有以下几点:

(1) 在理解基本原理的基础上,侧重结论和结论的应用。例如,门电路的电压传输特性、输入伏安特性、输入负载特性、输出拉电流负载特性和输出灌电流负载特性对门电路的应用很重要,但分析起来较复杂,我们只需要记住这些特性的结论和学会结论的应用。

(2) 在理解基本概念的基础上,侧重数字集成电路外部特性分析,淡化内部的具体电路结构。例如与或非门电路、触发器、计数器的基本概念很重要,但由分立元件组成门电路、由门电路组成触发器、由触发器组成计数器的具体电路结构就不需深入展开。A/D、D/A 转换、存储器很重要,但只需熟悉其应用特点,具体电路结构就不需深入展开;又因其主要用于微机系统,甚至已植入单片机芯片内部,在数字电路中单独应用就不需要展开。

(3) 在理解基本概念的基础上,重视具体数字集成电路芯片的应用。高职教育的要求是培养应用型人才,重点应放在“应用”上。“应用”就必然涉及到具体的数字集成电路芯片。不知道具体的集成电路芯片,仅停留在“基本概念”阶段,培养应用型人才是一句空话。“基本概念”虽然能概括同类型同功能数字集成电路芯片,将其上升至理论的高度;但熟悉具体数字集成电路芯片的应用,又能进一步促进理解“基本概念”,并且举一反三,更深刻地真正掌握“基本概念”。

(4) 改变习题可布置性差的状况。以往教材的习题中,有的已经老化,有的较复杂,不能适应当前高职学生的特点,可布置性差。

根据以上情况,本书在编写时,注意了以下几点:

(1) 在阐明基本概念的基础上,用较多篇幅介绍具体的数字集成电路及其应用。

(2) 文字叙述注重条理化,使学生容易理解、容易记忆,也便于教师教学。对学生不易理解和容易混淆的概念,给出较为详尽的解说,便于学生自学。

(3) 习题编排注意广(基本上每一基本概念均有针对性习题)、浅(单一概念多,判断题、填空题、选择题多,模仿题多,更适应于当前高职学生的特点,可布置性好)、实用(有典型应用和实际应用价值)和量多(共有 1000 余道)。并在与之配套的《数字电子技术学习指导与习题解答》中给出全部解答,既便于学生练习,又便于教师选用和批改作业。

(4) 增加了“数字电路基础实验”和“数字电路综合应用”两章,“基础实验”用于本课程的基本实验,其中多数可由学生利用面包板、简易电源、集成块和少量电子元件在课余练习和完成,经济可行。“综合应用”作为课程设计选题,内容有简单有复杂,便于老师和学生选用。

本书由上海电子信息职业技术学院高级讲师张志良任主编,华天京任副主编,邵菁、张慧莉参编。其中第 1、2、3 章由华天京编写,第 4、6 章由张慧莉编写,第 5、7 章由邵菁编写,其余部分由张志良编写并统稿。上海电子信息职业技术学院沈新宝、洪志刚、谭克清老师审阅了部分书稿。

限于编者水平,书中错误不妥之处,请读者批评指正。为配合教学,本书提供免费电子教案,读者可在 www.cmpbook.com 上下载。

编者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 数字逻辑基础 1

1.1 数字电路概述 1

1.1.1 数字电路与模拟电路 1

1.1.2 脉冲波形参数 2

1.2 数制与编码 3

1.2.1 二进制数和十六进制数 3

1.2.2 不同进制数间相互转换 4

1.2.3 二进制数加减运算 5

1.2.4 BCD 码(Binary Coded Decimal) 6

1.3 逻辑代数基础 7

1.3.1 基本逻辑运算 7

1.3.2 逻辑代数 9

1.4 逻辑函数 11

1.4.1 逻辑函数及其表示方法 11

1.4.2 公式法化简逻辑函数 13

1.4.3 卡诺图化简逻辑函数 14

1.5 习题 18

第 2 章 逻辑门电路 26

2.1 分立元件门电路概述 26

2.1.1 二极管门电路 26

2.1.2 三极管非门电路 28

2.2 TTL 集成门电路 30

2.2.1 74LS 与非门电路 30

2.2.2 门电路外部特性和主要参数 33

2.2.3 不同系列的 TTL 门电路 36

2.3 CMOS 集成门电路 37

2.3.1 CMOS 反相器及其特点 37

2.3.2 CMOS 集成门电路 38

2.3.3 TTL 门电路与 CMOS 门电路的连接 39

2.4 常用集成门电路 40

2.5 习题 42

第 3 章 组合逻辑电路 51

3.1 组合逻辑电路的基本概念 51

3.1.1 组合逻辑电路概述 51

3.1.2 组合逻辑电路的分析方法 52

3.1.3 组合逻辑电路的设计方法 53

3.2 编码器和译码器 55

3.2.1 编码器 55

3.2.2 译码器 58

3.2.3 数码显示电路 62

3.3 数据选择器和数据分配器 68

3.3.1 数据选择器 68

3.3.2 数据分配器 72

3.3.3 数值比较器 72

3.4 加法器 74

3.4.1 半加器 74

3.4.2 全加器 75

3.5 组合逻辑电路的竞争冒险现象 77

3.5.1 竞争冒险的产生 77

3.5.2 竞争冒险的消除 78

3.6 习题 79

第 4 章 触发器 88

4.1 触发器的基本概念 88

4.1.1 基本 RS 触发器 88

4.1.2 基本 RS 触发器的改进 90

4.1.3 触发器的触发方式 93

4.2 功能触发器 94

4.2.1 JK 触发器 95

4.2.2 D 触发器 96

4.2.3 T 触发器和 T' 触发器 98

4.3 集成触发器的应用 100

4.4 习题 101

第 5 章 时序逻辑电路 109

5.1 时序逻辑电路的基本概念 109

5.1.1 时序逻辑电路概述 109

5.1.2 时序逻辑电路的分析方法 110

5.2 寄存器 112

5.2.1 寄存器概述 112

5.2.2 数码寄存器 113

5.2.3 移位寄存器 114

5.2.4 寄存器应用举例	116	8.1 半导体存储器	186
5.3 计数器	118	8.1.1 存储器概述	186
5.3.1 计数器概述	118	8.1.2 只读存储器 ROM	188
5.3.2 异步计数器	118	8.1.3 随机存取存储器 RAM	192
5.3.3 同步计数器	122	8.2 可编程逻辑器件	195
5.3.4 集成计数器	122	8.3 习题	197
5.3.5 计数器应用举例	128	第9章 数字电路基础实验	201
5.4 顺序脉冲发生器	130	9.1 逻辑门电路	201
5.5 习题	132	9.2 门电路特性参数测试	202
第6章 脉冲波的产生与变换电路	144	9.3 组合逻辑电路	205
6.1 施密特触发器	144	9.4 集成编码器	206
6.1.1 施密特触发器概述	144	9.5 集成译码器	207
6.1.2 由CMOS门电路组成的施密特触发器	145	9.6 集成显示译码器	208
6.1.3 集成施密特电路	146	9.7 集成数据选择器和电路模拟开关	209
6.2 单稳态触发器	147	9.8 触发器	210
6.2.1 由门电路组成的单稳态触发器	147	9.9 集成寄存器	212
6.2.2 集成单稳态电路	149	9.10 集成计数器	213
6.2.3 单稳态触发器的应用	150	9.11 集成顺序脉冲发生器	214
6.3 多谐振荡器	152	9.12 多谐振荡器	215
6.3.1 由门电路组成的多谐振荡器	152	9.13 秒信号发生器	216
6.3.2 石英晶体多谐振荡器	155	9.14 集成单稳态电路	217
6.4 555定时器	157	9.15 555定时电路	217
6.4.1 555定时器概述	157	第10章 数字电路综合应用	219
6.4.2 555定时器应用	158	10.1 触摸式延时开关	219
6.5 习题	161	10.2 应急灯控制电路	220
第7章 数模转换和模数转换电路	169	10.3 闪烁显示器	221
7.1 数模转换和模数转换基本概念	169	10.4 随机数字显示器	221
7.2 数模转换电路	170	10.5 循环灯电路	222
7.2.1 数模转换的主要技术指标	170	10.6 智力竞赛抢答器	223
7.2.2 数模转换器的工作原理	171	10.7 倒计时电路	224
7.2.3 集成数模转换器	173	10.8 电容测试仪	225
7.3 模数转换电路	176	10.9 频率测试仪	226
7.3.1 模数转换的基本概念	176	10.10 按键/声控双功能光控延时灯	227
7.3.2 模数转换器的工作原理	177	10.11 脉冲群编码和译码电路	228
7.3.3 集成模数转换器	180	10.12 红外反射光控延时灯	230
7.4 习题	182	10.13 定时电源插座	232
第8章 半导体存储器与可编程逻辑器件	186	10.14 数字钟	233

第 1 章 数字逻辑基础

本章要点

- 数字电路的特点
- 脉冲波形参数
- 二进制数和十六进制数
- 基本逻辑运算与、或、非
- 逻辑代数的基本定律、规则和常用公式
- 逻辑函数及其表示方法
- 公式法化简逻辑函数
- 卡诺图化简逻辑函数

1.1 数字电路概述

1.1.1 数字电路与模拟电路

电子电路根据其处理的信号不同可以分为模拟电子电路和数字电子电路。

1. 模拟信号(analog signals)和模拟电路(Analog Circuit)

在时间上和数值上都是连续变化的信号,称为模拟信号,如音频信号、视频信号、温度信号等。模拟信号电压波形如图 1-1a 所示。

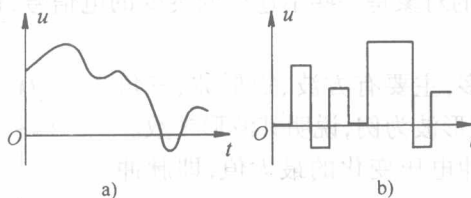


图 1-1 模拟信号和数字信号

a) 模拟信号 b) 数字信号

处理模拟信号的电子电路称为模拟电路,如各类放大器、稳压电路等。

2. 数字信号(digital signals)和数字电路(Digital Circuit)

在时间上和数值上都是离散(变化不连续)的信号,称为数字信号,如脉冲方波、计算机和手机中的信号等。数字信号电压波形如图 1-1b 所示。

处理数字信号的电子电路称为数字电路。如各类门电路、触发器、寄存器等。

3. 数字电路的特点

① 数字电路内部的晶体管(包括单、双极型)主要工作在饱和导通或截止状态;模拟电路内部的晶体管主要工作在放大状态。

② 数字电路的信号只有两种状态:高电平和低电平,分别对应于(或代表)二进制数中的 1 和 0,表示信号的有或无,便于数据处理。

③ 数字电路结构相对简单,功耗较低,便于集成。

④ 数字电路抗干扰能力强。其原因是利用脉冲信号的有无传递 1 和 0 的数字信息,高低电平间容差较大,幅度较小的干扰不足以改变信号的有无状态。

⑤ 数字电路不仅能完成数值运算,而且还能进行逻辑运算和比较判断,从而在计算机系统中得到广泛应用。

4. 数字电路的分类

① 按电路的组成结构可分为分列元件电路和集成电路。目前分列元件组成的数字电路已彻底淘汰,本书只分析研究集成数字电路。

② 按数字电路集成度可分为小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模(VLSI)集成电路。

③ 按集成电路内部器件可分为双极型和单极型。双极型数字集成电路有 TTL、ECL、 I^2L 、HTL 等;单极型数字集成电路有 NMOS、CMOS、HCMOS 等。

④ 按电路的逻辑功能可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

5. 数字电路应用概述

数字电路已十分广泛地应用于数字通信、自动控制、家用电器、仪器仪表、计算机等各个领域,如手机、电脑、数字视听设备、数码相机等。数字电路的发展标志着电子技术发展进入了一个新的阶段,当今电子技术的飞速发展是以数字化作为主要标志的。当然这并不是说数字化可以代替一切,信号的放大、转换和功能的执行等都离不开模拟电路,模拟电路是电子技术的基础,两者互为依存,互相促进,缺一不可。

1.1.2 脉冲波形参数

数字电路信号中,研究的对象是一些不连续的突变的电信号,作用时间很短,所以也称为脉冲信号。

脉冲信号波形形状很多,主要有方波、矩形波、三角波、锯齿波等,现以图 1-2 矩形波为例,说明其波形参数。

① 脉冲幅度 U_m 。脉冲电压变化的最大值,即脉冲波从波底至波顶之间的电压。

② 上升时间 t_r 。脉冲波前沿从 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需的时间。

③ 下降时间 t_f 。脉冲波后沿从 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需的时间。

④ 脉冲宽度 t_w 。脉冲波从上升沿的 $0.5U_m$ 至下降沿 $0.5U_m$ 所需的时间。

⑤ 脉冲周期 T 。在周期性脉冲信号中,任意两个相邻脉冲上升沿(或下降沿)之间的时间间隔。

⑥ 重复频率 f (单位:Hz)。每秒脉冲信号出现的次数,即脉冲周期的倒数: $f=1/T$ 。

⑦ 占空比 q 。脉冲宽度与脉冲周期的比值, $q=t_w/T$ 。

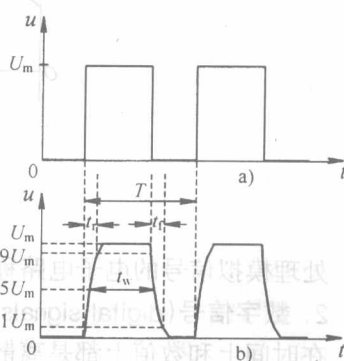


图 1-2 矩形脉冲参数

a) 理想波形 b) 实际波形

【复习思考题】

- 1.1 什么叫模拟信号? 什么叫数字信号?
- 1.2 数字电路内部的晶体管主要工作在何种工作状态? 这种工作状态有何特点?
- 1.3 为什么数字电路抗干扰能力强?
- 1.4 与模拟电路相比, 数字电路主要有什么特点?
- 1.5 画出矩形脉冲波形, 并根据波形说明脉冲波形参数。

【相关习题】

判断题: 1.1~1.3; 填空题: 1.28~1.34; 选择题: 1.64~1.66。

1.2 数制与编码

1.2.1 二进制数和十六进制数

数制即计数进位制。人们习惯于用十进制数, 但有些场合也用其他进制数, 如时间计数时, 分秒的进位用 60, 即 60 进制。在数字电路和计算机中, 通常采用二进制数和十六进制数。

1. 十进制数 (Decimal Number)

主要特点:

① 基数是 10。有 10 个数码(数符): 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。

② 进位规则是“逢十进一”。

所谓基数, 是指计数制中所用到数码的个数。如十进制共有 0~9 十个数码, 基数是 10, 进位规则是“逢十进一”。当基数为 M 时, 便是“逢 M 进一”。在进位计数制中常用“基数”来区别不同的进位数。

十进制整数, 其数值可表达为

$$[N]_{10} = d_{i-1} \times 10^{i-1} + d_{i-2} \times 10^{i-2} + \cdots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 = \sum_{n=0}^{i-1} d_n \times 10^n \quad (1-1)$$

$[N]_{10}$ 中的下标 10 说明数 N 是十进制数, 十进制数也可用 $[N]_D$ 表示。更多情况下, 下标 10 或 D 省略不标。

10^{i-1} 、 10^{i-2} 、 $\cdots$ 、 10^1 、 10^0 称为十进制数各数位的权。

例如, $1234 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$

2. 二进制数 (Binary Number)

主要特点:

① 基数是 2。只有两个数码: 0 和 1。

② 进位规则是“逢二进一”。

二进制整数, 其数值可表达为

$$[N]_2 = b_{i-1} \times 2^{i-1} + b_{i-2} \times 2^{i-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 = \sum_{n=0}^{i-1} b_n \times 2^n \quad (1-2)$$

$[N]_2$ 中的下标 2 说明数 N 是二进制数, 二进制数也可用 N_B 表示, 尾缀 B 一般不能省略。

2^{i-1} 、 2^{i-2} 、 $\cdots$ 、 2^1 、 2^0 称为二进制数各数位的权。

例如, $10101011_B = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 171$

为什么要在数字电路和计算机中采用二进制数呢?

① 二进制数只有两个数码 0 和 1,可以代表两个不同的稳定状态,如灯泡的亮和暗、继电器的合和开、信号的有和无、电平的高和低、晶体管的饱和导通和截止。因此,可用电路来实现两种状态。

② 二进制基本运算规则简单,操作方便。

但是二进制数也有其缺点,数值较大时,位数过多,不便于书写和识别。因此,在数字系统中又常用十六进制数来表示二进制数。

3. 十六进制数(Hexadecimal Number)

主要特点:

① 基数是 16。有 16 个数码:0、1、⋯、9、A、B、C、D、E、F。其中 A、B、C、D、E、F 分别代表 10、11、12、13、14、15。

② 进位规则是“逢十六进一”。

十六进制整数,其数值可表达为

$$[N]_{16} = h_{i-1} \times 16^{i-1} + h_{i-2} \times 16^{i-2} + \cdots + h_1 \times 16^1 + h_0 \times 16^0 = \sum_{n=0}^{i-1} h_n \times 16^n \quad (1-3)$$

$[N]_{16}$ 中的下标 16 说明数 N 是十六进制数,十六进制数也可用 NH 表示,尾缀 H 一般不能省略。

16^{i-1} 、 16^{i-2} 、⋯、 16^1 、 16^0 称为十六进制数各位的权。

例如, $ABH = 10 \times 16^1 + 11 \times 16^0 = 160 + 11 = 171$

十六进制数与二进制数相比,大大缩小了位数,缩短了字长。一个 4 位二进制数只需要用 1 位十六进制数表示,一个 8 位二进制数只需用 2 位十六进制数表示,转换极其方便,例如上例中 $ABH = 10101011B = 171$ 。

十六进制数、二进制数、十进制数对应关系表如表 1-1 所示。

表 1-1 十六进制数、二进制数和十进制数对应关系表

十进制数	十六进制数	二进制数	十进制数	十六进制数	二进制数
0	00H	0000B	11	0BH	1011B
1	01H	0001B	12	0CH	1100B
2	02H	0010B	13	0DH	1101B
3	03H	0011B	14	0EH	1110B
4	04H	0100B	15	0FH	1111B
5	05H	0101B	16	10H	0001 0000B
6	06H	0110B	17	11H	0001 0001B
7	07H	0111B	18	12H	0001 0010B
8	08H	1000B	19	13H	0001 0011B
9	09H	1001B	20	14H	0001 0100B
10	0AH	1010B	21	15H	0001 0101B

需要指出的是,除二进制数、十六进制数外,早期数字系统中还推出过八进制数,现早已淘汰不用。

1.2.2 不同进制数间相互转换

1. 二进制数、十六进制数转换为十进制数

二进制数、十六进制数转换为十进制数只需按式(1-2)、式(1-3)展开相加即可。为了便于

快速转换,读者应熟记二进制数和十六进制数部分常用位权(如表 1-2 所示),对进一步学习数字电路后续内容大有帮助。

2. 十进制整数转换为二进制数

十进制整数转换为二进制数用“除 2 取余法”。即用 2 依次去除十进制整数及除后所得的商,直到商为 0 止,并依次记下除 2 时所得余数,第一个余数是转换成二进制数的最低位,最后一个余数是最高位。

【例 1-1】将十进制数 41 转换为二进制数。

解:

	余数	低位
2 41	1	↑ 高位
2 20	0	
2 10	0	
2 5	1	
2 2	0	
2 1	1	
0		

因此,41=101001B

3. 十进制整数转换为十六进制数

十进制整数转换为十六进制数用“除 16 取余法”,方法与“除 2 取余法”相同。

【例 1-2】将十进制数 8125 转换为十六进制数。

解:

	余数	低位
16 8125	13(D)	↑ 高位
16 509	11(B)	
16 31	15(F)	
16 1	1	
0		

因此,8125=1FBDH

4. 二进制数与十六进制数相互转换

前述 4 位二进制数与 1 位十六进制数有一一对应关系,如表 1-1 所示。相互转换时,只要用相应的数值代换即可。二进制数转换为十六进制数时,应从低位开始自右向左每 4 位一组,最后不足 4 位用零补足。

【例 1-3】11100010011100 B = $\frac{0011}{3} \frac{1000}{8} \frac{1001}{9} \frac{1100}{C}$ B = 389C H

【例 1-4】5DFE H = $\frac{101}{5} \frac{1101}{D} \frac{1111}{F} \frac{1110}{E}$ B = 10111011111110 B

1.2.3 二进制数加减运算

1. 二进制数加法运算

运算规则: ① 0+0=0

$$\textcircled{2} 0+1=1+0=1$$

$$\textcircled{3} 1+1=10, \text{向高位进位 } 1$$

运算方法:两个二进制数相加时,先将相同权位对齐,然后按运算规则从低到高逐位相加,若低位有进位,则必须同时加入。

【例 1-5】计算 $10100101 \text{ B} + 11000011 \text{ B}$

解: 10100101 B 加数

$$\begin{array}{r} + 11000011 \text{ B} \text{ 加数} \\ \hline 101101000 \text{ B} \text{ 和} \end{array}$$

因此, $10100101 \text{ B} + 11000011 \text{ B} = 101101000 \text{ B}$

2. 二进制数减法运算

运算规则: $\textcircled{1} 0-0=0$

$$\textcircled{2} 1-0=1$$

$$\textcircled{3} 1-1=0$$

$$\textcircled{4} 0-1=1, \text{向高位借位 } 1$$

运算方法:两个二进制数相减时,先将相同权位对齐,然后按运算规则从低到高逐位相减。不够减时可向高位借位,借 1 当 2。

【例 1-6】计算 $10100101 \text{ B} - 11000011 \text{ B}$

解: 10100101 B 被减数

$$\begin{array}{r} - 11000011 \text{ B} \text{ 减数} \\ \hline \text{借位 } 1 \quad 11100010 \text{ B} \text{ 差} \end{array}$$

因此, $10100101 \text{ B} - 11000011 \text{ B} = 11100010 \text{ B} (\text{借位 } 1)$

读者可能感到奇怪的是,二进制数减法怎么会出现差值比被减数和减数还要大的现象?在数字电路和计算机中,无符号二进制数减法可无条件向高位借位,不出现负数(二进制负数另有表达方法,不在本书讨论范围)。实际上该减法运算是 $110100101 \text{ B} - 11000011 \text{ B}$ 。

3. 二进制数移位

二进制数移位可分为左移和右移。左移时,若低位移进位为 0,相当于该二进制数乘 2;右移时,若高位移进位为 0,移出位作废,相当于该二进制数除以 2。

例如, 1010 B 左移后变为 10100 B , $10100 \text{ B} = 1010 \text{ B} \times 2$; 1010 B 右移后变为 0101 B , $0101 \text{ B} = 1010 \text{ B} / 2$ 。

1.2.4 BCD 码(Binary Coded Decimal)

人们习惯上是用十进制数,而数字系统必须用二进制数分析处理,这就产生了二进制十进制代码,也称为 BCD 码。BCD 码种类较多,有 8421 码、2421 码和余 3 码等,其中 8421 BCD 码最为常用。8421 BCD 码用 $[N]_{8421\text{BCD}}$ 表示,常简化为 $[N]_{\text{BCD}}$ 。

1. 编码方法

BCD 码是十进制数,逢十进一,只是数符 0~9 用 4 位二进制码 0000~1001 表示而已。8421 BCD 码每 4 位以内按二进制进位;4 位与 4 位之间按十进制进位。其与十进制数之间的对应关系如表 1-3 所示。

但是 4 位二进制数可有 16 种状态,其中 1010、1011、1100、1101、1110 和 1111 六种状态舍去不用,且不允许出现,这 6 种数码称为非法码或冗余码。

2. 转换关系

(1) BCD 码与十进制数相互转换

由表 1-3 可知,十进制数与 8421 BCD 码转换十分简单,只要把数符 0~9 与 0000~1001 对应互换就行了。

【例 1-7】 $[010010010001]_{\text{BCD}} = [\overset{4}{0100} \overset{9}{1001} \overset{1}{0001}]_{\text{BCD}} = 491$

【例 1-8】 $786 = [\overset{7}{0111} \overset{8}{1000} \overset{6}{0110}]_{\text{BCD}} = [011110000110]_{\text{BCD}}$

(2) BCD 码与二进制数相互转换

8421 BCD 码与二进制数之间不能直接转换,通常需先转换为十进制数,然后再转换。

【例 1-9】将二进制数 01000011B 转换为 8421 BCD 码。

解: $01000011 \text{ B} = 67 = [01100111]_{\text{BCD}}$

需要指出的是,决不能把 $[01100111]_{\text{BCD}}$ 误认为 01100111 B,二进制码 01100111 B 的值为 103,而 $[01100111]_{\text{BCD}}$ 的值为 67。显然,两者是不一样的。

【复习思考题】

- 1.6 为什么要在数字系统中采用二进制数?
- 1.7 二进制数有什么缺点? 如何改善?
- 1.8 二进制数减法,为什么有时差值会大于被减数?
- 1.9 什么叫 BCD 码? 为什么在数字系统中要引入 BCD 码?
- 1.10 BCD 码与二进制码有否区别? 如何转换?

【相关习题】

判断题:1.4~1.13;填空题:1.35~1.38;选择题:1.69~1.69;分析计算题:1.80~1.88。

1.3 逻辑代数基础

逻辑代数又称布尔(Boole)代数,是研究逻辑电路的数学工具。逻辑代数与数学代数不同,逻辑代数不是研究变量大小之间的关系,而是分析研究变量之间的逻辑关系。

1.3.1 基本逻辑运算

逻辑运算共有三种基本运算:与、或、非。

1. 逻辑与和与运算(AND)

(1) 逻辑关系

逻辑与关系可用图 1-3 说明。只有当 A、B 两个开关同时闭合时,灯 F 才会点亮。即只有当决定某种结果的条件全部满足时,这个结果才能产生。

(2) 逻辑表达式

$$F = A \cdot B = AB$$

其中“·”表示逻辑与,“·”号也可省略。有些技术资料中也

表 1-3 十进制数与 8421 BCD 码对应关系

十进制数	8421 BCD 码
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

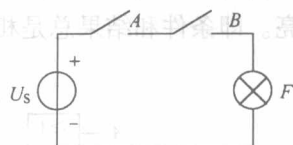


图 1-3 逻辑与关系示意图

有用 $A \wedge B$ 、 $A \cap B$ 表示逻辑与。逻辑与也称为逻辑乘。

(3) 运算规则

① $0 \cdot 0 = 0$

② $0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0$

③ $1 \cdot 1 = 1$

上述运算规则可归纳为:有 0 出 0,全 1 出 1。

(4) 逻辑电路符号

逻辑与的国家标准符号如图 1-4 所示,矩形框表示门电路,方框中的“&”表示逻辑与。

2. 逻辑或或运算(OR)

(1) 逻辑关系

逻辑或可用图 1-5 说明, A 、 B 两个开关中,只需要有一个闭合,灯 F 就会点亮。即决定某种结果的条件中,只需其中一个条件满足,这个结果就能产生。

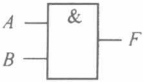


图 1-4 逻辑与国家标准符号

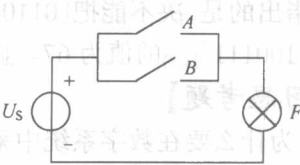


图 1-5 逻辑或关系示意图

(2) 逻辑表达式

$$F = A + B$$

其中“+”表示逻辑或,有些技术资料中也有用 $A \vee B$ 、 $A \cup B$ 表示逻辑或。逻辑或也称为逻辑加。

(3) 运算规则

① $0 + 0 = 0$

② $0 + 1 = 1 + 0 = 1$

③ $1 + 1 = 1$

上述运算规则可归纳为:有 1 出 1,全 0 出 0。

(4) 逻辑电路符号

逻辑或电路符号可用图 1-6 表示,矩形框中的“ ≥ 1 ”表示逻辑或。

3. 逻辑非和非运算

(1) 逻辑关系

逻辑非可用图 1-7 说明,只有当开关 A 断开时,灯 F 才会点亮;开关 A 闭合时,灯 F 反而不亮。即条件和结果总是相反。

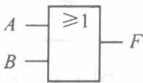


图 1-6 逻辑或国家标准符号

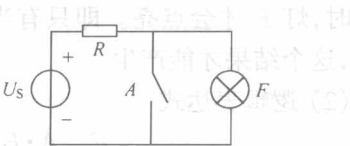


图 1-7 逻辑非关系示意图