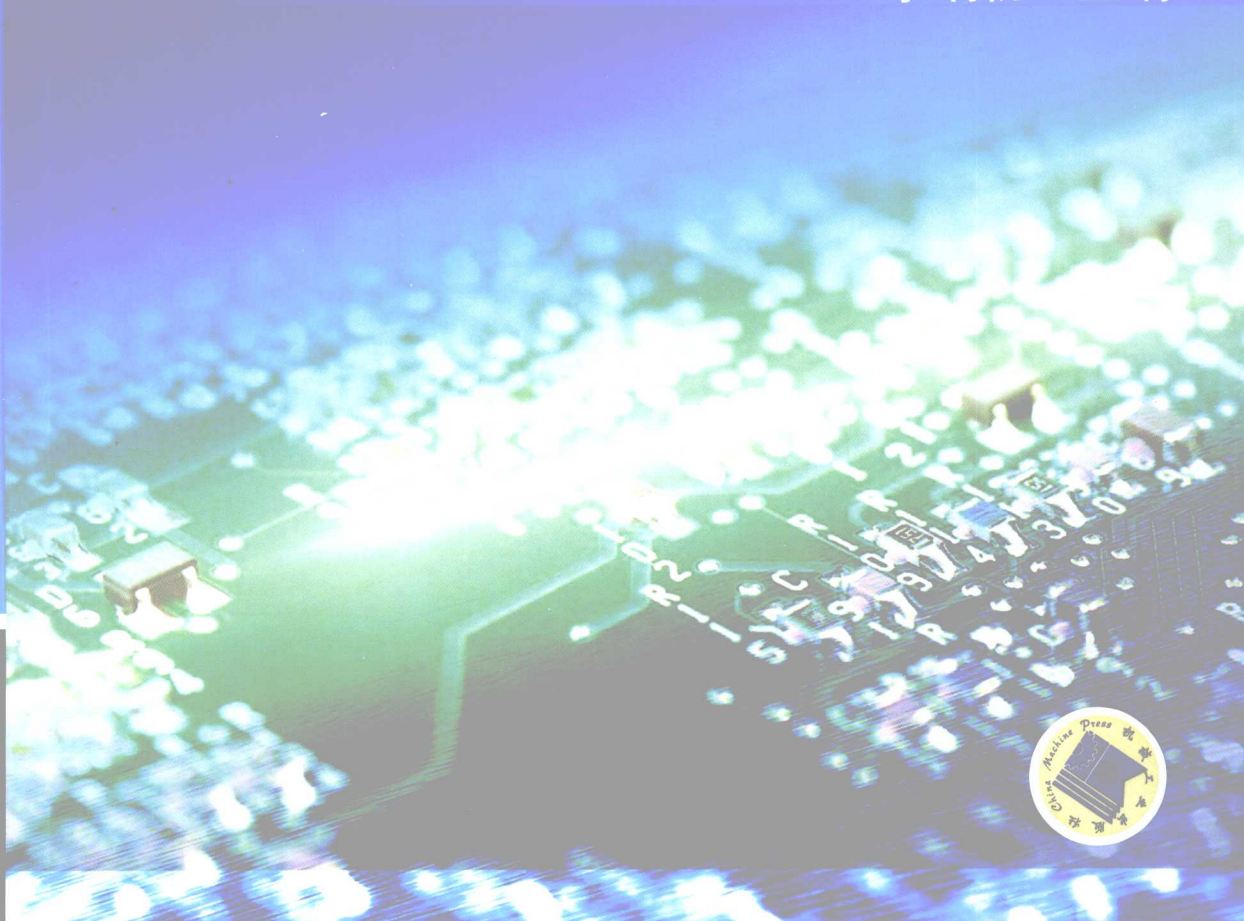


数字电路基础 与应用

李响初 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数字电路基础与应用

主 编	李响初			
副主编	谷远志	向凌云	邓宗寿	
	陆柏林	岳亦平	余雄辉	
参 编	黄金波	闫军礼	肖调贵	刘秋琴
	李 彪	谢 军	蔡晓春	



机械工业出版社

本书主要介绍了数字电子技术的基础理论和分析、设计方法,内容主要包括数字逻辑基础、常用逻辑器件及其应用、数字电路的分析和设计方法、脉冲产生电路、数模接口电路与数字系统设计等。所选材料注重实用性、系统性和先进性,有利于提高读者应用数字电子技术解决实际问题的能力。

本书适合于电子产品开发设计人员作为参考资料;也可作为中等职业学校、3年制和5年制高职高专计算机专业和电子类专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路基础与应用/李响初主编. —北京:
机械工业出版社, 2008. 10
ISBN 978-7-111-24997-9

I. 数… II. 李… III. 数字电路 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 130597 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 徐明煜

责任编辑: 王 欢 版式设计: 张世琴 责任校对: 程俊巧

封面设计: 姚 毅 责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 10 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 20.25 印张 · 393 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24997-9

定价: 30.00 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) 88379764

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着电子技术及集成电路制作工艺的迅速发展,数字电子技术的应用日益广泛,已逐渐普及至工业控制、家用电器及仪器仪表等领域。特别是各种大规模数字集成电路的成功研发与应用,进一步扩展了数字电子技术的逻辑功能与应用范围,提高了数字电子设备稳定性和可靠性,为数字电子技术的持续发展提供了良好的技术支持。

本书主要介绍数字电子技术的基础理论和分析、设计方法,其内容包括5个部分:

(1) 数字逻辑基础部分的内容集中在第1章。主要介绍数字电路基本概念、逻辑代数的基本公式、常用公式和定理、逻辑函数表述方法、逻辑函数化简方法等内容。重点讲述数字电路基本概念和逻辑函数化简法。

(2) 常用逻辑器件及其应用部分的内容集中在第2~5章及第7章。主要介绍常用集成逻辑门电路、组合逻辑模块、集成触发器、时序逻辑模块及大规模存储器与可编程逻辑器件及其应用。

(3) 数字电路的分析和设计方法部分的内容集中在第3章和第5章。主要介绍组合逻辑电路的分析、设计方法和时序逻辑电路的分析、设计方法。

(4) 脉冲产生电路与数模接口电路部分的内容集中在第6章和第8章。主要介绍数字电路中各种常用脉冲信号的产生与变换电路以及数字电路和模拟电路之间的接口电路ADC和DAC。

(5) 数字系统设计部分的内容集中在第9章。主要介绍数字系统的基本概念和实用设计方法,使读者在学习数字电路的基本内容后,能够了解数字系统的概念,掌握数字系统设计的基本方法,进而能够从全局系统的角度来分析和解决实际问题。

本书选材注重实用性、系统性和先进性,有利于提高读者应用数

字电子技术解决实际问题的能力。书中给出了大量的实用电路,还提供了大量常用数字集成电路,并对其逻辑功能、应用特性、性能参数等进行了说明,便于读者查阅与引用。适合于具有模拟电子技术理论基础的人员阅读;也可作为中等职业学校、3年制和5年制高职高专电子类专业和计算机专业的教材。

本书由李响初任主编,谷远志、向凌云、邓宗寿、余雄辉、岳亦平、陆柏林任副主编,参加本书编写工作的还有谢军、闫军礼、肖调贵、刘秋琴、黄金波、蔡晓春、李彪等。湖南有色金属工业技工学校高级讲师伍永寿同志和中国人民解放军第7451工厂李喜初同志审校了全书,并对本书的内容提出了宝贵的意见和建议。

在编撰本书过程中,参考了大量的国内外期刊资料,并应用了其中的一些资料,碍于篇幅有限,难以一一列举,在此一并向有关作者表示衷心的感谢。同时由于编者学识水平有限,书中错误在所难免,恳请有关专家与广大读者朋友批评指正。

编著者

2008年8月

目 录

前言

第 1 章 数字电路基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字信号和模拟信号	1
1.1.2 数制和码制	2
1.2 算术运算和逻辑运算	6
1.2.1 算术运算	6
1.2.2 逻辑运算	7
1.3 逻辑代表的基本公式 和基本定理	11
1.3.1 基本公式	11
1.3.2 逻辑代数的基本定理	12
1.4 逻辑函数及其描述 方法	14
1.4.1 逻辑函数	14
1.4.2 逻辑函数的描述方法	14
1.4.3 逻辑函数的标准形式	18
1.5 逻辑函数的化简方法	20
1.5.1 逻辑函数的最简形式	21
1.5.2 公式化简法	21
1.5.3 卡诺图化简法	22
1.5.4 特殊形式的逻辑函数 化简	27
1.5.5 逻辑函数的系统简 化法	30
第 2 章 数字集成逻辑门电路	35
2.1 概述	35
2.2 半导体器件的开关特性	36
2.2.1 晶体二极管的开关 特性	36

2.2.2 晶体三极管的开关 特性	36
2.2.3 MOS 管的开关特性	37
2.2.4 半导体器件开关特 性应用	38
2.3 数字 TTL 集成逻辑 门电路	40
2.3.1 TTL 与非门的电路 结构和工作原理	41
2.3.2 TTL 异或门的电路结 构和工作原理	44
2.3.3 其他类型的 TTL 逻辑 门电路	45
2.3.4 TTL 数字集成电路系列 简介	49
2.4 集成 CMOS 逻辑门 电路	52
2.4.1 CMOS 反相器电路结 构与工作原理	52
2.4.2 其他类型的 CMOS 逻辑 门电路	55
2.4.3 CMOS 数字集成电路 系列简介	57
2.5 TTL、CMOS 逻辑门 接口电路	58
2.5.1 用 TTL 电路驱动 CMOS 电路	58
2.5.2 用 CMOS 电路驱动 TTL 电路	59
2.6 数字集成电路型号命名 规则	60
2.6.1 TTL 数字集成电路型号	

组成及符号的意义	60	构与工作原理	113
2.6.2 CMOS 数字集成电路		4.2.2 基本 RS 触发器逻辑功	
号组成及符号的意义	62	能的描述	114
2.7 数字电路故障诊断与		4.3 同步触发器	116
维修方法简介	63	4.3.1 同步 RS 触发器	117
2.7.1 数字集成电路的失效		4.3.2 同步 D 触发器	120
原因分析	63	4.3.3 同步 JK 触发器	122
2.7.2 数字集成电路常见故障		4.3.4 同步 T 触发器	124
与诊断方法	65	4.4 主从集成触发器	126
2.7.3 数字电路故障诊断与		4.4.1 主从 RS 集成触发器	126
维修方法	66	4.4.2 主从 JK 集成触发器	128
第3章 组合逻辑电路	73	4.5 边沿集成触发器	131
3.1 概述	73	4.5.1 边沿 JK 触发器	131
3.2 组合逻辑电路的分析		4.5.2 CMOS 边沿触发器	134
方法	74	4.5.3 维持-阻塞触发器	135
3.2.1 加法器	76	第5章 时序逻辑电路	137
3.2.2 数值比较器	80	5.1 概述	137
3.2.3 数据选择器	82	5.2 时序逻辑电路的分析	
3.2.4 编码器	85	方法	138
3.2.5 译码器	89	5.3 寄存器	144
3.3 组合逻辑电路的设计		5.3.1 数码寄存器	144
方法	98	5.3.2 移位寄存器	145
3.3.1 采用小规模集成门电路		5.3.3 寄存器的逻辑功能	
的组合逻辑电路设计	98	扩展	149
3.3.2 采用中规模集成门电路		5.3.4 寄存器的应用	150
的组合逻辑电路设计	102	5.4 计数器	151
3.4 组合逻辑电路的竞争-		5.4.1 同步计数器	152
冒险现象	108	5.4.2 异步计数器	159
3.4.1 逻辑竞争与冒险	108	5.4.3 计数器的逻辑功能扩展	165
3.4.2 逻辑冒险的识别	109	5.4.4 计数器的应用	168
3.4.3 逻辑冒险的消除方法	110	5.5 时序逻辑电路的设计	
第4章 集成触发器	112	方法	170
4.1 概述	112	5.5.1 采用小规模集成门电路	
4.2 基本 RS 触发器	112	的时序逻辑电路设计	170
4.2.1 基本 RS 触发器的电路结		5.5.2 采用中规模集成门电路	
		的时序逻辑电路设计	187

第6章 脉冲信号的产生

与整形 191

6.1 概述 191

6.2 施密特触发器 192

6.2.1 用门电路构成的施密特触发器 192

6.2.2 集成施密特触发器 194

6.2.3 施密特触发器的应用 195

6.3 单稳态触发器 197

6.3.1 用门电路构成的单稳态触发器 197

6.3.2 集成单稳态触发器 199

6.4 多谐振荡器 202

6.4.1 电容正反馈多谐振荡器 202

6.4.2 用施密特触发器构成的多谐振荡器 203

6.4.3 石英晶体多谐振荡器 204

6.5 555 集成定时器及其应用 205

6.5.1 555 集成定时器的结构及其功能 206

6.5.2 用 555 集成定时器构成的单稳态触发器 208

6.5.3 用 555 集成定时器构成的多谐触发器 209

6.5.4 用 555 集成定时器构成的施密特触发器 210

6.5.5 用 555 集成定时器构成的占空比可调的矩形波发生器 211

第7章 半导体存储器与可编程逻辑器件

..... 213

7.1 半导体存储器 213

7.2 随机存取存储器 214

7.2.1 RAM 的基本结构和工作原理 214

7.2.2 常用 RAM 芯片 217

7.3 只读存储器 219

7.3.1 ROM 的基本结构和工作原理 219

7.3.2 固定只读存储器 220

7.3.3 一次性可编程只读存储器 222

7.3.4 可擦除可编程只读存储器 222

7.3.5 常用 E²PROM 芯片 224

7.3.6 闪存存储器 226

7.3.7 存储器存储容量的扩展 229

7.4 顺序存取存储器 231

7.4.1 动态 CMOS 移存单元 231

7.4.2 顺序存取存储器的基本结构及工作原理 232

7.5 可编程逻辑器件 234

7.5.1 可编程逻辑器件的基本结构 236

7.5.2 简单可编程逻辑器件 237

7.6 高密度可编程逻辑器件 244

7.6.1 复杂可编程逻辑器件 244

7.6.2 现场可编程门阵列 248

7.6.3 可编程逻辑器件的开发与测试 252

第8章 数模接口电路及应用 256

8.1 概述 256

8.2 集成数模转换器 257

8.2.1 数模转换的基本概念 257

8.2.2 权电阻网络 DAC 258

8.2.3 倒 T 形电阻网络 DAC 259

8.2.4 权电流型网络 DAC 261

8.2.5 集成 DAC 的主要技术指标 262

8.2.6 集成 DAC 芯片的选择与应用 265

9.3.2	控制子系统设计	293
9.4	数字系统设计举例	295
9.4.1	交通信号灯控制系统	295
9.4.2	数字式电子钟	299
附录		302
附录 A	17B 型数字万用表 使用说明	302
附录 B	ICT33C 型数字集成 电路测试仪使用 说明	304
附录 C	GDS-840 型数字存 储示波器使用 说明	309

第1章 数字电路基础

内容导读

本章主要介绍数字电路基本概念、逻辑代数的基本公式、常用公式和定理、逻辑函数表述方法、逻辑函数化简方法等内容。重点讲述数字电路基本概念和卡诺图化简法。

1.1 概述

数字电路是存储、传送、变换和处理数字信息的一类电子电路的总称，是计算机、现代通信、自动控制、音视设备、雷达、航天等数字设备赖以存在的基础，能够实现数字信号的传输、逻辑运算、控制、计数、寄存、显示及脉冲信号的产生和转换等功能。随着电子产业的迅速发展，数字集成电路生产工艺得到不断提高，数字设备、设施应用日益普及，并逐渐渗透到人们的日常生活中。因此数字化已成为现代电子技术的发展潮流和方向，是人类进入信息时代的必要条件，同时也是电子信息类各工种的主要基础技术之一。

1.1.1 数字信号和模拟信号

在自然界中，存在着许许多多的物理量。这些物理量按分类方法的不同可分为不同种类，如果根据物理量相对时间、数值变化规律的不同，可分为数字量和模拟量两大类。

1. 数字信号

数字量 (Digital Quantity) 是指在时间和数值上都具有离散特点的物理量。它们的变化总是发生在一系列离散的瞬间，且数量大小和每次的增减变化都是某一个最小单位的整数倍，而小于这个最小数量单位的数值没有任何物理意义。其中表示数字量的信号叫数字信号 (Digital Signal)，工作在数字信号下的电子电路叫数字电路 (Digital Circuit)，又称为逻辑电路。

例如，用智能门控系统记录企业员工上班情况时，每进入一个员工便给门控系统一个信号，使之记1，而没有员工进厂时给系统的信号是0，不予记录。可见，员工进厂这个信号无论在时间上还是在数量上都是不连续的，因此它是个数

字信号。最小的数量就是1个。

2. 模拟信号

模拟量 (Analog Quantity) 是指在时间和数值上都具有连续特点的物理量。其中表示模拟量的信号叫模拟信号 (Analog Signal), 工作在模拟信号下的电子电路叫模拟电路 (Analog Circuit)。

例如, 温度检测仪在工作时输出的信号就属于模拟信号。由于温度无论在时间上还是在数量上都不可能发生突变, 所以测得的物理量是连续的。而且, 这个物理量在连续变化的过程中任何一个取值都有具体的物理意义, 即表示一个相应的温度。

3. 数字电路及其优点

与模拟电路相比, 数字电路具有如下显著优点:

- 1) 便于集成化、系列化生产, 通用性强、使用方便、成本低廉。
- 2) 数字信号更易于存储、加密、压缩、传输和再现。
- 3) 工作可靠性高、性能稳定、抗干扰能力强。

1.1.2 数制和码制

1. 数制

数制 (Number System) 是人类进行计数时进位制的简称。在数字电路中, 常用的数制有十进制 (Decimal System)、二进制 (Binary System) 和十六进制 (Hexadecimal System)。

(1) 十进制

十进制是人类日常生活和工作中最常用的数制。包含0~9共10个数码, 即基数为10, 进位规则为“逢十进一”, 故称为十进制, 常用大写字母“D”表示。十进制按权展开式为

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + \\ &\quad a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i\end{aligned}$$

式中, a_i 为十进制数的任意一个数码, n 表示整数部分数位, m 表示小数部分数位, 下标10 (或D) 表示十进制数, 在十进制中可以省略不标。例如

$$(176.56)_D = 1 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

(2) 二进制

二进制是数字电路中应用最广的数制。仅有0和1两个数码, 所以基数为2, 进位规则为“逢二进一”, 故称为二进制, 常用大写字母“B”表示。二进制按权展开式为

$$\begin{aligned}
 (N)_2 &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\
 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 + \\
 &\quad a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i
 \end{aligned}$$

式中, a_i 为数码 0 或 1, n 表示整数部分数位, m 表示小数部分数位; 下标 2 (或 B) 表示二进制数。例如

$$(110.01)_B = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

(3) 十六进制

十六进制也是数字电路中应用较多的一种数制, 包含 0~9、A、B、C、D、E、F 共 16 个数码, 其中 A、B、C、D、E、F 依次表示十进制数 10~15, 所以基数为 16, 进位规则为“逢十六进一”, 故称为十六进制, 常用大写字母“H”表示。十六进制按权展开式为

$$\begin{aligned}
 (N)_{16} &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\
 &= a_{n-1} \times 16^{n-1} + a_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + a_1 \times 16^1 + a_0 \times 16^0 + \\
 &\quad a_{-1} \times 16^{-1} + a_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 16^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i
 \end{aligned}$$

式中, a_i 为十六进制数的任意一个数码; n 表示整数部分数位, m 表示小数部分数位; 下标 16 (或 H) 表示十六进制数。例如

$$(5D.6A)_H = 5 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 6 \times 16^{-1} + 10 \times 16^{-2}$$

表 1-1 所示为十进制、二进制、十六进制的数码对照关系。

表 1-1 十进制、二进制、十六进制的数码对照关系

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

2. 数制转换

(1) 任意进制数转换为十进制数

任意进制数转换为十进制数的转换方法为按权展开法。

具体操作: 首先写出待转换数制的按权展开式, 然后根据十进制数的运算规

则进行计算, 所得结果即为转换后的等值十进制数。

【例 1-1】 将二进制数 $(10111.11)_B$ 和十六进制数 $(AE4.C)_H$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } (10111.11)_B &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 0 + 4 + 2 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= (23.75)_D\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(AE4.C)_H &= 10 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 4 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} \\ &= 2560 + 224 + 4 + 0.75 = (2488.75)_D\end{aligned}$$

(2) 二进制数与十六进制数的相互转换

从表 1-1 可知, 4 位二进制数可以表示 1 位十六进制数, 因此在二进制数与十六进制数之间进行转换时通常采用分组等值法。

具体操作以小数点为基准, 向左或者向右将二进制数按 4 位一组进行分组 (当不足 4 位时, 按整数部分从高位、小数部分从低位的原则予以补 0 处理), 然后用对应十六进制数代替各组的二进制数, 即可得等值的十六进制数。反之, 将十六进制数的每个数码用相应的 4 位二进制数代替, 并去除高、低位无效的 0, 所得结果即为等值二进制数。

【例 1-2】 将二进制数 $(101001111.11011)_B$ 转换为十六进制数, $(7F4.EC)_D$ 转换为二进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } (101001111.11011)_B &= (0001\ 0100\ 1111.1101\ 1000)_B \\ &= (14F.D8)_H\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(7F4.EC)_D &= (0111\ 1111\ 0100.1110\ 1100)_B \\ &= (11111110100.111011)_B\end{aligned}$$

(3) 十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数需要将整数部分和小数部分分别进行转换。通常整数部分采用除 2 反序取余法进行转换, 小数部分采用乘 2 顺序取整法进行转换。

具体操作: 将给定的十进制整数部分依次除以 2, 按反序的原则取余数即为等值二进制数; 十进制小数部分依次乘以 2, 按顺序的原则取整数即为等值二进制数。当小数部分不能精确转换为二进制小数时, 可根据精度要求, 保留几位小数。

利用二进制数作为桥梁, 可以方便地将十进制数转换为十六进制数。

【例 1-3】 将十进制数 $(12.1875)_D$ 转换为二进制数。

解: 将整数部分和小数部分分别进行转换, 然后将结果合并即可得等值二进制数。

整数部分	余数	小数部分	整数
2 12	 0	0. 1875 × 2 = 0. 3750	0
2 6	 0	0. 3750 × 2 = 0. 7500	0
2 3	 0	0. 7500 × 2 = 1. 5000	1
2 1	 1	0. 5000 × 2 = 1. 0000	1
2 0	 1		

因此 $(12.1875)_D = (1100.0011)_B$

【例 14】 将十进制数 $(0.625)_D$ 转换为十六进制数。

解:使用乘 2 顺序取整法将 $(0.625)_D$ 转换为二进制数,得

0. 625 × 2 = 1. 250	1
0. 250 × 2 = 0. 500	0
0. 500 × 2 = 1. 000	1

所以 $(0.625)_D = (0.101)_B = (0.1010)_B = (0.A)_H$

3. 码制

利用数码表述某一特定信息,这组数码也称为代码。例如,“186”次航班、学号“5078”、学校代码“10875”等。为便于记忆和处理,在编制代码时遵循的规则称为码制。例如在用 4 位二进制数码表示 1 位十进制数的 0~9 这 10 个状态时,就有多种不同的码制。通常将这些代码称为二-十进制代码,简称为 BCD 码(Binary Coded Decimal)。表 1-2 中列出了几种常用的 BCD 码,它们的编码规则各不相同。

表 1-2 几种常用的 BCD 码

十进制数	8421 码	5421 码	5211 码	余三码	余三循环码
0	0000	0000	0000	0011	0010
1	0001	0001	0001	0100	0110
2	0010	0010	0100	0101	0111
3	0011	0011	0101	0110	0101
4	0100	0100	0111	0111	0100
5	0101	1000	1000	1000	1100
6	0110	1001	1001	1001	1101
7	0111	1010	1100	1010	1111
8	1000	1011	1101	1011	1110
9	1001	1100	1111	1100	1010
权	8、4、2、1	5、4、2、1	5、2、1、1	—	—

(1) 8421 码

8421 码是数字设备中应用最广的一种 BCD 码。它用 4 位二进制数来表示 1 位十进制数, 由于 4 位二进制数各位的权从左到右分别为 8、4、2、1, 故称 8421 码。其显著特点是它与十进制数的 4 位等值二进制数完全相同, 因此也称它为自然 BCD 码, 属于有权码。当 8421 码的各位为 $a_3a_2a_1a_0$ 时, 它所表示的十进制数为

$$(N)_D = 8 \times a_3 + 4 \times a_2 + 2 \times a_1 + 1 \times a_0$$

例如 $(1101)_{8421\text{码}} = (8 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 0 + 1 \times 1)_D = (13)_D$

(2) 余三码

余三码的编码规则与 8421 码不同, 其显著特点是它总比对应的 8421 码多 3 (0011), 属于无权码。显而易见, 当余三码的各位为 $a_3a_2a_1a_0$ 时, 它所表示的十进制数为

$$(N)_D = 8 \times a_3 + 4 \times a_2 + 2 \times a_1 + 1 \times a_0 - 3$$

例如 $(1011)_{\text{余三码}} = (8 \times 1 + 4 \times 0 + 2 \times 1 + 1 \times 1 - 3)_D = (8)_D$

(3) 其他常用 BCD 码

常用的 BCD 码还有 5421 码、5211 码和余三循环码 3 种。其中余三循环码是一种变权码, 每一位的 1 在不同代码中并不代表固定的数值。它的主要特点是相邻的两个代码之间仅有一位的状态不同。

5421 码、5211 码属于有权码, 对应 4 位二进制数各位的权从左到右分别为 5、4、2、1 和 5、2、1、1, 故称 5421 码和 5211 码, 当 5421 码和 5211 码的各位为 $a_3a_2a_1a_0$ 时, 它们所表示的十进制数分别为

$$(N)_D = 5 \times a_3 + 4 \times a_2 + 2 \times a_1 + 1 \times a_0$$

$$(N)_D = 5 \times a_3 + 2 \times a_2 + 1 \times a_1 + 1 \times a_0$$

例如 $(0111)_{5421\text{码}} = (5 \times 0 + 4 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 1)_D = (7)_D$

$(1111)_{5211\text{码}} = (5 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 1)_D = (9)_D$

【例 1-5】分别用余三码和 8421 码表示十进制数 $(258.369)_D$ 。

解: $(258.369)_D = (0101\ 1000\ 1011.0110\ 1001\ 1100)_{\text{余三码}}$

$(258.369)_D = (0010\ 0101\ 1000.0011\ 0110\ 1001)_{8421\text{码}}$

1.2 算术运算和逻辑运算

1.2.1 算术运算

在数字电路中, 二进制数码的 0 和 1 不仅可以表示数量的大小, 而且可以表示两种不同的逻辑状态。例如, 可以用 1 和 0 表示开关的通、断, 或者表示电路

工作是否正常等等。这种只有两种对立逻辑状态的逻辑关系称为二值逻辑。

当两个二进制数码表示两个数量大小时,它们之间可以进行数值运算,这种运算称为算术运算。其运算方法与十进制数的运算方法基本相同,惟一区别在于相邻两位数值之间的进位规则为“逢二进一”。例如

$$\begin{aligned}(1001)_B + (0101)_B &= (1110)_B & (1001)_B - (0101)_B &= (0100)_B \\ (1001)_B \times (0101)_B &= (101101)_B & (1001)_B \div (0101)_B &\approx (1.11001)_B\end{aligned}$$

在数字电路中,对于带符号数码(Signed Number)的正负号也是用1和0表示的。一般用最高位表示数码的符号位。对于正数,规定最高位用0表示;对于负数,规定最高位用1表示。带符号数码的表示方法有如下几种:

(1) 原码表示法

将带符号数码的数值部分用二进制数码表示,在第一位用0表示正,用1表示负而形成的二进制数称为带符号数的原码(Sign Magnitude),这种表示方法叫做原码表示法。 N 位二进制原码所能表示的十进制数范围为 $-(2^{N-1}-1) \sim +(2^{N-1}-1)$ 。

(2) 反码表示法

带符号数码也可以用反码表示,反码与原码的关系是正数的反码与原码相同,负数的反码等于对应正数的原码按位求反。

(3) 补码表示法

原码和反码虽然直观,数值的大小与符号可以一目了然,但由于在电路中原码和反码的计算规则比较复杂,实现不太方便,因此数字电路中很少采用上述两种表示法。通常采用补码表示法(Complement)。其表示规则为正数的补码与原码、反码相同,负数的补码等于它的反码加1。 N 位二进制补码所能表示的十进制数范围为 $-2^{N-1} \sim +(2^{N-1}-1)$ 。

【例1-6】 求出 $X = (+75)_D$ 和 $Y = (-75)_D$ 的8位二进制原码、反码和补码。

解: 由于 $(75)_D = (1001011)_D$, 因此, X 、 Y 的原码、反码和补码分别为

$$\begin{aligned}X_{\text{原}} &= (01001011)_B & Y_{\text{原}} &= (11001011)_B \\ X_{\text{反}} &= (01001011)_B & Y_{\text{反}} &= (10110100)_B \\ X_{\text{补}} &= (01001011)_B & Y_{\text{补}} &= (10110101)_B\end{aligned}$$

1.2.2 逻辑运算

逻辑代数(Logic Algebra)是研究逻辑变量及其相互关系的一门学科,最初由英国数学家乔治·布尔(George Boole)于1849年提出,后由美国数学家亨廷顿(E. V. Huntington)完善,因此人们也常称之为布尔代数。它是分析和设计数字电路的理论基础。

逻辑代数中也用字母表示变量,这种变量称为逻辑变量。在二值逻辑中,每个逻辑变量的取值只有0和1两种逻辑状态。

1. 逻辑代数的基本运算

逻辑代数的基本运算有与逻辑(AND)、或逻辑(OR)和非逻辑(NOT)三种。其运算符分别为“ $\cdot$ ”、“ $+$ ”和“ $-$ ”,其中“ $\cdot$ ”可以省略。

(1) 与逻辑

只有决定事物结果的全部条件同时具备时,结果才发生的因果关系称为与逻辑,又称为逻辑乘,用开关电路实现的与逻辑如图1-1a所示。

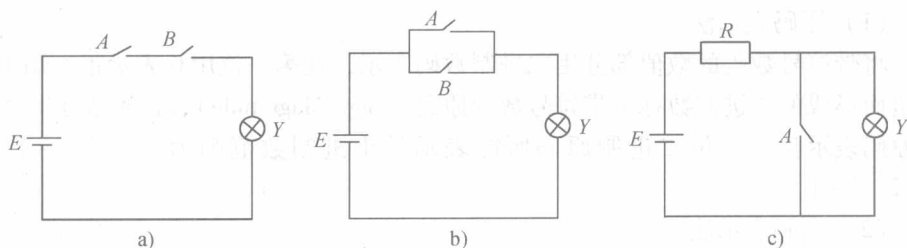


图 1-1 用开关电路实现基本逻辑运算

a) 与逻辑 b) 或逻辑 c) 非逻辑

由图1-1a可知,只有当开关A和B同时闭合时,指示灯Y才会亮。若以A、B表示开关的状态,并用1表示开关闭合,用0表示开关断开,以Y表示指示灯的工作状态,并用1表示指示灯亮,用0表示指示灯不亮,则其功能描述真值表如表1-3所示。根据上述分析,与逻辑的功能描述也可用代数式 $Y = A \cdot B$ 表示,其运算规则为

$$\begin{array}{ll} 0 \cdot 0 = 0 & 0 \cdot 1 = 0 \\ 1 \cdot 0 = 0 & 1 \cdot 1 = 1 \end{array}$$

(2) 或逻辑

在决定事物结果的条件中只要有任何一个满足,结果就会发生的因果关系称为或逻辑,又称为逻辑加。用开关电路实现的或逻辑如图1-1b所示。如上所述,若以A、B表示开关的状态,并用1表示开关闭合,用0表示开关断开,以Y表示指示灯的工作状态,并用1表示指示灯亮,用0表示指示灯不亮,则其功能描述真值表如表1-4所示。根据上述分析,或逻辑的功能描述也可用代数式 $Y = A + B$ 表示,其运算规则为

$$\begin{array}{ll} 0 + 0 = 0 & 0 + 1 = 1 \\ 1 + 0 = 1 & 1 + 1 = 1 \end{array}$$