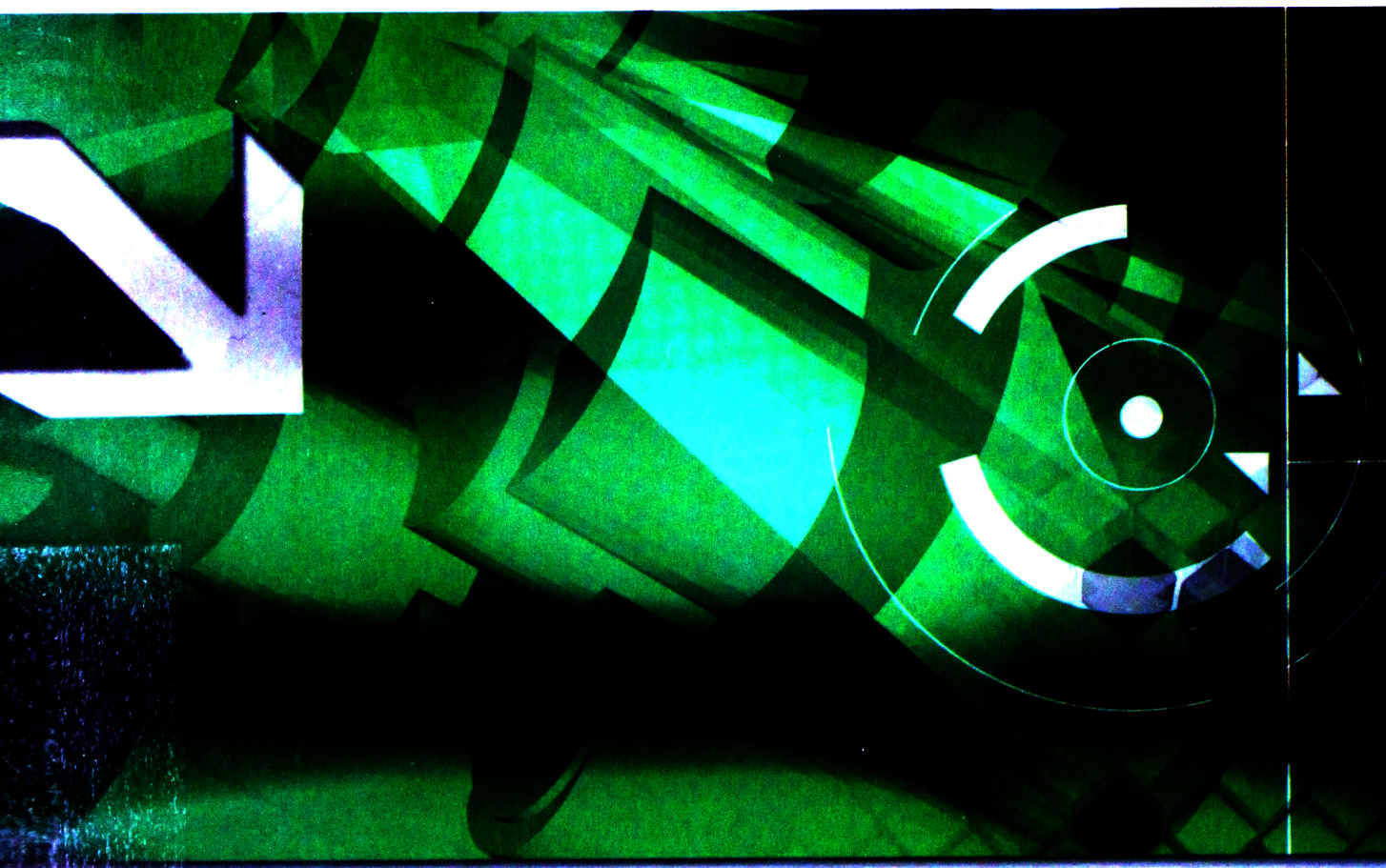


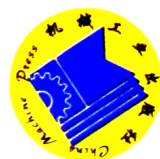
第2版

数字电路 基础与应用

SHUZI DIANLU JICHU YU YINGYONG



李响初 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数字电路基础与应用

第 2 版

主 编	李响初		
副主编	谷远志	向凌云	邓宗寿
	陆柏林	岳奕平	余雄辉
参 编	黄金波	闫军礼	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. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2012. 7
ISBN 978 - 7 - 111 - 38946 - 0

I. ①数… II. ①李… III. ①数字电路 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 138185 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: 石 冉 责任校对: 胡艳萍

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 8 月第 2 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·22.75 印张·560 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 38946 - 0

定价: 48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着数字电子技术及集成电路制作工艺的迅速发展,各种数字化电子产品已在办公、通信、家电、医疗、工业自动化、航空航天、军工等领域得到广泛应用。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。

本书第1版由机械工业出版社于2008年出版,侧重于数字电路理论知识的阐述,由于强调理论,加之篇幅有限,因此对数字电路应用技术介绍较简单,对常用芯片的介绍也不够全面。随着数字电子技术的迅速发展,有必要对原有各章节内容做相应的修改与补充。本书第2版具有如下特点:

(1) 精选内容,坚持理论够用原则。由于以数字电路应用技术为主线,因此本书第2版坚持“理论够用原则”,对第1版内容进行了重新编排,突出对新知识和新技术及配套理论知识的介绍,并对各章节中较为次要的内容进行删减,以避免本书第2版的篇幅过大。

(2) 引入芯片简介及典型应用,突出主题。为提高读者利用数字电子技术解决实际问题的能力,本书第2版在各章后面均增加了芯片简介及典型应用内容,所选芯片及典型应用均具有较好代表性,具有数据准确、实用性强等特点。此外,芯片简介引入“黑匣子”概念,即将第1版关于芯片内部电路结构的部分删除,重点介绍芯片引脚功能与应用特性,进一步提高了可读性和实用性。

(3) 注重编排,图文并茂。为了提高可读性,编写时注重编排,尽量使语言简洁易懂。此外,与本书第1版相比,引入了大量图片,包括芯片封装、典型数字化电子产品等。

本书在编写过程中,得到了湖南有色金属职业技术学院有关领导

和教师的支持和帮助，特别是王竹青教授、伍永寿副教授等。王竹青教授详细认真审阅了本书的初稿，并提出了许多宝贵的建议。此外，在编撰本书的过程中，参考了大量的国内外期刊资料，并引用了其中的一些资料，碍于篇幅有限，难以一一列举。在此，对所有帮助过我们的同志一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，本书在内容取舍、编写方面难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

李响初
2012年5月

目 录

前言

第1章 数字电路基础 1

1.1 概述 1

1.1.1 数字量和模拟量 1

1.1.2 数制和码制 3

1.2 基本逻辑与逻辑门电路 7

1.2.1 与逻辑和与门电路 7

1.2.2 或逻辑和或门电路 8

1.2.3 非逻辑和非门电路 9

1.2.4 复合逻辑和常用逻辑门电路 10

1.3 逻辑代数的基本公式和基本定理 12

1.3.1 基本公式 12

1.3.2 基本定理 13

1.4 逻辑函数及其描述方法 15

1.4.1 逻辑函数 15

1.4.2 逻辑函数的描述方法 15

1.4.3 逻辑函数的标准形式 19

1.5 逻辑函数的化简方法 21

1.5.1 逻辑函数的最简形式 22

1.5.2 公式化简法 22

1.5.3 卡诺图化简法 23

1.5.4 特殊形式的逻辑函数化简 28

1.5.5 逻辑函数的系统简化法 31

第2章 数字集成逻辑门电路 36

2.1 概述 36

2.1.1 数字集成逻辑门电路分类 36

2.1.2 数字集成电路封装技术及引脚识别方法 37

2.2 数字 TTL 集成逻辑门电路 42

2.2.1 TTL 与非门的电路结构及工作原理 43

2.2.2 TTL 异或门的电路结构及工作原理 46

2.2.3 其他类型的 TTL 逻辑门电路 47

2.2.4 常用 TTL 数字集成电路系列 51

2.3 集成 CMOS 逻辑门电路 54

2.3.1 CMOS 反相器电路结构及工作原理 54

2.3.2 其他类型的 CMOS 逻辑门电路 57

2.3.3 常用 CMOS 数字集成电路系列 59

2.4 TTL、CMOS 逻辑门接口电路 60

2.4.1 TTL 电路驱动 CMOS 电路 60

2.4.2 CMOS 电路驱动 TTL 电路 61

2.5 数字集成逻辑门电路简介及应用 62

2.5.1 常用数字集成逻辑门电路简介 62

2.5.2 数字集成电路技术参数的获得途径 63

2.5.3 数字集成逻辑门电路应用

实例	64	3.5.3 逻辑冒险的消除方法	121
2.6 数字电路故障诊断与维修		第4章 集成触发器	123
方法	68	4.1 概述	123
2.6.1 数字集成电路失效原因		4.2 基本 RS 触发器	124
分析	69	4.2.1 电路结构与工作原理	124
2.6.2 数字集成电路常见故障		4.2.2 逻辑功能的描述	125
与诊断方法	70	4.3 同步触发器	127
2.6.3 数字电路故障诊断与维		4.3.1 同步 RS 触发器	128
修方法	72	4.3.2 同步 D 触发器	130
第3章 组合逻辑电路	79	4.3.3 同步 JK 触发器	132
3.1 概述	79	4.3.4 同步 T 触发器	134
3.2 组合逻辑电路的分析		4.4 主从集成触发器	137
方法	80	4.4.1 主从 RS 集成触发器	137
3.2.1 加法器	82	4.4.2 主从 JK 集成触发器	139
3.2.2 数值比较器	86	4.5 边沿集成触发器	142
3.2.3 数据选择器	89	4.5.1 边沿 JK 触发器	142
3.2.4 编码器	92	4.5.2 CMOS 边沿触发器	144
3.2.5 译码器	95	4.5.3 维持-阻塞触发器	146
3.3 组合逻辑电路的设计		4.6 集成触发器芯片简介及	
方法	104	应用	147
3.3.1 采用小规模集成门电路的		4.6.1 常用集成触发器简介	147
组合逻辑电路设计	104	4.6.2 集成触发器应用实例	149
3.3.2 采用中规模集成门电路的		第5章 时序逻辑电路	153
组合逻辑电路设计	109	5.1 概述	153
3.4 常用组合逻辑器件应用		5.2 时序逻辑电路的分析	
实例	114	方法	154
3.4.1 基于 CD4511 芯片的抢答		5.3 寄存器	160
控制器	115	5.3.1 数码寄存器	160
3.4.2 基于 MC14553 芯片的电		5.3.2 移位寄存器	161
子体温计	116	5.3.3 寄存器的应用	165
3.4.3 基于 CD4028 芯片的液位		5.4 计数器	167
自动控制器	118	5.4.1 二进制计数器	167
3.5 组合逻辑电路的竞争-		5.4.2 十进制计数器	172
冒险现象	119	5.4.3 计数器的逻辑功能	
3.5.1 逻辑竞争与冒险	119	扩展	173
3.5.2 逻辑冒险的识别	120		

5.4.4 计数器的应用	176	6.5.1 555 集成定时器基本结构及 其功能	216
5.5 时序逻辑电路的设计		6.5.2 555 集成定时器的应用	218
方法	177	6.6 常用脉冲信号发生器件应用 实例	221
5.5.1 采用小规模集成门电路的 时序逻辑电路设计	178	6.6.1 基于 NE555 芯片的模拟自然 风控制器	222
5.5.2 采用中规模集成门电路的 时序逻辑电路设计	194	6.6.2 基于 CD4538 芯片的输液加温 控制器	222
5.6 常用时序逻辑器件应用		6.6.3 基于 CD4047 芯片的逆变 电源	224
实例	197		
5.6.1 基于 CD4017 芯片的触摸式 照明灯	197		
5.6.2 基于 CD4017 芯片的敲击式 电子门铃控制器	198		
5.6.3 基于 CD4060 芯片的消毒液 产生器	199		
第 6 章 脉冲信号的产生与 整形	201	第 7 章 半导体存储器与可编程 逻辑器件	226
6.1 概述	201	7.1 半导体存储器概述	226
6.2 施密特触发器	202	7.1.1 半导体存储器基本 结构	226
6.2.1 用门电路构成的施密特 触发器	202	7.1.2 半导体存储器的分类	228
6.2.2 集成施密特触发器	204	7.2 随机存取存储器	229
6.2.3 施密特触发器的应用	205	7.2.1 静态随机存取存储器	229
6.3 单稳态触发器	207	7.2.2 动态随机存取存储器	231
6.3.1 用门电路构成的单稳态 触发器	207	7.2.3 存储器存储容量的 扩展	233
6.3.2 集成单稳态触发器	209	7.3 只读存储器	234
6.3.3 单稳态触发器的应用	212	7.3.1 固定只读存储器	234
6.4 多谐振荡器	213	7.3.2 可编程只读存储器	236
6.4.1 电容正反馈多谐 振荡器	214	7.3.3 常用存储器芯片简介	241
6.4.2 石英晶体振荡器	214	7.4 顺序存取存储器	246
6.4.3 施密特触发器构成的多谐 振荡器	215	7.4.1 动态 CMOS 移存单元	246
6.5 555 集成定时器及其 应用	216	7.4.2 顺序存取存储器的基本结构 及工作原理	247
		7.5 常用存储器芯片应用 实例	250
		7.5.1 基于 SS1002 芯片的鹦鹉学舌 玩具控制器	250
		7.5.2 基于 M8077 芯片的音乐彩灯 控制器	251

7.5.3 基于 ISD1420 芯片的袖珍固体 录音控制器	254
7.6 可编程逻辑器件	256
7.6.1 可编程逻辑器件的基本 结构	257
7.6.2 简单可编程逻辑器件	258
7.7 高密度可编程逻辑 器件	266
7.7.1 复杂可编程逻辑器件	266
7.7.2 现场可编程门阵列	271
7.7.3 可编程逻辑器件的开发 与测试	275

第8章 数模接口电路及

应用	279
8.1 概述	279
8.2 集成数-模转换器	280
8.2.1 D-A 转换器的基本 概念	280
8.2.2 权电阻网络 D-A 转换器	281
8.2.3 倒 T 形电阻网络 D-A 转换器	283
8.2.4 权电流型网络 D-A 转换器	284
8.2.5 集成 D-A 转换器的主 要技术指标	285
8.2.6 集成 D-A 转换器芯片 简介及应用	290
8.3 集成模-数转换器	296
8.3.1 A-D 转换器的基本 概念	296
8.3.2 并行比较型 A-D 转换器	299
8.3.3 逐次逼近型 A-D 转换器	301

8.3.4 双积分型 A-D 转换器	302
8.3.5 集成 A-D 转换器的主要 技术指标	304
8.3.6 集成 A-D 转换器芯片简 介及应用	307
8.4 数模接口集成电路的应用 实例	311
8.4.1 基于 ADC0804 芯片的音频 控制器	311
8.4.2 基于 RTS0071 芯片的变音 玩具盒控制器	313
8.4.3 基于 ICL7107 芯片的数字 电压表	315

第9章 数字系统设计

9.1 数字系统设计概述	317
9.1.1 数字系统的基本概念	317
9.1.2 数字系统设计的一般 流程	318
9.2 数据子系统的设计	319
9.3 控制子系统的设计	321
9.3.1 ASM 图描述法	321
9.3.2 控制子系统设计	324
9.4 数字系统设计举例	326
9.4.1 交通信号灯控制系统	326
9.4.2 数字式电子钟	330

附录

附录 A 常用电子元器件的型号 命名方法	333
附录 B 数字集成电路型号 索引	339
附录 C ICT33C 型数字集成电路 测试仪使用说明	349

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、逻辑函数描述方法、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 数字量和模拟量

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. 数字量

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。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。

图 1-1a 所示为数字信号的波形图。数字电路典型应用产品如图 1-2 所示。

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。

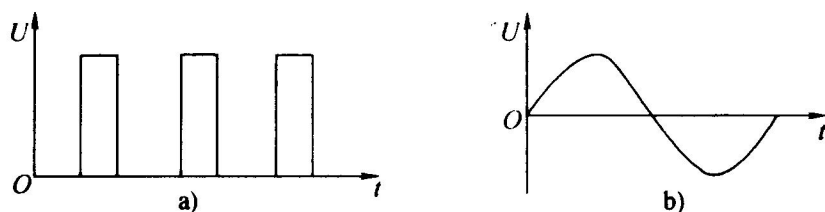


图 1-1 信号波形图
a) 数字信号 b) 模拟信号

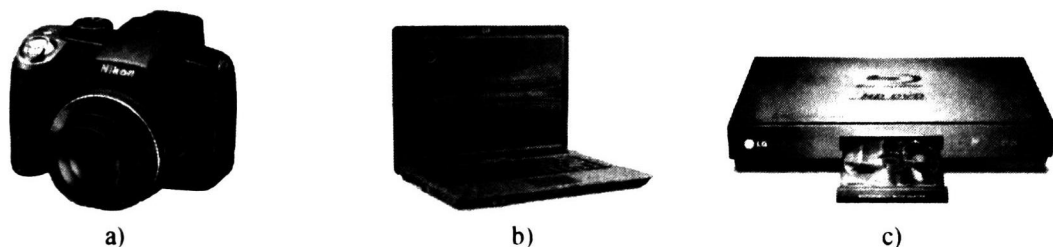


图 1-2 数字电路典型应用产品
a) 数码相机 b) 笔记本电脑 c) DVD

2. 模拟量

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。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)。

图 1-1b 所示为模拟信号的波形图。模拟电路典型应用产品如图 1-3 所示。

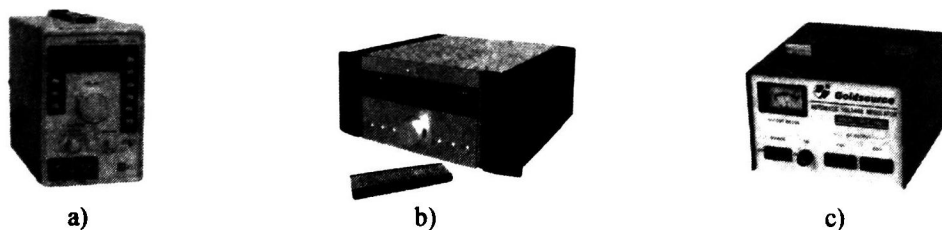


图 1-3 模拟电路典型应用产品
a) 信号发生器 b) AV 功放 c) 稳压电源

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

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

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

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

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

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

二进制运算规则:

$$\text{加法} \quad 0+0=0 \quad 0+1=1 \quad 1+0=1 \quad 1+1=10$$

$$\text{乘法} \quad 0 \times 0=0 \quad 0 \times 1=0 \quad 1 \times 0=0 \quad 1 \times 1=1$$

$$\text{减法} \quad 0-0=0 \quad 1-0=1 \quad 1-1=0 \quad 10-1=1$$

在数字电路中, 常用二进制表示数码并进行运算。采用二进制具有如下优点:

- 1) 二进制的基数为 2, 只有两个数码 0 和 1, 便于表示两个有联系的物理量。
- 2) 二进制进位规则是逢二进一, 运算规则简单, 便于进行算术运算。

3) 采用二进制, 便于逻辑电路的设计和实现。

(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

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

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。

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

$$\begin{aligned}
 (AE4.C)_H &= 10 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 4 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} \\
 &= 2560 + 224 + 4 + 0.75 = (2788.75)_D
 \end{aligned}$$

(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。

解： $(101001111.11011)_B = (0001\ 0100\ 1111.1101\ 1000)_B$
 $= (14F.D8)_H$
 $(7F4.EC)_H = (0111\ 1111\ 0100.1110\ 1100)_B$
 $= (11111110100.111011)_B$

(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		$0.1875 \times 2 = 0.3750 \dots\dots 0$	
2 6	 0	$0.3750 \times 2 = 0.7500 \dots\dots 0$	
2 3	 0	$0.7500 \times 2 = 1.5000 \dots\dots 1$	
2 1	 1	$0.5000 \times 2 = 1.0000 \dots\dots 1$	
0	 1		

因此 $(12.1875)_D = (1100.0011)_B$

【例 1-4】 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

$$\begin{array}{l} 0.625 \times 2 = 1.250 \cdots \cdots 1 \\ 0.250 \times 2 = 0.500 \cdots \cdots 0 \\ 0.500 \times 2 = 1.000 \cdots \cdots 1 \end{array} \quad \downarrow$$

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 基本逻辑与逻辑门电路

数字电路中的基本逻辑有与逻辑(AND)、或逻辑(OR)和非逻辑(NOT)三种。能实现某种逻辑功能的数字电路称为逻辑门电路,常用逻辑门电路有与门、或门、非门、与非门、或非门等。

1.2.1 与逻辑和与门电路

当决定事物结果的全部条件同时具备时,结果才发生的逻辑关系称为与逻辑,又称为逻辑乘。在图1-4a所示的电路中,只有当开关A、B都闭合时,指示灯Y才能亮;只要有一个开关断开,指示灯就不亮。可以看出,串联开关是与逻辑关系。

设开关接通为“1”,断开为“0”;指示灯亮为“1”,灭为“0”,则可列出其功能描述真值表如表1-3所示。

表 1-3 与逻辑真值表

A	B	Y	A	B	Y
0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1

由表 1-3 可知，与逻辑常量运算规则为

$$\begin{aligned} 0 \cdot 0 &= 0 & 0 \cdot 1 &= 0 \\ 1 \cdot 0 &= 0 & 1 \cdot 1 &= 1 \end{aligned}$$

与逻辑函数式为

$$Y = A \cdot B$$

式中，“ $\cdot$ ”是与逻辑运算符，读作“与”，实际应用时“ $\cdot$ ”可省略。

与逻辑门电路图形符号如图 1-4b 所示。其中， A 、 B 为输入变量， Y 为输出变量。

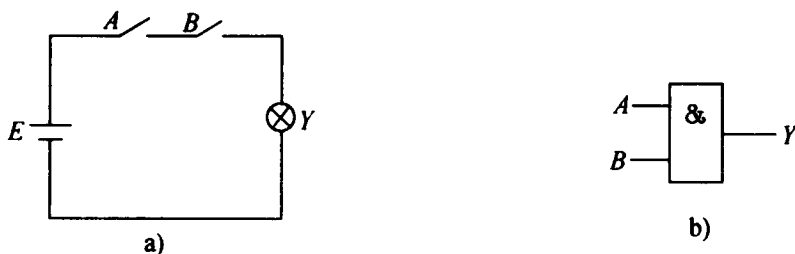


图 1-4 与逻辑电路及与逻辑门电路图形符号
a) 与逻辑电路 b) 图形符号

【例 1-6】 设与逻辑门电路输入端 A 、 B 的波形如图 1-5 所示，试绘出输出端 Y 的波形。

解：只有输入端 A 、 B 波形都为 1 时，输出端 Y 波形才为 1，据此可绘出输出端 Y 的波形。

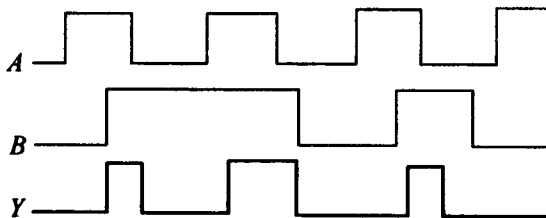


图 1-5 例 1-6 与逻辑门电路输入端 A 、 B 的波形图

1.2.2 或逻辑和或门电路

当决定事物结果的条件只要有任何一个满足，结果就会发生的逻辑关系称为或逻辑，又称为逻辑加。在图 1-6a 所示开关控制电路中，开关 A 或 B 闭合时，指示灯 Y 都能点亮。只有开关 A 、 B 全部断开时，指示灯 Y 才不亮。由此可知并