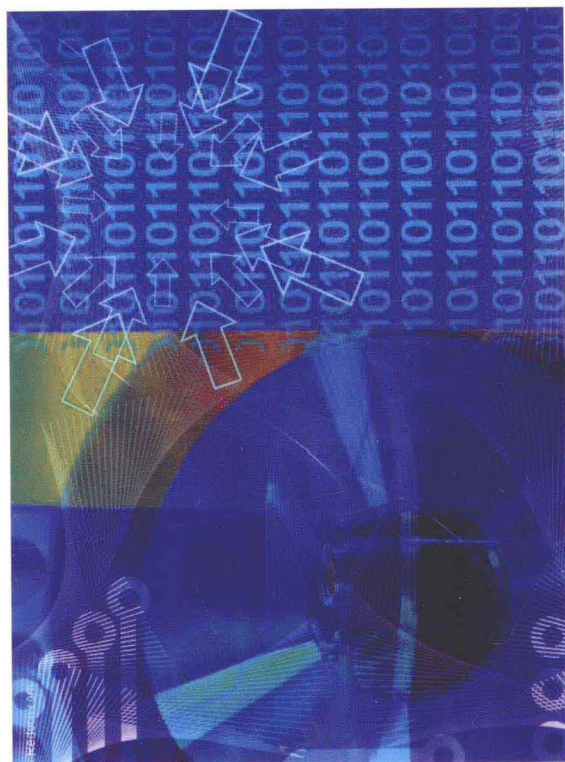


数字电子技术

- ◆ 数字逻辑概论
- ◆ 逻辑代数基础
- ◆ 逻辑门电路
- ◆ 组合逻辑电路
- ◆ 触发器
- ◆ 时序逻辑电路
- ◆ 脉冲波形的产生与变换
- ◆ 数/模(D/A)和模/数(A/D)转换
- ◆ 半导体存储器
- ◆ 可编程逻辑器件



高等学校计算机应用规划教材

数字电子技术

范立南 田丹 李雪飞 张明 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

《数字电子技术》是依据国家教指委对高等学校数字电子技术基础课程教学的基本要求而编写的。本书注重基本理论、基本分析方法的介绍和应用,始终贯彻“教、学、练、思”相结合的原则,内容全面,实例丰富。既注重讲述数字电子技术的基本概念和基本方法,也充分考虑实际应用,并配备了大规模电路的有实用价值的案例,从而鼓励学生积极思考,使学生熟悉器件在数字电子系统中的具体应用。从能力的培养角度出发,使学生能够学以致用,提高分析问题和解决问题的能力,创建一种生动的教学模式。本书可作为高等学校理工科电类各本科专业“数字电子技术”及相关课程的教材,也可供有关工程技术人员自学和参考。全书共分10章,各章末尾均有小结和阅读材料,并配有难易程度和数量都比较适当的习题。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/范立南等 编著. —北京:清华大学出版社,2014

(高等学校计算机应用规划教材)

ISBN 978-7-302-34442-1

I. ①数… II. ①范… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 265893 号

责任编辑:王 军 刘伟琴

封面设计:牛艳敏

责任校对:曹 阳

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62794504

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18 字 数:449 千字

版 次:2014 年 1 月第 1 版 印 次:2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

产品编号:042929-01

前 言

本书是根据国家教育部制定的数字电子技术基础课程教学的基本要求并考虑数字技术和微电子技术飞速发展,各种通用的、专用的、用户可编程器件不断涌现,中、大规模集成电路已得到广泛应用而进行编写的。

本书是电类专业的重要专业基础课和平台课程,也是电子信息、通信、电气自动化等专业的重要专业技术课程。

在选材上,本书注重基础知识,介绍今后相当长的时期仍然行之有效的基本理论和方法,同时又力求反映近年来数字技术的新发展和新应用,介绍新器件、新技术。

本书侧重阐明基本物理概念,电路的工作原理和分析、设计方法,力求做到深入浅出,便于自学。为了加深对概念的理解,学以致用,书中附有大量实例,每章末尾附有习题,以帮助读者巩固所学的知识。

全书共分 10 章。第 1 章主要介绍数字逻辑的基本概念,以及数制与编码。第 2 章介绍数字逻辑代数的相关知识,逻辑函数及其简化式。第 3 章介绍晶体管的开关特性、逻辑门电路、TTL、CMOS 及门电路使用的实际问题。第 4 章主要讨论组合逻辑电路的分析、设计方法及常用的组合逻辑电路,并重点介绍用中规模集成组件分析、设计组合逻辑电路的方法。第 5 章主要介绍各种触发器的逻辑特性及使用中应注意的问题。第 6 章主要介绍时序逻辑电路的分析及设计方法,以及常用的时序逻辑功能部件。突出了用中规模集成组件分析、设计时序电路的方法。第 7 章主要介绍用门电路组成的脉冲电路及集成脉冲电路。第 8 章介绍数/模与模/数转换器的工作原理及使用方法。第 9 章介绍存储器的种类及工作方式。第 10 章介绍可编程器件原理与应用器件进行逻辑设计的方法。各章末尾均有小结和阅读材料,并配有难易程度和数量都比较适当的习题。

通过本书的学习,读者可掌握数字电路及基本脉冲电路的原理和分析方法。能对常见的小、中、大规模集成电路进行分析、设计和应用,并能初步掌握用可编程器件设计数字系统的方法。

本书第 1 章由范立南编写,第 2 章~第 5 章由田丹编写,第 6 章~第 8 章由李雪飞编写,第 9 章和第 10 章由张明编写。全书由范立南负责统编定稿。

本书是作者在吸收国内外本领域新技术的基础上,结合多年教学、科研的体会编写而成的。在编写过程中,得到了很多同行的帮助,同时,书中参考和引用了参考文献中的有关部分,在此,一并表示衷心的感谢。

本书可作为高等学校电工类、电子类、电气类、自动化类、计算机类、通信类、机电一体化等相关专业的教材和教学参考书,也可以作为相关专业工程技术人员的技术参考书。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中的疏漏与错误之处在所难免,恳切希望广大读者多提宝贵意见。

编 者

目 录

第 1 章 数字逻辑概论	1	第 3 章 逻辑门电路	35
1.1 概述	1	3.1 概述	35
1.1.1 模拟信号与数字信号	2	3.2 半导体器件的开关特性	36
1.1.2 数字信号的描述方法	2	3.2.1 半导体二极管的开关特性	36
1.2 数制	3	3.2.2 晶体三极管的开关特性	37
1.2.1 进制	3	3.2.3 MOS 管的开关特性	38
1.2.2 进制之间的相互转换	4	3.3 分立元件门电路	39
1.3 二进制数的算术运算	5	3.3.1 基本逻辑门电路	39
1.3.1 无符号二进制数的算术运算	5	3.3.2 复合逻辑门电路	42
1.3.2 带符号二进制数的算术运算	6	3.4 MOS 逻辑门电路	43
1.4 二进制代码	7	3.4.1 CMOS 反相器和传输门	43
1.4.1 自然二进制码	7	3.4.2 CMOS 与非门、或非门和 异或门	44
1.4.2 二十进制编码	7	3.4.3 CMOS 漏极开路门电路和 三态输出门电路	46
1.4.3 格雷码	8	3.4.4 各种系列 CMOS 数字集成 电路的比较	47
1.4.4 ASCII 码	9	3.4.5 CMOS 门电路的使用规则	48
1.5 本章小结	9	3.5 TTL 逻辑门电路	49
1.6 习题	11	3.5.1 反相器的基本电路	49
第 2 章 逻辑代数基础	13	3.5.2 TTL 与非门电路结构与 工作原理	50
2.1 逻辑代数	13	3.5.3 TTL 与非门的改进系列	51
2.1.1 逻辑代数的基本定律和 恒等式	14	3.5.4 集电极开路门和三态门	53
2.1.2 逻辑代数的基本规则	16	3.5.5 TTL 门电路的使用规则	57
2.1.3 逻辑函数的变换及表示方法	17	3.6 逻辑描述中的几个问题	57
2.2 逻辑函数的化简法	21	3.6.1 正负逻辑问题	57
2.2.1 最小项的定义及其性质	21	3.6.2 基本逻辑门电路的 等效符号及其应用	58
2.2.2 逻辑函数的最小项表达式	22	3.7 逻辑门电路使用中的几个 实际问题	59
2.2.3 逻辑函数的代数化简法	23	3.7.1 各种门电路之间的接口问题	59
2.2.4 用卡诺图表示逻辑函数	24	3.7.2 抗干扰措施	61
2.2.5 用卡诺图化简逻辑函数	27		
2.3 实例电路分析	31		
2.4 本章小结	31		
2.5 习题	32		

3.8 实例电路分析: 水位指示器 电路.....	62	5.3.5 T' 触发器.....	115
3.9 本章小结.....	63	5.3.6 触发器功能转换.....	116
3.10 习题.....	64	5.4 实例电路分析.....	118
第 4 章 组合逻辑电路	67	5.4.1 路灯控制器电路.....	118
4.1 概述.....	67	5.4.2 抢答器电路.....	119
4.2 组合逻辑电路的分析.....	68	5.5 本章小结.....	119
4.3 组合逻辑电路的设计.....	70	5.6 习题.....	121
4.4 组合逻辑电路中的竞争冒险.....	72	第 6 章 时序逻辑电路	125
4.4.1 产生竞争冒险的原因.....	73	6.1 时序逻辑电路的基本概念.....	125
4.4.2 竞争冒险现象的识别.....	74	6.1.1 时序逻辑电路的特点.....	126
4.4.3 竞争冒险的消去方法.....	75	6.1.2 时序逻辑电路的分类.....	126
4.5 常用组合逻辑集成电路.....	76	6.1.3 时序逻辑电路的功能描述.....	126
4.5.1 编码器.....	76	6.2 同步时序逻辑电路的分析.....	127
4.5.2 译码器.....	81	6.2.1 分析同步时序逻辑电路的 一般步骤.....	127
4.5.3 数据分配器.....	87	6.2.2 同步时序逻辑电路分析 举例.....	127
4.5.4 数据选择器.....	89	6.3 异步时序逻辑电路的分析.....	131
4.5.5 数值比较器.....	91	6.4 若干典型的时序逻辑电路.....	133
4.5.6 算术运算电路.....	94	6.4.1 寄存器和移位寄存器.....	133
4.6 实例电路分析: LED 发光 电路.....	98	6.4.2 计数器.....	137
4.7 本章小结.....	99	6.5 同步时序逻辑电路的设计.....	157
4.8 习题.....	101	6.5.1 设计同步时序逻辑电路的 一般步骤.....	158
第 5 章 触发器	103	6.5.2 同步时序逻辑电路设计 举例.....	158
5.1 概述.....	104	6.6 实例电路分析: 数字钟电路.....	162
5.1.1 基本 RS 锁存器.....	104	6.7 本章小结.....	165
5.1.2 锁存器和触发器逻辑功能 描述.....	105	6.8 习题.....	167
5.1.3 同步触发器.....	106	第 7 章 脉冲波形的产生与变换	173
5.2 触发器的电路结构和工作 原理.....	107	7.1 概述.....	174
5.2.1 主从触发器.....	107	7.2 单稳态触发器.....	175
5.2.2 边沿触发器.....	109	7.2.1 用门电路组成的单稳态 触发器.....	175
5.3 触发器的逻辑功能.....	111	7.2.2 集成单稳态触发器.....	178
5.3.1 RS 触发器.....	111	7.2.3 单稳态触发器的应用.....	181
5.3.2 D 触发器.....	112	7.3 施密特触发器.....	184
5.3.3 JK 触发器.....	113	7.3.1 用门电路组成的施密特 触发器.....	184
5.3.4 T 触发器.....	114		

7.3.2 施密特触发器的应用	186	8.4 实例电路分析: 数字电压表 电路	230
7.4 多谐振荡器	187	8.5 本章小结	231
7.4.1 用门电路组成的多谐 振荡器	188	8.6 习题	234
7.4.2 用施密特触发器构成的多谐 振荡器	190	第 9 章 半导体存储器	237
7.4.3 石英晶体振荡器	190	9.1 只读存储器	237
7.5 555 定时器及其应用	192	9.1.1 ROM 的定义与基本结构	237
7.5.1 555 定时器	192	9.1.2 掩膜 ROM	238
7.5.2 用 555 定时器组成的单稳态 触发器	193	9.1.3 可编程 ROM	241
7.5.3 用 555 定时器组成的施密特 触发器	196	9.1.4 电可擦除可编程 E ² PROM	243
7.5.4 用 555 定时器组成的多谐 振荡器	198	9.1.5 ROM 的读操作与时序图	245
7.6 实例电路分析	201	9.1.6 ROM 的应用举例	247
7.6.1 光控路灯开关	201	9.2 随机存取存储器	248
7.6.2 音乐门铃电路	202	9.2.1 静态随机存取存储器	248
7.7 本章小结	203	9.2.2 动态随机存取存储器 (DRAM)	250
7.8 习题	205	9.3 存储器容量的扩展	253
第 8 章 数/模(D/A)和模/数(A/D)转换	209	9.3.1 位扩展方式	254
8.1 概述	209	9.3.2 字扩展方式	254
8.2 D/A 转换器	210	9.3.3 字、位同时扩展	255
8.2.1 D/A 转换的基本原理	210	9.4 实例电路分析: 存储系统的 设计	255
8.2.2 权电阻网络型 D/A 转换器	211	9.5 本章小结	256
8.2.3 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	212	9.6 习题	259
8.2.4 权电流型 D/A 转换器	213	第 10 章 可编程逻辑器件	261
8.2.5 双极性 D/A 转换器	213	10.1 可编程逻辑器件的基本 特点	262
8.2.6 D/A 转换器的技术指标	215	10.2 现场可编程逻辑阵列 (FPLA)	263
8.2.7 集成 D/A 转换器及其应用	216	10.3 可编程阵列逻辑(PAL)	264
8.3 A/D 转换器	219	10.4 复杂的可编程逻辑器件	267
8.3.1 A/D 转换的基本原理	219	10.4.1 CPLD 的结构	267
8.3.2 并行比较型 A/D 转换器	222	10.4.2 CPLD 编程简介	268
8.3.3 逐次逼近型 A/D 转换器	224	10.5 实例电路分析: 流水灯 电路	270
8.3.4 双积分型 A/D 转换器	224	10.6 本章小结	273
8.3.5 A/D 转换器的主要技术 指标	226	10.7 习题	275
8.3.6 集成 A/D 转换器简介	227	参考文献	279

第1章 数字逻辑概论

教学提示

数字逻辑是数字电路逻辑设计的简称，其内容是应用数字电路进行数字系统逻辑设计。数字电子技术是电气信息类专业具有入门性质的重要专业基础课，通过本课程的学习可以获得适应信息时代的数字电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能。本章的主题包括数字信号的描述，以及进制、进制的转换和二进制的运算等。

学习目标

- 了解数字信号的描述方法；
- 掌握不同的进制；
- 理解进制间的相互转换；
- 掌握二进制数的运算；
- 了解二进制代码。

知识结构

本章知识的结构图如图 1-1 所示。

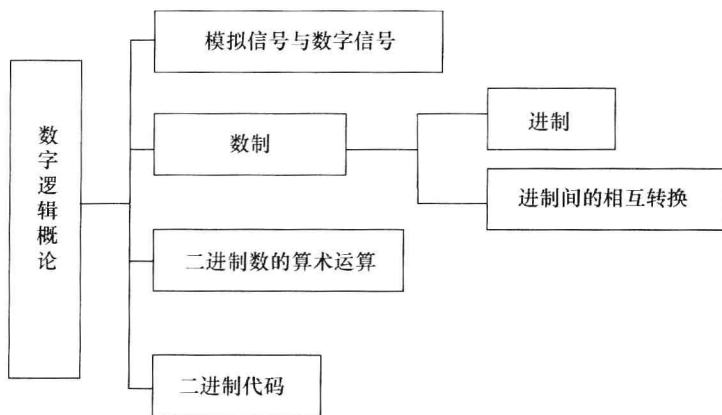


图 1-1 本章知识结构图

1.1 概述

数字量的变化在时间上和数量上都是不连续的(存在一个最小数量单位 Δ)，模拟量是指

数字量以外的物理量。

电子电路的作用是处理电子技术信息。数字电路和模拟电路在工作信号、研究的对象、分析/设计方法以及所用的数学工具等方面都有着显著的不同。研究数字电路时注重电路输出、输入间的逻辑关系,因此不能采用模拟电路的分析方法。研究数字电路主要的分析工具是逻辑代数,电路的功能用真值表、逻辑表达式或波形图表示。

1.1.1 模拟信号与数字信号

电子电路中的信号可分为两类,一类在时间和幅度上都是连续的,称为模拟信号,例如电压、电流、温度、声音等信号。

另一类在时间和幅度上都是离散的,称为数字信号,例如计时装置的时基信号、灯光闪烁等信号。

模拟信号的特点是信号参量的取值随连续时间的变化而保持其连续性,模拟信号的特性一般如图 1-2(a)所示。通常把传送和处理模拟信号的电路称为模拟电路。

数字信号与模拟信号相反,其参量取值是离散变化的。数字信号的特点是其强度的取值是有限个数,图 1-2(b)所示为二进制数字信号。

传送和处理数字信号的电路称为数字电路。

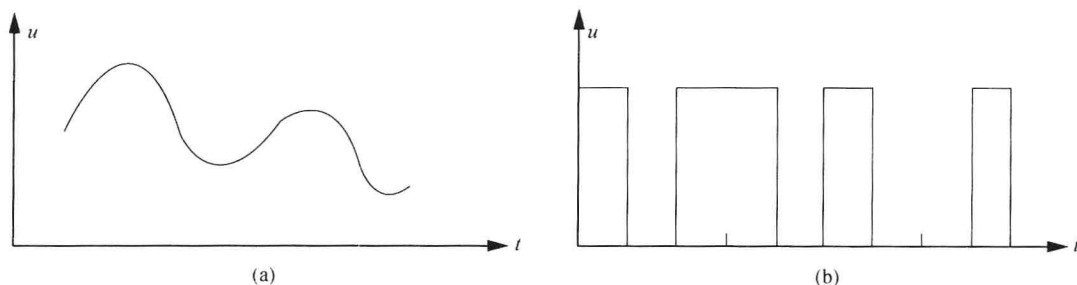


图 1-2 模拟信号与数字信号

1.1.2 数字信号的描述方法

数字信号幅度的取值是离散的,幅值表示被限制在有限个数值之内。二进制码就是一种数字信号。在数字电路中,数字的表示方法与已经习惯的十进制有很大的不同。在数字电路中,目前几乎都是采用二进制,这是因为实现数字电路的器件是与二进制相对应的。例如二极管的正向导通和反向截止,三极管的饱和与截止,都正好与二进制相对应。二进制系统也称为双值逻辑系统,用这些器件自然而然与双值逻辑系统的二进制相对应,容易实现各种逻辑电路,所以数字电路中用二进制的“0”、“1”或者“0”与“1”的不同组合来表示数字信号,并遵循二进制的运算规则。

数字电路的基本构成单元主要有电阻、电容和二极管、三极管等元器件。按电路组成结构划分为分立元件电路和集成电路两类。其中,按集成电路在一块硅片上包含的逻辑门电路或元件的数量即集成度,又分为小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)。

根据数字电路所用器件的不同,又可分为双极型(DTL、TTL、ECL、I²L 和 HTL 型)和单极型(NMOS、PMOS 和 CMOS 型)电路两类。

1.2 数制

1.2.1 进制

用数码表示数量的多少称为计数。把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位规则称为数制。在日常生活中,最常用的是十进制。在数字系统中讨论的是用电路实现逻辑关系的问题,采用的数制通常是二进制,而二进制数太长时,记录较困难,因此引入了八进制及十六进制等。

1. 十进制

十进制是最常用的数制。在十进制数中有 0~9 这 10 个数码,任何一个十进制数均用这 10 个数码来表示。计数时的基数为 10,逢十进一,同一数码在不同位置上表示的数值不同。例如

$$435.86 = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

其中, 10^{-2} 、 10^{-1} 、 10^0 、 10^1 、 10^2 称为十进制各位的“权”。

对于任意一个十进制整数 D,可用下式来表示

$$D = \pm(a_n \times 10^{n-1} + a_{n-1} \times 10^{n-2} + \dots + a_2 \times 10^1 + a_1 \times 10^0) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i 10^i$$

上式中 a_1 、 a_2 、 $\dots$ 、 a_{n-1} 、 a_n 为各位的十进制数码。

2. 二进制

目前在数字电路中广泛应用的是二进制。在二进制数中,只有“0”和“1”两个可能的数码,计数的基数为 2,进位关系为“逢二进一”,因此称为二进制。同一数码在不同位置所表示的数值是不同的。对于任何一个二进制整数 N,可用下式表示

$$(N)_2 = \pm(K_n \times 2^{n-1} + K_{n-1} \times 2^{n-2} + \dots + K_2 \times 2^1 + K_1 \times 2^0) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 2^i$$

例如

$$(1011.011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (11.375)_{10}$$

其中, 2^{-3} 、 2^{-2} 、 2^{-1} 、 2^0 、 2^1 、 2^2 、 2^3 为二进制数各位的“权”。

3. 十六进制

十六进制数的每一位有 16 个不同的数码,分别用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、

B、C、D、E、F 表示，其中，A~F 分别代表十进制的 10~15，计数时，逢十六进一。为与十进制区别，规定十六进制数通常在末尾加字母 H，例如 32H、1234H 等。

十六进制数各位的“权”从低位到高位依次是 16^0 、 16^1 、 $16^2 \cdots$ 。例如

$$(3AB.11)_{16} = 3 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 11 \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2} = (939.0664)_{10}$$

可见，将十六进制数转换为十进制数时，只要按“权”展开即可。 $(N)_{16} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 16^i$ 。要将十进制数转换为十六进制数时，可先转换为二进制数，再由二进制数转换为十六进制数。例如

$$(29)_{10} = (11101)_2 = (1D)_{16}$$

三种数制的数值比较见表 1-1。

表 1-1 三种数制数值比较表

十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
二进制数	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
十六进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

1.2.2 进制之间的相互转换

1. 二进制数与十进制数之间的转换

数字电路采用二进制比较方便，但在日常生活中人们习惯用十进制，因此，经常需要在两者间进行转换。

1) 二进制数转换为十进制数——按权相加法

例如，将二进制数 1101 转换成十进制数。

$$(1101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1 = (13)_{10}$$

2) 十进制数转换为二进制数——除二取余法

把十进制整数转换为二进制整数时，可将十进制数连续除以 2，直到商为 0，每次所得余数就依次是二进制由低位到高位各位数字。

例如，将十进制数 173 转换为二进制数。

$$(173)_{10} = (10101101)_2$$

2. 十进制数与十六进制数之间的转换

将十六进制数转换为十进制数时，只要按“权”展开即可。要将十进制数转换为十六进

制数时, 可先转换为二进制数, 再由二进制数转换为十六进制数。例如

$$(2298)_{10} = (100011111010)_2 = (8FA)_{16}$$

1.3 二进制数的算术运算

1.3.1 无符号二进制数的算术运算

数字电路中1位二进制数码的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。可以用1和0分别表示一件事情的是和非、真和假、有和无、好和坏, 或者表示电路的通和断、电灯的亮和暗等等。

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。二进制算术运算和十进制算术运算的规则基本相同, 唯一的区别在于二进制数是逢二进一, 而不是十进制的逢十进一。

二进制数的加、减、乘、除四则运算在数字系统中经常遇到, 它们的运算规则与十进制数很相似。加法运算是最基本的一种运算, 利用它的运算规则可以实现其他三种运算。例如, 减法运算可以借助改变减数的符号再与被减数相加, 乘法运算可视为被乘数的连加, 而除法则可视为被除数重复地减去除数。

1. 二进制加法

二进制加法运算的规则可简单描述如下。

被加数	0	0	1	1	1
加 数	$\underline{+ 0}$	$\underline{+ 1}$	$\underline{+ 0}$	$\underline{+ 1}$	$\underline{+ 1}$
和	0	1	1	10	11

2. 二进制减法

无符号数的减法, 其规则如下。

				借 入
被减数	0	1	1	0
减 数	$\underline{- 0}$	$\underline{- 0}$	$\underline{- 1}$	$\underline{- 1}$
差	0	1	0	1

3. 二进制乘法

二进制乘法与十进制乘法相同, 下面列出了四条规则。

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

4. 二进制的除法

二进制除法有以下两条规则：

$$0 \div 1 = 0, 1 \div 1 = 1$$

例如，两个二进制数 1001 和 0101 的算术运算有

加法运算

$$\begin{array}{r} 1001 \\ + 0101 \\ \hline 1110 \end{array}$$

减法运算

$$\begin{array}{r} 1001 \\ - 0101 \\ \hline 0100 \end{array}$$

乘法运算

$$\begin{array}{r} 1001 \\ \times 0101 \\ \hline 1001 \\ 0000 \\ \hline 1001 \\ 0000 \\ \hline 0101101 \end{array}$$

除法运算

$$\begin{array}{r} 1.11 \\ 0101 \overline{) 1001} \\ \underline{0101} \\ 1000 \\ \underline{0101} \\ 0110 \\ \underline{0101} \\ 0001 \end{array}$$

1.3.2 带符号二进制数的算术运算

1. 带符号位的二进制数

一个二进制数既可表示为正数，也可表示为负数，其方法是在二进制数之前加一符号位。通常用 0 表示正数，而用 1 表示负数，其余数位表示数的大小，例如，+5=0101，-5=1101。

2. 补码的概念

补码是负数的一种表示方法。现以人们熟悉的十进制数为例来说明补码的概念。

常规减法运算 以 10 为模的减法运算

被减数	87	87
减 数	-24	+76
差	63	163

可见，将减数 24 变为以 10 为模(称为模 10)的补码为+76，然后相加并丢弃进位数，其结果相同。模 10 的补码是这样求得的，模数 10 减 1 作为底数 9，然后将减数的每一位数码从底数 9 中减去得到相应的数码，然后加 1 便得到补码。在上例中， $99 - 24 + 1 = 75 + 1 = 76$ 。

3. 二进制的模 2 补码及减法运算

与模 10 的补码相类似，当二进制形成模 2 的补码时，模数 2 减 1 作为底数 1，然后将减数的每一位从底减去，得到相应的位的数码，然后加 1，便得到补码。例如，011 的模 2 补码为 101。实际上，一种简便方法是将二进制数码中的 0 变为 1、1 变为 0，再加 1 即可得到模 2 的补码。

	常规的减法运算	二进制	模 2 补码的减法运算
被减数	7	0111	0111
减 数	-3	-0011	+1101
差	4	100	10100
			丢弃进位

可见，模 2 补码的减法运算与常规运算的结果一致。

1.4 二进制代码

1.4.1 自然二进制码

自然码：有权码，每位代码都有固定权值，结构形式与二进制数完全相同。如表 1-2 所示。

表 1-2 自然二进制码与十进制码的对应

十 进 制 数	自然二进制码	十 进 制 数	自然二进制码
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	10	1010
3	0011	11	1011
4	0100	12	1100
5	0101	13	1101
6	0110	14	1110
7	0111	15	1111

1.4.2 二-十进制编码

BCD(二-十进制)码是一种常用的数字代码，它广泛应用于计算机中。这种编码法分别将每位十进制数字编成 4 位二进制代码，从而用二进制数来表示十进制数。

计算机中采用的是二进制数，由于二进制数不直观，人们不习惯，因此计算机在输入和输出时，通常仍采用十进制数，只是用二进制编码来表示，这时使用 BCD 码就很方便。

最常用的 BCD 码是标准 BCD 码或称 8421 码(这是根据这种表示中各位的权值而定的，其权值与普通的二进制相同)。表 1-3 列出了标准 BCD 码与十进制数字的编码关系。

表 1-3 标准 BCD 码与十进制数字的编码关系

十 进 制 数	标准 BCD 码	十 进 制 数	标准 BCD 码
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	10	00010000
3	0011	11	00010001
4	0100	12	00010010
5	0101	15	00010101
6	0110	63	01100011
7	0111	94	10010100

十进制基数为 10，它有 10 个不同的数码。因此为了能表示十进制数的某一位，必须选择至少 4 位二进制数(4 位二进制数可以表示 16 种不同的状态，所以用来表示十进制数时要丢掉 6 种状态)。在 BCD 码中，0~9 之间的十进制数的 BCD 码与二进制数中的表示形式是一样的，而 1010~1111 这 6 种状态不使用，因此用标准 BCD 码表示十进制数时，只要对每个十进制数字用适当的二进制数代替即可。如十进制数 123 可以表示成 0001 0010 0011。

为避免格式与纯二进制码混淆，常在每 4 位二进制数之间留一空格。这种表示也适合十进制小数。如十进制小数 0.456 可以表示成 0.0100 0101 0110。

1.4.3 格雷码

格雷码又叫循环二进制码或反射二进制码。在数字系统中只能识别 0 和 1，各种数据要转换为二进制代码才能进行处理。格雷码是一种无权码，采用绝对编码方式，典型格雷码是一种具有反射特性和循环特性的单步自补码，它的循环、单步特性消除了随机取数时出现重大误差的可能，它的反射、自补特性使得求反非常方便。格雷码属于可靠性编码，是一种错误最小化的编码方式。自然二进制码可以直接由数/模转换器转换成模拟信号，但在某些情况下，例如从十进制的 3 转换成 4 时，二进制码的每一位都要变，使数字电路产生很大的尖峰电流脉冲。而格雷码则没有这一缺点，它是一种数字排序系统，其中的所有相邻整数在它们的数字表示中只有一个数字不同。它在任意两个相邻的数之间转换时，只有一个数位发生变化。它大大地减少了由一个状态到下一个状态时逻辑的混淆。另外由于最大数与最小数之间也仅一个数不同，故通常又叫格雷反射码或循环码。表 1-4 为几种自然二进制码与格雷码的对照表。

表 1-4 自然二进制码与格雷码的对照表

十 进 制 数	自然二进制数	格 雷 码	十 进 制 数	自然二进制数	格 雷 码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111

(续表)

十进制数	自然二进制数	格雷码	十进制数	自然二进制数	格雷码
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

1.4.4 ASCII 码

通用的字符信息编码为美国标准信息交换码, 简称 ASCII 码(American National Standard Code Information Interchange), 这种代码用一个字节(8 位二进制码)来表示一个字符, 其中低 7 位是字符的 ASCII 码值, 例如英文字母 A 是 41H。小于 20H 的是不可显示字符, 通常是命令代码, 如 0AH 是换行命令符。最高位一般是奇偶校验位。

最高校验位的值由奇偶校验决定。偶校验指包括奇偶校验位在内, 所含“1”的个数是偶数。如字符“A”的 ASCII 码是 1000001, 代码中有 2 个“1”, 即偶数个 1, 所以校验位应为“0”, 写成 8 位二进制代码为 01000001。奇校验是指包括奇校验位在内, 所含“1”的个数为奇数。如字符“D”的 ASCII 码是 1000100, 代码中有 2 个“1”, 即偶数个 1, 所以校验位应为“1”, 写成 8 位二进制代码为 11000100。另一种经常用到的奇偶校验形式称为标记校验, 在这种情况下, 校验位总为“1”。还有空格校验, 即校验位总为“0”。计算机中用一个字节表示 ASCII 码时通常采用空格校验。

1.5 本章小结

数字电路处理的信号是离散信号, 这种信号的有无可以用二进制信息 0 和 1 表示, 其大小也可以用二进制数表示。

十进制、二进制、八进制、十六进制的构成法是相同的, 不同点仅在于它们的基数和权不相等。基数是指数制中使用的数码的个数, 权是指数制中每一位所具有的值的大小。

在数字系统中, 任何数字、字母、符号都必须变成 0 和 1 的形式, 才能传送和处理, 为表达众多的信息, 产生了二进制编码。



阅读材料

现代数字电子技术在城市建设中的应用

城市建设项目中报警与监控等各个系统都离不开现代数字电子技术。现代数字电子技术

是提升城市社会公共安全管理水平的重要手段和技术支撑,随着信息技术在城市报警与监控系统中各子系统的应用,数字电子技术的发展应用与多技术融合,已成为新型智能化城市公共安全管理的必然趋势。由于经济和社会环境的差异,不同地区的城市监控报警系统的建设采取了多种模式,但是,各地均采用了大量成熟的数字技术进行系统建设,主要技术包括以下几种。

1. 视频监控技术

视频监控是安全防范系统的重要组成部分,它是一种防范能力较强的综合系统。视频监控以其直观、准确、及时和信息内容丰富而广泛应用于许多场合。

1) 项目固定视频监控技术

在城市监控与报警系统建设中,固定前端点位的视频监控技术应用最为广泛。常见的固定视频监控方案可分为两大类:第一类是全数字化的方案,视频信号采集后直接转换为数字信号,传输和存储过程全部数字化。全数字化方案布线简单,但在信息数据压缩和传输过程中,会出现数据损失。同时,网络传输要求高,网络不稳定的情况时有发生;第二类是数字模拟结合的方案,此方案前端使用模拟摄像机,通过硬盘录像机进行图像的保存、传输,既可从硬盘录像机直接还原模拟视频信号输出,又可通过网络上的PC机还原视频信号输出。

2) 移动视频监控技术

在城市监控与报警系统建设中,无论视频监控点位覆盖率有多高,也总会存在监控盲区,特别是总会有链路或取电无法解决的情况,那么移动视频监控则成为城市监控与报警系统中不可或缺的重要补充。目前,移动视频监控的传输主要分为依托于公共卫星,或是依托于3G网络,但均可通过后台将接受信号转为模拟图像后再利用数字编码联入到城市监控与报警系统的主干网中去。

随着移动无线网络带宽的提高、3G移动通信系统的即将部署和移动终端信息处理能力的不断增强,脱胎于传统网络视频监控技术的移动视频监控系统已成为目前监控领域的热点。相对于那些专业而神秘的监控产品而言,如果能用手机实现移动视频监控的功能,就有可能使得专业的视频监控获得更广泛的应用,从而把网络视频监控推向移动视频监控的新高度。

2. 电子报警技术

电子报警技术是指在出现危险情况时能发出报警信号的电子技术。一旦发生突发事件,就能通过声光报警信号在安保控制中心准确显示出事地点,便于迅速采取应急措施。按照防范目标的状态不同,可分为固定目标报警技术和移动目标报警技术两种。

1) 固定目标报警技术

固定目标报警系统主要由报警器、探测器、传感器、信道和报警控制器等部分组成。固定目标报警技术就是由探测器将探测电信号经信道传送到值班室内的报警控制中心。报警系统发生报警后,安全保卫人员就可以依据情况及时采取必要的措施来处置突发事件和有效地制止非法入侵和破坏。