

目 录

第一章 数制和码制	1
1.1 概述	1
1.2 几种常用的数制	2
1.3 不同数制间的转换	5
1.4 二进制算数运算	8
1.4.1 二进制算数运算的特点	8
1.4.2 反码、补码和补码运算	9
1.5 几种常用的编码	12
本章小结	17
习题	17
第二章 逻辑代数基础	19
2.1 概述	19
2.2 逻辑代数中的三种基本运算	20
2.3 逻辑代数的基本公式和常用公式	24
2.3.1 基本公式	24
2.3.2 若干常用公式	25
2.4 逻辑代数的基本定理	27
2.4.1 代入定理	27
2.4.2 反演定理	27
2.4.3 对偶定理	28
2.5 逻辑函数及其表示方法	29
2.5.1 逻辑函数	29
2.5.2 逻辑函数的表示方法	30
2.5.3 逻辑函数的两种标准形式	35
2.5.4 逻辑函数形式的变换	38
2.6 逻辑函数的化简方法	39
2.6.1 公式化简法	39
2.6.2 卡诺图化简法	42
* 2.6.3 奎恩 - 麦克拉斯基化简法(Q - M 法)	48
2.7 具有无关项的逻辑函数及其化简	51

2.7.1 约束项、任意项和逻辑函数式中的无关项	51
2.7.2 无关项在化简逻辑函数中的应用	53
* 2.8 用 Multisim 7 进行逻辑函数的化简与变换	54
本章小结	57
习题	58
 第三章 门电路	66
3.1 概述	66
3.2 半导体二极管门电路	68
3.2.1 半导体二极管的开关特性	68
3.2.2 二极管与门	71
3.2.3 二极管或门	72
3.3 CMOS 门电路	73
3.3.1 MOS 管的开关特性	73
3.3.2 CMOS 反相器的电路结构和工作原理	79
3.3.3 CMOS 反相器的静态输入特性和输出特性	83
3.3.4 CMOS 反相器的动态特性	86
3.3.5 其他类型的 CMOS 门电路	91
3.3.6 CMOS 电路的正确使用	101
3.3.7 CMOS 数字集成电路的各种系列	104
* 3.4 其他类型的 MOS 集成电路	107
3.4.1 PMOS 电路	107
3.4.2 NMOS 电路	108
3.5 TTL 门电路	109
3.5.1 双极型三极管的开关特性	109
3.5.2 TTL 反相器的电路结构和工作原理	116
3.5.3 TTL 反相器的静态输入特性和输出特性	118
3.5.4 TTL 反相器的动态特性	123
3.5.5 其他类型的 TTL 门电路	128
3.5.6 TTL 数字集成电路的各种系列	135
* 3.6 其他类型的双极型数字集成电路	139
3.6.1 ECL 电路	140
3.6.2 I^2L 电路	142
* 3.7 Bi-CMOS 电路	144
* 3.8 TTL 电路与 CMOS 电路的接口	146
本章小结	148
习题	150

第四章 组合逻辑电路	160
4.1 概述	160
4.2 组合逻辑电路的分析方法和设计方法	161
4.2.1 组合逻辑电路的分析方法	161
4.2.2 组合逻辑电路的设计方法	163
4.3 若干常用的组合逻辑电路	167
4.3.1 编码器	168
4.3.2 译码器	174
4.3.3 数据选择器	188
4.3.4 加法器	192
4.3.5 数值比较器	197
4.4 组合逻辑电路中的竞争 - 冒险现象	200
4.4.1 竞争 - 冒险现象及其成因	200
* 4.4.2 检查竞争 - 冒险现象的方法	202
4.4.3 消除竞争 - 冒险现象的方法	204
* 4.5 用 Multisim 7 分析组合逻辑电路	206
本章小结	208
习题	209
第五章 触发器	215
5.1 概述	215
5.2 SR 锁存器	216
5.3 电平触发的触发器	219
5.4 脉冲触发的触发器	224
5.5 边沿触发的触发器	230
5.6 触发器的逻辑功能及其描述方法	236
5.6.1 触发器按逻辑功能的分类	236
5.6.2 触发器的电路结构和逻辑功能、触发方式的关系	240
* 5.7 触发器的动态特性	241
5.7.1 SR 锁存器的动态特性	241
5.7.2 电平触发 SR 触发器的动态特性	243
5.7.3 主从触发器的动态特性	244
5.7.4 维持阻塞触发器的动态特性	245
本章小结	247
习题	248
第六章 时序逻辑电路	259

6.1 概述	259
6.2 时序逻辑电路的分析方法	262
6.2.1 同步时序逻辑电路的分析方法	262
6.2.2 时序逻辑电路的状态转换表、状态转换图、状态机流程图和时序图	263
* 6.2.3 异步时序逻辑电路的分析方法	270
6.3 若干常用的时序逻辑电路	272
6.3.1 寄存器和移位寄存器	272
6.3.2 计数器	278
* 6.3.3 顺序脉冲发生器	309
* 6.3.4 序列信号发生器	312
6.4 时序逻辑电路的设计方法	314
6.4.1 同步时序逻辑电路的设计方法	314
* 6.4.2 时序逻辑电路的自启动设计	326
* 6.4.3 异步时序逻辑电路的设计方法	331
* 6.4.4 复杂时序逻辑电路的设计	336
6.5 时序逻辑电路中的竞争 - 冒险现象	338
* 6.6 用 Multisim 7 分析时序逻辑电路	342
本章小结	345
习题	346

第七章 半导体存储器	355
7.1 概述	355
7.2 只读存储器 (ROM)	356
7.2.1 掩模只读存储器	356
7.2.2 可编程只读存储器 (PROM)	359
7.2.3 可擦除的可编程只读存储器 (EPROM)	360
7.3 随机存储器 (RAM)	366
7.3.1 静态随机存储器 (SRAM)	366
* 7.3.2 动态随机存储器 (DRAM)	371
7.4 存储器容量的扩展	374
7.4.1 位扩展方式	374
7.4.2 字扩展方式	375
7.5 用存储器实现组合逻辑函数	377
本章小结	382
习题	383

第八章 可编程逻辑器件	386
8.1 概述	386
* 8.2 现场可编程逻辑阵列(FPLA)	388
8.3 可编程阵列逻辑(PAL)	392
8.3.1 PAL 的基本电路结构	392
8.3.2 PAL 的几种输出电路结构和反馈形式	393
8.3.3 PAL 的应用举例	396
8.4 通用阵列逻辑(GAL)	402
8.4.1 GAL 的电路结构	402
8.4.2 输出逻辑宏单元(OLMC)	405
8.4.3 GAL 的输入特性和输出特性	408
8.5 可擦除的可编程逻辑器件(EPLD)	412
8.5.1 EPLD 的基本结构和特点	412
* 8.5.2 EPLD 的与 - 或逻辑阵列	412
* 8.5.3 EPLD 的输出逻辑宏单元(OLMC)	414
8.6 复杂的可编程逻辑器件(CPLD)	416
8.6.1 CPLD 的总体结构	416
* 8.6.2 CPLD 的通用逻辑模块(GLB)	418
* 8.6.3 CPLD 的输入/输出单元(IOC)	420
8.7 现场可编程门阵列(FPGA)	422
8.7.1 FPGA 的基本结构	422
* 8.7.2 FPGA 的 IOB 和 CLB	424
* 8.7.3 FPGA 的互连资源	428
* 8.7.4 编程数据的装载	430
8.8 在系统可编程通用数字开关(ispGDS)	434
8.9 PLD 的编程	436
本章小结	439
习题	440
 * 第九章 硬件描述语言简介	 444
9.1 概述	444
9.2 Verilog HDL 简介	445
9.2.1 基本程序结构	445
9.2.2 词法构成	446
9.2.3 模块的两种描述方式	450
9.3 用 Verilog HDL 描述逻辑电路的实例	451

本章小结	454
习题	455
第十章 脉冲波形的产生和整形	456
10.1 概述	456
10.2 施密特触发器	457
10.2.1 用门电路组成的施密特触发器	458
* 10.2.2 集成施密特触发器	460
10.2.3 施密特触发器的应用	464
10.3 单稳态触发器	466
10.3.1 用门电路组成的单稳态触发器	467
10.3.2 集成单稳态触发器	471
10.4 多谐振荡器	477
10.4.1 对称式多谐振荡器	477
10.4.2 非对称式多谐振荡器	480
10.4.3 环形振荡器	483
10.4.4 用施密特触发器构成的多谐振荡器	487
10.4.5 石英晶体多谐振荡器	488
10.5 555 定时器及其应用	489
10.5.1 555 定时器的电路结构与功能	489
10.5.2 用 555 定时器接成的施密特触发器	491
10.5.3 用 555 定时器接成的单稳态触发器	493
10.5.4 用 555 定时器接成的多谐振荡器	494
* 10.6 用 Multisim 7 分析脉冲电路	497
本章小结	499
习题	500
第十一章 数 - 模和模 - 数转换	506
11.1 概述	506
11.2 D/A 转换器	507
11.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	507
11.2.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	510
11.2.3 权电流型 D/A 转换器	512
* 11.2.4 开关树形 D/A 转换器	515
* 11.2.5 权电容网络 D/A 转换器	516
11.2.6 具有双极性输出的 D/A 转换器	518
11.2.7 D/A 转换器的转换精度与转换速度	520

11.3 A/D 转换器	524
11.3.1 A/D 转换的基本原理	524
11.3.2 取样 - 保持电路	527
11.3.3 并联比较型 A/D 转换器	529
11.3.4 反馈比较型 A/D 转换器	532
11.3.5 双积分型 A/D 转换器	535
11.3.6 $V-F$ 变换型 A/D 转换器	539
11.3.7 A/D 转换器的转换精度与转换速度	545
本章小结	547
习题	548
 附 录	 555
附录一 《电气图用图形符号——二进制逻辑单元》(GB4728.12—85) 简介	555
附录二 基本逻辑单元图形符号对照表	566
 部分习题答案	 568
 参考文献	 584
 名词索引	 586

第一章

数制和码制

内容提要

本章首先介绍有关数制和码制的一些基本概念和术语,然后给出数字电路中常用的数制和编码。此外,还将具体讲述不同数制之间的转换方法和二进制数算数运算的原理和方法。

1.1 概述

我们知道,数字电路需要处理的是各种数字信号,那么这种数字信号有什么特点呢?留心观察一下自然界中形形色色的物理量时不难发现,就其变化规律的特点而言,它们不外乎两大类。其中一类物理量的变化在时间上和数量上都是离散的,也就是说,它们的变化在时间上是不连续的,总是发生在一系列离散的瞬间。而且,它们数值的大小和每次的增减变化都是某一个最小数量单位的整数倍,而小于这个最小数量单位的数值没有任何物理意义。我们把这一类物理量称为数字量,把表示数字量的信号称为数字信号,并把工作在这种数字信号下的电子电路称为数字电路。例如,我们统计通过某一个桥梁的汽车数量,得到的就是一个数字量,最小数量单位的“1”代表“一辆”汽车,小于1的数值已经没有任何物理意义。

另外一类物理量的变化在时间上或在数值上则是连续的。我们把这一类物理量称为模拟量,把表示模拟量的信号称为模拟信号,并把工作在这种模拟信号下的电子电路称为模拟电路。例如,热电偶工作时输出的电压或电流信号就是一种模拟信号,因为被测的温度不可能发生突跳,所以测得的电压或电流无论在时间

上还是在数量上都是连续的。而且,这个信号在连续变化过程中的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。

随着计算机科学与技术突飞猛进地发展,用数字电路进行信号处理的优势也更加突出。为了充分发挥和利用数字电路在信号处理上的强大功能,我们可以先将模拟信号按比例转换成数字信号,然后送到数字电路(可以是专用的数字信号处理电路,也可以是通用的计算机)进行处理,最后再将处理结果根据需要转换为相应的模拟信号输出。自 20 世纪 70 年代开始,这种用数字电路处理模拟信号的所谓“数字化”浪潮已经席卷了电子技术几乎所有的应用领域。

数字信号通常都是用数码形式给出的。不同的数码可以用来表示数量的不同大小。用数码表示数量大小时,仅用一位数码往往不够用,因此经常需要用进位计数制的方法组成多位数码使用。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。在数字电路中经常使用的计数进制除了我们最熟悉的十进制以外,更多的是使用二进制和十六进制。有时也用到八进制。

当两个数码分别表示两个数量大小时,它们可以进行数量间的加、减、乘、除等运算。这种运算称为算数运算。由于目前数字电路中的算数运算最终都是以二进制运算进行的,所以在这一章里我们还将比较详细地讨论在数字电路中采取什么方式完成二进制算数运算的。

不同的数码不仅可以用来表示数量的不同大小,而且可以用来表示不同的事物或事物的不同状态。在用于表示不同事物的情况下,这些数码已经不再具有表示数量大小的含义了,它们只是不同事物的代号而已。这些数码称为代码。例如在举行长跑比赛时,为便于识别运动员,通常要给每一位运动员编一个号码。显然,这些号码仅仅表示不同的运动员而已,没有数量大小的含义。

为了便于记忆和查找,在编制代码时总要遵循一定的规则,这些规则就称为码制。每个人都可以根据自己的需要选定编码规则,编制出一组代码。考虑到信息交换的需要,还必须制定一些大家共同使用的通用代码。例如目前国际上通用的美国信息交换标准代码(ASCII 码,见本章 1.5 节)就属于这一种。

1.2 几种常用的数制

一、十进制

十进制是日常生活和工作中最常使用的进位计数制。在十进制数中,每一位有 0~9 十个数码,所以计数的基数是 10。超过 9 的数必须用多位数表示,其中低位和相邻高位之间的关系是“逢十进一”,故称为十进制。例如

$$143.75 = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

所以任意一个十进制数 D 均可展开为

$$D = \sum k_i \times 10^i \quad (1.2.1)$$

式中 k_i 是第 i 位的系数,它可以是 $0 \sim 9$ 这十个数码中的任何一个。若整数部分的位数是 n ,小数部分的位数为 m ,则 i 包含从 $n-1$ 到 0 的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。

若以 N 取代式(1.2.1)中的 10 ,即可得到任意进制(N 进制)数按十进制展开式的普遍形式

$$D = \sum k_i N^i \quad (1.2.2)$$

式中 i 的取值与式(1.2.1)的规定相同。 N 称为计数的基数, k_i 为第 i 位的系数, N^i 称为第 i 位的权。

二、二进制

目前在数字电路中应用最广泛的是二进制。在二进制数中,每一位仅有 0 和 1 两个可能的数码,所以计数基数为 2 。低位和相邻高位间的进位关系是“逢二进一”,故称为二进制。

根据式(1.2.2),任何一个二进制数均可展开为

$$D = \sum k_i 2^i \quad (1.2.3)$$

并计算出它所表示的十进制数的大小。例如

$$\begin{aligned} (101.11)_2 &= 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= (5.75)_{10} \end{aligned}$$

上式中分别使用下脚注 2 和 10 表示括号里的数是二进制数和十进制数。有时也用 B (Binary) 和 D (Decimal) 代替 2 和 10 这两个脚注。

三、八进制

在某些场合有时也使用八进制。八进制数的每一位有 $0 \sim 7$ 八个不同的数码,计数的基数为 8 。低位和相邻的高位之间的进位关系是“逢八进一”。任意一个八进制数可以按十进制数展开为

$$D = \sum k_i 8^i \quad (1.2.4)$$

并利用上式计算出与之等效的十进制数值。例如

$$\begin{aligned} (12.4)_8 &= 1 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} \\ &= (10.5)_{10} \end{aligned}$$

有时也用 O (Octal) 代替下脚注 8 ,表示八进制数。

四、十六进制

十六进制数的每一位有十六个不同的数码,分别用 $0 \sim 9$ 、 $A(10)$ 、 $B(11)$ 、 $C(12)$ 、 $D(13)$ 、 $E(14)$ 、 $F(15)$ 表示。因此,任意一个十六进制数均可展开为