

■ 信息技术大平台系列教材

# 计算机组成 与系统结构

JISUANJI ZUCHENG YU XITONGJIEGOU

胡越明 编著

上海交通大学出版社



信息技术大平台系列教材

# 计算机组成与系统结构

胡越明 编著

上海交通大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与系统结构 / 胡越明编著. —上海:上海  
交通大学出版社,2002  
信息技术大平台系列教材  
ISBN 7-313-02976-4

I. 计… II. 胡… III. 计算机体系结构—教材  
IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005945 号

计算机组成与系统结构

胡越明 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

上海交通大学印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17.25 字数:423千字

2002年2月第1版 2002年2月第1次印刷

印数:1~3050

ISBN 7-313-02976-4/TP·500 定价:28.00元

---

版权所有 侵权必究

# 序

信息技术(IT)的发展推动着经济的发展、社会的发展,并且渗透到社会的各个领域,乃至各个家庭中,新的世纪是个信息的世纪,未来的社会是个信息的社会。这必将驱使着人们去了解信息技术、掌握信息技术、最大限度地去运用信息技术,以求发展自己,并且与社会发展同步。

信息技术涵盖了信息获取、加工、传输、存储及控制,涉及到计算机、通信、测控、控制等专业,因此不只是非信息专业的学生希望拓宽自己的专业面,掌握信息技术,即使信息领域各专业的学生也希望打破各自专业的局限性,全面掌握信息技术,促进学科间的交叉融合。但是信息领域各专业有着各自的专业基础、课程体系,课程总量相当大,这种教育消费无疑是种“豪华消费”,在四年的有限时间里是难以完成的。

为此,我们筹划了一套信息技术的系统教材,它们是:通信概论、数字信号处理、计算机网络、数据库、操作系统、计算机组成原理和体系结构、控制原理和控制工程、现代检测技术与系统。这些教材基本复盖了信息技术的基础内容,以不长的篇幅、不多的课时数、不提先修课要求即内容上自封闭作为教材编写要求,以便为其他专业的学生介入信息领域提供方便。前七种教材将由上海交通大学出版社出版,争取年内出齐。

为了统筹协调这套教材的写作和出版,我们组成了这套系列教材的编委会,其成员是:侯文永、田作华、张冬荣、马伟敏、蔡萍、胡越明、黄上腾、翁惠玉、蒋建伟、王唯一、刘兴钊、施文康。

这是一种尝试,不仅涉及课程上的整合、内容上的整合,而且还涉及先修课预备知识的整合,并且只能在有限的篇幅中完成,这对作者而言是极大的风险、极大的挑战、毋庸置疑,无论是教材的选题还是内容,错误和疏漏在所难免,恳请批评指正。

编委会

2002年2月8日

# 前 言

本书是上海交通大学创新人才培养基地建设信息大平台建设的系列课程教材之一,是专为非计算机专业的本科生选修计算机专业核心课程而编写的。本教材的起点较低,因而也可作为各专业本科生、专科生以及工程技术人员的参考书。

作者在编写过程中对计算机组成原理以及计算机系统结构课程中的内容进行了筛选,主要讲述一些目前计算机中所采用的工作原理及主要技术,使得本教材的内容适合于36~45学时的教学。为了降低课程的起点,第1章中介绍了必要的数字逻辑、数字电路及集成电路的知识,并且介绍了一些计算机硬件和软件的知识,以及计算机的发展历史。第2章介绍计算机中的数据编码和数据运算的原理,包括数值型数据和非数值型数据及纠错码等。第3章介绍存储系统的构成原理,包括各种存储器件的工作原理,对cache和虚拟存储器的原理也作了详细的介绍。第4章介绍指令的编码原理、简单的汇编程序设计以及指令的执行过程以及控制器的设计原理,主要以新发展起来的RISC处理器为背景。第5章介绍在目前高性能微处理器中广泛采用的指令流水技术。第6章介绍计算机的输入输出系统的构成及其工作原理。第7章介绍一些实际计算机系统的构成,包括桌上型微处理机、服务器系统、嵌入式计算机、数字信号处理器、网络处理器等,还介绍了一些并行计算机系统和网络计算机系统。本教材介绍的知识面广,内容新颖,可以使读者对目前的计算机硬件技术有一个较为完整的认识。此外,本教材还配备较为丰富的例题和习题,通过这些例题和习题,读者可以更好地掌握本书的内容。

由于作者水平有限,本教材的编写又是一种新的尝试,书中必然会有缺点和错误,欢迎广大教师和同学提出批评意见。作者的email地址是:

ymhu@mail.sjtu.edu.cn

胡越明

2002年1月

# 目 录

<b>1 数字系统与计算机概论</b> .....	1
1.1 数字逻辑与数字电路 .....	1
1.1.1 逻辑代数的基本知识 .....	2
1.1.2 常见的门电路 .....	5
1.1.3 数字系统基础 .....	16
1.2 数字计算机的基本组成 .....	21
1.2.1 计算机的硬件结构 .....	21
1.2.2 计算机软件 .....	25
1.2.3 计算机语言及其编译 .....	27
1.3 计算机系统结构概论 .....	29
1.4 计算机系统的历史与发展 .....	32
1.4.1 计算机的发展历史 .....	32
1.4.2 计算机的分类 .....	35
1.4.3 计算机的应用领域 .....	36
习题一 .....	37
<b>2 数据编码和数据运算</b> .....	41
2.1 定点数的编码和运算 .....	41
2.1.1 无符号数的编码 .....	41
2.1.2 有符号数的编码 .....	42
2.1.3 数据的存储与访问 .....	43
2.1.4 定点数的加减运算 .....	44
2.1.5 定点数的乘除运算 .....	48
2.2 浮点数的编码和运算 .....	51
2.2.1 浮点数的编码 .....	51
2.2.2 浮点数的运算 .....	54
2.3 逻辑运算 .....	58
2.4 检错码和纠错码 .....	61
2.4.1 检错码 .....	62
2.4.2 纠错码 .....	63
2.5 数据类型实例 .....	65
习题二 .....	66

<b>3 存储系统</b> .....	69
3.1 存储器芯片.....	69
3.1.1 静态存储器.....	69
3.1.2 动态存储器.....	71
3.1.3 只读存储器.....	72
3.1.4 电可擦写只读存储器.....	74
3.1.5 相联存储器.....	75
3.1.6 动态存储器芯片类型.....	76
3.2 存储器的构成.....	80
3.3 高速缓存.....	84
3.3.1 高速缓存的功能与基本原理.....	85
3.3.2 地址映像与变换.....	86
3.3.3 替换策略及更新策略.....	95
3.4 虚拟存储器.....	97
3.4.1 页式虚拟存储器.....	98
3.4.2 段式虚拟存储器.....	100
3.4.3 段页式虚拟存储器.....	102
3.4.4 虚拟存储器管理.....	103
习题三.....	105
<b>4 指令与指令的执行</b> .....	110
4.1 指令与指令系统.....	110
4.1.1 指令的格式.....	110
4.1.2 指令分类.....	115
4.1.3 指令系统与编程实例.....	119
4.2 指令的执行过程.....	127
4.2.1 运算指令的执行过程.....	129
4.2.2 访存指令的执行过程.....	130
4.2.3 转移指令的执行过程.....	132
4.3 指令控制器.....	133
4.3.1 硬连线控制器.....	134
4.3.2 微程序控制器.....	138
4.3.3 阵列控制器.....	142
4.3.4 中断与异常处理.....	144
习题四.....	148
<b>5 指令流水技术</b> .....	151
5.1 指令流水的基本概念.....	151

5.1.1	基本指令流水线 .....	152
5.1.2	指令的相关性 .....	154
5.2	指令的调度 .....	160
5.2.1	静态指令调度 .....	160
5.2.2	动态指令调度 .....	163
5.3	分支预测 .....	167
5.4	多重指令启动 .....	171
5.5	指令流水线实例 .....	176
5.5.1	奔腾处理器 .....	177
5.5.2	PowerPC 处理器 .....	179
5.5.3	Alpha 处理器 .....	180
5.5.4	MIPS R4000 的超流水线结构 .....	181
	习题五 .....	183
<b>6</b>	<b>输入输出系统 .....</b>	<b>186</b>
6.1	输入输出总线 .....	186
6.1.1	总线数据传输方式 .....	187
6.1.2	总线的通信同步方式 .....	189
6.1.3	总线的控制 .....	193
6.1.4	总线接口 .....	196
6.2	输入输出控制 .....	200
6.2.1	程序控制方式 .....	202
6.2.2	DMA 控制方式 .....	204
6.3	输入输出总线实例 .....	207
6.3.1	EIA-232 串行接口 .....	207
6.3.2	IDE 磁盘接口 .....	211
6.3.3	SCSI 总线 .....	213
6.3.4	PCI 总线 .....	217
	习题六 .....	222
<b>7</b>	<b>计算机系统的构成 .....</b>	<b>225</b>
7.1	单处理机系统的构成及其发展 .....	225
7.1.1	桌上型计算机 .....	225
7.1.2	网络服务器 .....	230
7.1.3	嵌入式计算机 .....	232
7.1.4	数字信号处理器 .....	235
7.1.5	网络处理器 .....	238
7.2	并行计算机系统的结构 .....	242
7.2.1	向量计算机 .....	244



7.2.2 阵列计算机 .....	245
7.2.3 多处理机系统 .....	249
7.3 网络并行计算机系统 .....	256
7.3.1 集群系统的功能特征 .....	257
7.3.2 集群系统的网络 .....	258
习题七.....	262
<b>参考文献</b> .....	<b>264</b>

# 1 数字系统与计算机概论

现实世界的物理量可以分为模拟量和数字量两种。模拟量具有连续变化的特点,如温度、水位、电压、物体的运动速度等;数字量是一种表示非连续数值的量,这些非连续的数字量可以是各种数字、字母、运算符及符号等,如数字 $0, 1, 2, \dots, 9$ 是10个离散的数值。现实世界有许多数字量的例子,如人数、姓名、日期、考试分数等。使用数字量来传递和加工处理信息的实际工程系统称为数字系统。数字系统的特点是它所处理的信息都是离散的数值元素。离散数值元素按不同方式排列可以表示各种信息。连续的物理量在一定精度要求下可以表示为数字量。在数字系统中,用一定位数的数值表示物理量。数字系统在对离散的物理量进行加工处理和传输的过程中可以保持数据的精度。实际上,数字量的处理过程可以达到比模拟量处理更高的精度。数字量特别适合于进行复杂的处理,而且数字量便于数据的存储和传输,因此数字系统成为未来的信息处理系统的发展方向。

数字计算机是一种完成各种数据计算和信息处理任务的数字系统。离散的数字量有无穷多个,但在计算机中只能表示有限个。计算机中表示的数字信息是一种具有有限离散数值的信息,每一个数据信息在计算机中用有限数量的离散状态的代码表示。计算机的基本功能是数据的存储和运算。为了便于数字在计算机中的表示,数字系统采用二进制代码。这种二进制代码以电压、电流等物理量表示。电压的高和低、电流的有和无可以表示二进制的0和1。信息在计算机中的二进制数值表示使得电路中只需要表示两种状态,数据的传递、存储和运算可靠性更高,结果更加精确。由于数字电路的简单性,容易用晶体管电路实现,从而发展形成数字电路技术。

在介绍计算机系统基本原理之前,本章先介绍数字逻辑以及数字系统的基本概念。

## 1.1 数字逻辑与数字电路

在数字电路中,信息以二进制数据的代码形式表示。采用二进制数的系统只有两个记数符号,0和1。二进制数据中的一个记数符号称为“位”(bit),信息通常表示为若干个位,通过这种位的组合,计算机中就可以表示各种数据和字符,如十进制数值和英文字母。这种把数据信息表示成二进制位组合的表示过程称为编码。每个二进制位组合又称为代码,它是编码的结果。1个二进制位可以有0和1两个代码,2个二进制的位可以有4个代码(00, 01, 10, 11),3个二进制的位可以有8个代码(000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111)。一般而言, $n$ 个二进制位可构成 $2^n$ 个代码。

数字电路所表示的逻辑意义以及运算关系的抽象构成了数字逻辑代数。数字逻辑代数研究如何把复杂的逻辑关系分解为许多简单的逻辑函数的表示,使得这种逻辑函数的表示能够用数字电路实现。它是学习和理解数字电路的基础。

### 1.1.1 逻辑代数的基本知识

在数字逻辑中,把客观中反映“是”和“非”、“真”和“假”、“开”和“关”的现象称为逻辑现象,用数值1和0表示,这些数值称为逻辑值。逻辑值之间可以进行运算。逻辑值的基本运算有逻辑加、逻辑乘和逻辑非,重复使用这些基本运算,可以构成各种复杂的逻辑关系的表达。关于逻辑运算的代数称为逻辑代数或布尔代数。

逻辑代数是研究逻辑变量之间数学关系的科学。它研究逻辑运算的规则和规律。和普通代数一样,逻辑代数也用字母表示变量,如A和B。所不同的是,在普通代数中,变量的取值可以是任意实数,而逻辑代数是一种二值代数系统,任何变量的取值只有0和1两种可能。逻辑代数是数字系统的描述,它描述逻辑变量之间的运算关系。逻辑代数的基础是一整套定义了基本函数的逻辑运算。这些函数是由通过一个或多个输入变量并产生一位输出来实现的。

逻辑加运算又称为逻辑或,用运算符号“+”表示。它的运算规则是:在 $A+B$ 中,只要A和B有一个为1,则结果为1;只有A和B都为0时结果才为0。如果逻辑加的结果用L表示,那么逻辑加表示为 $L=A+B$ 。

逻辑乘运算又称为逻辑与。如果逻辑乘的结果用L表示,那么逻辑乘表示为 $L=A \cdot B$ 或 $L=AB$ 。它的运算规则是:在 $A \cdot B$ 中,只要A和B有一个为0,则结果为0;只有A和B都为1时结果才为1。

逻辑非运算将1变成0,将0变成1。如果逻辑变量为A,它的逻辑非的运算结果为L,那么逻辑非表示为 $L=\bar{A}$ 。当A为0时,L为1;A为1时,L为0。

用逻辑变量和逻辑运算符组成的数学式子称为逻辑表达式。如 $L=AB+C$ 。对于参与运算的各个逻辑变量的所有取值组合都可以列出逻辑表达式运算结果的表格,这种表格称为真值表。

在逻辑加运算中,当参与运算的每一项都为0时结果才为0;只要有一项为1,结果就为1。这样的逻辑函数可以用一个真值表来表示。在真值表中可以把自变量的各种可能的状态组合都罗列出来,并给出在各种状态组合下的应变量的值。对于逻辑加的情况,如果只有两个自变量,如 $A+B$ ,那么A和B的各种取值组合只有4种情况,即 $A=0$ 且 $B=0$ 、 $A=0$ 且 $B=1$ 、 $A=1$ 且 $B=0$ 、 $A=1$ 且 $B=1$ 。4种情况下的运算结果只有第一种为0,其余都为1。这样,我们可以列出真值表如表1.1所示。

表 1.1 逻辑加的真值表

A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

用代数形式表示,逻辑加的运算规则可以表示为:

$$0+0=0$$

$$0+1=1$$

$$1+0=1$$

$$1+1=1$$

同样可以列出逻辑乘的真值表,如表 1.2 所示。逻辑乘的运算规则的代数表示是:

$$0 \cdot 0=0$$

$$0 \cdot 1=0$$

$$1 \cdot 0=0$$

$$1 \cdot 1=1$$

表 1.2 逻辑乘的真值表

A	B	$A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

逻辑非的真值表如表 1.3 所示,它的代数表示是:

$$\bar{0}=1$$

$$\bar{1}=0$$

表 1.3 逻辑非的真值表

A	$\bar{A}$
0	1
1	0

逻辑加和逻辑乘满足交换律、结合律和分配律等运算法则。即

**交换律:**  $A+B=B+A$

$$AB=BA$$

**结合律:**  $(A+B)+C=A+(B+C)$

$$(AB)C = A(BC)$$

**分配律:**  $A(B+C)=AB+AC$

$$A+(BC)=(A+B)(A+C)$$

**吸收律:**  $A+AB=A$

$$A(A+B)=A$$

$$A+\bar{A}B=A+B$$

$$A(\bar{A}+B)=AB$$

**反演律:**  $\bar{\bar{A}}+B=\overline{AB}$

$$\overline{AB}=\bar{A}+\bar{B}$$

**重叠律:**  $A \cdot A=A$

$$A+A=A$$

$$\bar{\bar{A}}=A$$

互补律:  $A+\bar{A}=1$

$$A\cdot\bar{A}=0$$

0-1律:  $A+0=A$

$$A+1=1$$

$$A\cdot 0=0$$

$$A\cdot 1=A$$

逻辑代数的运算规则的证明可以根据逻辑代数的运算法则进行,也可以用列出真值表的方法进行证明。只要两个逻辑表达式的真值表完全相同,那么这两个逻辑表达式恒等。利用逻辑代数的运算规则,我们可以对逻辑表达式进行转换或者化简,从而简化它的电路实现。

**【例 1.1】** 证明  $(A+B)(A+C)=A+BC$

证: $(A+B)(A+C)=AA+AB+AC+BC$	分配律
$=A+AB+AC+BC$	重叠律
$=A(1+B)+AC+BC$	分配律
$=A+AC+BC$	0-1律
$=A(1+C)+BC$	分配律
$=A+BC$	0-1律

**【例 1.2】** 化简逻辑表达式  $AB+\bar{A}C+\bar{B}C$

解: $AB+\bar{A}C+\bar{B}C$	
$=AB+(\bar{A}+\bar{B})C$	分配律
$=AB+\bar{A}\bar{B}C$	反演律
$=AB+C$	吸收律

一个逻辑函数的真值表是惟一的,但是它的逻辑表达式可能有多种多样。对逻辑表达式的化简就是寻找一种简洁的等价的逻辑表达式。在真值表中,变量的每一种组合称为一个最小项。对于有  $n$  个变量的真值表,最小项总共有  $2^n$  个。真值表中有些最小项对应的输出为 1,有些为 0。逻辑函数的一种表达式实际上就是那些输出为 1 的最小项的和。根据真值表可以直接写出逻辑表达式,对这样写出的逻辑表达式进行化简就可以得到逻辑函数的最简表达式。逻辑电路设计中一个通常遇到的问题是如何将逻辑表达式尽可能地简化到最简单的形式,所谓最简单通常是指用最少的数目的门电路来实现其功能。

**【例 1.3】** 写出下列真值表的逻辑表达式

输入			输出	输入			输出
A	B	C	f	A	B	C	f
0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	1	0	1	0
0	1	0	1	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1

解: 在真值表中,使得  $f$  为 1 的最小项有四个,这四个最小项中只要有 1 个的值为 1,就

使得  $f$  为 1。所以  $f$  是这四个最小项的逻辑加。每个最小项有 3 个输入变量。要使得一个最小项的值为 1, 这 3 个输入变量必须同时满足一定的条件, 即最小项是 3 个输入变量的逻辑乘。

考虑第一个出现的  $f=1$  的情况, 它是真值表中的第二项。该项是当  $A=0$  且  $B=0$  且  $C=1$  时为 1。这样它可以表示为  $\bar{A}\bar{B}C$ 。同理, 我们可以写出其他 3 个最小项分别为:  $\bar{A}B\bar{C}$ 、 $A\bar{B}\bar{C}$ 、 $ABC$ 。于是, 完整的表达式为:

$$f = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + ABC$$

## 1.1.2 常见的门电路

数字系统是由数字电路模块连接而成的。计算机系统是一个复杂的数字系统。一般采用模块化的设计, 每个模块完成某一特定的处理任务。数字电路模块由寄存器、译码器、算术运算电路和控制逻辑等数字电路部件构成。构成这些模块的基本元件是基本的门电路。

### 1.1.2.1 基本门电路

实现逻辑运算的数字电路称为门电路。基本的门电路具有 1 个或多个输入信号, 1 个输出信号, 分别表示输入变量和输出逻辑变量。门电路的输入端和输出端只有高电平和低电平两种状态, 一般用高电平表示逻辑 1, 用低电平表示逻辑 0。

现代数字系统是由集成电路构成的。集成电路在一片芯片中包含大量的晶体管。集成电路主要是由硅半导体芯片上制造的由数字门电路构成的逻辑功能部件。硅半导体的制作原料是硅沙。硅材料的导电性较差, 因此称为半导体。通过某种特殊的化学工艺, 我们可以在硅材料中加入微量元素硼和磷, 将其改变为良好的导体、绝缘体或者在某种条件下导电的物体。利用这个特点, 我们可以在硅材料上制作大量晶体管电路。在数字电路构成的系统中, 一个晶体管的作用就像是一个开关元件, 它工作在导通和断开两种状态。目前常用的晶体管是一种 MOS(Metal-Oxide Semiconductor)场效应晶体管。它有三个电极, 分别称为源极(S)、栅极(G)和漏极(D)。用这种晶体管构成的工作电路如图 1.1 所示, 源极接地, 栅极接控制电压, 漏极接一个电阻  $R$  后连接电源 ( $V_{cc}$ )。输入的控制电压为数字信号的时候, 它就像一个开关元件一样。当  $V_{cc}$  为高电平,  $G$  的电压为低电平时, 晶体管的 D 端与 S 端不导通, 这时输出信号为高电平; 当  $G$  的电压为高电平时, 晶体管的 D 端与 S 端导通, 这时输出信号为低电平。这个电路的输入信号和输出信号的逻辑电平是相反的, 是一个非门电路。

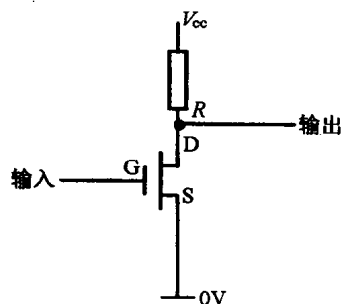


图 1.1 MOS 晶体管工作原理

上述这种工作方式的晶体管是一种 nMOS 的晶体管, 它的物理结构如图 1.2(a) 所示。在 p 型(正极性)半导体的基片上渗入两个 n 型(负极性)的半导体材料的区域, 分别构成源极和漏极, 在基片上还生长出一层二氧化硅绝缘体材料, 覆盖在半导体材料上。在源极和漏极之间的绝缘体材料上还覆盖一个导体材料(通常是多晶硅)的区域, 构成栅极。另一种 MOS 晶体管是 pMOS 晶体管, 它采用的半导体材料的极性相反, 工作电压也相反, 在栅极加上低电平时晶体管导通, 高电平时截止。两种 MOS 晶体管的符号表示如图 1.2 的(b)和(c)所示。

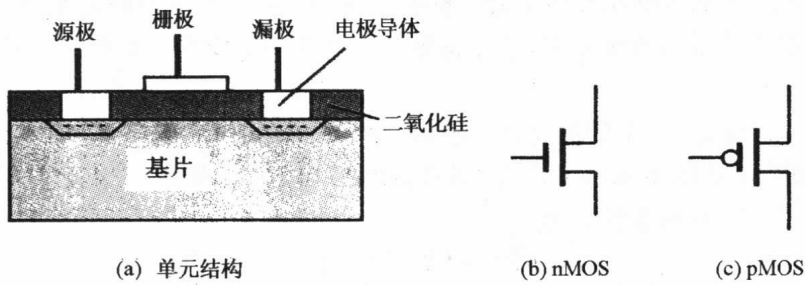


图 1.2 MOS 晶体管的物理结构及其符号表示

在数字电路中,还有一种 CMOS(互补型 MOS)电路,它是将 nMOS 晶体管与 pMOS 晶体管组合起来构成的门电路。CMOS 电路中不需要电阻,具有比 nMOS 或 pMOS 更好的工作特性。实现非门的 CMOS 电路如图 1.3 所示,它与图 1.1 的电路的区别在于用一个反相的晶体管代替电阻。

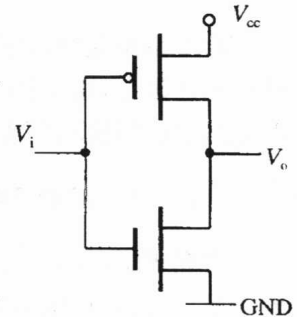


图 1.3 CMOS 非门电路

三种基本的门电路是与门、或门和非门,分别实现逻辑加、逻辑乘和逻辑非运算。这些门电路可以用电路图符号来描述,如图 1.4 所示。在这些电路符号中,与门的顶部是圆弧,底部是直线;或门的顶部是一个尖角,底部是一个圆弧;顶部的小圆圈表示逻辑非。

门电路	逻辑符号
与门	$AB$
或门	$A+B$
非门	$\bar{A}$
与非门	$\overline{AB}$
或非门	$\overline{A+B}$
异或门	$A\oplus B$
二选一电路	$A \text{ 或者 } B$

图 1.4 门电路的逻辑符号表示

实际使用的门电路还有与非门、或非门、异或门和三态门等。与非门是与门和非门的组合;或非门具有或门和非门的功能。异或门的特点是:当两个输入端的值不相同输出为 1,相同时输出为 0。异或运算可以用符号  $\oplus$  表示,如  $A\oplus B$ 。与异或相对应的是同或,表示成  $\odot$ ,它是当两个输入端的值不相同输出为 0,相同时输出为 1。表 1.4 是与非门、或非门、异或门和同或门的真值表。图 1.5 所示是一个 2 输入端的 CMOS 的或非门电路,图 1.6 是一个

CMOS 与非门电路的例子。

表 1.4 与非门、或非门、异或门和同或门的真值表

$x$	$y$	$\overline{xy}$	$\overline{x+y}$	$x\oplus y$	$x\odot y$
0	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	1

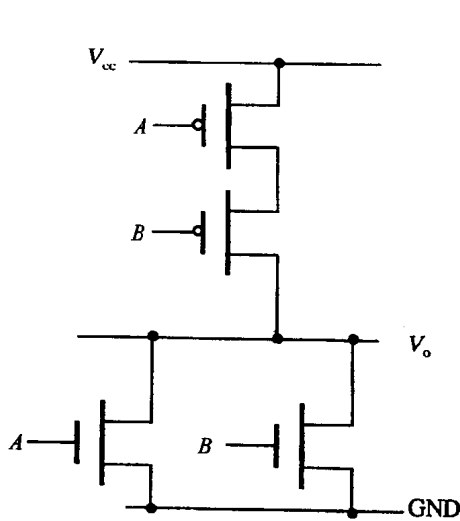


图 1.5 2 输入端的或非门 CMOS 电路

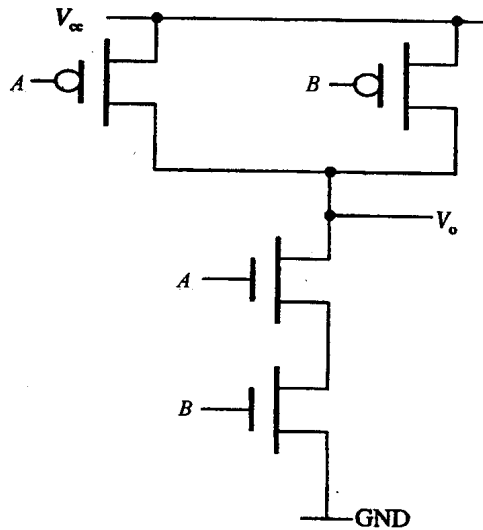


图 1.6 2 输入端的与非门 CMOS 门电路

在计算机部件中还有一种特殊的门电路——三态门。它的输出端除了 1 和 0 外还有第三种状态，即高阻状态。在这种状态下，门电路的输出端与输出信号线就像没有连接一样，不影响线路的电平。这种状态既不输出信息也不输入信息，使得输入信号与输出信号之间处于隔离状态。三态门在一般门电路的基础上增加了输出控制功能。为了实现这第三种状态，在三态门的输入端增加了一个控制信号 EN(Enable)。当 EN 有效时输出为高电平或低电平，取决于门电路的类型；当 EN 无效时，输出信号为高阻状态，不管输入信号是什么。控制 EN 信号可以是高电平有效的，也可以是低电平有效的。控制信号输入端不带小圆圈表示高电平有效，带小圆圈表示低电平有效。图 1.7 是四种三态门电路的逻辑符号。其中电路符号(a)表示当控制端为高电平时，输出电平等于输入电平；当控制端为低电平时，输出为高阻状态。电路符号(b)表示当控制端为低电平时，输出电平等于输入电平；当控制端为高电平时，输出为高阻状态。电路符号(c)表示当控制端为高电平时，输出电平与输入电平相反；当控制端为低电平时，输出为高阻状态。电路符号(d)表示当控制端为低电平时，输出电平与输入电平相反；当控制端为高电平时，输出为高阻状态。

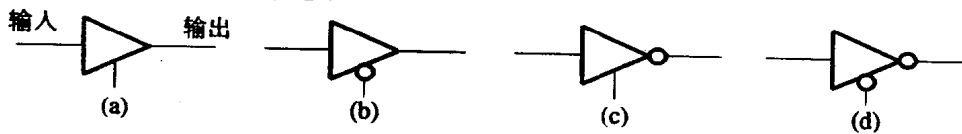


图 1.7 四种三态输出电路



三态门的这个特点使得它能够直接连接到公共信号线路(通常称为总线)上,采用三态门电路的总线(Bus)连接方式如图 1.8 所示。图中四个驱动电路的输出端连接到一起,构成总线的一位数据线(非三态门电路不能这样连接)。控制信号决定选择哪个输入信号作为输出送到总线。在任意时刻不能有两个以上的驱动电路向总线输出,否则多个数据信号同时驱动总线将损坏门电路器件。为了保证这一点,这里的四个控制信号线  $S_0 \sim S_3$  在任意时刻只能有一个有效。

总线是一组公共传输线,为保证总线所传输的信号的有效性,应控制总线信号的发送,连接在总线上的设备不能同时有多个设备向总线发送信息。连接在总线的多个设备中可以同时从总线接收信息。这是总线信号传输的基本特性,是总线正确传输信号的基本要点。为保证传输信息的正确性,连接在总线上的设备必须通过总线驱动电路向总线发送信号。总线驱动电路可由三态门电路组成。在连接到总线上的各个设备中,如果只有一个设备向总线输出高电平或低电平的信息,其他设备的输出处于高阻状态,则总线上的信号就是驱动信号输出的信号电平。而当所有连接总线的设备都处于高阻状态时,总线上的信号为高阻电平状态。

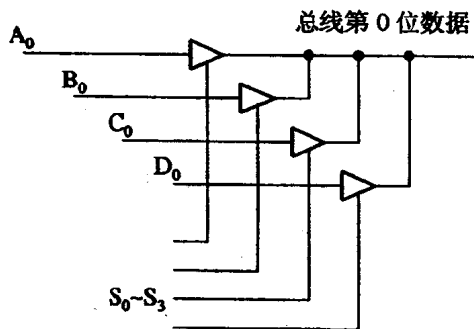


图 1.8 采用三态门的总线驱动方式

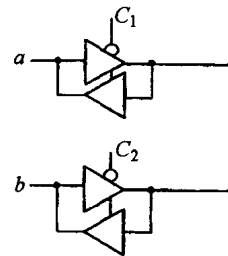


图 1.9 采用三态门的总线驱动方式

总线是电路模块之间传递信息的线路。每个电路模块即可以向总线发出信息,也可以从总线接收信息。这时需要建立与总线的双向连接。用三态输出电路将电路模块双向连接到总线上的方法如图 1.9 所示。双向连接总线的每个电路模块用一个输出门与一个输入门连接到总线上,输出门用一个控制信号控制输出。图中的控制信号  $C_1$  和  $C_2$  是低电平有效的控制信号。这里两个控制信号不能同时为低电平,即  $C_1$  和  $C_2$  是互斥的。

各种逻辑门电路可以分为两种类型。上述逻辑门电路是不具备记忆功能的,称为组合逻辑电路。在组合逻辑电路中,任意时刻的输出信号仅取决于该时刻的输入信号,而与电路过去的电平状态无关。组合逻辑电路建立在简单的逻辑门基础上,可以直接用真值表和逻辑表达式表示。另一种数字电路是具有记忆功能的,它建立在触发器的基础上,如寄存器、计数器。时序逻辑电路的输出不仅取决于当时的输入状况,而且取决于电路的状态。而电路的状态是由电路过去的输入决定的。

### 1.1.2.2 触发器

触发器是一种具有记忆功能的电路,它有两个稳定的电路状态,分别表示为 1 状态和 0 状态,称为双稳态电路。它以两种状态之一的形式存在。在没有输入时保持原状态不变。因此,触发器可存储 1 位的信息。触发器的电路结构建立在 R-S 锁存器(latch)的基础上。