

微计算机微处理机

硬件 软件 应用

前 言

微计算机自从七十年代初期出现以来，品种日益增多，性能也日趋完善。与此同时，价格也日趋下降。因此，微计算机获得了广泛的应用。现在，它不仅在大程度上取代传统的固定接线逻辑，而且已渗入了小型计算机的应用领域，并有大面积推广应用的趋势。

微计算机之所以能够如此迅速地发展，并得到广泛应用，除价格低廉，性能日益改进外，还因为它具有体积小，灵活性大，适应性强，能满足多方面需要等特点。因此是值得重点介绍，努力促进的新产品新技术。

我室为了早日实现四个现代化，使广大技术人员尽早地掌握和应用这一先进技术，翻译出版了这一本书。该书软件、硬件兼顾，较系统地介绍了微计算机的基础知识，具有一般电学知识的人不难看懂。书内附有练习，也可作为教科书使用。如读者欲进一步钻研某一方面的技术，该书每章后都附有详细的参考文献目录，为读者提供了线索。此外，作者还介绍了目前国外应用较广的多种微处理机和微计算机系统，书末并附有各机种的指令系统，可供读者参考。

由于我们水平很低，时间又较仓卒，错误在所难免，务请读者批评指正。

上海市电气成套自动化研究所情报室

1979.4

序

用大规模集成电路工艺制造的微处理机的开发应用，乃是现今电子设备领域里富有魅力的一大创举。预计这些器件对目前检测系统和计算机网络中所采用的普通数字系统的设计，将产生巨大影响，犹如晶体管之于真空管那样。微处理机加上存贮器和输入输出装置，便构成微计算机，其成本与日益广泛使用的普通随机逻辑电路不相上下。微计算机不仅在较小的系统中获得应用，以取代小型计算机，而且还正在开辟新的广阔应用范围，用于那些使用较大型计算机在经济上划不来的场合。

现在或最近的将来，微计算机将在诸如汽车、家用器具，销售终端、教学和医疗器械之类的新领域里得到应用。随着该种装置的应用日益推广，许多以前不熟悉数字器件的人们，觉得非理解它的操作不可。要使用这些装置，除新的硬件之外，还必须对计算机的程序设计(即软件)有所理解。

本书拟供从事微计算机数字系统设计、使用、或维修的人员阅读。虽然，详细了解硬件或软件确有裨益，但为使以前没什么经验的人也能看懂，本书仅限于一般水平。第一章对微计算机作一介绍，并说明了它应用在数字电子设备领域中的意义。第二章专门介绍普通数字逻辑电路，因为这方面的知识对于某些设备(例如接口网络)的正确使用是必要的。该章对那些原先只懂计算机软件的人最有帮助。接下来介绍了微计算机所采用的数制、算术运算以及代码(第三章)。第三章为那些原先只了解硬件的人提供了适当的基础知识。

第四章概述了微计算机的体系结构，包括典型微计算机的存贮器和微处理机部分。其后讨论了微计算机程序设计所用的软件(第五章)。该章对大多数微计算机所用的机器语言，符号(汇编)语言以及高级语言(PL/M)作了说明。第六章介绍了输入输出方法及典型接口技术。然后讨论了微计算机系统中常用的几种重要外围设备。

第七章专门介绍了几种市场上出售的微处理机和微计算机系统。其中有Intel(英特尔)、Motorola(莫托洛拉)、National Semiconductor(国家半导体)、RCA(美国无线电)以及Rockwell International(洛克威尔国际)等公司的产品。最后，第八章讨论了微计算机的设计方法，并介绍了几个用例，说明微计算机在某些系统中的应用，从而证明该种计算机在解决一般工程问题方面的能力和灵活性。

各章的结尾都附有练习题，这样，本书不但可以用作参考书，而且还可以作为教科书使用。希望本书将对所有关注数字系统的人们具有参考价值，并能填补硬件与软件，特别是用在微计算机上的硬件与软件之间的空隙。

约翰 L. 希尔本

保罗 M. 久利奇

目 录

序

第一章 导论	(1)
参考文献	(5)
第二章 数字逻辑	(6)
2.1. 基本逻辑门	(6)
2.2. 布尔代数	(12)
2.3. 数字集成电路	(19)
2.4. 触发器	(26)
2.5. 移位寄存器	(32)
2.6. 输出缓冲器	(34)
参考文献	(36)
练习	(37)
第三章 数制与代码	(39)
3.1. 十进制	(39)
3.2. 二进制	(39)
3.3. 八进制	(45)
3.4. 十六进制	(47)
3.5. 带符号的数和补码运算	(50)
3.6. 二进制编码数制	(55)
3.7. 带符号的十的补码的十进制运算	(58)
3.8. 美国信息交换标准代码(ASCII)	(58)
参考文献	(60)
练习	(60)
第四章 微计算机体系结构	(63)
4.1. 引言	(63)
4.2. 只读存储器 (ROM)	(66)
4.3. 读写存储器	(72)
4.4. 微处理器	(79)
参考文献	(93)
练习	(95)
第五章 软件	(97)
5.1. 引言	(97)
5.2. 程序设计	(98)
5.3. 流程图	(99)

5.4. 机器语言	(101)
5.5. 符号语言	(103)
5.6. 汇编语言程序设计的基础	(107)
5.7. 编辑程序	(118)
5.8. 高级语言	(121)
参考文献	(123)
练习	(124)
第六章 接口和外围设备	(126)
6.1. 引言	(126)
6.2. 程序数据传送	(128)
6.3. DMA 传送	(140)
6.4. 同步	(142)
6.5. 集成电路接口元件	(144)
6.6. 可编程序接口	(150)
6.7. 外围设备	(153)
参考文献	(160)
练习	(162)
第七章 微处理机与微计算机系统	(164)
7.1. 微处理机的选择	(164)
7.2. Intel 4004	(167)
7.3. Intel 4040	(177)
7.4. National IMP—4	(181)
7.5. Rockwell PPS—4	(188)
7.6. INTEL 8008/8008—1	(197)
7.7. INTEL 8080	(204)
7.8. Motorola 6800	(212)
7.9. RCA COSMAC	(217)
7.10. ROCKWELL PPS—8	(223)
7.11. NATIONAL PACE	(230)
7.12. 微处理机小结	(236)
参考文献	(239)
练习	(241)
第八章 设计方法及应用	(242)
8.1. 设计方法	(242)
8.2. 微计算机应用实例	(256)
参考文献	(270)
练习	(271)
附录 A INTEL 4004 和4040的指令系统	(273)

附录B	NATIONAL IMP—4的指令系统	(276)
附录C	ROCKWELL PPS—4的指令系统	(282)
附录D	INTEL 8008的指令系统	(288)
附录E	INTEL 8080的指令系统	(292)
附录F	MOTOROLA 6800的指令系统	(297)
附录G	RCA COSMAC的指令系统	(306)
附录H	ROCKWELL PPS—8的指令系统	(309)
附录I	NATIONAL PACE的指令系统	(317)

第一章 导 论

自1948年晶体管问世之后，微处理机是最令人鼓舞的技术成就之一。预计该种器件不仅会使数字电子设备领域发生革命，而且对我们这一代及后代的生活方式也将有很大影响。1971年英特尔(Intel)公司制成第一个微处理机——Intel 4004。这是采用金属—氧化物—半导体(MOS)工艺用大规模集成技术制成的单片式集成电路，原拟用于计算机。继4004之后不久，出现了各种微处理机，大多数主要的半导体制造厂都生产一个或几个型号。微处理机大都采用大规模集成技术：或用p沟道MOS工艺、n沟道MOS工艺、兰宝石上外延硅MOS工艺，或用双极工艺。

微处理机一般是用一个或几个集成电路组件实现的中央处理单元(CPU)，配备上存贮器和输入输出设备便构成微计算机，如图1.1的方框图所示。

微处理机由运算部件(ALU)及控制部件组成。运算部件对存贮器或输入装置来的数据进行算术和逻辑运算；控制部件，顾名思义是控制计算机内数据和指令的流程。控制部件从存贮器中取来指令，进行译码，并启动适当的电路系统执行指令，在执行过程中，它控制运算部件和输入输出设备按正常的事件顺序执行指令。存贮器用以存贮数据和指令，而输入输出设备是与外界传输数据必不可少的机构。

微处理机一般还需要一些附加电路系统，方能执行完整的CPU功能；所需硬件数量，各微处理机有所不同。但可以预期，随着更新的产品出现，所需支援电路可能越来越少。图1.2中给出了Intel MCS—80微计算机系列中的CPU组件。该组件包括一个8080微处理机、一只石英钟、存贮器及输入输出接口电路。8080是第三代的8位微处理机，它的前型产品——Intel 8008 是第一种8位的微处理机。

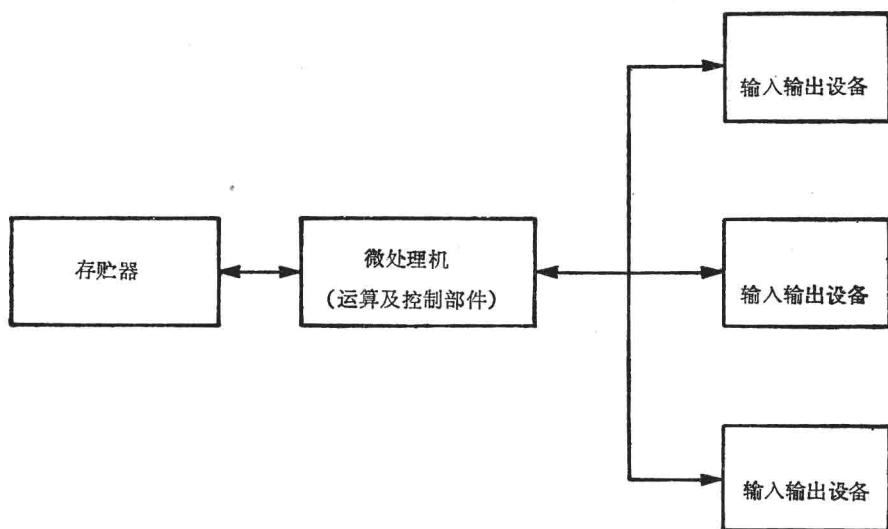


图1.1微计算机方框图

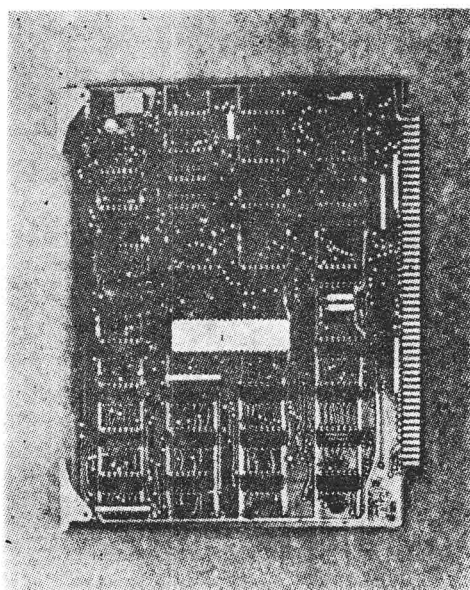


图1.2 Intel MCS—80的CPU组件

象所有的计算机一样，微计算机处理二进制信息。二进制信息是由二进制数字（称为比特）表示的。微计算机按照称作字的二进制信息组进行操作。组成一个字的位数，各微处理机不尽相同，常用的字长为4、8、12及16位。另一个常用的二进制信息单位是字节，由8位组成。

微处理机，实际上对所有数字系统的设计，都有强烈影响。它在许多过去使用随机逻辑电路的系统中得到应用〔1〕。在复杂系统中，微计算机常常比随机逻辑电路还便宜。随着时间和工艺的进展，微处理机的成本，有点象运算放大器集成电路所经历的那样，还要继续降低。

微计算机现正应用在过去一直采用小型计算机的作业中，而且在使用小型计算机经济上划不来的作业中，也正在开拓新的应用领域。性能上的限制（例如：速度低、字长较短、有限的寻址方式和内寄存器较少等），影响了第一代和第二代微计算机的竞争力，因而有些领域内现仍用小型计算机。但，由于更加高超工艺的发展，上述限制必将减少。

各微处理机的特性有很大差异，而且对特定的用途来说，某些微处理机显然比其它的更加合适。如按字长分类，各种微处理机的标准用途如下〔2，3〕：

4位系统

会计计算系统

各种器具

计算器

博弈机

智能检测系统
终端(简单的)

8位系统

控制系统
智能终端及仪器
销售终端
交通管制器
通信预处理机(数据集配器)
过程控制系统

16位系统

数据采集系统
数字控制
过程控制
智能终端
监控系统(气体、电力、水的分配)
自动测试系统

大多数微处理机制造厂都备有研制系统,有时也称为样机设计系统,供设计者使用。这些系统通常是由具有扩大存贮能力和输入输出能力的微计算机构成,对于设计专用微计算机系统特别适用。图1.3及图1.4给出了两个这类系统,分别是洛克威尔公司的 Rockwell PPS—4 Assemulator (4位机)和英特尔公司的 Intellec 8 (8位机)。

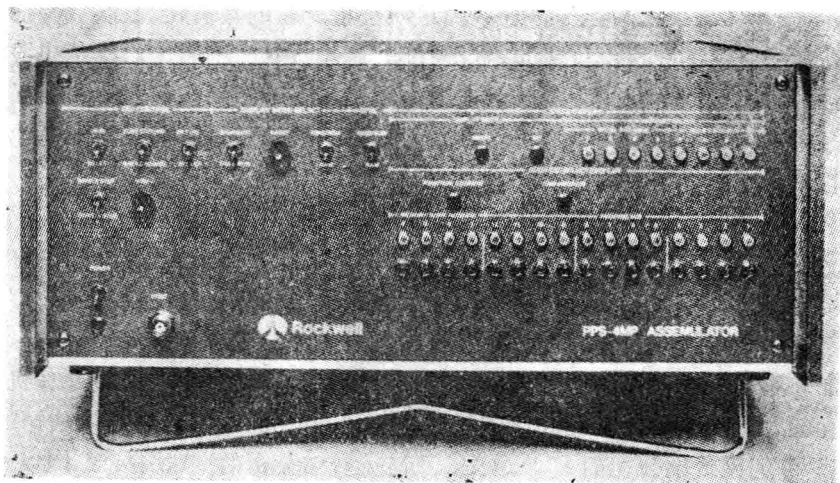


图1.3洛克威尔公司的Rockwell PPS—4 Assemulator

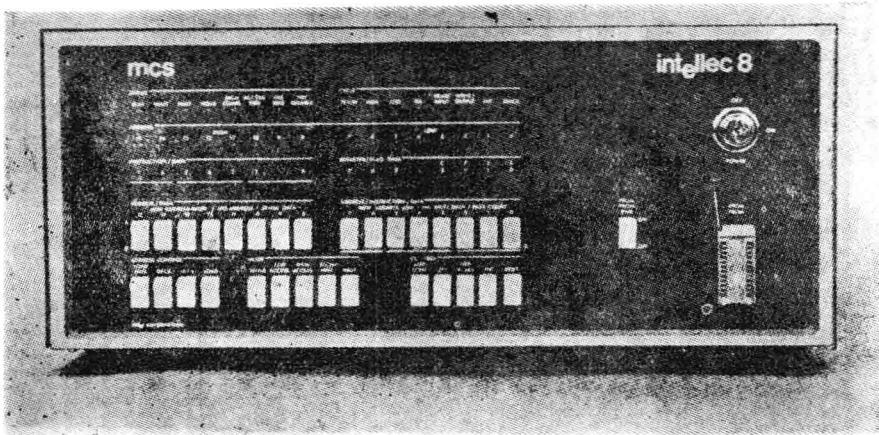


图1.4 英特尔公司的Intellect 8/Mod80

以下的介绍从讨论数字逻辑开始，第二章介绍了基本逻辑门、布尔代数、数字集成电路、触发器和移位寄存器。这些方面的知识，对理解和设计微计算机系统极为重要。过去仅从事计算机程序设计(即软件)的人，将发觉该章能使他们增进知识。

第三章讨论通用的数制及微计算机中使用的代码，其中包括二进制、八进制及十六进制数制，二进制反码及二进制补码的运算，二—十进制(BCD)数制，十进制补码运算及美国信息交换标准代码(ASCII)。

第四章讨论微计算机体系结构，包括存储器类型、只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)及微处理器结构，并介绍了典型微处理机的CPU寄存器、指令、寻址方式及指令执行过程。

软件在第五章中介绍，其中提到的有机器语言、符号(汇编)语言及高级语言(PL/M)，还介绍了程序设计、流程图及软件辅助程序(监督程序、编辑程序、汇编程序等)。该章及第六章还给出了许多程序设计的例子，用例都采用Intel MCS—4/40或MCS—8/80微计算机系统的记忆符号，因这两个指令系统具有代表性，而且为了避免给读者造成迷惑，也不宜使用过多的指令系统。这些指令简单明了，就是初学者也容易理解。再者，这些指令系统为大多数熟悉微处理器的人所熟知。第四章和第五章，对过去只具有普通逻辑电路硬件基础知识的人最为重要。微处理器采用全新的设计方法，其中硬件和软件具有同等重要的作用。

第六章研究接口方法及外围设备，讨论了程序控制的同步传送、异步传送及中断传送方式，还介绍了周期挪用传送及直接存储器访问(DMA)方式。该章介绍了每种传送方式的典型接口网络，并讨论了常用的接口集成电路及微计算机外围设备。介绍的外围设备有：模—数和数—模变换器、电传打字机、盒式磁带及软磁盘。

第七章介绍了一些常用的微处理器和微计算机系统。其中提到的微处理器有：英特尔公司的4004、4040、8008及8080，莫托洛拉公司的M6800，国家半导体公司的IMP—4及PACE，美国无线电公司的COSMAC及洛克威尔公司的PPS—4及PPS—8。该章还研究了为特定用途选择微处理器的方案。

第八章用提供设计范例的方法,对本书进行了总结,其中研究了国际商用机器公司(IBM)的电动打字机(Selectric)与大型计算机或计算器的接口问题,分析了该系统的设计方法,并设计了使用微处理机的接口部分。还介绍了几个用例,以说明微计算机的实用性和灵活性。

参 考 文 献

1. Lewis, Donald R. and W. Ralph Siena, "Microprocessors or Random Logic" (three-part series). Electronic Design, Vol. 21, No. 18 (Sept. 1, 1973).
2. "Primer on Microprocessors" (two-part series). Electronic products. Vol. 17, No. 9 (Feb. 17, 1975).
3. Weissberger, Alan J., "MOS/LSI Microprocessor Selection." Electronic Design, Vol. 22, No. 12 (June 7, 1974).

魏凤岗译 吴兴杰校

第二章 数字逻辑

2.1. 基本逻辑门

逻辑门是对一个或几个逻辑变量进行逻辑处理的电子电路。逻辑变量可以是两个具有不同数值(我们称之为态)的电信号。这两个态通常称为“真”和“假”。例如,逻辑变量 S 可代表单刀单投开关的状态。开关不是断开,就是闭合;所以 S 具有两个值。如 S 是“真”表示闭合状态,则 S 是“假”表示断开状态,如图2.1所示。此外,这两个态还常用来分别表示高(HI)和低(LO),是(YES)和否(NO),通(ON)和断(OFF)及逻辑“1”和“0”。

图2.1中赋值“高”和“低”是表现得非常明显的。开关闭合时,电池组电压(HI)施加在灯泡两端;而打开开关,则灯泡上的电压为零(LO)。该例中点亮的灯泡相当于“真”态,熄灭的灯泡相当于“假”态。换言之,如开关的赋值取1和0,我们就可以认为 $S=1$ 为“真”态(闭合), $S=0$ 为“假”态(断开)。

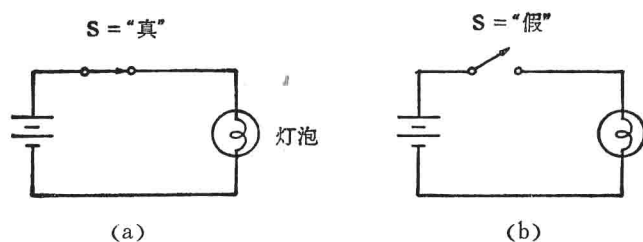


图2.1 用单刀单投开关表示“真”态(a)和“假”态(b)

用赋值0和1描述变量的态,具有特殊意义,因两态电子电路本来就是二进制器件。二进制数制中,0和1就是所需的全部数字。二值变量数学,是由克劳德 E. 香农[1]运用数学家乔治布尔[2]提出的概念,使之系统化的。因此,这一数学分支命名为布尔代数。布尔代数处理仅有两个值的布尔变量,如上述的那些逻辑变量。布尔变量一般取逻辑值0和1。

数字计算机能执行的逻辑运算类型是为数不多的,但每种运算却能执行极多的次数,计算机的基本操作就是控制和计数。现说明执行控制功能所需的逻辑门。

“与”门

“与”门是对两个或几个逻辑(布尔)变量求逻辑积或执行“与”运算的数字电路。逻辑积通常称为“与”,常使用的二变量 A 和 B 的“与”运算表达式是:

$$X = A \cdot B = AB = A.B = A \cap B = A \wedge B \quad (2.1)$$

本书中采用符号 $\wedge$, 以免使逻辑积和算术积混淆。

如用文字定义，就是只有在所有逻辑变量都是“真”的情况下，两个或几个逻辑变量的“与”运算方为“真”。在二变量的情况下(2.1)，A和B都为“真”时，X方为“真”；否则，X是“假”。A和B的各种组合及所得到的X值，由真值表给出。表2.1是(2.1)式的真值表；1和0分别用以表示“真”和“假”。

表2.1 $X = A \wedge B$ 的真值表

A	B	$X = A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

图2.2中用串联单刀单投开关构成的电路，可完成(2.1)式的“与”运算。只有在A、B两个开关都闭合时，电池组的电压才施加在灯泡上。如用灯泡的点亮与否(接通—“真”，断开—“假”)表示X，那么该电路便能执行A、B的“与”运算。

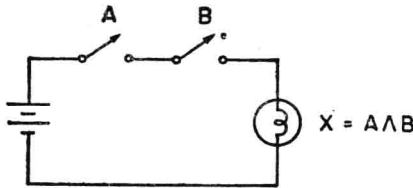


图2.2 执行 $X = A \wedge B$ 的电路

现在各种逻辑门采用多种逻辑符号表示，应用较广的是电气电子工程师协会91号标准(ANSI—Y32.14—1973)规定的特征式符号和矩形符号[3]。矩形符号实际上与国际电工委员会刊物(117—15)所推荐的二进制逻辑元件图示符号是一致的。图2.3所示是两输入端“与”门所用的特征式符号和矩形符号。

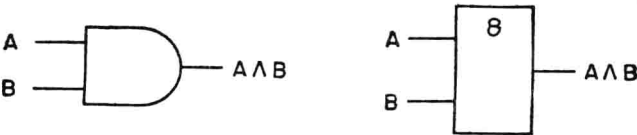


图2.3 两输入端“与”门所用的逻辑符号
(a)特征式符号 (b)矩形符号

任何数量的变量都可进行“与”运算，三变量的表达式为：

$$X = A \wedge B \wedge C \tag{2.2}$$

表2.2是(2.2)式的真值表，相应的逻辑符号见图2.4。

表2.2 $X = A \wedge B \wedge C$ 的真值表

A	B	C	$X = A \wedge B \wedge C$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

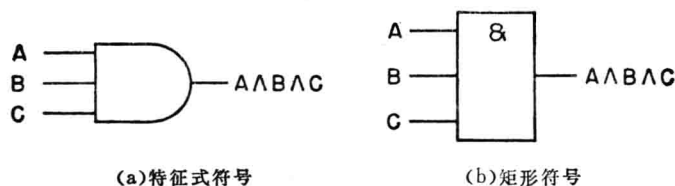


图2.4 三输入端“与”门逻辑符号

“或”门

“或”门是对两个或几个逻辑(布尔)变量求逻辑和或进行“或”运算的电子电路。逻辑和通称为“或”。通常使用的二变量A、B的“或”运算表达式是：

$$Y = A + B = A \vee B = A \cup B \quad (2.3)$$

以下采用符号 $\vee$ 。

如用文字定义，就是两个或几个逻辑变量中有一个为“真”时，它们的“或”运算便为“真”。在(2.3)式的情况下，只要A或者B为“真”，或者两者都为“真”，Y便为“真”。这一运算的真值表见表2.3，它可以说明逻辑和与算术和的差别，在最后一行中我们看到逻辑和 $1 \vee 1 = 1$ 。

表2.3 $Y = A \vee B$ 的真值表

A	B	$Y = A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

图2.5所示,是用并联单刀单投开关组成的“或”运算电路,能完成(2.3)式的运算。只要开关A和B中的任一个或两个都闭合,电源电压便使灯泡点亮;所以灯泡可以明显地

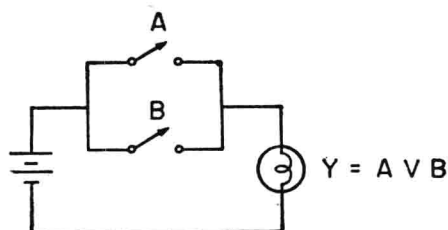


图2.5 $Y = A \vee B$ 的电路

表示 $A \vee B$ 。两输入端“或”门的逻辑符号见图2.6。

和“与”门的情况一样,进行“或”运算的变量个数可以是无限的。三变量的情况下,表达式为:

$$Y = A \vee B \vee C \quad (2.4)$$



图2.6 两输入端“或”门的逻辑符号

(a)特征式符号 (b)矩形符号

表2.4给出了(2.4)式的真值表,相应的逻辑符号见图2.7。

表2.4 $Y = A \vee B \vee C$ 的真值表

A	B	C	$Y = A \vee B \vee C$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

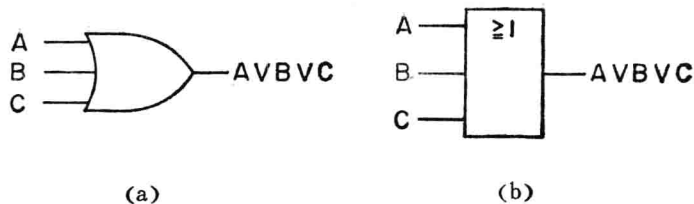


图2.7 三输入端“或”门的逻辑符号
(a)特征式符号 (b)矩形符号

反相器(“非门”)

非门是对一个逻辑变量进行“非”运算的电子电路,产生这个变量的补。例如, A 为“真”,则 A 的补(A 非)为“假”;反之, A 为“假”,则 A 的补为“真”。变量 A 的“非”运算所广泛采用的表达式为:

$$N = \overline{A} = A' \quad (2.5)$$

我们采用 $\overline{A}$, 读作“A 非”,或“A 的补”。

用 1 和 0 赋值时, $A=1$, 则 $\overline{A}=0$, 反之亦然。表 2.5 是“非”门的真值表,相应的逻辑符号见图 2.8。“非”门与“与”门和“或”门不同,仅有一个输入端。

表 2.5 “非”门的真值表

A	$\overline{A}$
0	1
1	0

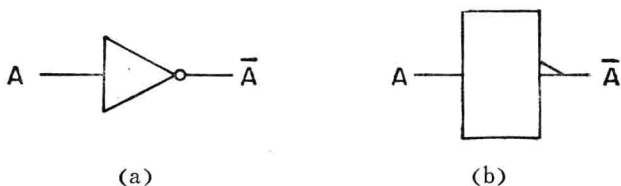


图 2.8 “非”门的逻辑符号
(a)特征式符号 (b)矩形符号

“与非”门

“与非”门是执行“与非”运算的电子电路,只要用一个非门使“与”门的输出反相,便构成“与非”门,如图 2.9 所示。A、B 变量“与非”运算的表达式为:

$$X = \overline{A \cdot B} = \overline{AB} = \overline{A} \cdot \overline{B} = \overline{A} \wedge \overline{B} = \overline{A} \cap \overline{B} = A \uparrow B \quad (2.6)$$

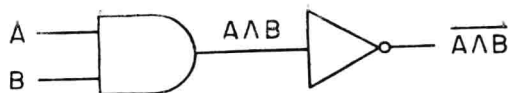


图2.9 由“与”门和“非”门构成的“与非”门

我们采用 $\overline{A \wedge B}$ 的表示法，读作“A与非B”。

既然“与非”门是由一个“与”门和一个“非”门组成的，似乎就没有必要另外定义一个门。但是，正如2.3节将遇到的那样，“与非”门却是几种集成逻辑电路中的基本门电路。所以，这一定义十分重要，是经常使用的。

表2.6是三输入端“与非”门的真值表，相应的逻辑符号见图2.10。由图2.10可见，图2.9中的“非”门被“与”门输出端的一个小圆圈所代替。一般说来，门电路符号输入或输出端的这一小圆圈表示反相。

表2.6 $X = \overline{A \wedge B \wedge C}$ 的真值表

A	B	C	$X = \overline{A \wedge B \wedge C}$
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

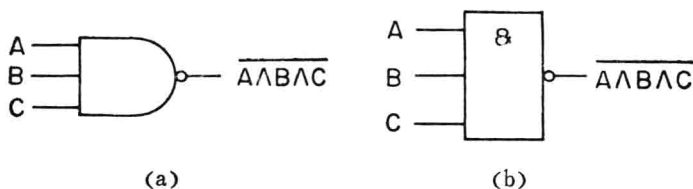


图2.10 三输入端“与非”门的逻辑符号
(a)特征式符号 (b)矩形符号

“或非”门

“或非”门是执行“或非”运算的电子电路，由“或”门输出端串联一个“非”门构成，见图2.11。变量A、B“或非”运算常用的表达式为：

$$Y = \overline{A + B} = \overline{A \vee B} = \overline{A \cup B} = A \downarrow B \quad (2.7)$$

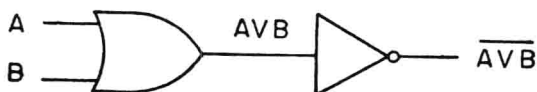


图2.11 由“或”门和“非”门构成的“或非”门