

非计算机类专业用教材

微型计算机原理及应用

郑学坚 朱善君 严继昌 编著

WEIXING JISUANJI
YUANLI JI YINGYONG

6-43
J/1

清华大学出版社

非计算机类专业用教材

微型计算机原理及应用

郑学坚 朱善君 严继昌 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是根据全国高等学校非计算机专业计算机课程教材会议(1985)的精神编写的“微型计算机原理及应用”课程的教材。内容包括:计算机基础知识,微型计算机的基本组成电路,模型式计算机的工作原理,微型计算机的结构及指令系统,典型程序设计,汇编语言与汇编程序,输入输出及中断方式,Z80接口芯片 微机接口技术,微型计算机的应用。对单板计算机也做了简介。各章有习题,书末附有答案,并附有实验指示书。

本书可供高等院校理、工、医、农各非计算机类专业用作教材,学时在48~56之间。也可供科技人员用作自学课本。

JS302/00

微型计算机原理及应用

郑学坚等 编著

清华大学出版社出版

北京 新华园

北京市昌平握南排版厂排版

北京市联华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 553 (千字)

1987年1月第1版 1987年4月第2次印刷

印数: 20001~89000

统一书号: 15235.257 定价: 3.10元

序

微型计算机自七十年代出现以来,十多年间,已被引入到科研、生产、生活以及其他各个方面。概括地说,微型计算机应用可以有两个大的类型。其一是检测控制类,其二是数据处理类。检测控制型的微型计算机应用系统的特点是其与服务对象有较多的硬件联系,控制功能上有实时要求。这就要求技术人员既要会根据对象的特点设计其相应的软件(应用程序),也需要了解微型计算机的硬件特点,其中包括检测通道和控制通道的设计,放大整形环节和模数转换及数模转换环节的选用。此外,有关的接口芯片的工作原理和应用方法也要有一定的认识。

当微型计算机用来进行科学计算、辅助设计、企业管理时,应用者对微型计算机的工作原理及硬件结构有一定的了解,也是很有好处的。

因此,高等院校,尤其是理、工、农、医学院的学生和研究生应该对微型计算机的工作原理有一定深度的认识。当然,对于非计算机类专业的要求应该有别于计算机类专业。本书的编写目的就是为了满足高等院校教材在这方面的需要。

本书的作者近几年来对非电类专业的科技人员作过多次的培训工作。在教材方面也编著过《微型计算机入门及应用》(农业出版社,1984年7月)和《Z80单板计算机》(机械工业出版社,1985年6月)。这两本教材在其正式出版之前即已广泛地被采用为各种类型的微型计算机学习班的学习资料或教材。在其出版之后曾在清华大学非电类专业研究生的“微型计算机原理及应用”选课中试用过,取得的效果是肯定的。就是在这个基础上,作者根据高等院校非计算机类专业的特点,编写出此书。相信经过更广泛的试用,必会取得成功的经验。

祝贺本书作者所取得的成就,并希望本书对广大的工程技术人员及大专院校的学生和研究生作出较大的贡献。

清华大学自动化系
郑维敏

前 言

由于科学技术的迅速发展,计算机尤其是微型计算机应用技术的开发,高等院校中各种类型的专业都越来越重视微型计算机的应用,以解决各自专业的实际问题。过去若干年来,计算机只被作为一种科学计算的工具,用以求解某些费时易错的复杂计算。对于那些手工计算几乎是不可能的求解问题,计算机更是非用不可的工具。因此,很多专业的大学生及研究生都必须选修计算机的一两种高级语言课程,以满足科研、设计的需要。

问题如果只局限于求解复杂的科学计算,那么,学习一两种高级语言课程是可以满足教学计划的了。但是近一两年来,越来越多的专业对于实时检测与实时控制显得更加注意。因为,以往虽然对很复杂的问题进行了计算机计算,并得到了解答,但并不能直接对实际的科技或生产系统产生影响,而必须有人的参与,才能起到作用。这就是非实时的,或者说是离线的控制。这样的控制方式,可能是落后的,有时甚至是完全不可取的,必须代之以及时的判断与决策,并且立即给出控制信息,才能使生产系统正常而高效率的运行,并产生最优的效果。

因此,高等院校中很多专业逐步要求为其学生开设有关微型计算机原理及其应用的课程。“计算机原理”与“计算机高级语言”虽然都是针对计算机的,但各有些偏重。前者着重讲述计算机的基本结构,内部信息流通和指令系统的基本原理,这也是有关计算机的硬件问题的分析。后者则可以脱离计算机的硬件结构而专门讲述编写程序的技巧,而编写程序的语句是以英语的语言为基础的。对于说英语的民族和懂得英语的人们是比较容易学会和使用的。这就是说,应用高级语言编写程序的人可以完全不必去学习计算机的硬件结构及内部信息流通的原理,就可研制计算机的软件。不过,这样的程序设计员是不可能进行实时控制(或检测)系统的程序编制的。因为实时控制系统是和控制对象、计算机本身的硬件结构关系十分密切的。

根据最近在合肥召开的高等院校教材编审委员会计算机应用专业教材编审小组会议的建议,在高等院校的非电类专业(除计算机、自动化、电机电器及无线电等专业之外),应该设置“微型计算机原理及应用”的课程。这样,就可以更充分地发挥微型计算机在各种专业的科研、设计、工艺施工等方面的作用,从而提高各专业学生的业务水平。

本书编写的目的就是想在这方面作出一点贡献。但由于各种专业类型很多,要求各异,难以强求一致,因此,本书只能在最基本的原理方面作一定深度的阐述。由于非计算机类专业的教学计划不可能提供更多的学时,故在应用方面也只能讲一些典型的系统结构和一两个实例。如果感到不足的话,各专业可根据实际需要而增加各自感兴趣的实例。

本书的主要内容包括在下述的十一章之中。第一章,讲述数制,逻辑电路,布尔代数以及简单的二进制运算知识。用很有限的篇幅,介绍学习本书以后各章所必备的基础知识,对于初学者暂时不必深究的某些理论则尽量删减,以免分散精力。第二章介绍微型计算机的基本组成电路,主要讲述算术逻辑部件(ALU)、触发器、寄存器及存储器的基本原理及其符号,同时也陆续介绍总线结构和控制字的概念以及信息流通的过程。第三章则以模型式计算机为例来剖析微型计算机的工作原理,其中包括主要硬件结构,指令系统,程序设计,指令

执行的过程，即例行程序和控制器的原理等。第四章开始则介绍以 Z80-CPU 为代表的微型计算机的结构及其指令系统的分类解释，力求对其有较深刻的理解，以加强今后学习的基础。第五章讲述一个典型的单板微型计算机的硬件结构及存储空间分配和输入输出的接口地址。第六章则介绍微型计算机的典型程序设计，如简单程序、分支程序、循环程序、子程序、查表程序等。第七章介绍汇编语言和汇编程序，使学生能够掌握伪指令、宏指令以及条件汇编等效率较高的编程技巧。第八章介绍输出输入的查询方法和中断方式的应用。第九章讲述三种 Z80 系列的接口芯片：CTC、PIO 及 SIO 的结构和初始化技术。第十章专门讲述微型计算机的接口技术，其中包括微型机与开关按钮、LED 显示器、CRT 显示器等的接口方法，最后还介绍了 A/D 及 D/A 转换器的原理及接线法。第十一章则专门讲述微型计算机的应用，首先举一个典型的较全面的微型计算机检测控制的例子，接着以交通管理为例说明开环控制，而以温度控制说明闭环控制系统的意义，又扼要地介绍了多控制对象的检测控制系统的组成和多变量寻优系统的原理，还有一节专门介绍一个大惯性、长纯滞后的热过程的微型机控制系统，最后一节概要地论述了微型机在数据处理中应用的原理。

各章大都附有习题，附录中还有习题答案。为了配合实际操作，附录中还有 TP801 单板微型计算机的操作介绍以及四个实验指示书。

为了使本书自成系统，附录中附有详细的 Z80 指令系统表。学习本书的读者，可以不必到处翻阅参考资料就可以进行较完善的学习。

本书可供 48~56 小时的教学计划的讲授之需要。

由于作者的水平和实际经验的限制，本书必定有很多错误或不足之处，希读者不吝指正。

编 者

1986 年 1 月于清华园

绪 论

世界上第一台可以由程序控制的计算机称为电子数字积分器与计算器 (Electronic Numerical Integrator And Calculator) 简称ENIAC。它是在1946年为了弹道设计的需要而由美国宾夕法尼亚大学研制出来的。这台计算机的字长只有12位, 运算速度为每秒5000次加法运算, 但它却是庞然大物, 使用18800个电子管, 1500个继电器, 占地面积为150平方米, 重达30吨, 耗电150千瓦。其造价为100多万美元。在今天看来, 这个计算机既贵且重, 字长不够长而耗电又很多。不过, 它的出现, 正是今天大小不一、花样繁多的各种类型计算机的先驱, 为发展至今的电子计算机奠定了技术基础。此后的三十多年, 计算机的发展, 日新月异。如果该ENIAC称为第一代电子计算机的话, 至今已发展至第四代的超大规模集成电路计算机了。并且第五代计算机也正在研制之中。

第一代就是电子管数字计算机, 其发展年代大约为1946至1958年。此时计算机的逻辑元件采用电子管。主存储器采用磁鼓, 磁芯。外存储器已开始采用磁带。软件主要用机器语言来编制程序, 后期逐步发展了汇编语言。当时主要用作科学计算。

第二代是晶体管计算机, 其发展年代大致为1958至1964年。计算机的逻辑元件为晶体管。主存储器仍用磁芯, 外存储器已开始使用磁盘。软件已开始有很大的发展, 出现了各种高级语言及编译程序。此时计算机的应用已发展至各种事务的数据处理, 并开始用于工业控制。

第三代是集成电路计算机, 其发展年代为1964至1971年。此时的计算机, 其逻辑元件已开始采用小规模和中规模的集成电路, 即所谓SSI和MSI。主存储器仍以磁芯为主。软件发展更快, 已有分时操作系统。会话式的高级语言也已出现并有相当的发展。小型计算机也随着集成电路规模的增大而很快地发展起来。应用的范围也日益扩大, 企事业单位管理与工业控制部逐步引入小型计算机。

第四代是大规模集成电路发展起来之后的产物。这是从1971年之后发展起来的。所谓大规模集成电路 (LSI) 是指在单片硅片上可以集成1000至20000个晶体管的集成电路。由于LSI的体积小, 耗能很少, 可靠性很高, 因而促使微型计算机以很快的速度在发展。现在微型计算机的类型已很多, 体积越来越小, 已有单板微型计算机, 单片微型计算机出现。在工业上已有很普遍的应用, 在商业上的应用更是五花八门, 有些便携式微型计算机更为有利于办公室自动化以至家庭自动化的发展。

微型计算机 (Microcomputer) 的特点, 与大、中、小型计算机的区别, 就是在于其中央处理器 (CPU) 是集中在一小块硅片上的, 而大、中、小型计算机的CPU则是由相当多的电路 (或集成电路) 组成的。为了区别于大、中、小型计算机的CPU, 而称微型计算机的CPU芯片为**微处理器 MPU (Microprocessing Unit 或 Microprocessor)**。

微型计算机除有MPU作为中央处理器之外, 还有以大规模集成电路制成的主存储器和输入输出接口电路。这三者之间是采用总线结构联系起来的。

如果再配上相应的外围设备如电视屏幕显示器 (CRT)、键盘及打印机等, 这就成为**微型计算机系统 (Microcomputer System)**。实际上作为数据处理的必须是较完备的微型计

算机系统。作为工业控制,尤其是小型仪器仪表或小型设备的检测控制,则可只用微型计算机,单板计算机或单片计算机,甚至是一位计算机,这样可以尽量缩小机器的体积,不过此时又得增加相应的检测通道和控制通道,如放大器和A/D或D/A转换器之类的辅助元件或电路。

关于这方面的内容,正是本书在讲完微型计算机的结构与工作原理之后要详细介绍的。

微型计算机的应用范围已渐扩展,可以说已达到无孔不入的程度。现在科学技术界正在谈论3C(Communication, Computer, Control)和3A(Factory Automation——F.A; Office Antomation——O.A; Home Automation——H.A)正是建立在微型计算机高度发展并且性能价格比越来越大的基础上的。

本书的目的就是满足广大工程技术工作者迅速掌握微型计算机的需要的。为此目的,在工科院校的电类专业(包括计算机、自动化、无线电以及电机电器专业)固然已经设有类似的课程,如“计算机原理”、“微型计算机原理及应用”、“微型计算机控制技术”等等。在非电类专业,包括理、工、农、医的大学生和研究生也日渐感到学习并掌握微型计算机的原理以及粗略懂得其应用的需要。本书的内容与份量就是针对这类大专院校的学生与研究生的特点而设计的。当然,在职的工程技术人员,也可采用本书作为教材,配以适当的实验设备,在有经验的教师指导下,也是可以达到同样的目的的。

目 录

绪论

第一章 计算机基础知识	1
§ 1-1 数制	1
§ 1-2 逻辑电路	3
§ 1-3 布尔代数	4
§ 1-4 二进制数的运算及其加法电路	9
习题.....	14
第二章 微型计算机的基本组成电路	16
§ 2-1 算术逻辑部件 (ALU)	16
§ 2-2 触发器 (Trigger)	16
§ 2-3 寄存器 (Register)	19
§ 2-4 三态输出电路 (三稳态电路)	25
§ 2-5 寄存器之间的数据传输——总线结构	26
§ 2-6 存储器 (Memory) 概论.....	27
§ 2-7 只读存储器 (ROM)	28
§ 2-8 随机存储器 (RAM)	30
习题.....	33
第三章 模型式计算机的工作原理	34
§ 3-1 模型式计算机的硬件组成	34
§ 3-2 指令系统	36
§ 3-3 程序设计	37
§ 3-4 执行指令的例行程序	40
§ 3-5 控制部件	44
§ 3-6 模型式计算机功能的扩展	47
§ 3-7 初级程序设计举例	50
§ 3-8 控制部件的扩展及微程序设计的概念	56
习题.....	58
第四章 微型计算机的结构及指令系统	60
§ 4-1 微型计算机的结构及指令执行过程	60
§ 4-2 Z80-CPU 内部结构.....	63
§ 4-3 Z80-CPU 外部引线.....	65
§ 4-4 Z80-CPU 的助记符语言及指令的格式和分类.....	67
§ 4-5 传送类指令	74
§ 4-6 数据操作类指令	80
§ 4-7 程序控制类指令	84

§ 4-8 CPU控制类指令	88
§ 4-9 其它几种CPU 的性能简介	90
习题	92
第五章 以 Z80-CPU 为中央处理器的单板计算机简介	94
§ 5-1 Z80 单板计算机的功能及技术指标	94
§ 5-2 TP 801 单板计算机的电路原理	96
§ 5-3 存储器的连接及存储空间分配	98
§ 5-4 输入输出接口连接及接口地址	100
习题	103
第六章 微型计算机的程序设计	104
§ 6-1 程序设计步骤	104
§ 6-2 简单程序	105
§ 6-3 分支程序	107
§ 6-4 循环程序	111
§ 6-5 子程序	114
§ 6-6 查表程序	118
习题	119
第七章 微型计算机的汇编语言及汇编程序	120
§ 7-1 各种计算机语言的特点	120
§ 7-2 汇编语言的规范	121
§ 7-3 汇编程序的功能及汇编过程	132
§ 7-4 汇编语言程序设计举例	133
第八章 输入输出及中断方式	141
§ 8-1 输入输出概念	141
§ 8-2 输入输出传送方式	143
§ 8-3 中断的概念	148
§ 8-4 CPU 响应中断的条件及响应过程	149
§ 8-5 中断源寻找及优先权排队	150
§ 8-6 Z80 系统的中断方式	154
习题	157
第九章 Z80 的接口芯片	158
§ 9-1 Z80-CTC 的结构和工作原理	158
§ 9-2 Z80-CTC 的引脚说明	160
§ 9-3 Z80-CTC 的控制字规约及初始化程序设计	162
§ 9-4 Z80-CTC 应用实例——电子时钟程序设计	166
§ 9-5 Z80-PIO 的结构和工作原理	171
§ 9-6 Z80-PIO 的引脚说明	172
§ 9-7 Z80-PIO 的控制字规约及初始化程序设计	174
§ 9-8 Z80-PIO 应用实例——打印机接口	181
§ 9-9 Z80-SIO 的结构和工作原理	184

§9-10 Z80-SIO 的应用概述	189
习题	208
第十章 微型计算机的接口技术	209
§ 10-1 微型计算机与开关按钮的接口	209
§ 10-2 微型计算机与LED显示器的接口	210
§ 10-3 微型计算机与键盘的接口	213
§ 10-4 微型计算机与CRT 显示器的接口	221
§ 10-5 微型计算机与A/D转换器和D/A转换器的接口	226
习题	236
第十一章 微型计算机的应用	238
§ 11-1 微型计算机应用的意义	238
§ 11-2 典型微型机检控系统的组成	239
§ 11-3 微型计算机在开环控制系统中的应用	240
§ 11-4 以微型计算机为基础的闭环控制系统	244
§ 11-5 微型计算机在多对象检测及控制系统中的应用	246
§ 11-6 微型计算机在多变量寻优系统中的应用	247
§ 11-7 微型计算机在过程控制系统中的应用	249
§ 11-8 微型计算机在数据处理上的应用	255
习题	260
附录	261
附录 I TP801 单板计算机键盘操作说明	261
附录 II Z80 指令系统表	276
附录 III ASCII 字符表 (美国信息交换标准码)	305
附录 IV 实验指示书	305
附录 V 习题答案	312
参考文献	328

第一章 计算机基础知识

计算机是微电子学与计算数学相结合的产物。微电子学的基本元件及其集成电路形成计算机的硬件基础，而计算数学的计算方法与数据结构则为计算机的软件基础。

本章简要地阐述计算机中最基本的电路元素及最主要的数学知识。对于已有这些知识的读者，本章将起到复习和系统化的作用。对于未曾接触过这方面内容的读者，本章的内容是必要的入门知识，因为这是以后各章的基础。对于初学计算机的读者而言，具备了本章所阐述的基础知识，即足以满足本书学习的需要，而不必另找参考资料。本章的目的也就是为了使本书能够自成系统，读者不必依赖于更多的参考书刊。

§ 1-1 数 制

数制是人们利用符号来计数的科学方法。数制可以有很多种，但在计算机的设计与使用上常使用的则为十进制、二进制、八进制和十六进制。

一、数制的基与权

数制所使用的数码的个数称为基；数制每一位所具有的值称为权。

十进制 (Decimal System) 十进制的基为“十”，即它所使用的数码为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9，共有十个。十进制各位的权是以 10 为底的幂，如下面这个数：

5	2	3	7	9	1
10^5	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0
十万	万	千	百	十	一

其各位的权为个、十、百、千、万、十万，即以十为底的 0 幂、1 幂、2 幂、3 幂……等。故有时为了说话简便而顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位、3 权位等。

二进制 (Binary System) 二进制的基为“二”，即其使用的数码为 0、1，共二个。

二进制各位的权是以 2 为底的幂，如下面这个数：

1	1	0	1	1	1
2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
三	十	八	四	二	一
十	六				
二					

其各位的权为一、二、四、八……，即以二为底的 0 次幂、1 次幂、2 次幂、3 次幂……等。故有时也顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位……等。

八进制 (Octave System) 八进制的基为“八”，即其数码共有八个：0、1、2、3、4、5、6、7。八进制的权为以 8 为底的幂，有时也顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位等。

十六进制 (Hexadecimal System) 十六进制的基为“十六”，即其数码共有十六个：

0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。十六进制的权为以 16 为底的幂，有时也称其各位的权为 0 权、1 权、2 权等。

在微型计算机中这些数制都是常用到的，但在本书后面的内容中，二进制和十六进制更为常用，希初学者注意。

二、为什么要用二进制

电路通常只有两种稳态：导通与阻塞，饱和与截止，高电位与低电位等。具有两个稳态的电路称为二值电路。因此，用二值电路来计数时，只能代表二个数码：0 和 1。如以 1 代表高电位，则 0 代表低电位，所以，采用二进制，就可以利用电路进行计数工作。而用电路来组成计算机，则有运算迅速、电路简便、成本低廉等优点。

三、为什么要用十六进制

用十六进制既可简化书写，又便于记忆。如下列一些等值的数：

$$1000_{(2)} = 8_{(16)} \text{ (即八)}$$

$$1111_{(2)} = F_{(16)} \text{ (即十五)}$$

$$11\ 0000_{(2)} = 30_{(16)} \text{ (即四十八)}$$

$$1111\ 1001_{(2)} = F9_{(16)} \text{ (即二百四十九)}$$

可以看出用十六进制，可以写得短些，也更易于记忆。试看一下，是记 $F9_{(16)}$ 容易呢？还是记 $1111\ 1001$ 容易呢？尤其是，当二进制位数很多时，更可看到十六进制的优点了。如：

$$1010\ 1101\ 1000\ 0101_{(2)} = AD85_{(16)}$$

显然，记 $AD85_{(16)}$ 要比记十六位的二进制数容易得多了。

上面书写的意义：在数字后面加上 (2) 和 (16) 是指二进制和十六进制。同理如写 (8) 和 (10) 则表示为八进制和十进制。也有用字母符号来表示这些数制的：

B——二进制，H——十六进制，D——十进制，O——八进制。

通常以上下文可以理解所写的数是什么进位时，就不必附加数制符号。

四、数制的转换方法

由于我们习惯用十进制计数，在研究问题或讨论解题的过程时，总是用十进制来考虑和书写的。当考虑成熟后，要把问题变成计算机能够“看得懂”的形式时，就得把问题中的所有十进制数转换成二进制代码。这就需要用到“十进制数转换成二进制数的方法”。在计算机运算完毕得到二进制数的结果时，又需要用到“二进制数转换为十进制数的方法”，才能把运算结果用十进制形式显示出来。

1. 十进制数转换成二进制数的方法

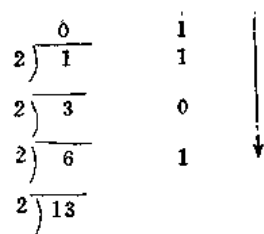
一般可用下列方法来求一个十进制数的二进制代码：

用 2 除该十进制数可得商数及余数，则此余数为二进制代码的最小有效位 (LSB) 之值。

再用 2 除该商数，又可得商数和余数，则此余数为 LSB 左邻的二进制数代码。

用同样的方法继续用 2 除下去，就可得到该十进制数的二进制代码。

〔例〕 求 13 的二进制代码。其过程如下：



(由上往下读, 可从左至右写出二进制代码)

结果为: 1101

2. 二进制数转换成十进制数的方法

这可以由二进制数各位的权乘以各位的数(0或1)再加起来就得到十进制数。

〔例〕

	1	0	1	0	1	1
权	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
乘积	16	0	8	0	2	1
累加						33
结果						$33_{(10)}$

此外, 还有十进制与十六进制互相转换

其方法和上述的差不多, 都可以从数制的定义中找到转换的方法。

§ 1-2 逻辑电路

逻辑电路由其三个基本门电路(或称判定元素)所组成。图 1-1 是这几个门电路的名称、符号及表达式。

在这三个基本元素的基础上, 还可发展成如图 1-2 那样的更复杂的逻辑电路。

最后一个, 叫做缓冲器 (Buffer)。实为二个非门串联以达到改变输出电阻的目的。如 A 点左边电路的输出电阻很高的话, 则经过这个缓冲门之后, 在 Y 点处的输出电阻就可以变得低许多倍。这就能够提高带负载的能力。

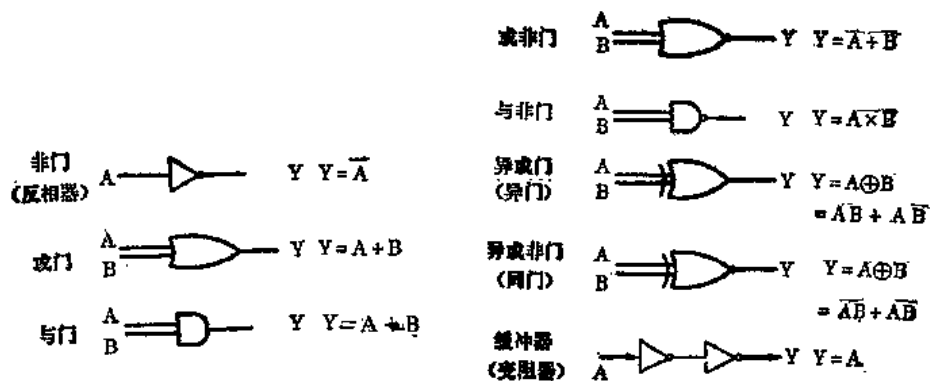


图 1-1 三个基本门电路

图 1-2 其它的门电路

§ 1-3 布尔代数

布尔代数亦称开关代数或逻辑代数。也和一般代数一样，可以写成下面这样的表达式：

$$Y=f(A, B, C, D)$$

但它有两个特点：

第一，其中的变量 $A, B, C, D, \dots$ 等均只有两种可能的数值：0 或 1。布尔代数变量的数值并无大小之意，只代表事物的两个不同性质，如用于开关上，则：

0 代表开（断路）或低电位

1 代表关（通路）或高电位

如用于逻辑推理，则：

0 代表错误（伪）

1 代表正确（真）

第二，函数 f 只有三种基本方式：“或”运算，“与”运算及“反”运算。下面分别讲这三种运算的规律。

一、“或”运算 ($Y=A+B$)

由于 A 与 B 只有 0 或 1 的可能取值，所以可以将其各种可能结果列写如下：

$$\begin{array}{l} Y=0+0=0 \longrightarrow Y=0 \\ Y=0+1=1 \\ Y=1+0=1 \\ Y=1+1=1 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} Y=0+0=0 \\ Y=0+1=1 \\ Y=1+0=1 \\ Y=1+1=1 \end{array}} \right\} \longrightarrow Y=1$$

第四个式子与一般的代数加法不符，这是因为 Y 也只能有两种数值：0 或 1。

上面四个式子可归纳成两句话，两者皆伪者则结果必伪，有一为真者则结果必真。这个结论也可推广至多变量： $A, B, C, D, \dots$ 。各变量全伪者则结果必伪，有一为真者则结果必真，写成表达式如下：

设 $Y=A+B+C+D+\dots$

则 $Y=0+0+\dots+0=0 \longrightarrow Y=0$

$$Y=1+0+\dots+0=1$$

$$Y=0+1+\dots+0=1$$

.....

$$Y=1+1+1+\dots+1=1$$

$$\left. \vphantom{\begin{array}{l} Y=1+0+\dots+0=1 \\ Y=0+1+\dots+0=1 \\ \dots \\ Y=1+1+1+\dots+1=1 \end{array}} \right\} \longrightarrow Y=1$$

这意味着，在多输入的或门电路中，只要其中一个输入为 1，则其输出必为 1。或者说只有全部输入均为 0 时，输出才为 0。

或运算有时也称为“逻辑或”。当 A 和 B 为多位二进制数时，如

$$A=A_1 A_2 A_3 \dots A_n$$

$$B=B_1 B_2 B_3 \dots B_n$$

则进行“逻辑或”运算时，各对应位分别进行“或”运算：

$$y=A+B$$

$$= (A_1+B_1) (A_2+B_2) (A_3+B_3) \dots (A_n+B_n)$$

〔例〕 设 $A=10101$

$B=11011$

则 $Y=A+B$

$$= (1+1)(0+1)(1+0)(0+1)(1+1)$$

$$=11111$$

写成竖式则为:

$$\begin{array}{r} 10101 \\ +) 11011 \\ \hline 11111 \end{array}$$

注意, 1“或”1等于1, 是没有进位的。

二、“与”运算 ($Y=A \times B$)

根据 A 和 B 的可能取值 (0 或 1) 可以列写出下列各种可能的运算结果:

$$\left. \begin{array}{l} Y=0 \times 0=0 \\ Y=1 \times 0=0 \\ Y=0 \times 1=0 \\ Y=1 \times 1=1 \end{array} \right\} \rightarrow Y=0$$
$$Y=1 \times 1=1 \rightarrow Y=1$$

这种运算结果也可归纳成两句话: 二者为真者结果必真, 有一为伪者结果必伪。同样, 这个结论也可推广至多变量: 各变量均为真者结果必真, 有一为伪者结果必伪。写成表达式如下:

设 $Y=A \times B \times C \times D \times \dots$

则 $Y=0 \times 0 \times \dots \times 0=0$

$Y=1 \times 0 \times \dots \times 0=0$

$Y=0 \times 1 \times \dots \times 0=0$

.....

$Y=1 \times 1 \times 1 \times \dots \times 1=1 \rightarrow Y=1$

这意味着, 在多输入与门电路中, 只要其中一个输入为 0, 则输出必为 0, 或者说, 只有全部输入均为 1 时, 输出才为 1。

与运算有时也称为“逻辑与”。当 A 和 B 为多位二进制数时, 如

$$A=A_1 A_2 A_3 \dots A_n$$

$$B=B_1 B_2 B_3 \dots B_n$$

则进行“逻辑与”运算时, 各对应位分别进行“与”运算:

$$Y=A \times B$$

$$= (A_1 \times B_1) (A_2 \times B_2) (A_3 \times B_3) \dots (A_n \times B_n)$$

〔例〕 设 $A=11001010$

$B=00001111$

则 $Y=A \times B$

$$= (1 \times 0) (1 \times 0) (1 \times 0) (1 \times 0) (1 \times 1) (0 \times 1) (1 \times 1) (0 \times 1)$$

$$=00001010$$

写成竖式则为

$$\begin{array}{r} 11001010 \\ \times) 00001111 \\ \hline 00001010 \end{array}$$

由此可见, 用“0”去和一个数位相“与”, 就是将其“抹掉”而成为“0”, 用“1”去和一个数位相“与”, 就是将此数位“保存”下来。这种方法在计算机的程序设计中经常会用到而称为“屏蔽”。上面的B数(0000 1111)则称为“屏蔽字”, 它将A数的高四位给屏蔽起来而都变成0了。

三、反运算 ($Y = \bar{A}$)

如果一件事物的性质为A, 则其经过“反”运算之后, 其性质必与A相反, 用表达式表示为:

$$Y = \bar{A}$$

这实际上也是反相器的性质。所以在电路实现上, 反相器是反运算的基本元件。

反运算也称为“逻辑非”或“逻辑反”。

当A为多位数时, 如

$$A = A_1 A_2 A_3 \cdots A_n$$

则其“逻辑反”为 $Y = \bar{A}_1 \bar{A}_2 \bar{A}_3 \cdots \bar{A}_n$

[例] 设 $A = 1101 \ 0000$

则 $Y = 0010 \ 1111$

四、布尔代数的基本运算规律

1. 恒等式

$$\begin{array}{lll} A \cdot 0 = 0 & A \cdot 1 = A & A \cdot A = A \\ A + 0 = A & A + 1 = 1 & A + A = A \\ A + \bar{A} = 1 & A \cdot \bar{A} = 0 & \bar{\bar{A}} = A \end{array}$$

2. 运算规律

与普通代数一样, 布尔代数也有交换律、结合律、分配律。而且它们与普通代数的规律完全相同。

交换律 $A \cdot B = B \cdot A$

$$A + B = B + A$$

结合律 $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C) = A \cdot B \cdot C$

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

分配律 $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$

$$(A + B) \cdot (C + D) = A \cdot C + A \cdot D + B \cdot C + B \cdot D$$

我们利用这些运算规律和恒等式, 就可以化简很多逻辑关系式。

例1 $A + AB = A(1 + B) = A$

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

例2 如果原设计继电器线路如图1-3a。现用逻辑关系, 化简线路。