

高等工科大学机械电子工程专业系列教材

MCS-51/98 单片机原理与应用

主 编 赵长德
副主编 李 华 李 东
编 者 耿世钧 邓文怡
主 审 冯一兵

机 械 工 业 出 版 社

单片机在工业控制、通信领域,特别是在机电一体化产品中应用越来越广泛,促使广大工科院校学生和技术人员竞相学习和掌握单片机技术。本书就是为满足这一需求,并选择目前应用较多的 8051/8098 单片机编写的。其内容包括单片机的组成、内部结构、指令系统、汇编语言程序设计、单片机 I/O 技术,存储器和 I/O 接口扩展、应用系统设计、TSC-51/98 实验开发系统的使用等。本书的特点①深入浅出,适于初学者应用;②以 51 为主,兼学 98;③利用 51/98 实验开发系统,不用制作用户板,很快可掌握两种机型的基本知识和应用方法;④本书配套的实验开发系统和软盘由清华大学计算机工厂提供。

本书为机械电子工程专业系列教材之一,也适用于其他非计算机专业工科院校学生,如机械、汽车、仪表等专业学生,及专科或短训班教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

MCS-51/98 单片机原理与应用/赵长德主编. —北京:机械工业出版社, 1998. 1 (2001. 1 重印)

高等工科学学校机械电子工程专业系列教材

ISBN 7-111-05378-8

I. M… II. 赵… III. 单片微型计算机, MCS-51/98
高等学校-教材 IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 02987 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 高文龙 版式设计: 王颖 责任校对: 张莉娟
邓海平

封面设计: 郭景云 责任印制: 郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 1 月第 1 版第 3 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·17.5 印张·2 插页·432 千字

8 001—11 000 册

定价: 22.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

序

随着微处理器和微型计算机的问世，电子计算机已深深介入机械制造的各个领域，一系列机、电、计算机一体化的新产品诞生。为适应这个变化，迫切需要高等工科大学培养设计、制造、调试、使用、维修机电一体化产品的技术人才。有鉴于此，不少高等工科大学在多年探索机制专业改造并取得经验的基础上正在创办机械电子工程专业，以满足社会的需要。但各校对新开专业缺乏经验、缺少教材和师资，在此形势下，1994年12月机械工业部教材编辑室受机械工业部教育司委托，在沈阳召开了高等工科大学机械电子工程专业教学与教材研讨会，研讨了机械行业技术发展大趋势，认为办好机、电、计算机紧密结合的新机电工程专业，培养设计、制造、调试、使用、维修机电一体化产品的机电一体化人材非常必要。为给机电一体化专业奠定物质基础，会议决定立即组织第一批急需的机械电子工程专业系列教材，并初步确定了各教材的主编、协编和主审人员。历经一年半时间，这一套统编教材终于陆续交稿出版。

这批教材的出版是我们对机械电子工程专业教学的一种尝试，希望它能满足各校的需要。这套教材在组织编写过程中得到了众多学校和教师的热心帮助，在此一并表示衷心感谢。

机械工业部教材编辑室

1996年

前 言

近年来，微型计算机取得了惊人的飞速发展，新机型、新器件、新技术层出不穷，真是令人目不暇接。以计算机为主导的信息技术作为一崭新的生产力，正向社会的各个领域渗透，也使机电一体化的进程大大加快。

机电一体化是当今制造技术和产品发展的主要倾向，也是我国机电工业发展的必由之路。可以认为，它是用系统工程学的观点和方法，研究在机电系统和产品中如何将机械、计算机、信息处理和自动控制技术综合应用，以求机电系统和产品达到最佳的复合。

机电一体化产品需要的是嵌入式微机，而单片机具有体积小、集成度高、功能强等特点，适于嵌入式应用。智能仪器、家用电器、数控机床、工业控制等机电设备和产品中竞相使用单片机。

而当前，单片机的发展势头依然不减，各种型号功能更强的单片机和超级接口芯片不断出现，进一步向高层次发展的重要标志就是构成多机系统和分布式网络。世界上单片机芯片的产量以每年 27% 的速度递增，到本世纪末将达 28 亿片，而我国的年需求量也将达近亿片，这表明单片机有着广阔的应用前景。为适应机电一体化技术发展和人才培养的客观需要，我们编写了“MCS-51/98 单片机原理与应用”一书，力图使读者从理论和实践上掌握单片机基本原理和组成，汇编语言程序设计，接口和硬件电路的连接，建立单片机应用系统的基本概念和具备软硬件开发的初步能力。

单片机是实践性非常强的课程，首先要进行很多验证性实验，进而要设计制作用户板，利用开发系统，对用户板进行硬件和软件调试，使其达到预期的功能和指标。实验学时应占很大的比例，所以选择合适的教学实验设备至关重要，清华大学计算机工厂生产的“TSC-51/98 实验开发系统”是集实验和开发为一体，51、98 两种机型为一身，能用汇编语言和 PL/M 高级语言编程，提供详细的实验指导书，便于学生学习和教师指导，是提高单片机实验教学质量的一种尝试，本书的例题多以其为背景。由于篇幅所限，关于 PL/M 高级语言的应用请参考有关书籍。

本书以 MCS-51 为主并兼顾学习 8098 单片机的需要。建议先讲述 51 系列单片机，待较好地掌握了其基本知识后，再以较快速度学习 8098 单片机。最好再制作一个用户板，完成从软硬件设计到仿真调试并固化程序的全过程。

本书第一、第五章由清华大学赵长德编写，第二、第四章由河北工业大学耿世钧、李华编写，第三、第六章由北京机械工业学院邓文贻、李东编写，赵长德负责全书修改和统稿，清华大学计算机系冯一兵审稿并编第七章。

本书为机械电子工程专业系列教材之一，也可供其它专业使用。

由于编者水平的限制，加之时间比较仓促，书中一定存在错误或不妥之处，敬请读者不吝指正。

编 者

1996 年 5 月

目 录

序	用举例	106
前言		
第一章 概论		1
第一节 微型计算机的发展和单片机的特点		1
第二节 单片机的基本组成		2
思考题与习题		5
第二章 内部结构及最小系统		7
第一节 MCS-51 单片机的总体结构		7
第二节 MCS-51 单片机的中央处理单元 (CPU)		10
第三节 MCS-51 单片机的存储器组织		15
第四节 MCS-51 单片机的并行 I/O 口		21
第五节 8031 单片机的最小系统		25
第六节 8098 单片机内部结构及最小系统		27
思考题与习题		35
第三章 MCS-51/98 单片机的指令系统及程序设计方法		37
第一节 MCS-51 单片机的指令格式与寻址方式		37
第二节 MCS-51 单片机的指令系统		40
第三节 汇编语言程序介绍		54
第四节 程序设计方法和实例		58
第五节 MCS-98 单片机的指令系统简介		69
思考题与习题		84
第四章 I/O 应用技术		86
第一节 MCS-51 单片机的中断系统		86
第二节 MCS-51 单片机的定时器/计数器及其应用		95
第三节 MCS-51 单片机的并行接口应用举例		106
第四节 MCS-51 单片机的串行 I/O 接口及其应用		111
第五节 8098 单片机的输入/输出及应用		121
思考题与习题		147
第五章 MCS-51/98 单片机的系统扩展与接口技术		150
第一节 存储器的扩展		150
第二节 I/O 接口的扩展		163
第三节 LED 显示接口		174
第四节 键盘接口		185
第五节 8098 系统扩展		193
思考题与习题		196
第六章 MCS-51/98 单片机应用系统设计		198
第一节 概述		198
第二节 输入通道设计		202
第三节 输出通道设计		221
第四节 单片机通信接口设计		232
第五节 单片机应用系统抗干扰设计		236
思考题与习题		241
第七章 TSC-51/98 单片机实验开发系统的原理和使用		242
第一节 TSC-51/98 系统的结构和原理		242
第二节 多功能源语言调试程序 TMSD 的应用		245
第三节 小键盘操作		255
附表 A MCS-51 指令表		258
附表 B MCS-98 指令表		262
参考文献		272

第一章 概 论

第一节 微型计算机的发展和单片机的特点

自 1946 年世界上第一台电子计算机问世以来的短短时间里,已经历了从电子管、晶体管、集成电路到超大规模集成电路计算机四个发展阶段。计算机按其功能、体积和价格等因素又可分为巨型机、小型机、微型机等几大类。

微型机是本世纪 70 年代研制成功的,属于第四代计算机。微处理器是微型机的核心芯片,它是将运算器、控制器等集成在一个硅片上,这样的芯片也叫中央处理单元 (Central Processing Unit),简称 CPU。而微型计算机 (Micro Computer) 是由微处理器、适量存储器和 I/O 接口电路组成的计算机。

随着超大规模集成电路的发展以及军事、通信、工业自动化、机电一体化技术的需求,导致微型机向两个主要方向发展:一个是向高速、性能优异的高档微型机方向发展;另一个是向简单可靠、小巧便宜的单片机方向发展。关于高档微机的发展,例如多媒体计算机、计算机网络已有很多论述,限于篇幅这里不再赘述。

单片机是将中央处理器 (CPU)、随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM 或 EPROM)、定时器/计数器芯片和一些输入/输出接口电路集成在一个芯片上的微型计算机,又称为微控制器 (Microcontroller)。它是专为工业控制和智能仪器设计的一种集成度很高的微型计算机。自 1974 年美国仙童公司 (Fairchild) 生产第一个单片机 F8 以来,单片机如雨后春笋大量涌现,如 TI、Rockwell、Intel、Zilog、Motorola、NEC 公司都纷纷推出自己的单片机系列。出现了 4 位、8 位、16 位、甚至 32 位单片机。

尽管目前单片机品种很多,但在我国典型的应用产品中当属 Intel 公司的 MCS-51 系列产品,它是在 MCS-48 基础上发展起来的 8 位单片机,直到现在依然不失为单片机中的一种主流机型。MCS-51 系列单片机见表 1-1。

表 1-1 MCS-51 单片机一览表

ROM 型	无 ROM 型	EPROM 型	ROM 容量	RAM 容量	16 位定时器	电路类型
8051	8031	(8751)	4KB	128B	2	HMOS
8051AH	8031AH	8751H	4KB	128B	2	HMOS
8052AH	8032AH	8752BH	8KB	256B	3	HMOS
80C51BH	80C31BH	87C51	4KB	128B	2	CHMOS
83C152	80C152	——	8KB	256B	2	CHMOS
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8KB	256B	4	CHMOS
83C51FB	80C51FB	87C51FB	16KB	256B	4	CHMOS
83C51GA	80C51GA	87C51GA	4KB	128B	2	CHMOS

Philips 公司生产的单片机是与 MCS-51 系列单片机兼容的。主要产品有 8051、8031、8052、83C552、83C751、8032、83C752 等，见参考文献 [16]。

1983 年，Intel 公司推出了 MCS-96 系列单片机，除字长增加一倍外，内部又具有八路 10 位 A/D 转换、8 位 PWM 的 D/A 转换、高速输入输出、16 位监视定时器，其集成度高达 12000 只以上的晶体管，性能大为提高。以后还推出性能更好的 C196 单片机，但价格也显得昂贵。1988 年 Intel 公司又推出了 16 位机性能、8 位机价格的 8098 单片机，从而使 8096 系列单片机的应用有了飞跃性突破。MCS-96 系列单片机见表 1-2。

表 1-2 MCS-96 系列单片机一览表

ROM 型	无 ROM 型	EPROM 型	ROM 容量	RAM 容量	I/O 引脚	A/D 通道
8395	8095	—	8KB	232B	29	4
8396	8096	—	8KB	232B	48	—
8397	8097	—	8KB	232B	40	8
8395BH	8095BH	8795BH	8KB	232B	29	4
8396BH	8096BH	8796BH	8KB	232B	48	—
8397BH	8097BH	8797BH	8KB	232B	40	8
83C196KB	80C196KA	87C196KB	8KB	232B	48	8
8398	8098	—	8KB	232B	29	4

Motorola 公司的 68HC05 和 68HC1 系列单片机也是性能优异的 8 位和 16 位单片机，其市场占有率非常高。

单片机的共同特点是控制功能强、体积小、功耗低、价格低廉。缺点是无自开发能力，需借用开发系统进行软硬件调试。

单片机的应用十分广泛，在工业控制领域，家电产品、智能化仪器仪表、计算机外部设备、办公自动化产品，特别是机电一体化产品中，都扮演着十分重要的角色。目前我国单片机的需求量每年达 2000 万片左右，预计到下个世纪初会超过 1 亿片。这说明学习单片机知识是何等重要！单片机的推广应用不仅会带来显著的经济效益，而且它的应用正从根本上改变传统的控制系统模式，即以前用模拟电路或数字电路实现的大部分功能，现在却可用单片机通过软件实现了，以软件取代硬件并提高系统性能的控制技术，可以称为微控制技术。单片机——微控制器标志着一种全新概念的出现，无疑是对传统控制技术的一次革命。随着单片机以及各种可编程器件的推广应用，微控制技术也将不断发展和提高。

第二节 单片机的基本组成

单片机是微型计算机的一个分支，从原理和结构上看，单片机和微型机之间并没有很大的区别，而早期微型机的许多技术和特点都被单片机继承下来。所以，应从微型计算机的总体角度，来研究单片机的基本构成。

一、微型计算机系统的组成

微型计算机系统由硬件和软件两部分组成，如图 1-1 所示。

(一) 微型计算机硬件

1. 中央处理器 (CPU)

CPU 是微型计算机的核心, 它包括运算器、控制器和寄存器三个主要部分。运算器也称为算术逻辑单元 ALU (Arithmetic Logic Unit)。控制器一般由指令寄存器, 指令译码器和控制器电路组成。控制器根据指令的要求, 对 CPU 内部和外部各部件发出相应的控制信号, 使它们协调工作, 从而完成对整个计算机系统的控制。CPU 内部的寄存器用来存放经常使用的数据。

2. 存储器 (Memory)

存储器又称为内存, 是微型机的存储和记忆装置。

(1) 内存单元的地址和内容 内存单元存放的是数据和程序, 均为二进制数, 一般将 8 位二进制数记做一个字节 (Byte), 每一个单元存放一个字节二进制信息, 内存容量就是它所能包含的内存单元的数量, 通常以字节为单位, 1024 字节记做 1KB。通常八位微机采用 16 根地址线寻址内存 64KB, 微型机通过给各个内存单元规定不同地址来管理内存, 例如 8 位微机的内存地址从 0000H~FFFFH。这样, CPU 便能识别不同的内存单元, 正确地对其操作。

(2) 内存的分类和操作 按工作方式, 内存可分为两大类: 随机存储器 RAM (Random Access Memory) 和只读存储器 ROM (Read Only Memory)。CPU 对内存的操作有两种: 读或写, 读是 CPU 将内存单元的内容读入 CPU 内部, 而写操作是 CPU 将其内部信息传送到内存单元保存起来。显然写操作的结果改变了该单元的内容, 而读操作使该单元的内容被读走之后仍保存原来信息。

RAM 可被 CPU 随机地读写, 又称为读写存储器。当机器断电后, 存储的信息消失。ROM 中的信息只能被读取, 而不能由 CPU 任意写入, 故称为只读存储器, 机器断电, 信息仍保留。这种存储器用于存放固定的程序, 如基本的 I/O 程序以及监控程序、用户编写的专用程序。ROM 中的内容只能用编程器这种专用设备写入。

(3) 中央处理器和内存中的数 读者应对计算机中的数和编码系统有所了解, 人们在日常生活中常用十进制, 但在计算机中必须用二进制。由于二进制字长在 4 位以上时书写和口语表达都感到不便, 所以在这时又常用十六进制, 可是计算机中的数却总为二进制数, 这是由计算机的硬件决定的。CPU 内部有多个寄存器, 有的存放当前的地址, 有的存放数据。例如, PC 寄存器存放的是 16 位无符号数, 地址范围为 0000H~FFFFH。而 8 位寄存器存放的是 8 位无符号数或有符号数, 也可以是用 BCD 码表示的十进制或者用 ASCII 码表示的字符, 其值在 00H~0FFH 之间, 究竟是哪种数要由编程者决定。可以认为把一个数放在计算机中的表示形式叫做机器数, 而这个数本身就称为该机器数的真值。对于无符号数, 机器数和真值是一一对应的, 而一个有符号数, 由于存在原码、反码、补码的不同, 就有三种机器数。反之, 一个机器数, 由于编码 (无符号数, 有符号数的几种编码, BCD 码, ASCII 字符编码) 不同, 又可代表不同的真值。存放在内存的数一般以字节为单位, 即可以是一字节 (8 位) 或二字节的机器数, 甚至可为多字节的数。其真值与机器数的关系也如上述。更广义地说, 计算

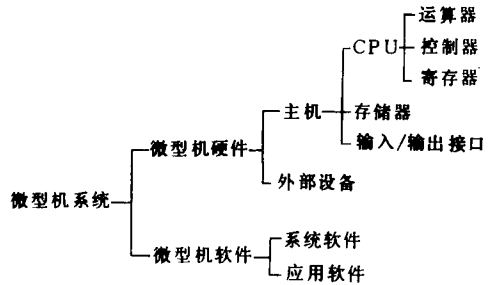


图 1-1 微型机系统的组成

机中内存和寄存器的数就是机器数，它可代表无符号数，也可代表有符号数，还可代表字符，它究竟代表什么（即真值）由编程者来确定。以上所讲为定点数，此外还有浮点数，本书主要讲定点数。读者应掌握计算机的数和编码知识，能正确回答本章习题，如感困难，可参考有关微机原理书籍。

3. I/O 设备和 I/O 接口 (I/O Interface)

I/O 设备是微型机系统的重要组成部分。程序、数据以及现场信息要通过输入设备送给计算机。计算的结果要通过输出设备输出到外部。常用的输入设备有键盘、鼠标器、A/D 转换器等。软盘、硬盘既是输入设备，又是输出设备。外设种类很多，有电动式、机械式等，但与 CPU 相比，其工作速度较低；外设处理的信息有数字量，模拟量，开关量等，但微型机均只能处理数字量；另外，外设工作的时序也和微型机不一致，所以微型机与外设之间不能直接进行连接，信息也不能直接交换，而需通过一个 I/O 接口电路才能进行。

可见，微型机硬件主要由 CPU、内存、I/O 接口和 I/O 设备组成；微型机各部件之间是用系统总线连接的。系统总线一般分为三组。地址总线 AB (Address Bus) 传送 CPU 发出的地址信息，是单向总线；数据总线 DB (Data Bus) 传送数据信息，是双向总线，可通过 DB 总线从内存或输入设备把数据读入到 CPU 中，又可通过 DB 将 CPU 内部数据传至内存或输出设备；控制总线 CB (Control Bus) 传送控制信息，其中有的是 CPU 向内存及 I/O 接口发出的信息，有的是 I/O 接口向 CPU 发出的信息，因此 CB 总线每一根的方向是固定的，但作为一个整体，仍用双向表示 CB。微型机的系统结构如图 1-2 所示。

(二) 微型计算机系统软件

微型机软件是为了运行、管理和维护微型机而编制的各种程序的总和。微型机的软件和硬件是两个不可分离的重要组成部分，没有软件，微型机则无法工作。

微型机软件包括系统软件和应用软件。系统软件包括操作系统和系统应用程序。操作系统是管理、控制微型机的资源，如 CPU、存储器 and I/O 设备等，是使应用程序可自动执行的程序系统。应用程序有很多种，如各种语言的汇编、解释、编译程序，诊断和调试程序，字处理程序，服务性工具程序，数据库管理程序等。应用软件则是用户为解决实际问题而编写的程序。

二、单片机系统的组成

(一) 硬件

单片机通常把 CPU、RAM、ROM、I/O 接口以及定时器/计数器集成在一个芯片上。图 1-3 表示了目前应用最多的 MCS-51 系列单片机的结构。

由图可见，单片机与微型机相比，体积大大减小，而且功能并未降低，例如 8051 定时器为 16 位，而 Z80 却只有 8 位。8051 不但有 4 个 I/O 并行口，还有串行口。把这些电路集成在一个尺寸有限的芯片内，确属不易。因此单片机必须采用精巧的设计，以克服芯片尺寸有限

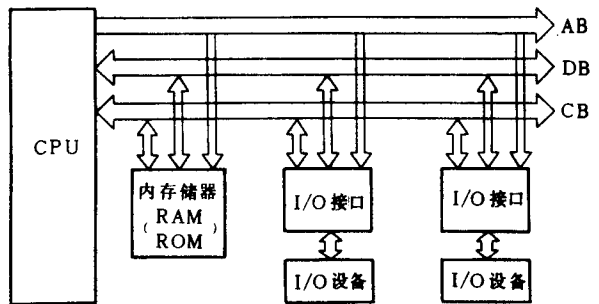


图 1-2 微型机的系统结构框图

所带来的各种制约。

单片机的存储器有两种结构，MCS-51 采用的是 Harvard 结构，这是数据存储器与程序存储器相互独立的一种结构，而 8098 重又采用了大多数微型机所采用的将程序存储器、数据存储器统一编址的方案。由于单片机尺寸的限制，一般都把这两种存储器放在片外，片内只有少量的 RAM，有的单片机内部也集成了一定数量的 ROM，一般为 2KB~8KB。

实际的单片机电路是一块较小的印制板，上面除单片机外，还有晶体管、电源、存储器以及为用户使用的外围接口电路。由于单片机的各种功能部件都集成在一个芯片上，

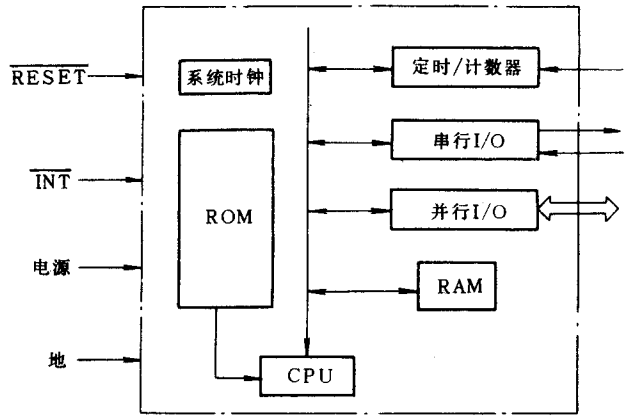


图 1-3 典型单片机结构

因而增加了抗干扰能力，电路采用 CMOS 等工艺，功耗低，适于现场测量与控制。

(二) 软件

单片机由于硬件支持和需要所限，其软件系统比较简单。首先单片机不需要像微型机那样复杂的操作系统，只使用简单的监控程序，因此监控程序就成为单片机中最重要的系统软件。

另外，大多数单片机不使用高级语言，通常使用的是汇编语言。可是单片机并没有自己专用的汇编程序，用户的应用程序是在 IBM-PC 微型计算机系统上通过交叉汇编方法得到二进制的目标码。因此单片机中只有监控程序和目标码应用程序。这样，常把指令系统和汇编语言程序设计作为单片机软件的学习内容。

目前，可用 PL/M 高级语言开发单片机用户程序，也可用 C51 或 C96 高级语言开发，这些知识需要对单片机软硬件有所了解之后方能发挥其作用。单片机的种类、型号、制造厂家非常多，其字长有 8 位、16 位、32 位，还有一些专用的单片机。本书选择常用的 8051 和 8098 作为典型单片机进行学习，为进一步学习其他单片机和深入应用打下基础。

思考题与习题

1-1 将下列十进制数转换为二进制、十六进制数：

1) 67.375 2) 936.5 3) 268.875 4) 218.0625

1-2 将下列二进制数转换为十进制数：

1) 10110.111B 2) 1011011.0101B 3) 10010010.001B
4) 10111111.101B 5) 11010111.1001B

1-3 将下列 16 进制转换为十进制数：

1) 0A6BH 2) 0FFH 3) 4000H 4) 2710H 5) 5FFFH

1-4 用 8 位二进制写出下列十进制数的原码，反码，补码：

1) 123 2) -123 3) +99 4) -99 5) +50 6) -50

1-5 给定机器数 78H 和 87H，求其作为原码，反码，补码的真值（即求出对应的十进制数）。

1-6 将下列字符用 ASCII 码表示：

1) MCS-51 2) Single Chip Microcomputer 3) IBM-PC 4) 1997

1-7 用 8 位、10 位、12 位、16 位字长的二进制无符号整数可表示的 16 进制数的范围为多少？可表示的十进制数范围又是多少？用 16 位二进制补码所表示的整数，其相应的十进制数范围是多少？

1-8 将下列十进制数用 BCD 码表示，存放在内存中的机器数是什么？

1) 18 2) 57 3) 8654 4) 1235 5) 6789 6) 2000

1-9 说明微型机由哪几部分组成？单片机的特点是什么？

第二章 内部结构及最小系统

本章介绍 8051 和 8098 单片机硬件结构，以便为学习指令系统打下基础。为了对单片机应用系统有初步的了解，还介绍了单片机的最小系统。

第一节 MCS-51 单片机的总体结构

一、8051 单片机的内部资源

8051 系列单片机的内部结构如图 2-1 所示，现分述其各部分的组成。

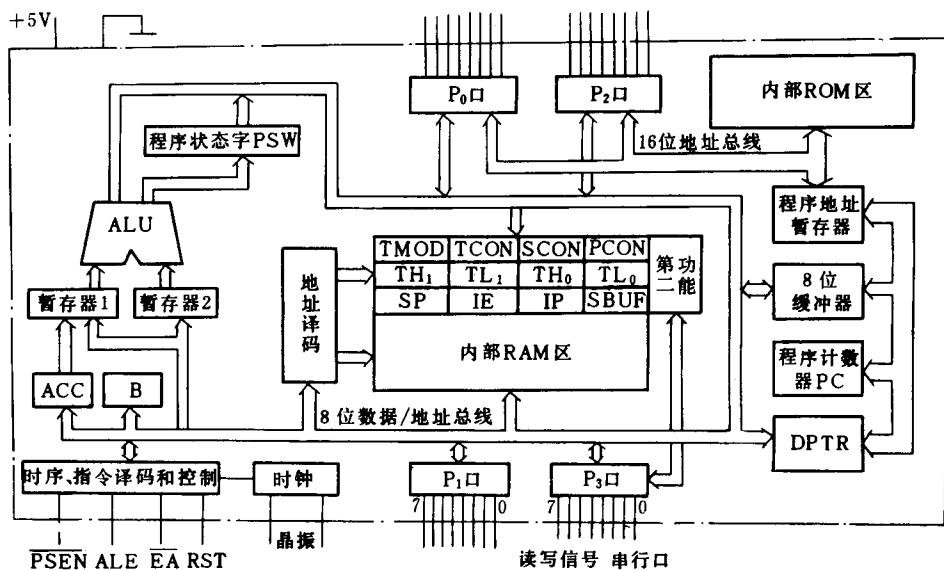


图 2-1 8051 的内部结构简图

1. 中央处理单元 CPU

这是单片机的核心，它完成运算和控制功能。运算是由算术逻辑单元 ALU 为核心的“运算器”完成的。而控制则由包括时钟振荡器在内的“控制器”完成的，其主要功能是对指令码进行译码，然后在时钟信号同步作用下，使单片机的内外电路能够按时序协调的工作。

2. 片内 RAM

8051 系列单片机共有 256 个字节的 RAM 单元，但只有低 128 个字节单元可作为片内随机存储器 RAM 使用，而高 128 个单元的一部分被特殊功能寄存器 (SFR) 占用。特殊功能寄存器 SFR 共有 18 个，占用 21 个单元。其余未被占用的 107 个单元，用户不能作为片内 RAM 使用。

3. 内部 ROM

8051 型的单片机共有 4KB 掩膜 ROM，这些只读存储器用于存放程序、原始数据或表格，

称为程序存储器，或称为片内 ROM。而 8031 型的单片机片内没有 ROM。

4. 定时器/计数器

8051 系列单片机片内有两个 16 位的定时器/计数器，以实现定时和计数的功能。

5. 并行 I/O 口

8051 单片机内部共有四个输入输出接口，通常称为 I/O 口。即 P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3 口，每个口 8 位。原则上四个口都可以作为通用 I/O 口，但一般说来， P_0 口作为低 8 位地址/数据线分时复用口，即相当于 $AD_0 \sim AD_7$ 线。而 P_2 口作为高 8 位地址的输出接口，即 $A_8 \sim A_{15}$ 地址线。 P_3 口各个管脚又有不同的第二功能，例如读写选通信号等。只有 P_1 口可作为通用的 I/O 口使用。一般还需要在片外扩展 I/O 口。

6. 串行口

8051 系列单片机有一个全双工的串行 I/O 口，以实现单片机和其它设备之间的串行数据通信。实际上是采用 P_3 中的两根线进行串行数据传送。

7. 中断系统

8051 系列单片机有很强的中断功能，以满足控制应用的需要。共有 5 个中断源，即外部中断源两个，定时器/计数器中断源两个，串行中断一个。

8. CPU 内部总线

CPU 通过内部的 8 位总线与各部件（如寄存器等）连接，并通过 P_0 口及 P_2 口形成的内部 16 位地址线连到内部 ROM 区。图 2-1 还画出了外部三总线结构，即由 P_0 口组成的数据总线 DB，由 P_2 口和 P_0 口组成的 16 位地址线 AB，以及由 \overline{PSEN} 、 \overline{EA} 、ALE 和 P_3 口部分管脚（ \overline{RD} 、 \overline{WR} ）等组成的控制总线 CB。

9. 布尔处理器

由片内共 27 个字节存储单元的 210 位组成布尔处理器，其应用在第三节予以说明。

二、管脚

8051 系列单片机大都采用 40 个引脚的双列直插式塑料封装的芯片，管脚图如图 2-2 所示。图中管脚可分成四部分：电源管脚 2 个，外接晶振管脚 2 个，I/O 管脚 32 个，控制信号引脚 4 个。各部分管脚的定义和功能分述如下。

1. 电源部分

V_{CC} 接 +5V， V_{SS} 接地，其最大容限为 $+5V \pm 10\%$ ，最好取在 $\pm 3\%$ 以内。故可用 7805 三端集成稳压器电源芯片。

2. 晶振部分

$XTAL_1$ 和 $XTAL_2$ 管脚的内部是一个振荡器电路，但需外接一个石英晶体（标称频率为 4MHz~12MHz），另外还需两只 30pF 左右的固定电容。

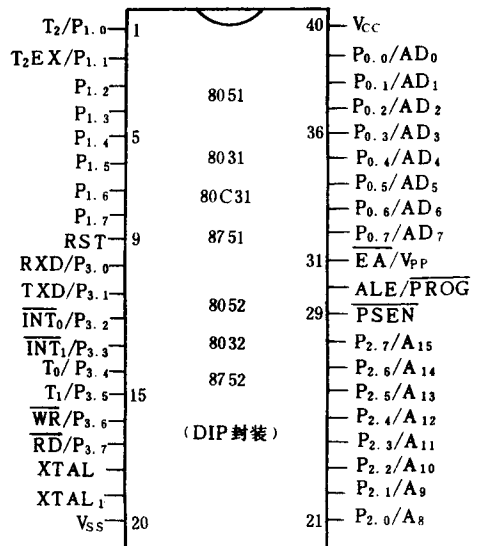


图 2-2 8051 系列单片机的管脚图

3. 并行 I/O 口

共有四个 8 位 I/O 口，称为 P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3 口。因此共有 32 个管脚，例如 P_3 口线为 $P_{3.0} \sim P_{3.7}$ ，余类推。除 P_1 口外，其余 3 个口都有第二功能。

4. 控制信号

这部分非常重要，其中 RST (RESET) 是复位信号，一般外接 RC 电路和复位按键，使上电时和按动复位键时，利用管脚外部来的正脉冲使单片机内部初始化，实现可靠的复位操作。而 \overline{EA}/V_{PP} 是一个复用引脚，称为“读外部 ROM 允许端/EPROM 编程电源端”，当 $\overline{EA}=0$ 时，允许访问片外 ROM 芯片；当 $\overline{EA}=1$ 时，将访问内部 ROM，但地址范围超过内部 ROM 的地址范围 (4KB) 时，将自动转向外部 ROM 取指。可知 8051 型单片机的 \overline{EA} 端可接 +5V，因其内部有 4KB 的 ROM。而 8031 型单片机 \overline{EA} 必须接地，因其内部没有 ROM。当采用 8751 型单片机时，利用该引脚的第二功能 V_{PP} ，外接 12V~25V 直流电压，固化内部的 EPROM 程序。

ALE/PROG 引脚称为“低 8 位地址锁存信号输出端/EPROM 编程脉冲输入端”，它的第一个功能是：从该引脚输出的由高电平转向低电平的下降沿，可使 P_0 口输出的低 8 位地址锁存在外接地址锁存器中。它的第二功能只用于 87 子系列单片机中，当故化其内部 EPROM 时，从该脚输入编程脉冲信号。

\overline{PSEN} 称为“外部 ROM 读选通信号输出端”，低电平有效。该引脚一般接在外接 EPROM 芯片 \overline{OE} 端 (输出允许)，当 \overline{PSEN} 有效时，EPROM 中被选中的存储单元的内容将出现在数据总线上，然后被读入到 CPU 中。

图 2-3 明确地画出了 ALE、 \overline{EA} 、 \overline{PSEN} 的使用方法。 \overline{EA} 接地，表示只从外部 ROM 取指。 P_0 口作为低 8 位地址信号输出和数据总线的分时复用口， P_2 口作为高 8 位地址输出，利用 ALE 的下降沿把 P_0 口的低 8 位地址锁存在 74LS373 八 D 锁存器的输出端，从而腾出了 P_0 口。然后， \overline{PSEN} 变低期间，使 ROM 中被选中的单元出现在数据总线上并被读入 P_0 口。

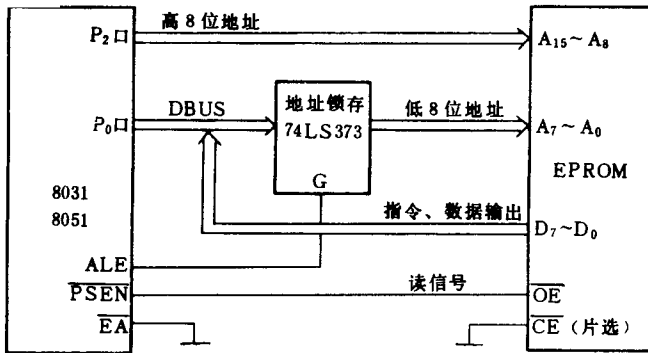


图 2-3 8051/8031 外接 EPROM 芯片的连接原理

三、逻辑符号

将上述 40 个管脚分成四部分画在图 2-4 中，便是其逻辑符号图。

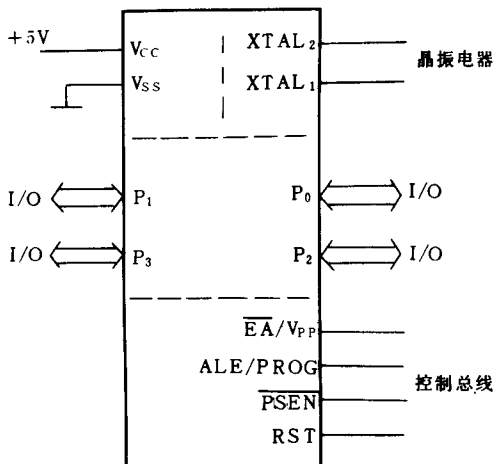


图 2-1 MCS-51 系列单片机的逻辑符号

第二节 MCS-51 单片机的中央处理单元 (CPU)

CPU 是运算器和控制器的总称，其中运算器负责算术运算和逻辑运算，控制器负责指挥整个计算机系统各个微操作的同步运行。因此，CPU 就决定了单片机的主要性能指标。例如，字长，运行速度，数据处理能力，中断和实时控制能力都与 CPU 有关。

以下分述运算器和控制器结构：

一、运算器

运算器的主要任务有：①完成算术运算；②完成逻辑运算；③完成位操作运算；④数据中转与处理；⑤利用程序状态字 PSW 记忆运算器运行的某些当前状态。图 2-5 表示了运算器的结构原理，图中 ALU 是算术逻辑单元，它是运算器的核心部件。ALU 通过内部的一个加法器实现算术和逻辑运算。由图可知，运算器下部有两个加数作为输入信号——X 和 Y，它们或者来自累加器 ACC，或者来自数据总线。运算的结果 (Z 信号) 仍通过数据总线回送到累加器 ACC 中。乘除法指令需分解成多步微操作才能用加法器实现，故乘除法指令是 8051 单片机指令系统中执行时间最长的两条指令。除算术运算外，ALU 还可进行与、或、非、异或、移位、比较和判断等逻辑运算。

图 2-5 中画出了 ALU 的另一路输出信号，这是一组状态信号，如运行后溢出、进位等，用程序状态字寄存器 (PSW) 的某些位来表示。PSW 又称为标志寄存器 F (FLAG)，

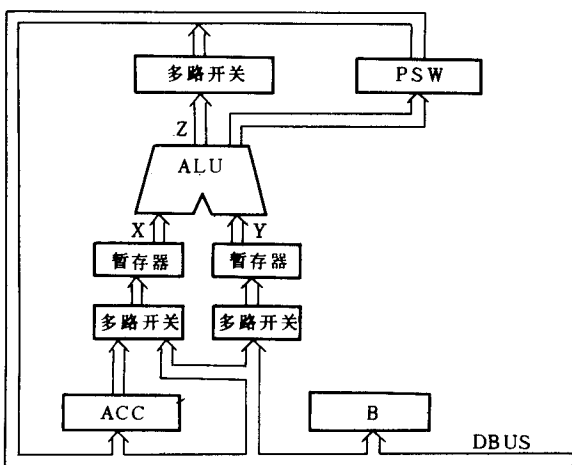


图 2-5 运算器内部结构

其中的各个标志位可用 1 或 0 表示运算的状态,供用户随时查询。

在单片机内部的众多寄存器中,最重要的是累加器 ACC。因为它具有如下功能:①绝大多数指令都是针对 ACC 的;②可实现加 1 等简单操作,故称为累加器;③运算结果大都送入 ACC,所以 ACC 的状态也可通过程序状态字 PSW 的某些位而得到。ACC 是 8 位寄存,在指令中也简称为 A。图 2-5 中的 B 寄存器是 ACC 的辅助寄存器。在执行乘法除法指令时,ACC 位数不够用,就要使用 B 寄存器。其它情况下, B 寄存器可作为一个数据存储单元使用。

二、控制器

CPU 另一个重要组成部分是控制器,它是单片机的神经中枢。图 2-6 的点画线框内部画出了控制器的主要组成部分。按其构成原理可分成如下五部分。

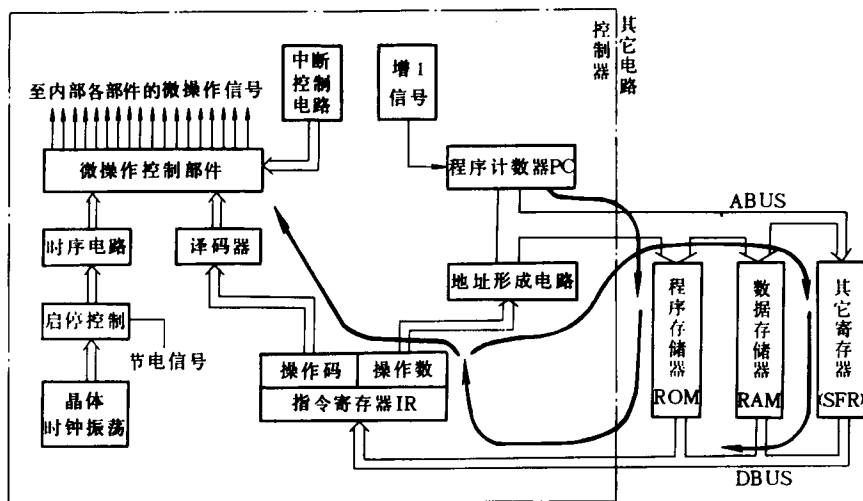


图 2-6 MCS-51 的控制器示意图

1. 时序电路

它可以对晶体振荡器的主振脉冲进行分频,分解出多种时序信号,并可接收外来的“节电运行信号”的控制,使时序电路停止工作,实现节电功能。

2. 程序计数器 PC

PC 是一个 16 位的寄存器,复位后的内容是 0000H,表示从程序存储器的 0000H 单元取指。从 ROM 中每取出一个字节的指令码以后,PC 的内容自动增 1,然后执行这条指令。可知 PC 是一个取指自动加 1 的程序地址指针寄存器。当取出的是一个跳转指令时,PC 的内容就自动指向跳转程序的首地址。

3. 指令寄存器 IR

它是一个 8 位的寄存器,用于存放从 ROM 中取出的指令码。它可判断存放的是命令还是地址,如果是命令则通过译码后送“微操作控制部件”,以完成对其它部件的微操作;如果是地址信号,将通过地址线选通有关寄存器或存储器的某个单元,准备对其传输数据。

图 2-6 中的粗实线表示了取指和执行指令过程中的信息流向。

4. 微操作控制部件

其中是一些逻辑门电路，它有许多输出端，连接到单片机的各个部件。它按照“译码器”送来的信号和时序向有关部件送出高低电平，使各部件实现有序的微操作。

5. 中断控制部件

中断的概念是指一个过程，当计算机正常执行某一个程序时，外部事件可能随时提出“中断申请”，要求停止当前正在执行的程序，转而执行预先编好的另一段“中断服务子程序”，以处理引起中断申请的紧急事件，这就是“中断响应”。当中断服务子程序执行完之后，PC会自动地恢复到原来程序的“断点”处，继续执行原来的程序。以上就是中断的过程。这些工作由图 2-6 中的“中断控制电路”完成。

以上只是简单地介绍了运算器和控制器的结构。为进一步使读者掌握单片机硬件原理，以下从时序和复位等概念入手，详细讲述硬件实用电路。

三、晶振电路

MCS-51 系列单片机有两个管脚外接有关晶振电路。管脚的内部是一个反相放大器，管脚 XTAL₁ 是放大器的输入端，XTAL₂ 是输出端。两脚之间的外接电路是正反馈移相电路，使得内部反相器成为一个自激振荡器，其振荡频率正是晶振频率，或称为时钟频率。这种应用电路称为内部时钟方式。

图 2-7 给出了内部时钟方式的一种电路，其晶振频率选择在 4MHz~12MHz 之间，外接两个谐振电容的典型值为 30pF。其值的大小虽然对振荡频率影响不大，但仍可微调之。如图 2-7 电路，通电后可在 XTAL₂（管脚 18）上得到峰峰值为 3V 的正弦波。

如果单片机的时钟必须使用某一外接的时钟信号时，就不用外接晶振，并导致内部时钟电路停振。该电路被称为外部时钟方式。图 2-8 给出了两种外部时钟的电路图，根据不同型号选择不同电路。

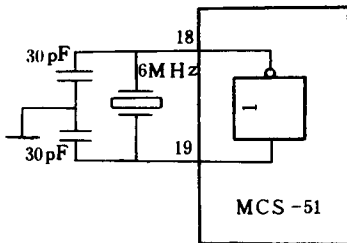


图 2-7 外接晶振电路

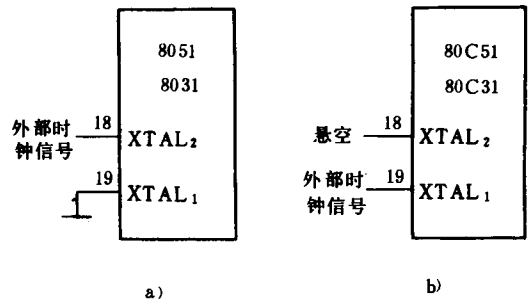


图 2-8 外部时钟信号的应用电路

a) HMOS 型单片机应用 b) CHMOS 型单片机应用

四、CPU 时序

单片机的 CPU 要不间断地从程序存储器取指和执行指令，其速度可达每秒执行数十万条指令。因此，CPU 要按照一定节拍不断地运行。把单片机的某些管脚上的电压波形以相同的时间横轴绘在同一个波形图中，称为时序图，简称时序。

(一) 外部 ROM 读时序

对于 CPU 从 ROM 中取指的过程，可用时序图表示，图 2-9 给出了“访问程序存储器时序图”。由图可见，将时钟信号经过分频，可以得到与其同步的控制信号，例如 ALE、PSEN 信号。