

● 刘德营 张志霞 龚丽农 李志伟 编著

单片机原理及 接口技术

DANPIAN
YUANLI
JIEKOU
JISHU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

单片机原理及 接口技术

刘德营 张志霞 龚丽农 李志伟 编著
刘立山 主审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统论述了单片机的原理、指令系统、系统扩展、输入/输出设备的接口技术,介绍了微型计算机之间的通信技术和微机系统的干扰和抗干扰设计。

本书可作为工程技术人员学习单片机及接口技术的参考书,也可作为本科及高职高专、成人高校和民办高校自动化、计算机、电子信息工程、通信工程、测控技术与仪器等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及接口技术 / 刘德营等编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2006

ISBN 7-5084-3799-3

I. 单... II. 刘... III. ①单片微型计算机—理论—高等学校—教材②单片微型计算机—接口—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 067607 号

书 名	单片机原理及接口技术
作 者	刘德营 张志霞 龚丽农 李志伟 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 12.25 印张 290 千字
版 次	2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	19.50 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

单片机又称为微控制器 (MCU)，它是在一块芯片内集成计算机的各种功能部件，构成一种单片式的微型计算机。由于单片机具有功能强、体积小、可靠性高、面向控制和价格低廉等一系列优点，因而在工业、农业、国防、交通、民用消费品等各个领域得到了广泛的应用。

本书是结合单片机的最新资料和开发应用成果而编写的。书中采用大量应用实例，阐述单片机应用系统的设计原理，内容更具有实用性。

目前有许多半导体公司生产了多种单片微机系列。MCS—51 系列单片机比较典型和流行，在单片机应用中占重要地位。因此，本书以 MCS—51 系列单片机为主展开讨论，所论述的原理、方法同样适用于其他系列的单片机。

本书可作为工程技术人员学习单片机及接口技术的参考书，也可作为本科及高职高专、成人高校和民办高校自动化、计算机、电子信息工程、通信工程、测控技术与仪器等专业的教材。

本书由刘德营、张志霞、龚丽农、李志伟编著，由莱阳农业大学刘立山教授主审，参加编写的还有：丁永前、纪建伟、付立思、孙晓杰、许大好、戴芳。

由于时间和水平所限，书中难免存在错误和不妥之处，请读者批评指正。

作者

2006 年 5 月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 单片机的发展历史	1
第二节 单片机的特点及应用领域	2
第三节 主流系列单片机的简介	3
习题	5
第二章 MCS—51 系统结构	6
第一节 总体结构	6
第二节 存储器结构	12
第三节 I/O 口	15
第四节 定时器/计数器	18
第五节 串行接口	24
第六节 中断系统	30
第七节 节电方式	36
习题	37
第三章 MCS—51 指令系统	39
第一节 指令系统概述	39
第二节 寻址方式	41
第三节 数据传送指令	43
第四节 算术运算指令	46
第五节 逻辑运算指令	48
第六节 位操作指令	50
第七节 控制转移指令	50
第八节 汇编语言程序设计举例	54
习题	61
第四章 单片机系统扩展技术	62
第一节 系统扩展概述	62
第二节 存储器的扩展	63
第三节 I/O 接口的扩展	67

第四节	D/A、A/D 接口的扩展	74
第五节	V/F、F/V 接口的扩展	84
习题		89
第五章	单片机的输入/输出设备接口	91
第一节	键盘接口	91
第二节	LED 显示器接口	96
第三节	LCD 显示器接口	100
第四节	打印机接口	115
习题		121
第六章	串行通信技术	122
第一节	串行通信的接口标准	122
第二节	单片机多机串行通信技术	129
第三节	PC 机与单片机的通信技术	136
第四节	SPI 总线扩展接口及应用	146
第五节	I ² C 总线扩展接口及应用	151
习题		165
第七章	单片机应用系统中的抗干扰设计	166
第一节	干扰的来源及造成的后果	166
第二节	硬件抗干扰措施	167
第三节	软件抗干扰设计	172
第四节	程序监视定时器	179
习题		181
附录 A	MCS—51 指令表	182
附录 B	ASCII 码字符表	187
参考文献		188

第一章 绪 论

第一节 单片机的发展历史

现代的计算机都是大规模集成电路计算机，具有功能强、结构紧凑、系统可靠等特征。随着半导体技术的发展，能够在一个硅片上制造出上百万个晶体管，于是出现了以一个大规模集成电路为主组成的中央处理器——微处理器（ μP ），以及大容量的集成电路半导体存储器，通用和专用的输入/输出接口电路，由这些大规模集成电路组成各种类型的微型计算机。

单片机至今在业界还没有一个统一的定义，但是一般认为单片机是在一块硅片上集成了中央处理器（CPU）、存储器（RAM、ROM、EPROM）和各种输入/输出接口（定时器、计数器、并行 I/O 口、串行口、A/D 转换器、脉冲调制器 PWM 等），它具有一台计算机的功能，故而称为单片微型计算机（简称单片机）。由于单片机的硬件结构与指令系统的功能都是根据工业控制的要求而设计的，主要应用在工业现场的检测、控制装置中，所以又称为微控制器（Micro-Controller）或嵌入式控制器（Embedded-Controller）。

从美国仙童（Fairchild）公司 1974 年生产出第一块单片机（F8）开始，在短短的几十年的时间里，单片机如同雨后春笋一般，大量涌现出来。GI 公司、Rockwell 公司、Intel 公司、Zilog 公司、Motorola 公司、NEC 公司等世界上几大计算机公司都纷纷推出自己的单片机系列。根据单片机发展过程中各个阶段的特点，其发展历史大概可划分为以下四个阶段：

第一阶段（1974~1976 年）：单片机的初级阶段。因工艺限制，单片机采用双片的形式，而且功能简单。例如仙童公司生产的 F8 单片机，实际上只包括了 8 位 CPU、64 个字节 RAM 和两个并行口。因此，还需要一块 3851（由 1KROM，定时器/计数器和 2 个并行 I/O）才能组成一台完整的计算机。

第二阶段（1976~1978 年）：低性能单片机阶段。单片机由一块芯片构成，但性能低、品种少。以 Intel 公司制造的 MCS—48 系列单片机为代表，这种单片机片内有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时器/计数器、RAM 和 ROM 等，但是不足之处就是没有串行通信口，中断处理比较简单，片内的 RAM 和 ROM 的容量比较小而且其寻址范围不大于 4KB。

第三阶段（1978~）：高性能单片机阶段。这个阶段推出的单片机普遍带有串行 I/O 口，多级中断处理系统，16 位定时器/计数器，片内 ROM、RAM 容量加大，且寻址范围可达 64KB，有的还内置有 A/D 转换器。这类单片机的代表是 Intel 公司的 MCS—51 系列 Motorola 公司的 6810 和 Zilog 公司的 Z8 等。由于这类单片机的性能价格比高，所以至今仍被广泛应用于各个领域，是目前应用量较多的单片机。

第四阶段（1982～）：8 位单片机的巩固发展以及 16 位单片机、32 位单片机推出阶段。此阶段的主要特征是一方面发展 16 位单片机、32 位单片机及专用型单片机；另一方面不断完善高档 8 位单片机，改善其结构，以适应各种不同领域的应用需要。

自从 20 世纪 70 年代单片机诞生以来，随着制造工艺的不断提高，发展十分迅速，目前单片机型号有上千个。从各种新型单片机的性能上看，单片机正朝着面向多层次用户的多品种、多规格的方向发展，各个公司根据自身特点和市场需要开发出各种类型的单片机。

第二节 单片机的特点及应用领域

一、单片机的特点

1. 体积小

由于单片机内部包含了计算机的基本功能部件，能满足很多应用领域对硬件的功能要求，因此由单片机组成的应用系统结构简单、体积特别小。

2. 可靠性高

单片机内 CPU 访问存储器、I/O 接口的信息传输线（即总线——地址总线、数据总线和控制总线）大多数在芯片内部，因此不易受外界的干扰；另一方面，由于单片微机体积小，在应用环境比较差的情况下，容易采取对系统进行电磁屏蔽等措施。所以单片机应用系统的可靠性比一般的微机系统高得多。

3. 控制功能强

单片机面向控制，它的实时控制功能特别强，CPU 可以直接对 I/O 口进行各种操作（输入/输出、位操作以及算术逻辑操作等），运算速度高，时钟达 16MHz 以上。对实时事件的响应和处理速度快。

4. 使用方便

由于单片机内部功能强，系统扩展方便，因此应用系统的硬件设计非常简单，又因为市场上提供多种多样的单片机开发工具，它们具有很强的软硬件调试功能和辅助设计的手段。这样使单片机的应用极为方便，大大地缩短了系统研制的周期。

5. 性能价格比高

由于单片机功能强、价格便宜，其应用系统的印板小、接插件少、安装调试简单等一系列原因，使单片机应用系统的性能价格比高于一般的微机系统。

6. 容易产品化

单片机以上的特性，缩短了单片机应用系统样机至正式产品的过渡过程，使科研成果迅速转化成生产力。

二、单片机的应用领域

（1）工业方面：各种测控系统、数据采集系统、工业机器人控制、机电一体化产品等。

（2）智能仪器仪表方面：单片机应用在智能仪器、仪表方面，不仅使传统的仪器仪表发生根本的变革，也给传统的仪器、仪表行业改造带来了曙光。

（3）通信方面：调制解调器、程控交换技术。

（4）民用方面：电子玩具、录像机、VCD、洗衣机等。

- (5) 军工领域：导弹控制、鱼雷制导控制、智能武器装备、飞机导航系统等。
- (6) 计算机外部设备方面：打印机、硬盘驱动器、彩色与黑白复印机、磁带机等。
- (7) 多机分布式系统：可用单片机构成分布式测控系统，它使单片机应用进入了一个全新的阶段。

实际上，单片机几乎在人类生活的各个领域都表现出强大的生命力，使计算机的应用范围达到了前所未有的广度和深度。单片机的出现尤其对电路工作者产生了观念上的冲击。过去经常采用模拟电路、数字电路实现的电路系统，现在相当大一部分可以用单片机予以实现，传统的电路设计方法已演变成软件和硬件相结合的设计方法，而且许多电路设计问题将转化为纯粹的程序设计问题。

第三节 主流系列单片机的简介

一、几个主流系列单片机

现在已有许多半导体公司生产了多种单片微机系列，下面列出国际上较有名、影响较大的公司的产品：

- (1) 仙童（Fairchild）公司和 Mostek 公司的 F8、3870 系列产品。
- (2) NEC 公司的 μ C MOS—87 系列产品。
- (3) Zilog 公司的 Z8、Super8 系列产品。
- (4) Rockwell 公司的 6500、6501 系列产品。
- (5) Motorola 公司的 6801、6802、6803、6805、68HC11 系列产品。
- (6) Intel 公司 MCS—48、MCS—51、MCS—96 的系列产品。

在我国虽然上述产品均有引进，但由于各种原因，至今在我国所应用的单片机仍然是以 MCS—48、MCS—51、MCS—96 为主流系列。随着这一系列的深入开发以及市场的不断推广，其主导地位将不断巩固下去。

二、Intel 公司系列单片机简介

1. MCS—48 系列单片机

MCS—48 系列单片机是 Intel 公司于 1976 年推出的 8 位单片机，其典型产品为 8048，它在一个 40 引脚的大规模集成电路内包含有 8 位 CPU、1KBROM 程序存储器、64BRAM 数据存储器、一个 8 位的定时器/计数器、27 根输入/输出线。MCS—48 的主要单片机及其性能见表 1—1。

表 1—1 MCS—48 单片机特性

型号	片内存储器（B）		I/O 线	定时器/计数器	片外寻址空间（B）	
	程序	数据			程序	数据
8048	1K ROM	64 RAM	27	1 个 8 位	4K EPROM	256 RAM
8748	1K EPROM	64 RAM	27	1 个 8 位	4K EPROM	256 RAM
8035	无	64 RAM	27	1 个 8 位	4K EPROM	256 RAM
8049	2K ROM	128 RAM	27	1 个 8 位	4K EPROM	256 RAM
8749	2K EPROM	128 RAM	27	1 个 8 位	4K EPROM	256 RAM

2. MCS—51 系列单片机

Intel 公司于 1980 年推出了 MCS—51 系列单片机，这是一个高性能的 8 位单片机。和 MCS—48 相比，MCS—51 系列单片机无论在片内 RAM、ROM 容量、I/O 的功能、种类和数量还是在系统扩展能力、指令系统功能等方面都有很大加强。MCS—51 的典型产品为 8051，其内部资源有：

- 8 位 CPU。
- 4KB ROM 程序存储器。
- 128B RAM 数据存储器。
- 32 根 I/O 线。
- 2 个 16 位的定时器/计数器。
- 1 个全双工异步串行口。
- 5 个中断源，2 个中断优先级。
- 64KB 程序存储器空间。
- 64KB 外部数据存储器空间。

MCS—51 系列的单片机一般采用 HMOS（如 8051AH）和 CHMOS（如 80C51BH）这两种工艺制造。这两种单片机完全兼容，CHMOS 工艺比较先进，它具有 HMOS 的高速度和 CMOS 的低功耗特点。

MCS—51 系列单片机采用模块式结构，MCS—51 系列中各种加强型单片机都是以 8051 为核心加上一定的新的功能部件后组成的，从而使它们完全兼容。表 1 - 2 为 MCS—51 系列单片机常用产品特性。

表 1 - 2 MCS—51 单片机特性

型号	片内存储器 (B)		I/O 线	定时器/计数器	片外寻址空间 (KB)	
	程序	数据			程序	数据
8051	4K ROM	128	32	2 个 16 位	64	64
8751	4K EPROM	128	32	2 个 16 位	64	64
8031	无	128	32	2 个 16 位	64	64
80C51	4K ROM	128	32	2 个 16 位	64	64
87C51	4K EPROM	128	32	2 个 16 位	64	64
80C31	无	128	32	2 个 16 位	64	64
8052	4K ROM	256	32	3 个 16 位	64	64
8752	4K EPROM	256	32	3 个 16 位	64	64
8032	无	256	32	3 个 16 位	64	64

3. MCS—96 系列单片机

Intel 公司于 1983 年推出了 16 位高性能的第三代产品 MCS—96 系列单片机。该单片机采用多累加器和“流水线作业”的系统结构，其最显著特点是运算精度高、速度快。它的典型产品是 8397，其芯片内集成有：

- 16 位 CPU。

- 8KB 程序存储器。
- 232B 寄存器文件。
- 具有 8 路采样保持的 10 位 A/D 转换器。
- 40 根输入/输出线。
- 20 个中断源。
- 专用的串行口波特率发生器。
- 全双工串行口。
- 2 个 16 位定时器/计数器。
- 4 个 16 位软件定时器。
- 高速输入/输出子系统。
- 16 位监视定时器。

表 1-3 列出了 MCS—96 系列单片机的主要特性。

表 1-3 MCS—96 单片机特性

型号	片内存储器		I/O 口线	定时器/ 计数器	片外寻址空间 (KB)	A/D 转换	封装 DIP
	ROM (KB)	RAM (B)					
8094	无	232	32	2 个 16 位	64	无	48
8095	无	232	32	2 个 16 位	64	4 路 10 位	48
8096	无	232	48	2 个 16 位	64	无	68
8097	无	232	48	2 个 16 位	64	4 路 10 位	68
8394	8	232	32	2 个 16 位	64	无	48
8395	8	232	32	2 个 16 位	64	4 路 10 位	48
8396	8	232	48	2 个 16 位	64	无	68
8397	8	232	48	2 个 16 位	64	8 路 10 位	68

习 题

1. 简述单片机的发展历史。
2. 单片机主要应用于哪些领域？
3. MCS—51 系列单片机有什么特点？

第二章 MCS—51 系统结构

第一节 总体结构

自 20 世纪 80 年代初, Intel 公司的 MCS—51 系列单片机问世以来, 该系列的单片机产品已发展到几十种型号。8051 是最早最典型的产品, 该系列其他新的单片机产品都是以它为核心再增加一定的功能部件后构成的。本章讨论 8051 单片机的系统结构和工作原理, 并从单片机应用的角度, 重点论述系统所提供的资源特性和使用方法。

一、结构电路

MCS—51 单片机内部总体结构框图如图 2-1 所示。

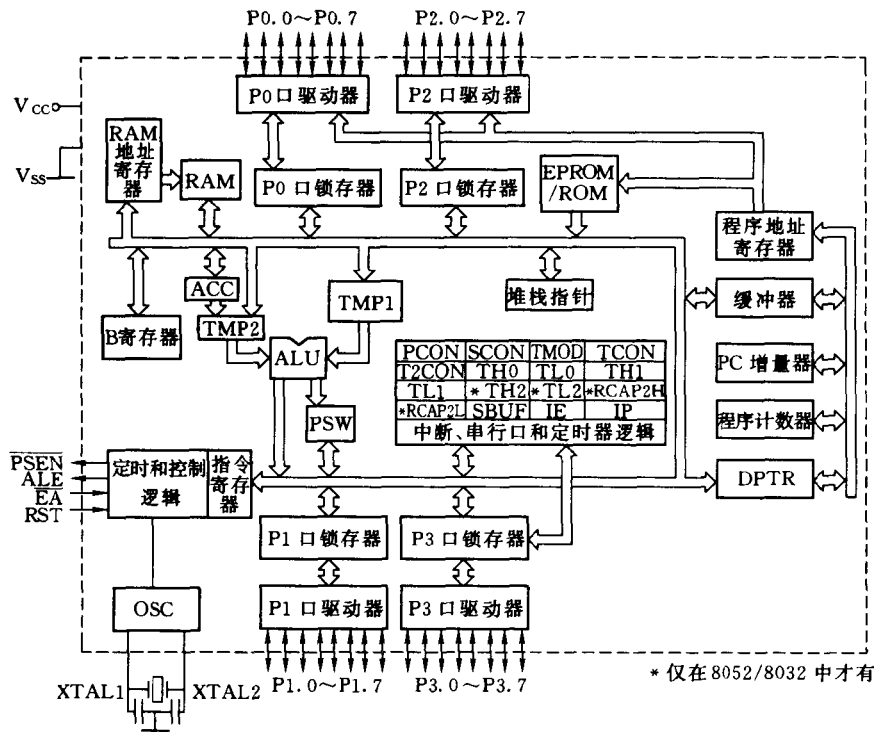


图 2-1 MCS—51 结构框图

8051 是 ROM 型单片机, 内部有 4KB 工厂掩膜编程的 ROM 程序存储器; 8751 是 EPROM 型单片机, 内部有 4KB 用户可编程的 EPROM 程序存储器; 8031 是无 ROM 程序存储器的单片机, 它必须外接 EPROM 程序存储器。除此以外, 8051, 8751 和 8031 的

内部结构是完全相同的，都具有下列硬件资源：

- 8 位中央处理器 CPU。
- 128B 内部数据存储器 RAM。
- 4 个 8 位双向输入/输出线。
- 1 个全双工的异步串行口。
- 2 个 16 位定时器/计数器。
- 5 个中断源，2 个中断优先级。
- 1 个片内振荡器和时钟电路。
- 可寻址 64KB 的外部程序存储器空间和 64KB 的外部数据存储器空间。

二、中央处理器 CPU

CPU 是单片机的核心，由它读入用户程序并加以执行。MCS—51 系列单片机内部有一个 8 位 CPU，它是由运算器 ALU、控制器等部件组成的。

(一) 运算器

运算器主要包括算术逻辑运算部件 (ALU)，累加器 ACC、B 寄存器、暂存器、程序状态字寄存器 PSW、十进制调整电路以及布尔处理器等。运算器主要用来实现数据的传送、数据的算术逻辑运算和位变量处理。

1. 累加器 ACC

累加器 ACC 是算术逻辑单元 ALU 中操作最频繁的一个 8 位寄存器，它是算术运算中存放操作数和运算结果的地方；在逻辑运算和数据转移指令中，存放源操作数和目的操作数；而执行循环、测试零等指令就是在累加器中进行操作。指令系统中常用 A 表示累加器。

2. B 寄存器

B 寄存器常用于乘除操作。乘法指令的两个操作数分别取自 A 和 B，其乘积结果的高低 8 位分别存放在 B 和 A 两个 8 位寄存器中；除法指令中，被除数取自 A，除数取自 B，商数存放于 A，余数存放于 B。在其他指令中，B 寄存器可作为通用寄存器或 RAM 的一个单元使用。

3. 程序状态字寄存器 PSW

程序状态字寄存器是一个 8 位的特殊功能寄存器，它的各位包含了程序执行后的状态信息。其格式和各位的含义如下所示：

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

CY：进位/借位标志。又是布尔处理器的累加器 C。如果数据操作的结果最高位有进位（加法）或借位（减法）时，CY=1，否则 CY=0。

AC：辅助进位/借位标志。如果操作结果低 4 位有进位（加法时）或低 4 位向高 4 位借位（减法时），则置位 AC；否则清“0”AC。AC 主要用于二—十进制数加法的十进制调整。

F0：用户定义标志位。供用户使用的软件标志，其功能和内部 RAM 中位寻址区的各

位相似。

RS1、RS0：寄存器区选择控制位。可以用软件来置位或清零以确定工作寄存器区。RS1、RS0 与寄存器区的对应关系参见表 2-3。

OV：溢出标志位。当执行算术指令时，由硬件置位或清零，以指示溢出状态。

当带符号数作加法或减法运算，结果超出 $-128 \sim +127$ 范围时， $OV=1$ ；否则 $OV=0$ 。溢出产生的逻辑条件是： $OV=C6 \oplus C7$ ，其中 C6 表示 D6 位向 D7 位的进位（或借位），C7 表示 D7 位向 CY 位的进位（或借位）。

当无符号数作乘法运算时，其结果也会影响溢出标志 OV。当置于累加器 A 和寄存器 B 中的两个数的乘积超过 255 时， $OV=1$ ，此乘积的高 8 位放在 B 寄存器内，低 8 位则放在累加器 A 中，否则 $OV=0$ 意味着只要从 A 中取得乘积即可。除法指令 DIV 也会影响溢出标志。当除数为 0 时，为无意义， $OV=1$ ，否则 $OV=0$ 。

P：奇偶标志位。表示累加器 A 的 8 位中值为 1 的个数的奇偶性。若 1 的个数为奇数，则 $P=1$ ；否则 $P=0$ 。此标志在串行通信中常被用来检验数据传输的可靠性。

(二) 控制器

控制器是控制计算机系统各种操作的部件，它包括时钟发生器、定时控制逻辑、复位电路、指令寄存器 IR、指令译码器、程序计数器 PC、程序地址寄存器、数据指针 DPTR、堆栈指针 SP 等。

1. 时钟电路

在 MCS-51 芯片内部有一个高增益反相放大器，其输入端为芯片引脚 XTAL1，输出端为引脚 XTAL2。在芯片的外部，XTAL1 和 XTAL2 之间跨接晶体振荡器和微调电容，从而构成一个稳定的自激振荡器，即单片机的时钟电路。如图 2-2 (a) 所示。一般地，电容 C1 和 C2 取 30pF 左右，晶体的振荡频率范围是 2MHz~12MHz。

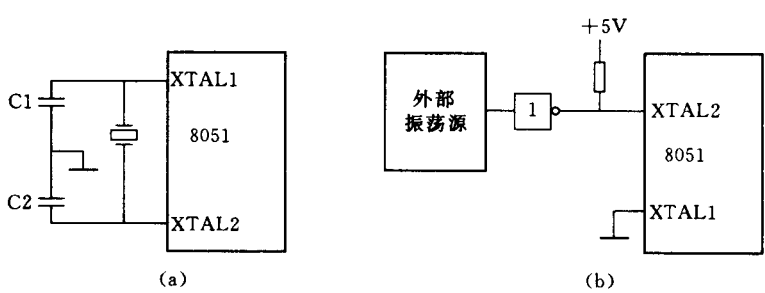


图 2-2 单片机的时钟电路

在由多片单片机组成的系统中，为了各单片机之间时钟信号的同步，应当引入惟一的公用外部脉冲信号作为单片机的振荡脉冲。这时，外部的脉冲信号经 XTAL2 引脚注入，其连接如图 2-2 (b) 所示。

2. 复位电路

计算机在启动运行时都需要复位，使中央处理器 CPU 和系统中的其他部件都处于一个确定的初始状态，并从这个状态开始工作。要实现单片机可靠复位，必须使 RST/V_{PD} 引脚保持两个机器周期以上的高电平，只要 RST 保持高电平，MCS-51 保持复位状态。

此时 ALE, $\overline{\text{PSEN}}$, P0, P1, P2, P3 口都输出高电平（即为输入状态）。RST 变为低电平后，退出复位，CPU 从初始状态开始工作。复位以后内部寄存器的初始状态见表 2-1。

表 2-1 复位后的内部寄存器状态

特殊功能寄存器	初始状态	特殊功能寄存器	初始状态	特殊功能寄存器	初始状态
ACC	00H	IP	xx000000B	TH0	00H
PC	0000H	IE	0x000000B	TL1	00H
PSW	00H	PCON	0xxx0000B	TH1	00H
SP	07H	TMOD	00H	SCON	00H
DPTR	0000	TCON	00H	SBUF	不定
P0~P3	0FFH	TL0	00H		

RST/ V_{PD} 引脚的复位操作有上电自动复位和按键手动复位两种工作方式，如图 2-3 所示。

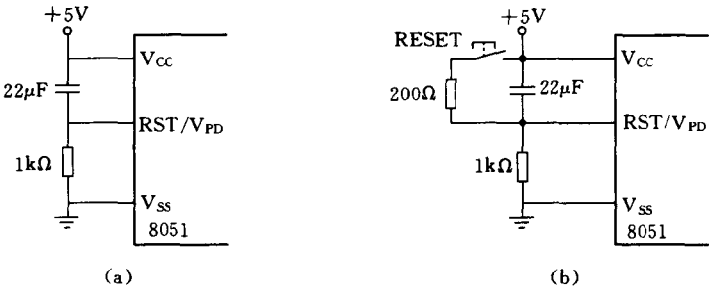


图 2-3 复位电路
(a) 上电复位；(b) 按键复位

上电自动复位是利用外部复位电路的 RC 充电来实现的。按键复位是通过使 RST/ V_{PD} 引脚经电阻与电源 V_{CC} 接通实现的。

3. 指针

程序计数器 PC：PC 中存放即将执行的下一条指令的地址。改变 PC 中的内容就可改变程序执行的方向。它是一个 16 位寄存器，可对 64KB 程序寄存器直接寻址。PC 是一个独立的寄存器，随时指向将要执行的指令的地址，并有内容自动加 1 的功能。

数据指针 DPTR：16 位数据指针，它由两个 8 位的寄存器 DPH 与 DPL 组成，一般作为访问外部数据存储器的地址指针使用，保存一个 16 位的地址，CPU 也可以对高位字节 DPH、低位字节 DPL 单独进行操作。

堆栈指针 SP：是一个 8 位的专用寄存器，它用于指明堆栈顶部在内部 RAM 中的位置，可由软件设置初始值。系统复位后，SP 初始化为 07H，使得堆栈实际上由 08H 单元开始，但在实际应用中，SP 指针一般被设置在 30H~0FFH 的范围内。在存取数据时遵循“先进后出，后进先出”的原则，数据进入堆栈前 SP 加 1，数据退出堆栈后 SP 减 1。

4. CPU 时序

CPU 时序通常是指 CPU 在执行各类指令时所需的控制信号在时间上的先后次序。

CPU 取出一条指令至该指令执行完所需的时间称为指令周期，它以机器周期为单位。一个机器周期是指 CPU 完成一个基本操作所需要的时间，一个机器周期包含 6 个状态周期：S1, S2, ..., S6，每个状态周期又分为两拍，称为 P1 和 P2。CPU 就以 P1 和 P2 为基本节拍指挥单片机各个部件协调地工作。振荡周期指的是振荡信号源为单片机提供的定时信号的周期，为振荡频率的倒数，一个机器周期包括 12 个振荡周期，分别编号为 S1P1, S1P2, S2P1, ..., S6P2。

MCS—51 单片机典型的指令周期一般为一个或两个机器周期。只有 MUL 和 DIV 指令占用 4 个机器周期。

每一条指令的执行都包括读取和执行两个阶段。如图 2-4 所示的是几种典型指令的读取和执行时序。由于无法观察到内部时钟信号，只能用 XTAL2 端的振荡信号和地址锁存允许信号 ALE 供参考。图 2-4 (a)、(b) 分别表示了单字节单周期和双字节单周期指令的时序；而图 2-4 (c)、(d) 则分别表示了单字节双周期和 MOVX 指令的时序。

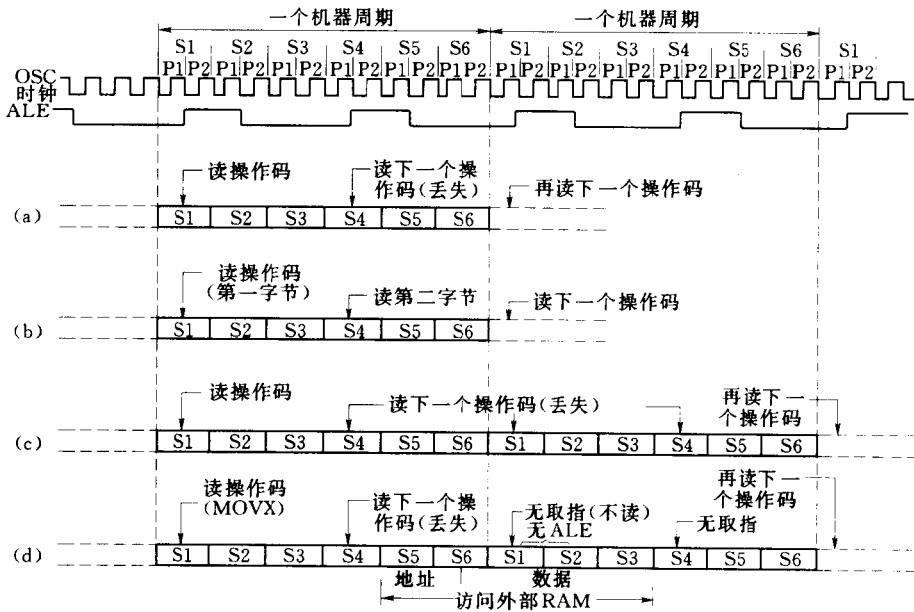


图 2-4 MCS—51 指令执行时序

- (a) 单字节单周期指令，例如：INC A；(b) 双字节单周期指令，例如：ADD A, #data；
(c) 单字节双周期指令，例如：INC DPTR；(d) 访问外部 RAM 指令 MOVX (单字节双周期)

执行一条单周期指令时，在 S1P2 开始读取指令操作码并锁存到指令寄存器中。如果是一条双字节指令，在同一个机器周期的 S4P2 开始读取第二个字节。如果是一条单字节指令，在 S4P2 仍有一次读操作，但这次读取的指令操作码是无效的，而且程序计数器 PC 也不加 1。不管上述何种情况，读指令操作都在 S6P2 结束时执行完毕。

在访问程序存储器的每个机器周期中，ALE 信号两次有效，第一次在 S1P2 和 S2P1 期间，第二次在 S4P2 和 S5P1 期间。ALE 信号的有效宽度为一个状态周期。ALE 信号出现一次，CPU 就进行一次取指令操作。所以，在一个机器周期中，通常从 ROM 中进行两次取指令操作，但访问片外数据存储器（执行 MOVX 指令）时，在第二个机器周期不

发出第一个 ALE 信号。这种情况下, ALE 信号不是周期性发生的。因此, 在不使用外部 RAM 的系统中, ALE 信号是以 1/6 时钟频率周期性发生的, 它可以给外设提供定时信号。

对片外数据存储器进行读写操作使用的是 MOVX 指令, 它是一条单字节双周期指令。执行时, 在第一个机器周期的 S1P2 时开始读取指令操作码, 而在 S4P2 时虽然也进行一次读指令操作, 但读取的指令操作码不被处理。从 S5P1 时开始送出片外数据存储器的地址, 在第二个机器周期的 S1P1 时, $\overline{RD}$ 或 $\overline{WR}$ 信号开始有效, 用来选通 RAM 芯片, 进行读/写数据操作, 在此期间不产生 ALE 有效信号, 所以, 第二个机器周期不产生取指令操作。

三、引脚功能说明

MCS—51 是标准的 40 引脚双列直插式集成电路芯片, 如图 2-5 所示。按其功能可分为电源、时钟、控制和 I/O 接口四大部分。

1. 电源引脚

V_{CC} : 芯片主电源, 正常工作时接 +5V。

V_{SS} : 电源地线。

2. 时钟引脚

XTAL1 与 XTAL2 为内部振荡器的两条引出线。

3. 控制引脚

(1) $\overline{ALE}/\overline{PROG}$: 地址锁存控制信号/编程脉冲输入端。

在扩展系统时, ALE 用于控制把 P0 口输出的低 8 位地址锁存起来, 以实现低 8 位地址和数据的隔离, P0 口作为数据地址复用口线。当访问单片机外部程序或数据存储器或外接 I/O 口时, ALE 输出脉冲的下降沿用于低 8 位地址的锁存信号; 即使不访问单片机外部程序或数据存储器或外接 I/O 口, ALE 端仍以晶振频率的 1/6 输出脉冲信号, 因此可作为外部时钟或外部定时信号使用。但应注意, 此时不能访问单片机外部程序、数据存储器或外设 I/O 接口。

对于 EEPROM 型单片机 (89C51) 或 EPROM 型单片机 (8751), 在 EEPROM 或 EPROM 编程期间, 该引脚用来输入一个编程脉冲 ($\overline{PROG}$)。

(2) $\overline{PSEN}$: 片外程序存储器读选通信号。

在 CPU 向片外程序存储器读取指令和常数时, 每个机器周期 $\overline{PSEN}$ 两次低电平有效。但在此期间, 每当访问外部数据存储器或 I/O 接口时 $\overline{PSEN}$ 无效出现。

(3) $\overline{EA}/V_{PP}$: 访问程序存储器控制信号/编程电源输入端。

当该引脚 $\overline{EA}$ 信号为低电平时, 只访问片外程序存储器, 不管片内是否有程序存储器; 当该引脚为高电平时, 单片机访问片内的程序存储器。

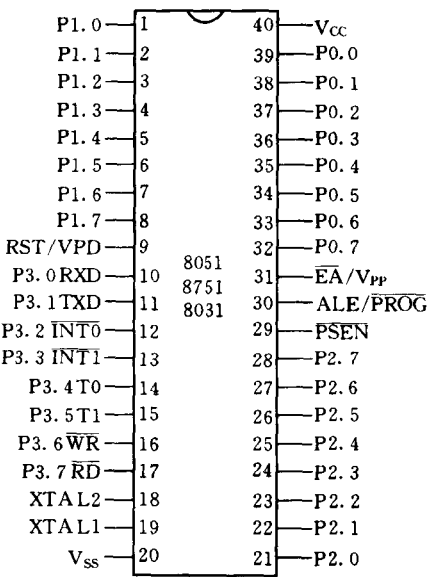


图 2-5 MCS—51 引脚图