

单片机原理与应用

DANPIANJI YUANLI YU YINGYONG

曹慧亮 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书围绕 MCS-51 这一经典单片机讲解了单片机开发的思想和方法,原理和应用并重,从实用的角度介绍了单片机的应用技术。本书内容涵盖了 MCS-51 单片机的结构与工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统等。

全书结构合理,条理清晰,内容丰富,可作为高等院校电气信息类相关专业学生的教材,也可以作为从事单片机应用系统研发工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用 / 曹慧亮主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2019. 3

ISBN 978-7-5170-7552-3

I. ①单… II. ①曹… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 056779 号

书 名	单片机原理与应用 DANPIANJI YUANLI YU YINGYONG
作 者	曹慧亮 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市华晨印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 20.75 印张 372 千字
版 次	2019 年 6 月第 1 版 2019 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	98.00 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(微控制器)是20世纪70年代中期发展起来的一种面向控制的大规模集成电路模块,具有体积小、价格便宜、控制功能强、性能稳定等优点,其开发应用在工业测控、机电一体化、办公自动化、家用电器、航天航空、军事装置等多领域占有重要地位。

目前,新型单片机的功能越来越多,速度也越来越快,但MCS-51系列单片机仍是国内应用最广泛的一种8位单片机。经过多年的推广与发展,MCS-51系列单片机形成了一个规模庞大、功能齐全、资源丰富的产品群。随着嵌入式系统、片上系统等概念的提出和普遍应用,MCS-51系列单片机的发展又进入了一个新的阶段。近年来,基于MCS-51系列单片机的嵌入式实时操作系统的出现与推广,表明MCS-51系列及其衍生型单片机将在今后很长一段时间内占据嵌入式系统产品的低端市场。

本书在编写方面主要有以下特点:

- (1) 力求做到难易适当、深入浅出,融会贯通。
- (2) 在基本概念、原理理论及分析方法的基础上,突出单片机的实践性。
- (3) 案例丰富,在重点和难点内容上精选最新范例,保证理论与实际结合,务求实用。

本书围绕MCS-51这一经典单片机系列讲解了单片机开发的思想和方法,原理和应用并重,从实用的角度介绍了单片机的应用技术。全书共分10章,主要内容包括:单片机及其仿真软件概述、MCS-51单片机的结构与工作原理、MCS-51单片机的指令系统、MCS-51单片机的汇编语言程序设计、MCS-51单片机的中断系统、MCS-51单片机的定时器/计数器、MCS-51单片机的串行接口通信、MCS-51单片机系统的扩展、MCS-51单片机接口技术、单片机应用系统的设计等。

本书在编写过程中,参考了大量有价值的文献与资料,吸取了其中的宝贵经验,在此向这些文献的作者表示敬意。此外,本书的编写还得到了中国水利水电出版社领导和编辑的鼎力支持和帮助,同时也得到了学校领导的支持和鼓励,在此一并表示感谢。由于编者自身水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,敬请广大读者和专家给予批评指正。

编 者

2019年2月

目 录

前言	1
第 1 章 单片机及其仿真软件概述	1
1.1 单片机	1
1.2 单片机仿真软件 Proteus	11
第 2 章 MCS-51 单片机的结构与工作原理	32
2.1 单片机的组成结构	32
2.2 单片机的引脚功能	34
2.3 单片机的存储器结构	40
2.4 单片机的时钟电路	48
2.5 单片机的时序与复位	49
2.6 单片机的并行 I/O 接口	54
2.7 单片机的工作原理	57
第 3 章 MCS-51 单片机的指令系统	62
3.1 指令系统概述	62
3.2 单片机的寻址方式	65
3.3 单片机的指令系统	71
第 4 章 MCS-51 单片机的汇编语言程序设计	100
4.1 汇编程序设计概述	100
4.2 结构化程序设计方法	107
4.3 汇编语言程序设计实例	123
第 5 章 MCS-51 单片机的中断系统	134
5.1 中断系统概述	134
5.2 MCS-51 中断系统	136
5.3 外部中断扩展方法	145
5.4 中断程序设计	147
5.5 中断的应用	150

第 6 章 MCS-51 单片机的定时器/计数器	155
6.1 定时和计数	155
6.2 定时器/计数器的结构与工作原理	156
6.3 定时器/计数器的特殊功能寄存器 TMOD、TCON	158
6.4 定时器/计数器的工作方式	160
6.5 定时器/计数器的应用	167
第 7 章 MCS-51 单片机的串行接口通信	175
7.1 串行通信概述	175
7.2 串行口的结构与工作原理	181
7.3 串行口的特殊功能寄存器 SCON、PCON	183
7.4 串行通信接口工作方式	186
7.5 串行通信波特率	192
7.6 单片机与 PC 机串行通信	195
7.7 单片机双机通信	202
7.8 单片机多机通信	204
7.9 串行接口的应用	209
第 8 章 MCS-51 单片机系统的扩展	212
8.1 基于三总线的系统扩展	212
8.2 外部存储器的扩展	214
8.3 并行 I/O 接口的扩展	229
第 9 章 MCS-51 单片机接口技术	236
9.1 A/D 转换接口技术	236
9.2 D/A 转换接口技术	249
9.3 键盘接口技术	262
9.4 显示器接口技术	273
第 10 章 单片机应用系统的设计	281
10.1 单片机应用系统的结构	281
10.2 单片机应用系统的设计要求和步骤	292
10.3 单片机应用系统的设计实例	304
附录	316
参考文献	321

第 1 章 单片机及其仿真软件概述

1.1 单 片 机

1.1.1 单片机的概念

一般地,一台能够工作的计算机主要由 CPU(中央处理器),RAM(随机存储器),ROM(只读存储器),I/O 设备(串行口、并行输出口)等几大构成。另外,还有显卡、声卡、网卡等。在个人计算机上,这些部分被分成若干块芯片,安装在一个称为主板的印刷线路板上,如图 1-1 所示。

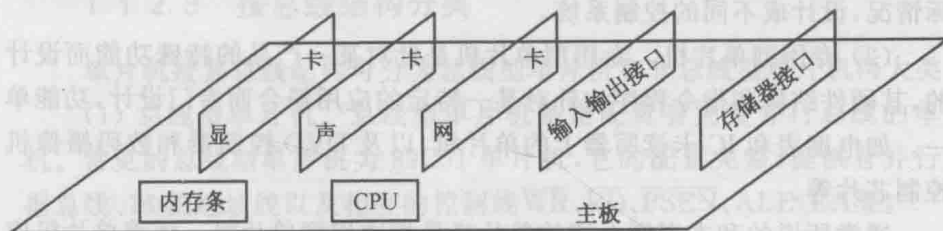


图 1-1 计算机部件构成图

将个人计算机应用于工业时,由于被控对象种类繁多,不可能设计一款通用计算机,必须根据特定场合、特定应用对通用计算机的各部分进行取舍以得到最合适的嵌入式计算机系统。这就得到了最早的单片机模型——单板机,单板机将 CPU、存储器和必要的 I/O 设备设计在一张印刷电路板上。

单片机是一种计算机,它将中央处理器(CPU)、存储器(RAM、ROM、EPROM)和各种输入、输出接口以及某些专用外围设备等电路集成在一块芯片上,称为单片微型计算机,简称单片机。

单片机内部含有计算机的基本功能部件,典型的单片机内部结构如图 1-2 所示。

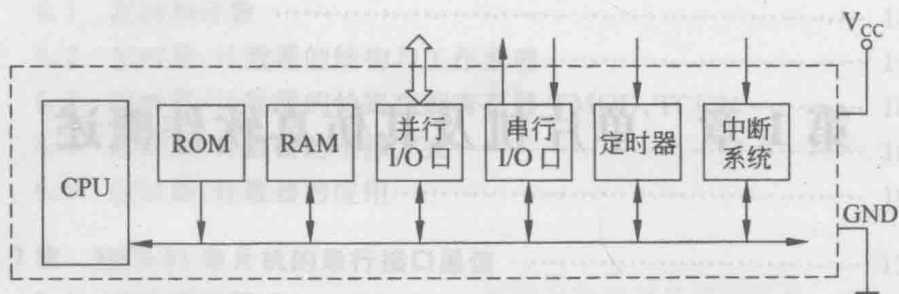


图 1-2 典型的单片机内部结构

1.1.2 单片机的分类

1.1.2.1 按用途分类

单片机按其用途可分为通用型和专用型两大类。

(1) 通用型单片机。通用型单片机是一种基本芯片，它将可开发资源，如存储器、I/O 出接口等全部提供给设计者和使用者，使用者可根据自身实际情况，设计成不同的控制系统。

(2) 专用型单片机。专用型单片机是针对某一产品的特殊功能而设计的，其硬件结构和指令程序均针对某一特定的应用场合而专门设计，功能单一。如电度表和 IC 卡读写器上的单片机，以及 DVD 控制器和数码摄像机控制芯片等。

通常所说的和本书所介绍的单片机是指通用型单片机。随着单片机应用的进一步推广和深入，各种专用型单片机芯片将会越来越多，成为今后单片机发展的重要方向。

1.1.2.2 按数据总线的位数分类

单片机按其数据总线的位数可分为 4 位、8 位、16 位、32 位单片机。

(1) 4 位单片机。4 位单片机的控制功能不强，通常用于各种规模较小的家用电器、电子玩具等控制器类消费产品。

(2) 8 位单片机。8 位单片机的控制功能较为出色，且品种繁多，应用广泛。8 位单片机的分类示意图如图 1-3 所示。

(3) 16 位单片机。16 位单片机具有很强的数值运算能力和较快的反应速度，常用在实时控制、实时处理的系统中。

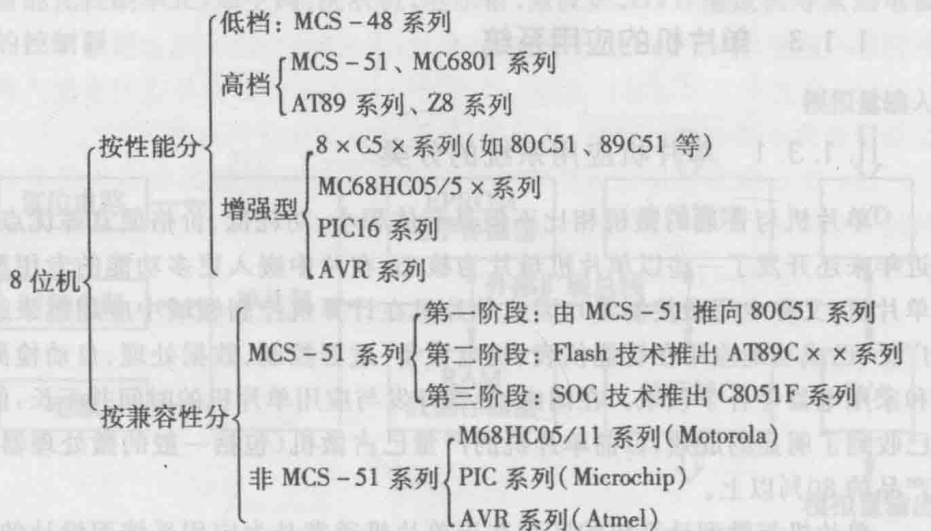


图 1-3 8 位单片机的分类示意图

(4) 32 位单片机。32 位单片机具有极高的运算速度,是单片机发展的趋势,多用于嵌入式系统,应用前景广泛。

1.1.2.3 按总线结构分类

单片机按其总线结构可分为总线型单片机和非总线型单片机两大类。

(1) 总线型单片机。总线型单片机是指配置有完整并行总线的单片机。常见的总线型单片机为 89C51 单片机,它的配置完整,提供有并行数据总线、16 位地址线以及相应的控制线 \overline{WR} 、 \overline{RD} 、 \overline{PSEN} 、 \overline{ALE} 、 \overline{EA} 等。

(2) 非总线型单片机。常见的非总线型单片机是与 89C51 相同系列的非总线型单片机 89C1051/2051 单片机中,省略了并行总线和相应的控制信号线,数据总线位数减少,芯片成本下降,故又称为廉价型单片机。非总线型单片机无法扩展外部并行接口器件,但可采用串行方式进行扩展。

1.1.2.4 按应用领域分类

单片机按其应用领域可分为家电类、工控类、通信类、个人信息终端 (Personal Digital Assistant, PDA) 类等。这些不同领域对单片机应用系统有不同的要求。例如,小家电要求小型价廉, PDA 则要求大容量存储、大屏幕 LCD 显示、极低功耗等。

1.1.3 单片机的应用系统

1.1.3.1 单片机应用系统的分类

单片机与普通的微机相比不但具有体积小、功耗低、价格便宜等优点,近年来还开发了一些以单片机母片为核心,在片中嵌入更多功能的专用型单片机(又称专用微控制器),因此单片机在计算机控制领域中应用越来越广泛,已成功地应用在智能仪表、机电设备、过程控制、数据处理、自动检测和家用电器等各个领域。在国内,尽管开发与应用单片机的时间并不长,但已收到了明显的成效,目前单片机的产量已占微机(包括一般的微处理器)产品的80%以上。

单片机与微型计算机的区别在于单片机通常是应用系统而设计的,本身一般不具有自我开发和编程的能力,因此必须借助于开发工具来开发。单片机最突出的特点是可根据应用场合及系统功能要求不同而进行扩展,因此,单片机的应用系统大致可分为基本系统和扩展系统两种类型。

(1) 基本系统。单片机基本系统中,单片机外部没有程序存储器、数据存储器或 I/O 接口等扩展部件,仅仅是由 ROM 型或 EPROM 型单片机构成的应用系统,基本系统结构如图 1-4 所示。



图 1-4 单片机基本系统结构

(2) 扩展系统。单片机扩展系统主要是为了满足一些应用系统的特殊需要,对系统进行扩展设计以弥补单片机内部资源的不足。单片机的扩展系统通过并行 I/O 接口或串行接口作总线,在外部扩展了程序存储器、数据存储器或 I/O 口及其他功能部件,扩展系统结构如图 1-5 所示。

1.1.3.2 单片机应用系统的层次结构

为实现某一应用需要,由用户设计的以单片机为核心,配以控制、输入、输出、显示等外围电路的系统,称为单片机系统。单片机是典型的嵌入式系统,只能作为嵌入式应用,即嵌入到对象环境、结构、体系中作为其中的一个

智能化控制单元,如空调、洗衣机、电冰箱、微波炉、DVD 播放机等家用电器的控制器。

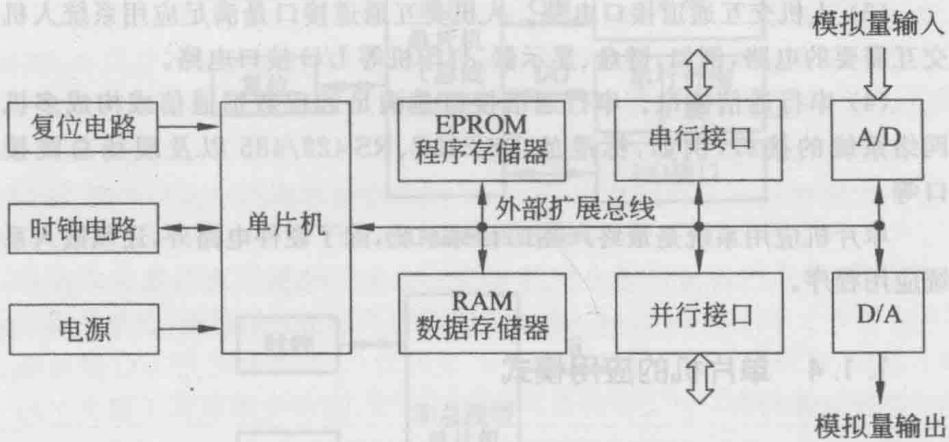


图 1-5 单片机扩展系统结构

单片机应用系统结构通常分为单片机、单片机系统、单片机应用系统 3 个层次。其层次结构如图 1-6 所示。

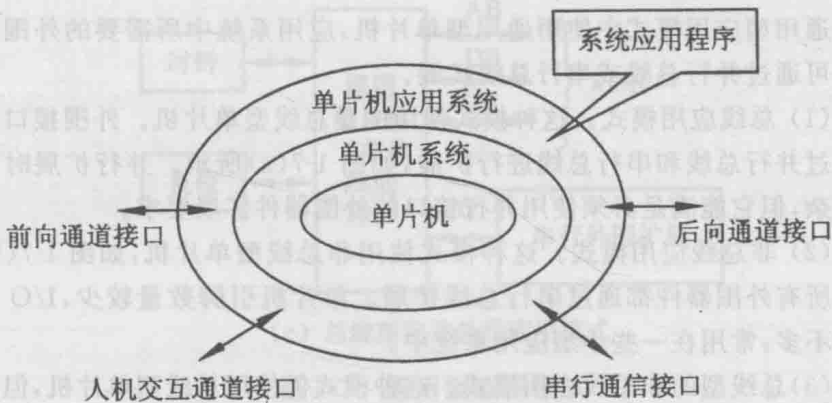


图 1-6 单片机应用系统的层次结构

单片机应用系统是满足嵌入式对象要求的全部电路系统,它在单片机系统的基础上配置了面向对象的接口电路,主要包括:

(1) 前向通道接口电路。它是应用系统面向检测对象的输入接口。通常是各种物理量的传感器、变换器输入通道。根据电量输出信号的类型(如小信号模拟电压、大信号模拟电压、开关信号、数字脉冲信号等)的不同,其接口电路也不同。通常有信号调理器、A/D 转换器、开关输入、频率测量接口等。

(2) 后向通道接口电路。它是应用系统面对控制对象的输出接口,根据伺服控制要求,通常有数字/模拟转换器、开关输出、功率驱动接口等。

(3) 人机交互通道接口电路。人机交互通道接口是满足应用系统人机交互需要的电路,例如,键盘、显示器、打印机等 I/O 接口电路。

(4) 串行通信接口。串行通信接口是满足远程数据通信或构成多机网络系统的接口,例如,标准的 RS-232C、RS-422/485 以及现场总线接口等。

单片机应用系统是最终产品的目标系统,除了硬件电路外,还须嵌入系统应用程序。

1.1.4 单片机的应用模式

按应用系统的体系结构划分,单片机系统的应用模式大致分为通用型应用模式和专用型应用模式。在通用型应用模式中又分为总线应用模式、非总线应用模式和总线型的非总线应用模式。

1.1.4.1 通用型应用模式

通用型应用模式中使用通用型单片机,应用系统所需要的外围接口电路可通过并行总线或串行总线扩展。

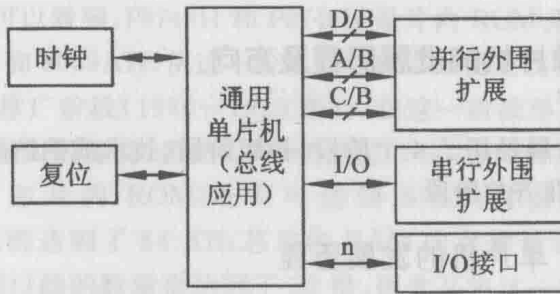
(1) 总线应用模式。这种模式使用的是总线型单片机。外围接口电路可通过并行总线和串行总线进行扩展,如图 1-7(a)所示。并行扩展时电路较复杂,但它能满足必须使用并行接口的外围器件扩展要求。

(2) 非总线应用模式。这种模式使用非总线型单片机,如图 1-7(b)所示。所有外围器件都通过串行总线扩展。单片机引脚数量较少,I/O 接口数量不多,常用在一些小型应用系统中。

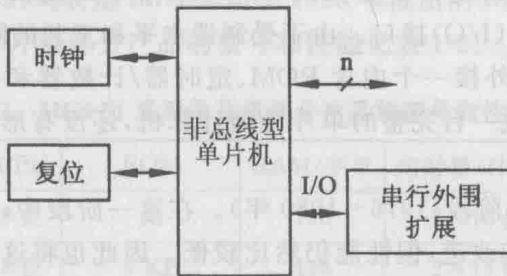
(3) 总线型的非总线应用模式。这种模式仍使用总线型单片机,但并行总线不用于扩展外围器件,将这些总线引脚作为 I/O 接口使用。所需的外围器件都通过串行总线扩展,如图 1-7(c)所示。使用这种方式可获得较多的 I/O 接口线,通过串行扩展也可简化系统电路。

1.1.4.2 专用型应用模式

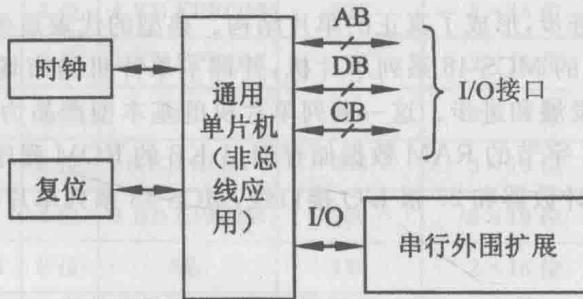
专用型应用模式中使用专用型单片机,将应用系统所需要的接口电路都集成在单片机中,如图 1-8 所示。应用系统电路简单,只有一些无法集成到单片机内部的外部设备及周边器件。



(a) 总线应用模式



(b) 非总线应用模式



(c) 总线型的非总线应用模式

图 1-7 通用型应用模式

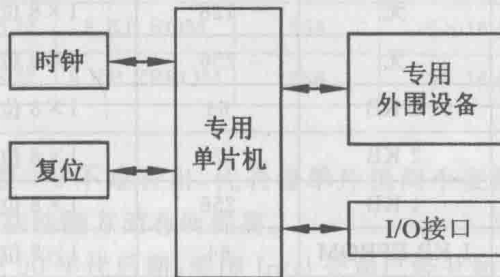


图 1-8 专用型应用模式

1.1.5 单片机的发展历程及方向

单片机的发展经历了4个阶段:初级阶段、技术成熟阶段、发展和推广阶段、单片机百花齐放阶段。

1.1.5.1 单片机的发展历程

(1) 初级阶段(1974—1976年)。在这一阶段,单片机的功能和结构都比较简单,芯片内只包含了8位的CPU、64字节的随机读写数据存储器RAM和2个并行(I/O)接口。由于受制造水平和工艺的限制,芯片采用了双片结构,还需要外接一个内含ROM、定时器/计数器和并行I/O接口电路的芯片才能构成一台完整的单片微型计算机,还没有形成真正意义上的单片机。

(2) 技术成熟阶段(1976—1980年)。在这一阶段中,单片机的性能和结构都有所提高和改进,但性能仍然比较低。因此也将这一阶段的单片机称为低性能单片机阶段。从该阶段单片机技术开始走向成熟的阶段。

尽管这一阶段单片机的性能仍然较低,但随着超大规模集成电路制造水平和工艺的进步,形成了真正的单片结构。典型的代表是美国Intel公司于1976年推出的MCS-48系列单片机,开辟了单片机的市场,促进了单片机技术的迅猛发展和进步。这一系列单片机的基本型产品为8048,其内含8位的CPU、64字节的RAM数据存储器、1KB的ROM程序存储器、一个8位的定时器/计数器和27根I/O接口线,MCS-48系列单片机的型号和性能见表1-1。

表1-1 MCS-48系列单片机的型号和性能

型号	CPU	ROM	RAM/B	定时器/计数器	I/O接口线
8035AHL	8位	无	64	1×8位	15
8039AHL	8位	无	128	1×8位	15
8040AHL	8位	无	256	1×8位	15
8048AH	8位	1KB	64	1×8位	27
8049AH	8位	2KB	128	1×8位	27
8050AH	8位	4KB	256	1×8位	27
P8748H	8位	1KB EPROM	64	1×8位	27
P8749H	8位	2KB EPROM	128	1×8位	27

从表 1-1 中可以看到, P8748H 和 P8749H 是片内 ROM 采用了 EPROM 形式的 8048AH 和 8049AH, 从这一阶段开始可以方便地改写控制程序。

(3) 发展和推广阶段(1980—1983 年)。在这一阶段单片机技术更加成熟, 性能有了很大的提高, 虽然 CPU 仍然是 8 位, 但时钟频率已经提高到了 12 MHz。芯片内 ROM 最大可达到 8 KB, 并开始普遍应用 EPROM, 寻址范围达到了 64 KB, 芯片内 RAM 的存储量最小也达到了 128 字节, I/O 接口线的数量也达到了 32 根, 因此又将这一阶段称为高性能单片机阶段。

这一阶段典型的代表是 Intel 公司于 1980 年推出的 MCS-51 系列单片机, MCS-51 系列单片机部分产品的型号和性能见表 1-2。

表 1-2 MCS-51 系列单片机部分产品的型号和性能

型号	CPU	ROM	RAM/字节	定时器/计数器	I/O 接口线
8051	8031AH	无	128	2×16 位	32
	8051AH	4 KB	128	2×16 位	32
	8051BH	4 KB	128	2×16 位	32
	8751AH	4 KB EPROM	128	2×16 位	32
	8751BH	4 KB EPROM	128	2×16 位	32
8052	8032BH	无	256	3×16 位	32
	8052BH	8 KB ROM	256	3×16 位	32
	8752BH	8 KB EPROM	256	3×16 位	32
80C51	80C31BH	无	128	2×16 位	32
	80C51BH	4 KB ROM	128	2×16 位	32
	80C51BHP	4 KB ROM	128	2×16 位	32
	87C51	4 KB EPROM	128	2×16 位	32
	83C51FA	8 KB ROM	256	3×16 位	32
	87C51FA	8 KB EPROM	256	3×16 位	32

对比表 1-1 和表 1-2 不难看出, 代表着单片机两个发展阶段的典型产品中, MCS-51 系列在性能方面有所提高。

虽然在 20 世纪 90 年代后期, 美国 Intel 公司已经开始逐步退出单片机市场, 但 MCS-51 系列单片机的核心技术仍然是多家单片机研发和生产公司竞相采用的内核技术。MCS-51 系列单片机的核心技术主要指逻辑运

算、算术运算及其相关部件的设计技术。

(4) 单片机百花齐放阶段(1983 年至今)。这一阶段出现了形形色色各种型号各种用途的单片机数百种,呈现百花齐放态势。常见的 51 系列单片机,具有容量大,资料多,使用方便的特点;PIC 系列单片机具有低工作电压,低功耗,较大的驱动能力的特点,其市场占有率仅次于 51 系列单片机;68HC05 系列单片机是 Freescale 产品,其特点是在同样的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多,因而使得其高频噪声低,抗干扰能力强,更适合于工控领域及恶劣的环境;AVR 系列单片机、89 系列单片机具有高速处理能力,在一个时钟周期内可执行复杂的指令;ARM 系列单片机常用于高端嵌入式系统的开发。

1.1.5.2 单片机的发展方向

纵观单片机的发展过程,可以预测单片机的发展趋势,大致如下^①。

(1) 低功耗 CMOS 化。MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630 mW,而现在的单片机普遍都在 100 mW 左右,随着对单片机功耗要求越来越低,现在的各个单片机制造商基本都采用了 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor,互补金属氧化物半导体工艺)。如 80C51 就采用了 HMOS(High performance Metal Oxide Semiconductor,即高密度金属氧化物半导体工艺)和 CHMOS(互补高密度金属氧化物半导体工艺)。CMOS 虽然功耗较低,但由于其物理特征决定其工作速度不够高,而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点,这些特征,更适合于在要求低功耗如电池供电的应用场合。所以这种工艺将是今后一段时期单片机发展的主要方向。

(2) 微型单片化。现在常规的单片机普遍都是将中央处理器(CPU)、随机存取数据存储(RAM)、只读程序存储器(ROM)、并行和串行通信接口、中断系统、定时电路、时钟电路集成在一块单一的芯片上;增强型的单片机将 A/D 转换器、PMW(脉宽调制电路)、WDT(看门狗)、以及 LCD(液晶)驱动电路都集成在单一的芯片上,这样单片机包含的单元电路就更多,功能就更强大。甚至单片机厂商还可以根据用户的要求量身定做,制造出具有自己特色的单片机芯片。

此外,现在的产品普遍要求体积小、重量轻,这就要求单片机除了功能强和功耗低外,还要求其体积要小。现在的许多单片机都具有多种封装形式,其中 SMD(表面封装)越来越受欢迎,使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。

^① 来源:eefocus 引用地址:http://www.eeworld.com.cn/mcu/article_2017111435906.html

(3) 主流与多品种共存。现在虽然单片机的品种繁多,各具特色,但仍以 80C51 为核心的单片机占主流,兼容其结构和指令系统的有 PHILIPS 公司的产品、ATMEL 公司的产品和台湾地区的 Winbond 系列单片机。所以以 80C51 为核心的单片机占据了半壁江山。而 Microchip 公司的 PIC 精简指令集(RISC)也有着强劲的发展势头,台湾地区的 HOLTEK 公司近年的单片机产量与日俱增,以其低价质优的优势,占据一定的市场份额。此外,还有 MOTOROLA 公司的产品,日本几大公司的专用单片机。在一定的时期内,这种情形将得以延续,将不存在某种单片机一统天下的垄断局面,依旧是多品种依存互补,相辅相成、共同发展。

1.2 单片机仿真软件 Proteus

1.2.1 概述

Proteus 软件是由英国 Lab Center Electronics 公司开发的 EDA 工具软件。自 1989 年问世至今,经历了 30 年的发展,功能得到了不断的完善,性能越来越好,全球的用户也越来越多。Proteus 之所以在全球得到应用,原因是它具有自身的特点和结构。Proteus 电子设计软件由原理图输入(ISIS)、混合模型仿真器、动态器件库、高级图形分析模块、处理器仿真模型及布线/编辑(ARES)6 部分组成,如图 1-9 所示。

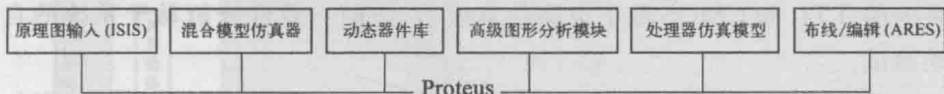


图 1-9 Proteus 基本组成

1.2.1.1 Proteus 软件的特点

Proteus 软件的特点如下:

- (1) 集原理图设计、仿真和 PCB 设计于一体,是真正实现从概念到产品的完整电子设计工具。
- (2) 具有模拟电路、数字电路、单片机应用系统、嵌入式系统(不高于 ARM7)设计与仿真功能。
- (3) 具有全速、单步、设置断点等多种形式的调试功能。