

第 1 章 单片机概述

导读：Intel 公司的 8 位单片机 8051 的体系结构已成为国内外公认的标准。它被许多厂家作为基核，推出了多种兼容机型，在世界范围内得到广泛应用。其中，美国 Atmel 公司的 AT89S51（或 AT89S52）单片机是最具代表性的机型，也是单片机初学者首选的入门机型。本章介绍单片机的基础知识、发展历史、发展趋势及应用领域，同时也对嵌入式处理器家族中其他成员，如 DSP、嵌入式微处理器等进行概括性介绍，以使读者对其有初步了解，为后续学习 DSP、嵌入式微处理器等打下基础。

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来，已广泛应用于工业自动控制系统、自动检测设备、智能仪器仪表、机电一体化设备、汽车电子系统、家用电器等各个方面。那么，什么是单片机呢？

1.1 单片机简介

单片机就是在一个半导体硅片上，集成了中央处理单元（CPU）、存储器（RAM 和 ROM）、并行口、串行口、定时/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线，用于测控领域的单片微型计算机，简称单片机。

由于单片机在使用时，通常处于测控系统的核心地位并嵌入其中，所以国际上通常把单片机称为嵌入式微控制器（Embedded MicroController Unit, EMCU）或微控制器（MicroController Unit, MCU）。而在我国，大部分工程技术人员则习惯使用“单片机”这一名称。

单片机的问世，是计算机技术发展史上的一个重要里程碑，它标志着计算机正式形成了通用计算机和嵌入式计算机两大分支。单片机芯片体积小、成本低，可广泛嵌入工业控制单元、机器人、智能仪器仪表、武器系统、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、汽车电子系统、玩具、个人信息终端及通信产品中。

单片机按照其用途可分为通用型和专用型两大类。

通用型单片机就是其内部可开发的资源（如存储器、I/O 口等各种外围部件等）全部提供给用户。用户可根据实际需要，设计一个以通用型单片机芯片为核心的系统，再配以外围接口电路及其他外部设备（简称外设），并编写相应的程序来控制其功能，以满足各种不同测控系统的功能需求。通常所说的和本书所介绍的单片机均是指通用型单片机。

专用型单片机是专门针对某些产品的特定用途而制作的。例如，各种家用电器中的控制器等。单片机芯片制造商常与产品厂家合作，设计和生产“专用”的单片机芯片。因为在设计中，已经对“专用”单片机在系统结构最简化、成本最佳化和可靠性提高等方面都做了全面综合考虑，所以“专用”单片机具有十分明显的综合优势。但是，无论“专用”单片机在用途上有多么“专”，其基本结构和工作原理都是以通用型单片机为基础的。

1.2 单片机的发展历史

单片机根据其基本操作处理的二进制位数主要分为：8 位单片机、16 位单片机和 32 位单片机。

单片机的发展历史大致可分为4个阶段。

第一阶段：初级单片机阶段。因工艺限制，单片机采用双片形式，且功能简单。1974年12月，仙童公司推出了8位F8单片机，实际上它只包括了8位CPU、64B RAM和两个并行口。

第二阶段：低性能单片机阶段。1976年，Intel公司推出的MCS-48单片机（8位）极大地促进了单片机的变革和发展。1977年，GI公司推出了PIC1650。但这一阶段的单片机仍然处于低性能阶段。

第三阶段：高性能单片机阶段。该阶段使应用跃上了一个新的台阶。这一阶段推出的单片机普遍带有串行口、多级中断系统、16位定时/计数器，其内部ROM、RAM容量加大，且寻址范围可达64KB，有的内部还带有A/D转换器。由于其性价比高，所以得到广泛应用。典型产品为Intel公司的MCS-51系列、Motorola公司的6801单片机。此后，各公司生产的与MCS-51系列兼容的8位单片机得到了迅速发展，新机型不断涌现。

第四阶段：8位单片机巩固发展及16位、32位单片机推出阶段。20世纪90年代是单片机制造业大发展的时期，这一时期的Motorola、Intel、Microchip、Atmel、德州仪器（TI）、三菱、日立、飞利浦、LG等公司相继开发了一大批性能优越的单片机，极大地推动了单片机的推广与应用。近年来，又有不少新型的高集成度的单片机涌现出来，出现了单片机产品百花齐放、丰富多彩的局面。目前，除8位单片机得到广泛应用之外，16位、32位单片机也得到广大用户的青睐。

1.3 单片机的特点

单片机是集成电路技术与微型计算机技术高速发展的产物。单片机体积小、价格低、应用方便、性能稳定可靠，因此单片机的发展普及给工业自动化等领域带来了一场重大革命和技术进步。单片机很容易嵌入系统之中，便于实现各种方式的检测或控制，这是一般微型计算机根本做不到的。单片机只要在其外部适当增加一些必要的外围扩展电路，就可以灵活地构成各种应用系统，如工业自动控制系统、自动检测监视系统、数据采集系统、智能仪器仪表等。

为什么单片机应用如此广泛？主要是因为单片机应用系统具有以下优点。

（1）简单方便，易于掌握和普及。单片机应用系统设计、组装、调试已经变成一件容易的事情，广大工程技术人员通过学习可很快掌握其应用系统的设计与调试技术。

（2）功能齐全，性能可靠，抗干扰能力强。

（3）发展迅速，前景广阔。在短短几十年的时间里，单片机就经历了8位机、16位机、32位机等发展阶段。尤其是形式多样、集成度高、功能日臻完善的单片机不断问世，更使得单片机在工业控制及自动化领域获得了长足发展和大量应用。近几年，单片机内部结构愈加完美，配套的内部外围部件越来越完善，一个芯片就是一个应用系统，为应用系统向更高层次和更大规模的发展奠定了坚实基础。

（4）嵌入容易，用途广泛。单片机的体积小、性价比高、灵活性强等特点，使之在嵌入式微控制系统中具有十分重要的地位。在单片机问世前，人们要想制作一套测控系统，往往需要采用大量的模拟电路、数字电路、分立元件来完成，系统体积庞大，且因为线路复杂，连接点太多，极易出现故障。单片机问世后，电路组成和控制方式都发生了很大变化。在单片机应用系统中，各种测控功能的实现绝大部分都已经由单片机的程序来完成，其他电子线路则由内部

外围部件来替代。

1.4 单片机的应用领域

单片机具有软/硬件结合、体积小、易于嵌入各种应用系统中的优点。因此，以单片机为核心的嵌入式控制系统在下述各个领域得到了广泛应用。

(1) 工业控制与检测。在工业领域，单片机的主要应用有：工业过程控制、智能控制、设备控制、数据采集和传输、测试、测量、监控等。在工业自动化领域，机电一体化技术将发挥愈来愈重要的作用，在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术（如机器人技术）中，单片机发挥着非常重要的作用。

(2) 仪器仪表。目前对仪器仪表的自动化和智能化要求越来越高。在智能仪器仪表中使用单片机，有助于提高仪器仪表的精度和准确度，简化结构，减小体积，便于携带和使用，加速仪器仪表向数字化、智能化、多功能化方向发展。

(3) 消费类电子产品。单片机在家用电器中的应用已经非常普及，如洗衣机、电冰箱、微波炉、空调、电风扇、电视机、加湿机、消毒柜等。在这些设备中嵌入单片机后，使其功能与性能大大提高，并实现了智能化、最优化控制。

(4) 通信。在调制解调器、手机、传真机、程控电话交换机、信息网络及各种通信设备中，单片机也已经得到广泛应用。

(5) 武器装备。在现代化的武器装备中，如飞机、军舰、坦克、导弹、鱼雷制导、智能武器装备、航天飞机导航系统等，都有单片机的嵌入。

(6) 各种终端及计算机外部设备。计算机网络终端设备（如银行终端）及计算机外部设备（如打印机、硬盘驱动器、绘图机、传真机、复印机等）中都使用了单片机作为控制器。

(7) 汽车电子系统。单片机已经广泛地应用在各种汽车电子系统中，如汽车安全系统、汽车信息系统、智能自动驾驶系统、汽车卫星导航系统、汽车紧急请求服务系统、汽车防撞监控系统、汽车自动诊断系统以及汽车黑匣子等。

(8) 分布式多机系统。在比较复杂的多节点测控系统中，常采用分布式多机系统。多机系统一般由若干功能各异的单片机组成，各自完成特定的任务，它们通过串行通信相互联系、协调工作。在这种系统中，单片机往往作为一个终端机，安装在系统的某些节点上，对现场信息进行实时的测量和控制。

综上所述，从工业控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等方面，直到国防等尖端技术领域，单片机都发挥着十分重要的作用。

1.5 单片机的发展趋势

单片机将向大容量、高性能、外围部件内装化等方面发展。

1. CPU 的改进

(1) 增加数据总线的宽度。例如，各种 16 位单片机和 32 位单片机，其数据处理能力要优于 8 位单片机。另外，8 位单片机内部采用 16 位数据总线，其数据处理能力也明显优于一般的 8 位单片机。

(2) 采用双 CPU 结构，以提高数据处理能力。

2. 存储器的发展

(1) 内部程序存储器普遍采用 Flash 存储器。Flash 存储器能在+5V 下进行读/写操作，既有静态 RAM 的读/写操作简便的优点，又有在掉电时数据不会丢失的好处。单片机可不用扩展外部程序存储器，大大简化了系统的硬件结构。有的单片机内部程序存储器容量可达 128KB，甚至更多。

(2) 加大内部数据存储器容量。例如，8 位单片机 PIC18F452 内部集成了 4KB RAM，可以满足动态数据存储的需要。

3. 内部 I/O 的改进

(1) 增加并行口的驱动能力，以减少外部驱动芯片。有的单片机可以直接输出大电流和高电压，以便直接驱动 LED 显示屏和 VFD 荧光显示器。

(2) 有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能，为构成分布式、网络化系统提供了方便条件。

(3) 引入数字交叉开关，改变了以往内部外围部件与外部 I/O 引脚的固定对应关系。交叉开关是一个大的数字开关网络，可通过编程设置交叉开关控制寄存器，对定时/计数器、串行口、中断系统、A/D 转换器等内部外围部件进行灵活配置，使之出现在端口的 I/O 引脚上，允许用户根据自己的特定应用，将内部外围部件资源分配给端口的 I/O 引脚。

4. 低功耗

目前的单片机产品大多为 CMOS 芯片，功耗小。这些单片机普遍配置有等待状态、睡眠状态、关闭状态等工作方式。在这些状态下低电压工作的单片机，其消耗的电流仅在 μA 或 nA 量级，适合于电池供电的便携式、手持式仪器仪表及其他消费类电子产品。

5. 外围部件内装化

随着集成电路技术及工艺的不断发展和进步，把所需的众多外围部件全部装入单片机内，即系统的单片化是目前单片机发展的趋势之一，一个芯片就是一个“测控”系统。

6. 编程及仿真的简单化

目前，大多数单片机都支持在线编程，有两种实现方法：在系统编程（ISP）和在应用编程（IAP）。只需一根与 PC 机相连的 ISP 下载线（多为 USB 口或串行口），就可以把仿真调试通过的程序代码从 PC 机在线写入单片机的 Flash 存储器内，省去了编程器。某些机型还支持应用编程（IAP），可在线升级或销毁单片机中的应用程序，省去了仿真器。

综上所述，单片机正在向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格、外围部件内装化，以及内部程序存储器、数据存储器容量不断增大的方向发展。

1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机

20 世纪 80 年代以来，单片机的发展非常迅速，其中 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机是一类设计成功、易于掌握并在世界范围得到广泛普及应用的机型。

1.6.1 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号，MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 MCS-48 系列基础上于 20 世纪 80 年代初发展起来的，是最早进入我国，并在我国得到广泛应用的机型。

1. 基本型

典型产品：8031、8051、8751。

8031 内部包含一个 8 位 CPU，一个 128B RAM，21 个特殊功能寄存器（SFR），4 个 8 位并行口，一个全双工串行口，两个 16 位定时/计数器，5 个中断源，但内部无程序存储器，需外部扩展程序存储器。

8051 在 8031 的基础上，内部集成了 4KB ROM 作为程序存储器。所以 8051 是一个程序空间不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是芯片厂商在制作芯片时代为用户烧制的。它主要用在程序已定且批量大的单片机产品中。

8751 用内部集成的 4KB EPROM 取代了 8051 的 4KB ROM，也是一个程序空间不超过 4KB 的小系统。用户可以将程序固化在 EPROM 中，其中内容可反复擦写修改。8031 外扩一个 4KB EPROM 就相当于一个 8751。

2. 增强型

Intel 公司的增强型系列产品，即 52 子系列，其典型产品有 8032、8052、8752。它们的内部 RAM 增至 256B；8052、8752 的内部程序存储器扩展到 8KB；16 位定时/计数器增至 3 个，中断源有 6 个。

表 1-1 列出了基本型和增强型 MCS-51 系列单片机的内部基本硬件资源。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的内部基本硬件资源

	型号	内部程序存储器 (KB)	内部数据存储器 (B)	I/O 口线 (位)	定时/计数器 (个)	中断源 (个)
基本型	8031	无	128	32	2	5
	8051	4 (ROM)	128	32	2	5
	8751	4 (EPROM)	128	32	2	5
增强型	8032	无	256	32	3	6
	8052	8 (ROM)	256	32	3	6
	8752	8 (EPROM)	256	32	3	6

1.6.2 AT89S5x 系列单片机

MCS-51 系列单片机的代表性产品是 8051，目前其他公司推出的兼容扩展型单片机都是在 8051 内核的基础上进行了功能的增减。20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司把精力集中在高档 CPU 芯片的研发上，逐渐淡出单片机的开发和生产。由于 MCS-51 系列单片机设计上的成功及较高的市场占有率，得到众多公司的青睐。Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了许多芯片生产厂家，如 Atmel、飞利浦、Cygna、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DEVICES、DALLAS 等公司。这些公司生产的兼容机型均采用 8051 的内核结构，其指令系统相同，采用 CMOS 工艺；有的公司还在 8051 内核的基础上又增加了一些内部外围部件，其集成度更高，功能和市场竞争力更强。人们常用 8051（或 80C51，C 表示采用 CMOS 工艺）来称呼所有这些具有 8051 内核，且使用 8051 指令系统的单片机，并习惯性地把这些兼容扩展型的各种衍生机型统称为 8051 单片机。

在众多的兼容扩展型衍生机型中，美国 Atmel 公司的 AT89 系列，尤其是该系列中的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机在全世界 8 位单片机市场中占有较大的份额。

Atmel 公司是美国 20 世纪 80 年代中期成立并发展起来的半导体公司。该公司于 1994 年用

E²PROM 技术与 Intel 公司的 80C51 内核的使用权进行了交换。Atmel 公司的技术优势是其 Flash 存储器技术。将 Flash 存储器技术与 80C51 内核相结合，形成了内部带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。该系列单片机与 MCS-51 系列单片机在原有功能、引脚及指令系统方面完全兼容，系列中的某些机型又增加了一些新的功能，如看门狗定时器（WDT）、ISP 及 SPI 串行口等，内部 Flash 存储器可直接使用编程器重复编程。此外，它还支持两种节电工作方式，非常适于电池供电或其他低功耗场合。

AT89S5x 系列是 Atmel 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型，S 表示含有支持串行下载的 Flash 存储器，其代表性产品为 AT89S51 和 AT89S52。AT89C51 单片机已不再生产，可用 AT89S51 直接替代。与 AT89C5x 系列相比，AT89S5x 系列的时钟频率及运算速度有了较大的提高。例如，AT89C51 的工作频率上限为 24MHz，而 AT89S51 则为 33MHz。AT89S51 内部集成有双数据指针 DPTR、看门狗定时器，具有低功耗空闲模式和掉电模式，还增加了 5 个特殊功能寄存器。

AT89S51 与 AT89S52 单片机的差别体现在，AT89S51 内部有 4KB Flash 存储器和 128B RAM，以及 5 个中断源、两个定时/计数器。而 AT89S52 内部有 8KB Flash 存储器和 256B RAM，以及 6 个中断源、3 个定时/计数器（比 AT89S51 多出的一个定时/计数器，具有捕捉功能）。

尽管 AT89S5x 系列有多种机型，但是掌握好基本型 AT89S51 十分重要，因为它是各种 8051 单片机的基础，最具代表性。

本书中将会经常用到“8051”，它泛指世界各芯片厂商生产的具有 8051 内核的各种增强扩展型单片机，而“AT89S51”仅指 Atmel 公司的 AT89S51 单片机。

除 8 位单片机得到广泛应用外，一些厂家的 16 位单片机也得到了用户的青睐。例如，美国 TI 公司 16 位的 MSP430 系列、Microchip 公司的 PIC24xx 系列单片机等。这些单片机本身带有 A/D 转换器，增加了各种串行口及各种数字控制部件，一个芯片就构成了一个测控系统，使用非常方便。此外，各公司还推出了 32 位单片机。尽管如此，8 位单片机的应用仍然非常广泛与普及，这是因为，目前在大多数应用场合中，8 位单片机的性能完全可以满足大部分实际需求，而且 8 位单片机的性价比也较好。

1.7 各种衍生的 8051 单片机

除 AT89S5x 系列单片机外，各半导体器件厂家基于 8051 内核也推出了各种集成度高、功能强的增强扩展型单片机，并已得到广泛应用。

1.7.1 STC 系列单片机

STC 系列单片机是我国具有自主知识产权，功能与抗干扰性强的增强型 8051 单片机。STC 系列单片机有多个子系列、几百个品种，可满足不同应用的需要。其中，STC12C5410/STC12C2052 系列的主要性能及特点如下。

(1) 高速。普通 8051 单片机的每个机器周期为 12 个时钟周期，而 STC 系列单片机的每个机器周期为一个时钟周期，指令执行速度大大提高，比普通的 8051 单片机快 8~12 倍。

(2) 宽工作电压。范围为 3.8V~5.5V，2.4V~3.8V（STC12LE5410AD 系列）。

(3) 12KB/10KB/8KB/6KB/4KB 内部 Flash 存储器，擦写次数可达 10 万次以上。

(4) 512B 内部 RAM。

(5) 支持 ISP/IAP，无须编程器/仿真器，可远程升级。

(6) 8 通道 10 位 ADC，4 路 PWM 输出。

(7) 4 通道捕捉/比较单元，也可再实现 4 个定时/计数器或 4 个外部中断（支持上升沿/下降沿中断）。

(8) 两个硬件 16 位定时/计数器，兼容普通 8051 单片机定时/计数器。4 路可编程定时/计数器阵列（PCA）可再实现 4 个定时/计数器。

(9) 硬件看门狗定时器（WDT）。

(10) 高速 SPI 串行口。

(11) 全双工异步串行口（UART），兼容普通 8051 单片机串行口。

(12) 通用 I/O 口（27/23/15 个）中的每个 I/O 口驱动能力均可达到 20mA，但整个芯片最大不可超过 55mA。

(13) 超强抗干扰能力与高可靠性。

- 高抗静电；
- 通过 2kV/4kV 快速脉冲干扰测试（EFT 测试）；
- 宽电压范围，不怕电源抖动；
- 宽温度范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ；
- I/O 口经过特殊处理；
- 内部电源供电系统、时钟电路、复位电路、看门狗电路均经过特殊处理。

(14) 采取降低单片机时钟以减小对外部电磁辐射的措施。如果选每个机器周期为 6 个时钟周期，则外部时钟频率可降低一半。

(15) 超低功耗设计。

- 掉电模式，典型功耗小于 $0.1\mu\text{A}$ ；
- 空闲模式，典型功耗为 2mA ；
- 正常工作模式，典型功耗为 $4\text{mA}\sim 7\text{mA}$ ；
- 掉电模式可由外部中断唤醒，适用于电池供电系统，如水表、气表、便携设备等。

STC 系列单片机可直接替换 Atmel、飞利浦、Winbond（华邦）等公司的 8051 单片机机型。

由此可见，STC 系列单片机是一类高性能、高可靠性且价格低廉的机型，尤其是其具有较高的抗干扰特性，用户应给予足够的重视。

1.7.2 C8051Fxxx 系列单片机

美国 Cygnal 公司的 C8051Fxxx 系列单片机，是一类集成度高，采用 8051 内核的 8 位单片机，代表性产品为 C8051F020。

C8051F020 内部采用流水线结构，大部分指令的完成时间为 1 或 2 个时钟周期，峰值处理能力为 25MIPS，与经典的 8051 单片机相比，其可靠性和速度有很大提高。

C8051F020 内部集成了一个 8 位 ADC、一个 12 位 ADC、一个双 12 位 DAC；一个 64KB 内部 Flash 存储器、一个 256B RAM、一个 128B SFR；8 个并行 I/O 口共 64 根 I/O 口线；5 个 16 位通用定时/计数器；5 个捕捉/比较模块的可编程定时/计数器阵列，一个 UART 串行口、一个 SMBus/I²C 串行口、一个 SPI 串行口；另外还有两路电压比较器、电源监测器、内置温度传感器。

C8051Fxxx 系列单片机最突出的改进是引入了数字交叉开关（C8051F2xx 除外）。

1.7.3 AD μ C812 系列单片机

AD μ C812 系列单片机是美国 ADI 公司生产的高性能单片机，其内部包含高精度自校准的 8 通道 12 位 ADC，2 通道 12 位 DAC 及 8051 内核，指令系统与 MCS-51 系列单片机兼容。内部有 8KB Flash 存储器、640B 数据存储器、256B SRAM（可编程）。

AD μ C812 系列单片机内部集成有看门狗定时器、电源监视器，支持 ADC DMA 模式，为多处理器接口和 I/O 口扩展提供了 32 根可编程的 I/O 口线，包含与 I²C 兼容的串行口、SPI 串行口和标准的 UART 串行口。

AD μ C812 系列单片机的 MCU 内核和 ADC 均设置有正常工作、空闲和掉电模式，通过软件可控制芯片从正常工作模式切换到空闲模式，也可切换到更为省电的掉电模式。在掉电模式下，AD μ C812 消耗的总电流约为 5 μ A。

1.7.4 华邦 W77 系列、W78 系列单片机

华邦公司（Winbond）的 W77 系列、W78 系列单片机与 8051 单片机完全兼容。

华邦单片机对 8051 单片机的时序进行了改进：每个指令周期只需要 4 个时钟周期，速度提高了 3 倍，工作频率最高可达 40MHz。

W77 系列单片机为增强型，内部增加了看门狗定时器，以及两组 UART 串行口、两组 DPTR 数据指针（编写应用程序非常便利），且支持在线编程等，内部还集成了 USB 口，提供语音处理等功能，具有 6 组外部中断源。

华邦公司 W741 系列的 4 位单片机具有液晶驱动、在线烧录、高保密性、低工作电压（1.2V~1.8V）等优点。

1.8 PIC 系列单片机与 AVR 系列单片机

除 8051 单片机外，各种非 8051 系列的 8 位单片机也得到广泛的应用。PIC 系列与 AVR 系列单片机博采众长，又具独特技术，已占有较大的市场份额。

1.8.1 PIC 系列单片机

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司的产品，主要特性如下。

(1) PIC 系列单片机从低到高有几十个型号，可满足各种需要。例如，一个摩托车的点火器需要一个 I/O 口较少、数据存储器及程序存储器空间不大、可靠性较高的小型单片机，可以采用 PIC12C508 单片机。PIC12C508 单片机仅有 8 个引脚，有 512B ROM、25B RAM，一个 8 位定时/计数器、一根输入线、5 根 I/O 口线，价格非常便宜，非常适于摩托车点火器这样的场合。此时如果采用 40 引脚的单片机，就可能是“大马拉小车”。

目前，世界上最小的单片机为 Microchip 公司推出的 6 引脚单片机 PIC10F322。该单片机带有 4 个并行 I/O 口。其最大特色是外围部件增加了可配置逻辑单元（CLC）、数控振荡器（NCO）、互补波形发生器（CWG），另外还有三通道的 8 位 ADC，以及两个 10 位的 PWM、两个 8 位定时/计数器，带有 64B 静态 RAM、512 字的 Flash 存储器，支持高性能的 RISC（Reduced Instruction Set Computer，精简指令集计算机）结构的 CPU。

PIC 高档型单片机, 如 PIC16C74 (尚不是最高档次) 有 40 个引脚, 其内部有 4KB ROM、192B RAM、8 位 ADC, 以及三个 8 位定时/计数器、两个 CCP 模块、三个串行口、一个并行口、11 个中断源、33 个 I/O 引脚。它可以和其他品牌的高档型号媲美。

(2) PIC 系列单片机采用 RISC 结构, 指令执行效率大为提高。采用数据总线和指令总线分离的哈佛总线 (Harvard) 结构, 使指令具有单字长特性, 且允许指令代码的位数可多于 8 位, 这与传统的采用 CISC (Complex Instruction Set Computer, 复杂指令集计算机) 结构的 8 位单片机相比, 可达到 2:1 的代码压缩比, 速度提高 4 倍。

(3) 具有优越的开发环境。普通 8051 单片机的开发系统大都采用高档型号仿真低档型号的方式, 其实时性不理想。PIC 系列单片机在每推出一款新型号单片机的同时, 都会推出相应的仿真芯片。所有的开发系统均由专用的仿真芯片支持, 实时性非常好。

(4) 引脚通过限流电阻可接至 220V 交流电源, 直接与继电器控制电路相连, 无须光电耦合器隔离, 给使用带来极大方便。

PIC 系列单片机的 8 位单片机型号繁多, 分为低档型、中档型和高档型。

中档型单片机是 Microchip 公司重点发展的系列产品, 品种最为丰富。尤其是 PIC18 系列单片机, 其程序存储器最大可达 64KB, 通用数据存储器为 3968B; 有 8 位、16 位定时/计数器和比较器; 8 级硬件堆栈, 10 位 ADC, 捕捉输入, PWM 输出; 配置了 I²C、SPI、UART 串行口, CAN、USB 口, 模拟电压比较器及 LCD 驱动电路等; 封装从 14 脚到 64 脚。该系列产品价格适中, 性价比高, 已广泛应用在各类高、中、低档的电子产品中。

高档型单片机 PIC17Cxx 在中档型单片机的基础上增加了硬件乘法器, 指令周期可达 160ns。它是目前世界上 8 位单片机中性价比很高的机型, 可用于中、高档电子产品的开发, 如电机控制等。

此外, Microchip 公司还推出了高性能的 16 位 PIC24xx 系列单片机和 32 位 PIC33xx 系列单片机, 受到用户欢迎, 得到了广泛的应用。

1.8.2 AVR 系列单片机

AVR 系列单片机是 1997 年由 Atmel 公司研发的采用 RISC 结构的高速 8 位单片机, 其特点如下。

(1) 废除了机器周期, 抛弃了 CISC 结构追求指令完备的做法。采用 RISC 结构, 以字作为指令长度单位, 将操作数与操作码安排在 1 字之中, 指令长度固定, 指令格式与种类相对较少, 寻址方式也相对较少, 绝大部分指令都为单周期指令。取指周期短, 又可预取指令, 实现流水作业, 故可高速执行指令。当然这种“高速度”是需要高可靠性来保障的。

(2) 采用新工艺的 AVR 系列单片机的 Flash 存储器擦写次数可达 10 000 次以上。内部较大容量的 RAM, 不仅能满足一般场合的使用, 同时可有效支持使用高级语言开发系统程序, 并可像 8051 单片机那样很容易地扩展外部 RAM。

(3) 丰富的内部外围部件。集成有定时/计数器、看门狗定时器、低电压检测电路 (BOD), 多个复位源 (自动上下电复位、外部复位、看门狗定时器复位、BOD 复位)。另外, 可设置启动后延时运行程序, 增强了单片机系统的可靠性。内部有通用的 UART 串行口, 面向字节的高速硬件串行口 (与 I²C 兼容)、SPI 串行口。此外, 还有 ADC、PWM 等内部外围部件。

(4) I/O 口功能强、驱动能力大。工业级产品具有大电流 (最大可达 40mA), 可省去功

率驱动器件，直接驱动晶闸管（SSR）或继电器。I/O 口的输入可设定为三态高阻抗输入或带上拉电阻输入，便于满足各种多功能 I/O 口应用的需要，具备 10mA~20mA 灌电流的能力。

(5) 低功耗。具有省电功能（Power Down）及休眠功能（Idle）的低功耗工作模式。一般耗电为 1mA~2.5mA；对于典型功耗情况，看门狗定时器关闭时为 100nA，更适用于电池供电的设备。有的器件最低 1.8 V 即可工作。

(6) 支持程序在线编程，只需一根 ISP 下载线，就可把程序写入 AVR 系列单片机中，无须使用编程器。Atmega 系列单片机还支持 IAP（可在线升级或销毁应用程序），省去了仿真器。

AVR 系列单片机产品齐全，有三个档次，可满足各种不同场合的要求。

- 低档 Tiny 系列单片机：主要有 Tiny11/12/13/15/26/28 等。
- 中档 AT90S 系列单片机：主要有 AT90S1200/2313/8515/8535 等。
- 高档 Atmega 系列单片机：主要有 ATmega8/16/32/64/128（存储容量为 8KB/16KB/32KB/64KB/128KB）、ATmega8515/8535 等。

1.9 其他嵌入式处理器简介

目前，以各类嵌入式处理器为核心的嵌入式系统的应用，已经成为当今电子信息技术应用的一大热点。

具有各种不同体系结构的嵌入式处理器是嵌入式系统的核心部件。除单片机外，还有数字信号处理器（DSP）及嵌入式微处理器。

1.9.1 DSP

DSP（数字信号处理器）是擅长高速实现各种数字信号处理运算（如数字滤波、FFT、频谱分析等）的嵌入式处理器。DSP 的硬件结构和指令经过了特殊设计，使其能够高速完成各种数字信号处理运算。

1981 年，美国 TI 公司研制了著名的 TMS320 系列的第一个低成本、高性能 DSP 芯片——TMS320C10，使 DSP 技术向前跨出了意义重大的一步。

20 世纪 90 年代，由于无线通信、网络通信、多媒体技术的普及和应用，以及高清晰度数字电视的研究，极大地刺激了 DSP 的推广与应用。由此，DSP 大量进入嵌入式领域。推动 DSP 快速发展的是嵌入式系统的智能化，例如，各种带有智能逻辑的消费类产品、生物信息识别终端、实时语音压解系统、数字图像处理等。这类智能化算法运算量一般较大，特别是向量运算、指针线性寻址等较多，而这些正是 DSP 的长处所在。但在一些实时性要求很高的场合，单片 DSP 的处理能力还是不能满足要求。因此，各大公司又研制出多总线、多流水线 and 并行处理的包含多个 DSP 的芯片，大大提高了系统的性能。

DSP 所具有的实现高速运算的硬件结构与指令系统及多总线结构，尤其是 DSP 处理的数字信号处理运算的复杂度和大的数据处理流量，这些都是单片机不能企及的。

DSP 厂商主要有 TI、ADI、Motorola、Zilog 等公司。其中，TI 公司的产品位居榜首，占全球 DSP 产品市场约 60% 的份额。TI 公司的 DSP 代表性产品是 TMS320 系列，其中包括用于控制的 2000 系列，用于移动通信的 5000 系列，用于网络、多媒体及图像处理的 6000 系列等。

今天，随着全球信息化和 Internet 的普及，多媒体技术的广泛应用，尖端技术向民用领域的迅速转移，DSP 已大范围进入消费类电子产品。DSP 产品不断更新换代，性能指标不断提高，

价格不断下降，已成为新兴科技领域——通信、多媒体系统、消费电子、医用电子等飞速发展的主要推动力。市场调查研究公司 Forward Concepts 发布的一份统计和预测报告显示，目前世界 DSP 产品市场每年正以 30% 的幅度增长，是目前最有发展和应用前景的嵌入式处理器之一。

1.9.2 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器（Embedded MicroProcessor Unit, EMPU）的基础是通用计算机中的 CPU。它虽然在功能上和标准微处理器基本一样，但其只保留和嵌入式应用有关的功能，大幅减小了系统的体积和功耗，同时在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面都做了增强处理。

嵌入式微处理器的代表性产品为 ARM 系列，主要有 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10 和 SecurCore 共 5 个产品系列。

以 ARM7 为例，它的地址线为 32 根，所扩展的存储空间要比单片机大得多，可配置实时操作系统（RTOS）。它是嵌入式应用软件的基础和开发平台。

常用的实时操作系统为 Linux（数百 KB）和 VxWorks（数 MB）及 μ C-OS II。由于嵌入式实时操作系统具有高灵活性，可很容易地对它进行定制或适当开发，即对它进行裁剪、移植和编写操作，从而设计出用户所需的程序，满足实际应用需要。

嵌入式微处理器可运行多任务实时操作系统，能够处理复杂的系统管理任务和管理工作。因此，其在移动计算平台、多媒体手机、工业控制和商业领域（如智能工控设备、ATM 机等）、电子商务平台、信息家电（机顶盒、数字电视）等方面，甚至在军事应用方面，具有巨大的吸引力。目前，以嵌入式微处理器为核心的嵌入式系统应用，已经成为继单片机、DSP 之后的电子信息技术应用的又一大热点。

这里要对“嵌入式系统”这个名称加以说明。从更广泛的意义上讲，凡是系统中嵌入了“嵌入式处理器”，如单片机、DSP、嵌入式微处理器，都称其为“嵌入式系统”。但是目前较为流行的是，把“嵌入”了嵌入式微处理器的系统称为“嵌入式系统”。目前“嵌入式系统”还没有一个严格和权威的定义，但人们通常所说的“嵌入式系统”多指后者。

思考题及习题 1

1. 除单片机这一名称之外，单片机还可称为_____或_____。
2. 单片机与普通微型计算机的不同之处在于其将_____、_____、和_____三部分，通过内部_____连接在一起，集成于一个芯片上。
3. 在家用电器中使用单片机应属于微型计算机的_____。
A) 辅助设计应用 B) 测量、控制应用 C) 数值计算应用 D) 数据处理应用
4. 微处理器、微型计算机、微处理机、CPU、单片机、嵌入式微处理器有何区别？
5. MCS-51 系列单片机的基本型芯片分别有哪几种？它们的差别是什么？
6. AT89S51 单片机相当于 MCS-51 系列单片机中哪一型号的产品？S 的含义是什么？
7. 什么是“嵌入式系统”？
8. 简述嵌入式处理器家族中的单片机、DSP、嵌入式微处理器的特点及应用领域。