



全国电力职业教育规划教材  
职业教育电力技术类专业培训用书

# 单片机应用技术

许红兵 曲卫冬 王新娜 孙新凤 徐学勤 编著  
郑德龙 主审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



全国电力职业教育规划教材  
职业教育电力技术类专业培训用书

# 单片机应用技术

编著 许红兵 曲卫冬 王新娜 孙新凤 徐学勤  
主审 郑德龙



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

本书以智能数字调节器的设计制作项目为载体,详细介绍了 AVR 单片机的程序开发工具、I/O 接口、外部中断、定时/计数器、模拟量输入及处理、串行接口、EEPROM 应用、字符显示、按键的处理、I<sup>2</sup>C 总线、模拟 1-Wire 总线、I/O 口的扩展、看门狗定时器等内容。

本书基于工作过程导向编写,以智能数字调节器为主线,将 AVR 单片机的知识有机地融入到项目设计中。教材内容模块化,各章及整书内容均呈阶梯形,由浅入深。读者既可只做基本项目,也可做包括调节器设计的全部项目,可适应不同高职高专院校 AVR 单片机的教学需求。

本书可为高职高专电力技术类、自动化类专业教材,也可作为 AVR 单片机应用技术的培训教材,还可作为工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技术 / 许红兵等编著. —北京: 中国电力出版社, 2010. 3

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5123-0154-2

I. ①单… II. ①许… III. ①单片微型计算机—职业教育—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 031768 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2010 年 4 月第一版 2010 年 4 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 308 千字  
定价 22.00 元 (含 1CD)

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前言

---

在微控制应用领域,8 位单片机功能强大,性能/价格比非常高,已能满足控制领域多数场合的要求,虽然近十几年来也发展出 16 位和 32 位产品,但在目前乃至今后相当长的时间内,仍以 8 位机为主。本书以 ATMEL 公司的 AVR 系列 8 位单片机为背景芯片,对单片机的内部结构、输入输出接口、串行口通信、中断系统、定时器、模拟量采集及处理、I<sup>2</sup>C 总线、模拟 1-Wire 总线、I/O 口的扩展、看门狗定时器等内容作了系统的介绍。

参与本书编写的均为工作在高职高专教学一线的教师,长期从事单片机等课程的教学以及单片机应用系统的开发与设计,积累了丰富的经验。在本书编写的过程中,编者在深入生产企业一线调研的基础上,结合自身教学经验,遵循“以职业行为获得知识”的认知规律,充分考虑单片机应用产品开发工作任务的实用性、典型性、可操作性以及可拓展性等因素,紧密结合自动化及电子工业的发展趋势,按照自动化仪表等电子产品生产的典型工作任务来确定相关章节的具体内容,注重科学性,充分考虑知识点的合理分配和学习能力的循序渐进。

本书具有以下特点:

(1) 本书介绍的内容为 AVR 单片机。

(2) 直接介绍采用 C 语言进行单片机开发的方法,避免了汇编语言学习的难度,使读者更专注于单片机应用的学习,可提高学习效果。

(3) 本书基于工作过程导向设计编写,以智能数字调节器为主线,分为多个子项目教学。每个子项目中又设计多个任务,每个子项目都是一个完整的工作过程。项目从简单到复杂,从单一到综合,使读者在学习逐步掌握单片机开发所具备的知识与技能。

(4) 本书教学内容模块化,各章及整书内容均呈阶梯形,由浅入深。读者既可只做基本项目,也可做包括调节器设计的全部项目,可适应不同高职高专院校 AVR 单片机教学的需求。

本书由保定电力职业技术学院许红兵、曲卫冬、王新娜、孙新风、徐学勤等编著。王新娜、孙新风编写了绪论、附录 1、附录 2、附录 6,并参与了其他章节的编写;许红兵编写了第 1~3 章、第 6 章、第 8 章及附录 3~附录 5;曲卫冬编写了前言、第 4 章、第 5 章和第 7 章;徐学勤编写了第 9 章。本书由许红兵统稿。武汉电力职业技术学院高级工程师郑德龙和保定天河电子技术有限公司高级工程师张华胜审阅了全书,并提出详细的修改意见和建议,在此表示诚挚的感谢。

随书所附的光盘包含了所有项目的程序,可供读者参考。本书所用到的实验装置可根据附录或光盘中的原理图和制版图自行制作,也可由保定电力职业技术学院动力工程系提供。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏与不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2010 年 2 月

# 目 录

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 前言                                        |     |
| 绪论                                        | 1   |
| 第 1 章 认识单片机                               | 9   |
| 1.1 让单片机动起来                               | 9   |
| 1.2 数字调节器设计综述                             | 17  |
| 第 2 章 点亮状态指示灯                             | 22  |
| 2.1 让发光管亮起来                               | 22  |
| 2.2 彩灯控制                                  | 25  |
| 2.3 项目设计——设计数字调节器状态显示及报警输出模块              | 29  |
| 第 3 章 显示测量参数                              | 31  |
| 3.1 数码管显示                                 | 31  |
| 3.2 液晶显示                                  | 43  |
| 3.3 项目设计——设计数字调节器的参数显示模块                  | 47  |
| 第 4 章 计数及定时                               | 49  |
| 4.1 智能电子里程表                               | 49  |
| 4.2 电子时钟                                  | 62  |
| 4.3 项目设计——设计数字调节器的时钟显示模块                  | 69  |
| 第 5 章 键盘的应用及参数的设置                         | 70  |
| 5.1 仪表的键盘接口                               | 70  |
| 5.2 矩阵式键盘的使用                              | 74  |
| 5.3 项目设计——设计数字调节器的参数设置模块                  | 78  |
| 第 6 章 输入信号的采集与处理                          | 80  |
| 6.1 简易数字电压表                               | 80  |
| 6.2 用 PT100 组成的测温系统                       | 88  |
| 6.3 项目设计——设计数字调节器的输入信号采集与处理模块             | 97  |
| 第 7 章 PWM 输出及外部中断                         | 111 |
| 7.1 直流电机的转速控制                             | 111 |
| 7.2 外部中断的应用                               | 114 |
| 7.3 项目设计——设计数字调节器的输出及手/自动切换模块             | 118 |
| 第 8 章 数字 PID 调节器的综合设计                     | 121 |
| 8.1 设计数字调节器的 PID 调节模块                     | 121 |
| 8.2 数字 PID 调节器的综合设计与调试                    | 122 |
| 第 9 章 拓展学习——智能采暖炉控制器                      | 124 |
| 9.1 用 DS18B20 测量温度 (1-Wire 总线)            | 124 |
| 9.2 用 DS1307 进行时钟走时 (I <sup>2</sup> C 总线) | 134 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 9.3 单片机 I/O 的扩展（三总线） .....           | 137 |
| 9.4 程序监视电路（看门狗定时器） .....             | 144 |
| 9.5 LCD4×8 汉字液晶显示器 .....             | 148 |
| 9.6 智能采暖炉温度控制器 .....                 | 154 |
| 附录 1 CodeVisionAVR C 编译器及库函数介绍 ..... | 159 |
| 附录 2 AVR Studio 开发软件介绍 .....         | 174 |
| 附录 3 单片机情境教学装置图集 .....               | 180 |
| 附录 4 智能数字调节器项目教学装置图集 .....           | 187 |
| 附录 5 AVR 单片机综合实训装置图集 .....           | 191 |
| 附录 6 AVR 系列单片机选型表 .....              | 193 |
| 附录 7 PT100 热电阻分度表 .....              | 195 |
| 参考文献 .....                           | 197 |

# 绪 论

## 一、什么是单片机

什么是单片机？为了弄清楚这个问题，来看看我们熟悉的个人计算机。

图 0-1 所示为个人计算机，它主要包括主机、显示器、键盘、鼠标等。

单片机可以理解为个人计算机的主机部分，即把组成微型计算机的各个功能部件，如中央处理器 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、输入/输出接口电路、定时器/计数器以及串行通信接口等集成在一块芯片中，构成一个完整的微型计算机。因此单片机早期的含义为单片微型计算机，英文名称为 Single Chip Microcomputer，简称为单片机，一直沿用至今。

单片机的外形如图 0-2 所示。



图 0-1 个人计算机

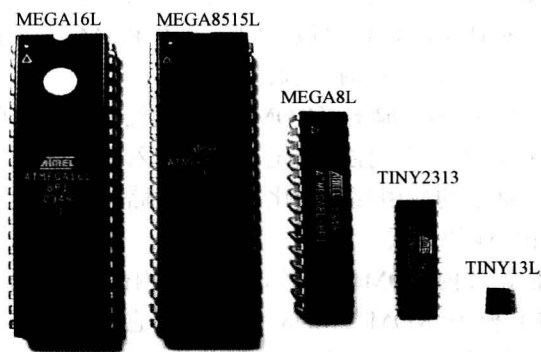


图 0-2 单片机的外形

由于单片机面对的是测控对象，突出的是控制功能，所以从功能和形态上来说它是应控制领域应用的要求而诞生的。随着单片机技术的发展，它在芯片内集成了许多面对测控对象的接口电路，如 ADC、DAC、高速 I/O 口、PWM、WDT 等。这些对外电路及外设接口已经突破了微型计算机传统的体系结构，所以更为确切反映单片机本质的名称应是微控制器（MCU）。

单片机是单芯片形态作为嵌入式应用的计算机，它有唯一的、专门为嵌入式应用而设计的体系结构和指令系统，加上它的芯片级体积的优点和在现场环境下可高速可靠地运行的特点，因此单片机又称之为嵌入式微控制器（Embedded Micro Controller）。但在国内，单片机的叫法仍然有着普遍的意义。我们已经把单片机理解为一个单芯片形态的微控制器，它是一个典型的嵌入式应用计算机系统。它的出现及发展使计算机技术从通用型数值计算领域进入到智能化的控制领域。从此，计算机技术在两个重要领域——通用计算机领域和嵌入式计算机领域都得到了极其重要的发展，同时对社会的发展产生了很大影响。

## 二、单片机的基本结构

单片机的结构特征是将组成计算机的基本部件集成在一块晶体芯片上，构成一台功能独特、完整的单片微型计算机。图 0-3 为单片机的典型结构框图。下面简要介绍各组成部分。

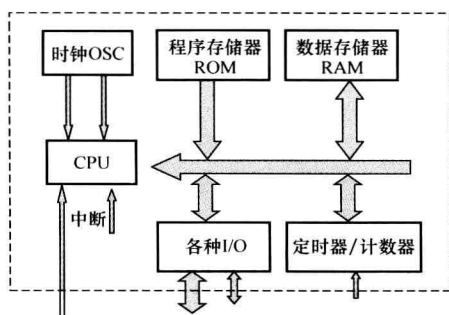


图 0-3 单片机的典型结构框图

## 1. 中央处理器

单片机中的中央处理器（CPU）和通用微处理器基本相同，由运算器和控制器组成，完成算术运算和逻辑操作，另外增设了“面向控制”的处理功能，如多种跳转、乘除法运算、状态检测、中断处理等，增强了实时性。单片机的字长有 4 位、8 位、16 位和 32 位之分，字长越长，运算速度越快，数据处理能力也越强。

## 2. 存储器

（1）数据存储器（RAM）。在单片机中，

用随机存取的存储器（RAM）来存储数据，暂存运行期间的数据、中间结果、缓冲和标志位等，所以称之为数据存储器。一般在单片机内部设置一定容量（64B~8KB）的 RAM，并以高速 RAM 的形式集成在单片机内，以加快单片机的运行速度。同时，单片机内还把专用的寄存器和通用的寄存器放在同一片内 RAM 统一编址，以利于运行速度的提高。对于某些应用系统，还可以外部扩展数据存储器。

（2）程序存储器（ROM）。单片机中的程序存储器用来存放应用程序和原始数据。由于单片机主要应用于控制系统，通常嵌入到被控对象中。为了提高系统的可靠性，常常将开发调试成功后的应用程序固化在程序存储器中，因为不再改变，所以这种存储器都采用只读存储器 ROM 的形式。

根据片内 ROM 的结构，单片机内部的程序存储器常有以下几种形式。

1）掩膜 ROM（Mask ROM）。它是由半导体厂家在芯片生产封装时，将用户的应用程序代码通过掩膜工艺制作到单片机的 ROM 区中，一旦写入后用户则不能修改。所以它适合于程序已定型，并大批量使用的场合。Intel 公司的 8051 就是采用掩膜 ROM 的单片机型号。

2）EPROM。此种芯片带有透明窗口，可通过紫外线擦除程序存储器的内容。应用程序可通过专门的写入器脱机写入到单片机中，需要更改时可通过紫外线擦除后重新写入。Intel 公司的 8751 就是采用 EPROM 的单片机型号。

3）ROMLESS。这种单片机内部没有程序存储器，使用时必须在外部并行扩展一片 EPROM 作为程序存储器。Intel 公司的 8031 就是 ROMLESS 型单片机的代表。

4）OTP（one time programmable）ROM。这是用户一次性编程写入的程序存储器。用户可通过专用的写入器将应用程序写入 OTPROM 中，但只允许写入一次。

5）Flash ROM 闪速存储器。这是一种可由用户多次编程写入的程序存储器。它不需紫外线擦除，编程与擦除完全用电实现，数据不易挥发，可保存 10 年。编程/擦除速度快，4KB 编程只需数秒，擦除只需 10ms。例如 AVR 系列单片机，可实现在线编程，也可下载。这是目前大力发展的一种 ROM，大有取代 EPROM 型产品之势。

## 3. 输入/输出（I/O）接口

为了突出控制功能，单片机提供了数量多、功能强、使用灵活的并行 I/O 口，不仅可灵活地选择输入或输出，还可作为系统总线或控制信号线，从而为扩展外部存储器和 I/O 接口提供了方便。

#### 4. 串行 I/O 口

高速的 8 位单片机都可提供全双工串行 I/O 口, 因而能和某些终端设备进行串行通信, 或者和一些特殊功能的器件相连接。

#### 5. 定时器/计数器

在实际的应用中, 单片机往往需要精确地定时, 或者需对外部事件进行计数, 因而在单片机内部设置了定时器/计数器电路, 通过中断实现定时/计数的自动处理。

### 三、单片机的特点和应用

#### 1. 单片机的特点

单片机独特的结构决定了它具有如下特点。

(1) 集成度高、可靠性高。单片机将各功能部件集成在一块晶体芯片上, 集成度很高, 体积很小。芯片本身是按工业测控环境要求设计的, 内部布线很短, 其抗工业噪声性能优于一般通用的 CPU。单片机程序指令、常数及表格等固化在 ROM 中不易被破坏, 许多信号通道均在一个芯片内, 故可靠性高。

(2) 控制功能强。为了满足对对象控制的要求, 单片机的指令系统均有极丰富的条件, 即分支转移能力、I/O 口的逻辑操作及位处理能力, 非常适用于专门的控制功能。

(3) 低电压、低功耗。为了满足便携式系统的使用, 许多单片机内的工作电压仅为 1.8~5V, 而工作电流仅为数百微安。

(4) 优异的性能价格比。为了提高速度和运行效率, 单片机已开始使用 RISC 流水线和 DSP 等技术。单片机的寻址能力也已突破 64KB 的限制, 有的已达到 1MB 和 16MB, 片内的 ROM 容量可达 62MB, RAM 容量则可达 2MB。由于单片机的广泛使用, 因而销量极大, 各大公司的商业竞争更使其价格十分低廉, 故其性能价格比极高。

#### 2. 单片机的应用

单片机的特点决定了其应用领域非常广泛。无论是工业部门、国防部门、民用部门甚至事业部门, 到处都有它的身影。单片机的应用大致有以下几个方面。

(1) 在智能仪器仪表中的应用。这是单片机应用最多、最活跃的领域之一。在各类仪器仪表中引入单片机, 使其智能化, 提高测试的自动化程度和精度, 简化仪器仪表的硬件结构, 提高其性价比。

(2) 在机电一体化中的应用。机电一体化是指集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体, 具有智能化特征的机电产品, 这是机械工业发展的方向。单片机的出现促进了机电一体化, 它作为机电产品中的控制器, 能充分发挥其体积小、可靠性高、功能强、安装方便等特点, 大大强化了机器的功能, 提高了机器的自动化、智能化程度。当前的许多产品, 如数控车床、机械手等都采用了这种方式。最典型的机电一体化产品是机器人, 它的每个关节或动作部位都是由一个单片机系统控制的。

(3) 在实时过程控制中的应用。单片机也广泛地应用于各种实时控制系统中, 例如对工业上各种窑炉、锅炉的温度、酸度、化学成分的测量和控制。将测量技术、自动控制技术和单片机技术相结合, 充分发挥其数据处理和实时控制功能, 使系统工作于最佳状态, 提高系统的生产效率和产品的质量。在航空航天、通信、遥控、遥测等各种实时控制系统中都可以用单片机作为控制器。

(4) 在分布式多机系统中的应用。分布式多机系统具有功能强、可靠性高的特点, 在比

较复杂的系统中，都采用分布式多机系统。系统中有若干台功能各异的计算机，各自完成特定的任务，它们又通过通信线路相互联系、协调工作。单片机在这种多机系统中，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测量和控制。高档的单片机多机通信（并行或串行）功能很强，它们在分布式多机系统中能发挥很大的作用。

（5）在家用电器中的应用。家用电器涉及千家万户，生产规模大。目前国内外各种家用电器都已普遍采用单片机代替传统的控制电路。如洗衣机、电冰箱、空调、电饭煲、收音机、功放、电风扇、电视机、VCD、DVD 及许许多多的电子玩具等都配上了单片机。从而提高了自动化程度，增强了功能，深受用户的欢迎。

（6）在其他方面的应用。除此之外，单片机还广泛用于办公自动化、商业营销、汽车及通信系统、计算机外设、模糊控制等各种领域中。

#### 四、单片机的发展与未来趋势

##### 1. 单片机的发展概况

单片机出现的历史并不长，它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体上同步。1970 年微型计算机研制成功后，随即在 1971 年，美国 Intel 公司生产出了 4 位单片机 4004，它的特点是结构简单、功能单一、控制能力较弱，但价格低廉。1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 系列单片机，它以体积小、功能全、价格低等特点获得了广泛的应用，成为单片机发展进程中的一个重要阶段，可称为第一代单片机。

在 MCS-48 系列单片机的基础上，Intel 公司在 20 世纪 80 年代初推出了第二代单片机的代表 MCS-51 系列单片机。这一代单片机的主要技术特征是为单片机配置了完美的外部并行总线和串行通信接口，规范了特殊功能寄存器的控制模式，以及为增强控制功能而强化布尔处理系统和相关的指令系统，为发展具有良好兼容性的新一代单片机奠定了良好的基础。

近几年出现了具有许多新特点的单片机，可称之为第三代单片机。它以新一代的 80C51 系列单片机为代表，同时，16 位单片机也有很大发展。尽管目前单片机品种繁多，但其中最典型的当属 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机。它的功能强大，兼容性强，软硬件资源丰富。国内此系列的单片机应用最为广泛，直到现在，MCS-51 仍不失为单片机中的主流机型。

##### 2. 单片机的未来发展趋势

（1）低功耗 CMOS 化。MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630mW，而现在的单片机普遍都在 100mW 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（互补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，这些特点更适合于低功耗（如电池供电）的场合。所以，这种工艺将是今后一段时期单片机发展的主要途径。

（2）微型单片化。现在常规的单片机普遍都是将 CPU、RAM、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，增强型的单片机集成了如 A/D 转换器、PWM（脉宽调制）、WDT（看门狗）。有些单片机将 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，功能就越强大。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、质量小，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。

(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 公司的产品和中国台湾的 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,中国台湾的 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,不会存在某个品牌的单片机一统天下的垄断局面,走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

(4) SoC 化趋势。为了寻求应用系统在芯片上的最大化解解决,专用单片机的发展自然形成了 SoC (System on Chip) 化趋势。SoC 在开发工具和程序设计方面作了许多突出的改进,例如 IP 核可重用设计、规范化的接口及测试方法、内置嵌入式操作系统等。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展,基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。

### 五、常用单片机系列介绍

迄今为止,单片机制造商很多。现对 Intel、Motorola、Microchip、TI、Atmel 公司的部分单片机系列产品加以介绍。

#### 1. MCS-51 系列

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司 1980 年推出的高性能 8 位单片机。80C51 系列单片机是 MCS-51 中的一个子系列,是一族高性能兼容型单片机。除了 Intel 公司外,Atmel、Siemens、AMD、LG、Philips、Winbond、Cygnal 等公司都在 80C51 基础上推出与 80C51 兼容的新型单片机,统称为 80C51 系列,其中,Philips 公司的 80C51 系列单片机性能卓著,产品最齐全,最具代表性。

#### 2. MC68 系列

Motorola 公司于 1979 年推出真正的单片机 M6801,采用 NMOS 工艺,内含 2.5 万只晶体管。1982 年,该公司又研制成结构更为简单的 M6804 系列单片机,采用内部串行结构和动态 RAM 技术。1983 年,Motorola 公司采用 HCMOS 技术再次推出 MC68HC05 系列单片机,其速度要比 MC6805 快 3~4 倍,I/O 功能更强,功耗更低。1984 年,Motorola 公司又推出 8 位高性能单片机 MC68HC11,采用 HCMOS 工艺制造,具有灵活的 CPU、大量面向控制的外围接口以及更加复杂的 I/O 功能。迄今为止,Motorola 公司的 MC6805 系列、MC68HC05 系列和 MC68HC11 系列单片机是国际上应用最广泛的 8 位主流机型之一,约占 8 位机市场的 30% 份额。因此,Motorola 公司对推动单片机技术的发展具有举足轻重的影响。

#### 3. PIC16 系列

美国 Microchip 公司生产的 PIC 系列单片机具有价格低、体积小、速度快、功耗低、C 语言编程、程序保密性强、品种多和开发方便等特点,现已成为嵌入式单片机(Embedded Controller)的主流产品之一。PIC 系列单片机内部采用哈佛(HarVard)双总线结构,数据和程序分开传送,有效地避免了 CISC 设计中经常出现的处理瓶颈;两级指令流水线结构允许 CPU 在执行本条指令的同时也能取出下条指令的指令码,这就可以使 CPU 的工作速度得到很大提高。

#### 4. MSP430 系列

MSP430 系列是一个具有明显技术特色的单片机品种。它是 TI(德州仪器)公司推出的新型高性能单片机。同其他微控制器相比,带 FLASH 的微控制器可以将功耗降低 5 倍,既

缩小了线路板空间又降低了系统成本。高效 16 位 RISC CPU 可以确保任务的快速执行,缩短了工作时间。大多数指令可在一个时钟周期里完成。 $6\mu\text{s}$  的快速启动时间可以延长待机时间,并使启动更加迅速,降低了电池的功耗。MSP430 系列产品可以提供多种存储器选择,从 14 位 ADCs 到 LCD 驱动电路的混合信号外设,简化了各类应用中 MSP430 的设计。

### 5. AVR 系列

AVR 单片机是美国 Atmel 公司 1997 年推出的全新配置精简指令集 (RISC) 单片机,内含高速闪存 (FLASH)。该系列单片机在吸收 PIC 及 MCS-51 单片机优点的基础上,做出了重大的改进。由于 AVR 系列单片机功能强、效率高、接口驱动能力强、可在线下载程序,特别适合 C 语言程序开发,因而得到了广泛应用。

AVR 系列单片机处理数据的速度极快,它的 8MHz 相当于 80C51 在 244MHz 下的工作速度。该机内部有 10 位 A/D、PWM (D/A),也有 I/O 接口作 A/D 输入用。它内带看门狗、片内振荡器,具有省电模式(典型功耗 WDT 关闭时为 100mA)等功能。片内 Flash 和 EEPROM 存储器的设计,令该系列单片机更易串行下载、升级。

AVR 单片机有 3 个档次:低档 ATiny 系列,主要有 ATiny11/12/13/15/26/28 等;中档 AT90S 系列,主要有 AT90S1200/2313/8515/8535 等;高档 ATmega 系列,主要有 ATmega8/16/32/64/128 (存储容量为 8/16/32/64/128kB) 以及 ATmega8515/8535。新的型号还有 ATmega48/88/168 (存储容量为 4/8/16kB) 等。AVR 系列单片机选型表见附录 6。

本教材以 AVR 系列中的 ATmega16 型单片机作为背景芯片,介绍单片机的应用技术。

## 六、ATmega16 型单片机简介

### 1. ATmega16 的特点

ATmega16 是一款基于 AVR RISC 的低功耗 CMOS 的 8 位高性能单片机。通常在一个时钟周期内执行一条指令,ATmega16 可以取得接近 1MIPS/MHz 的性能,从而使得设计人员可以在功耗和执行速度之间取得平衡。

ATmega16 型单片机的工作电压为 4.5~5.5V (ATmega16L 的工作电压为 2.7~5.5V),其时钟频率为 0~16MHz (ATmega16L 为 0~8MHz)。

在单片机开发系统中使用的语言有机器语言、汇编语言和高级语言。机器语言是用二进制表示的单片机指令,用机器语言构成的程序称为目标程序。汇编语言是用符号表示的指令,是对机器语言的改进,是单片机常用的程序设计语言。虽然机器语言和汇编语言都是高效的计算机语言,但它们都是面向机器的低级语言,不便于记忆和使用,且与单片机硬件关系密切,这就要求程序设计人员必须精通单片机的硬件系统和指令系统。为了避免这些缺点,单片机开始尝试使用高级语言,ATmega16 就是采用 C 语言编程的。

### 2. ATmega16 的结构

AVR 采用了 Harvard 结构,即程序和数据总线分离,且具有预取指令功能,即 CPU 在执行一条指令的同时去取下一条指令,这种模式使得指令可在一个时钟时期内完成。

ATmega16 的结构如图 0-4 所示。

(1) 中央处理器 (CPU)。中央处理器 (Central Processing Unit, CPU) 是单片机的核心,完成运算运输和控制操作。按其功能, CPU 包括运算器和控制器两部分电路。

1) 运算器电路。ATmega16 中的 8 位运算器用于实现算数和逻辑运算,主要由 ALU (算数逻辑单元)、32 个通用寄存器等组成。

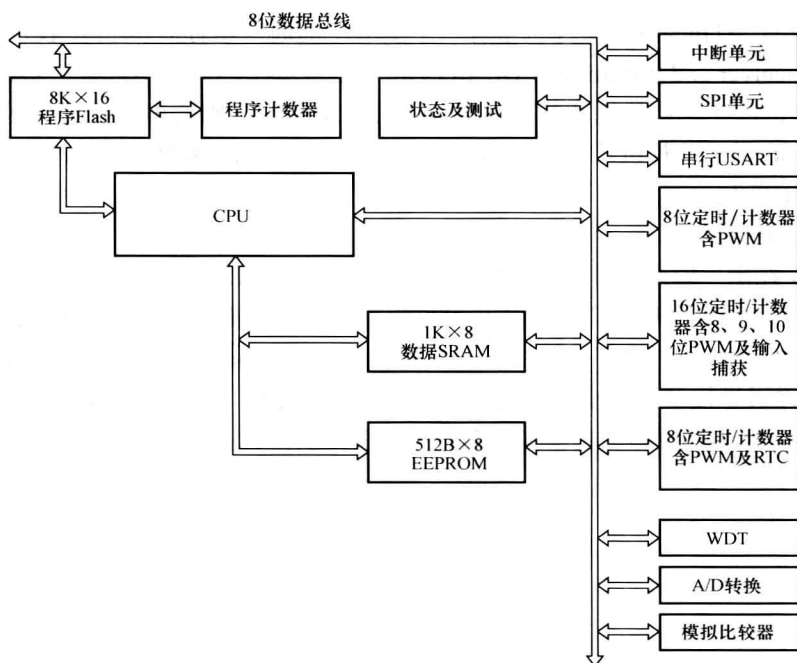


图 0-4 ATmega16 结构示意图

2) 控制器电路。控制电路是单片机的指挥控制部件，保证单片机各部分能自动协调地工作。它主要由程序计数器、命令寄存器、命令译码器等组成。

单片机执行指令是在控制电路的控制下进行的。首先从程序存储器中读出指令，送命令寄存器保存，然后送命令译码器进行译码，译码结果送定时控制逻辑电路，由定时控制逻辑产生各种定时信号和控制信号，再送到系统的各个部件去进行相应的操作。这就是执行一条指令的全过程，执行程序就是不断重复这一过程。

(2) 内部数据存储器。RAM 和 EEPROM 为内部数据存储器。RAM 是 Random Access Memory 的缩写，其意思是随机读写存储器，是一种在正常工作时既能读又能写的存储器，通常用来存放计算过程中的原始数据、中间结果、最终结果和实时数据等。RAM 中存入的信息不能长久保存，断电后其内容立即消失，故又称它为易失性存储器。

EEPROM 是 electrically erasable programmable read only memory 的缩写，其意思是电可擦除可编程只读存储器。由于 EEPROM 的特点是掉电后存入的数据仍能保存，为了弥补 RAM 的不足，避免因掉电而丢失重要数据，可在掉电前，将需保存的数据写入 EEPROM 中。EEPROM 是 RAM 的一种补充，但因 EEPROM 存储速度慢，所以不能代替 RAM。

(3) 内部程序存储器。ATmega16 具有 16K 字节的程序存储器 Flash，用于存放应用程序和原始数据，因此称之为程序存储器。因为所有的指令为 16 位或 32 位宽，故 Flash 的结构为 8k×16。程序存储器可反复擦写并可在线调试，修改程序至少 10 000 次以上不损坏。

(4) 定时器/计数器。出于控制应用的需要，ATmega16 单片机有 2 个 8 位、1 个 16 位的定时器/计数器，能实现计数、定时、PWM 以及实时时钟 RTC 等功能。

(5) 中断单元。ATmega16 有较强的中断功能，丰富的中断源，用以满足控制应用的需要。

(6) 串行口。ATmega16 单片机带有一个全双工的通用串行同步/异步收发器 (universal asynchronous receiver and transmitter, USART) 和一个全双工的同步串行接口 (serial peripheral interface, SPI), 以实现单片机和其他数据以及几个单片机之间的串行数据传送。

另外, ATmega16 单片机还设有看门狗定时器、内置 A/D 转换器及模拟比较器等电路, 具有很强的应用控制功能。

### 3. ATmega16 系统配置

ATmega16 在出厂时配置 1MHz 的内部晶振, 并使能 JTAG 仿真接口。芯片只需接上额定的电源, 下载应用程序便可工作。芯片也可配置为外部晶振、取消 JTAG 功能。ATmega16 片内有 16 个熔丝位分为两个字节, 用于系统配置。可选择系统的时钟源、JTAG 使能、定位中断向量、配置引导程序段大小、设定上电延时启动程序时间、系统时钟振幅选择等, 在芯片使用时也可用下载软件环境可对熔丝位进行烧接。

## 认识单片机

### 主要内容

究竟什么是单片机？单片机如何使用？为了更容易弄清楚这些问题，本章我们制作一个最小的单片机应用系统，并让其动起来，以便大家直观地认识单片机及单片机系统。

### 1.1 让单片机动起来

**任务描述：**制作一最小单片机应用系统。其中发光二极管作为显示设备，按钮作为输入设备；当按下不同的按钮时，发光二极管实现相应的亮灭。

#### 1.1.1 任务分析

本节任务主要是通过制作一单片机最小硬件电路，以及输入已编制好的程序让单片机动起来，从而让初学者认识单片机和单片机最小系统。

为了完成本节任务，首先提供一示例。初学者可根据示例模仿制作一最小单片机硬件系统、输入并下载程序，让单片机动起来。此时，可根据单片机的动作情况检查并调试硬件。硬件检查调试通过后，再做进一步的练习，从而加深对单片机及其最小系统的认识和理解。

#### 1.1.2 相关知识

##### 一、ATmega16 的外形及引脚配置

ATmega16 有 40 引脚 PDIP（双列直插）封装、44 引脚 TQFP（薄塑封四角扁平）封装与 44 引脚 MLF（微引线框架）封装形式。

本书以 40 引脚 PDIP 封装的 ATmega16 为例进行引脚介绍。

40 引脚 PDIP 封装形式的 ATmega16 的外形如图 1-1 所示。PDIP 封装的 ATmega16 的引脚示意如图 1-2 所示。



图 1-1 ATmega16 单片机的外形

(1)  $V_{CC}$ ：工作电源，4.5~5.5V。

(2) GND：地线。

(3) 四个并行输入/输出口：A 口（PA7~PA0）、B 口（PB7~PB0）、C 口（PC7~PC0）、D 口（PD7~PD0）。

在作为普通数字 I/O 口使用时，这 32 个 I/O 引脚的结构和特性是完全相同的。根据设置，每个引脚既可作为输入引脚，也可作为输出引脚。每个引脚还都具有第二功能，后续章节逐渐介绍。

(4) RESET：复位输入。在该引脚上，一个超过系统规定长度的低电平信号将引起系统复位。

(5) XTAL1: 内部反转晶振放大器的输入端和外部时钟信号的输入端。

XTAL2: 内部反转晶振放大器的输出端。

如图 1-3 所示, 在此两端跨接晶体振荡器和微调电容可以产生单片机所需的时序。

(6)  $AV_{CC}$ : A/D 转换器的电源。

(7) AREF: A/D 转换器的模拟参考电源。

(8) AGND: 模拟地。

## 二、AVR 单片机最小系统

能够提供单片机运行的最小硬件组成就是单片机的最小系统。一般应包括单片机芯片本身、电源、复位电路、时钟发生电路等。

### 1. 时钟发生电路

ATmega16 可采用三种时钟信号, 即外部晶振时钟信号、内部 RC 振荡时钟 (ATmega16 单片机内置了 RC 振荡器组成的时钟电路) 和由 XTAL1 输入的外部时钟信号。在这里直接应用内部 RC 振荡时钟。在需要采用精确时钟的场合, 可以采用石英振荡器。

### 2. 上电复位和外部复位

ATmega16 单片机有 5 个复位源, 这里主要介绍上电复位和外部复位。

上电复位: 当供电电压低于上电复位门限电压时, 单片机复位。

外部复位: 当  $\overline{RESET}$  引脚上有一个持续超过系统规定长度的低电平信号时, 将引起系统复位。具体电路见图 1-4。

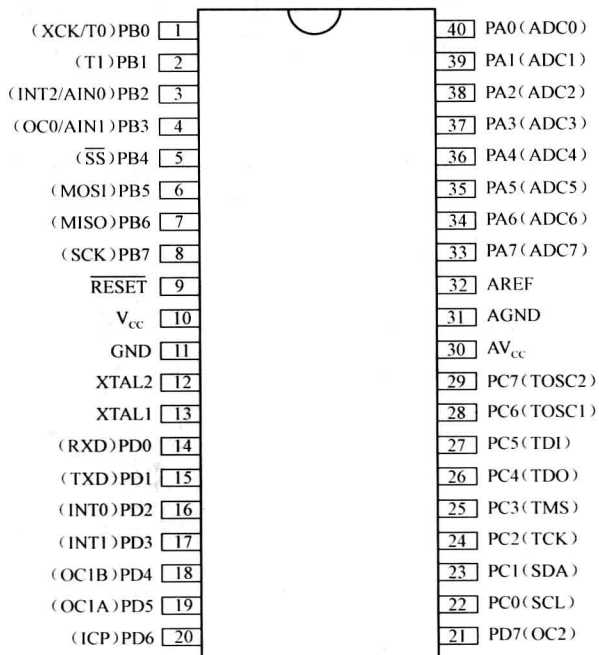


图 1-2 ATmega16 PDIP 封装引脚图

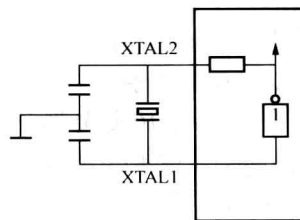


图 1-3 晶体振荡器的连接

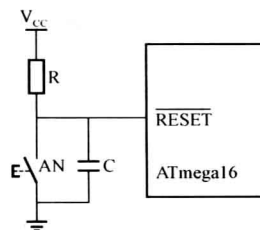


图 1-4 外部复位电路

## 三、外部输入输出

单片机有 4 个并行输入/输出接口, A 口、B 口、C 口和 D 口, 每个接口都是 8 位的。作

为普通的 I/O 口时, 根据设置, 每个引脚既可作为输入引脚, 也可作为输出引脚。

作为输入引脚时, 输入高电平, 单片机读取为“1”; 输入低电平, 单片机读取为“0”。如图 1-5 所示, 当按键按下时, 输入读取为“0”; 当按键未按下时, 输入读取为“1”。输入可采用图 1-5 所示的外接上拉电阻 R1, 也可以通过设置采用内部上拉电阻。其具体结构后续内容中再详细介绍。

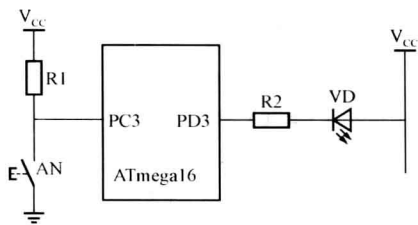


图 1-5 输入和输出

作为输出引脚时, 输出为“1”, 则相应引脚为高电平; 输出为“0”, 则相应引脚为低电平。如图 1-5 所示, 当输出为“1”时, 引脚为高电平, 发光二极管熄灭; 当输出为“0”时, 引脚为低电平, 发光二极管燃亮。

#### 四、程序的输入及下载

单片机要动起来, 除了硬件外, 还要有相应的程序。单片机的编程语言有汇编语言与 C 语言, 本书推荐使用 C 语言对 ATmega16 进行程序设计。AVR 单片机的 C 语言编程工具有 ATmanAVR、ICCAVR、CodeVisionAVR C 等, 本书以 CodeVisionAVR C 为例进行讲解。

通过编程工具编程并将编好的程序生成二进制代码文件后, 通过计算机串口或并口对 ATmega16 单片机进行在线串行下载程序。在本书中采用广州天河双龙电子有限公司的“MCU 在线系统编程软件 SLISP”作为下载软件。

下面我们就来制作一个最小单片机系统的硬件, 并将我们预先编制好的程序输进去, 并编译下载到单片机, 你将看到单片机神奇地动起来。

##### 1.1.3 跟我做一做

##### 一、制作硬件电路

##### 1. 制作最小单片机系统硬件电路

图 1-6 所示为一包含 5 个输入按钮、8 个发光二极管的最小单片机系统的原理电路。其中 5 个输入按钮接在 PD0~PD4 脚, 输入采用内部上拉电阻; 8 个输出按钮接在 PC0~PC7 脚; 电源采用外接稳压电源。

电路板可采用面包板、蛇目板, 或按照附录 3 情境教学板图制作的电路板。在参照附录 3 电路板上焊接完成后的电路板如图 1-7 所示。

##### 2. 制作下载线

单片机程序的下载方法有很多, 其中常用的有并口下载和 USB 口下载。本教材中各项目主要采用的是并口下载。所以, 在这里详细介绍并口下载线的制作。

图 1-8 所示为并口下载线电路原理。图中 J1 为 25 芯插针座, 可直接和微型计算机打印机口的 25 芯插孔座对接; J2 为 10 引脚的 (FC-10 型) 压线插座, 连接到单片机对应的引脚上。其中, J2 的 1-3-5-7 引脚接 0V, 9 引脚接 +5V, 2-4-6-10 引脚接单片机 PB 口对应的通信引脚 (如图中的标注), 8 引脚为通信状态指示, 可以不接 (悬空)。电路中间的芯片 74LS244 用于提高并口线的驱动能力。初学进行试制时也可以不要, 在 25 芯插座和 10 芯插座间通过 330 电阻连接上, 但程序下载的可靠性和稳定性较差。

图 1-9 为已经做好的并口下载线, 其中连接线及 74LS244 等元件焊接在 25 芯插针座中。馈线可用两个 FC10 压头用排线压接而成, 长度根据需要确定, 一般不超过 2m。