



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

单片机原理 及应用

彭同明 徐学勤 主编
杨少华 副主编



中国电力出版社

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

0075649



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

单片机原理 及应用

主 编 彭同明 徐学勤
副主编 杨少华
编 写 汤晓华 许红兵
主 审 孙 海 张国勋



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

本书主要内容包括概述, ATmega16 芯片资源, AVR 单片机程序开发工具, I/O 接口及应用, 外部中断及应用, 定时器, 模拟量输入及处理, 串行接口及应用, 模拟比较器应用, ATmega16 其它功能应用, AVR 单片机扩展接口及应用, 综合应用等。

本书为高职高专教材, 也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用/彭同明, 徐学勤主编. —北京: 中国电力出版社, 2005

职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-3388-8

I. 单... II. ①彭... ②徐... III. 单片微型计算机-高等学校: 技术学校-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051692 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 7 月第一版 2005 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 290 千字

印数 0001—3000 册 定价 18.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的教学大纲编写而成的,并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审,同意列为全国电力高等职业教育规划教材,作为高等职业教育教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

目前,单片机越来越广泛地应用于军事设备、机电设备、控制设备、智能仪器仪表、办公设备、通信设备、家用电器、智能玩具等,使产品的功能、精度和质量大幅度提高,而电路设计更简单、可靠性更高、成本更低。

随着电子技术的发展,单片机的集成度越来越高,功能越来越强,使用也越来越方便,并且不断涌现出高性能的新型单片机。

本书选用 AVR 系列中的 ATmega16 作典型教学芯片,并使用 C 语言进行描述。主要出于如下几方面的考虑:第一,向学生讲授先进的单片机技术。ATMEL 公司是全球著名的半导体公司之一,它率先将闪烁存储器应用于单片机中,特别是 AVR 系列单片机型号多、功能强、效率高,并且接口丰富、接口驱动能力强,还可在线下载程序、可程序加密、价格低廉,特别适合于 C 语言程序开发,现已得到了广泛的应用。而 ATmega16 单片机在 AVR 系列中功能全、接口丰富,具有较好的代表性和广泛的应用。第二,提高学习效果。以前的有关单片机教材都采用汇编语言进行描述和编程,难于理解、程序开发难度大,学习效果较差。采用 C 语言描述和编程,降低了学习难度,可提高学习效果。第三,提供给学习者先进的单片机程序开发方法。用 C 语言开发单片机应用程序是单片机应用开发的趋势,可大大地提高开发效率。第四,把学习重点放在单片机应用上。由于 ATmega16 单片机的集成度高,应用接口简单,并避免了汇编语言的难度,在有限的学习时间里有更多的时间学习其应用。

本书作为高职高专教材还特别注重了如下几个方面:第一,在介绍单片机的功能时,重点介绍其应用方法,每种功能都介绍了应用实例。第二,讲练结合。每一功能的讲授配有可供实验的应用程序,并有详细的讲解,便于自学和理解。第三,为配合讲授,还专门开发了与教材配套的实验装置,采用在线下载方式。第四,为扩展学生的思维和实践能力,实验项目中提出了一些拓展学生思路的问题,让学生在实验中解决。并在最后一章介绍了一些综合应用课题,提高学生的综合应用能力。可作为单片机的综合实践课题的部分内容。

本书分为十二章,配有 15 个实验项目。教学时数在 80 学时左右。

本书由彭同明和徐学勤担任主编,杨少华担任副主编。彭同明主要负责了教材的策划、

统稿，并编写了前言、第四、七章、第八章的 5、6 节及第十二章的 3、4 节，调试了大部分实验程序；徐学勤编写了第十、十一章及第十二章的 1、2 节；杨少华编写了第一、二、五章及第六章的 1、2 节、第八章的 1、2 节；汤晓华编写了第三章，第六章的 3、4、5、6 节，第八章的 3、4 节；许红兵编写了第九章。杨少华、彭同明、徐学勤等编写了附录。全书由北华大学孙海、邢台职业技术学院张国勋主审。

本教材的实验使用 CodeVisionAVR C 集成开发软件作为开发软件，广东双龙公司网站 (SL.COM.CN) 免费提供的 SLISP 软件作为下载软件，可从网站下载。实验装置由武汉电力职业技术学院机电工程系提供。联系人：彭同明（电话：13071297632 或 027 - 59802625）。

由于时间和水平有限，书中错误和不妥之处难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概述	1
1.1 单片机及其发展	1
1.2 单片机应用	3
1.3 AVR 系列单片机	4
1.4 AVR 单片机的系统结构	8
第二章 ATmega16 芯片资源	11
2.1 ATmega16 结构	11
2.2 ATmega16 资源及性能	12
2.3 ATmega16 的 I/O 寄存器	13
2.4 ATmega16 引脚	14
2.5 ATmega16 系统配置	15
第三章 AVR 单片机程序开发工具	17
3.1 程序开发与调试过程	17
3.2 配套实验装置	18
3.3 CodeVisionAVR C 语言开发环境	18
3.4 ATmega16 的程序下载	27
第四章 I/O 接口及应用	30
4.1 并行接口概述	30
4.2 并行接口应用举例	32
4.3 位检测与位控制	34
4.4 位操作应用举例	36
第五章 外部中断及应用	40
5.1 中断原理	40
5.2 ATmega16 的外部中断	45
5.3 外部中断应用	47
第六章 定时器/计数器原理及应用	50
6.1 定时与计数原理	50
6.2 ATmega16 的定时器/计数器资源	52
6.3 定时器/计数器 2 应用举例	62
6.4 T/C1 的应用举例	67
6.5 看门狗定时器	73
第七章 模拟量输入及处理	76
7.1 ATmega16 的模拟转换技术	76
7.2 模拟量测量	80
7.3 模拟信号处理	80

7.4 多参数巡回检测	82
第八章 串行接口及应用	84
8.1 同步串行接口 SPI	84
8.2 SPI 应用	87
8.3 通用同步/异步串行接口 USART	93
8.4 USART 的异步串行通信应用	99
8.5 两线串行 TWI 总线接口及应用	105
8.6 TWI 总线通信的应用	109
第九章 模拟比较器应用	112
9.1 模拟比较器原理	112
9.2 模拟比较器的应用举例	113
第十章 ATmega16 其它功能应用	115
10.1 EEPROM 应用	115
10.2 AVR 单片机的节电方式	117
10.3 程序加密	119
10.4 抗干扰技术	120
第十一章 AVR 单片机扩展接口及应用	123
11.1 并行扩展接口概述	123
11.2 存储器扩展	125
11.3 并行口的扩展及应用	127
第十二章 综合应用	137
12.1 键盘扫描电路	137
12.2 字符显示	141
12.3 常量设置	146
12.4 液晶显示	149
附录 实验指导	153
参考文献	184

概 述

1.1 单片机及其发展

1946年,美国宾夕法尼亚大学制成世界上第一台电子计算机 ENIAC 以来,电子计算机的发展经历了从电子管、晶体管、集成电路到大规模(超大规模)集成电路共四个阶段,即通常所说的第一代、第二代、第三代和第四代计算机。现广泛使用的微型计算机是大规模集成电路技术发展的产物,它属于第四代计算机,而单片机则是微型计算机的一个分支。

1.1.1 单片机的名称

单片机因将计算机的主要组成部分集成在一个芯片上而得名,具体说就是把中央处理单元 CPU (Central Processing Unit)、随机存储器 RAM (Random Access Memory)、只读存储器 ROM (Read Only Memory)、中断系统、定时器/计数器以及 I/O (Input/Output) 接口电路等主要微型机部件集成在一块芯片上。如图 1-1 所示。

虽然单片机只是一块芯片,但从组成和功能上看,它已具有了计算机系统的属性,为此称它为单片微型计算机 SCMC (Single Chip MicroComputer),简称单片机。

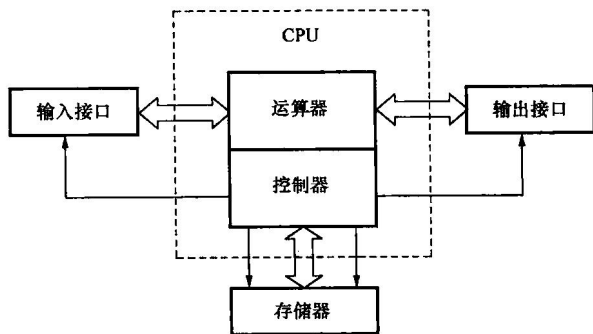


图 1-1 单片机组成框图

单片机主要应用于控制领域,用以实现各种测量和控制功能,为了强调其控制属性,也把单片机称为微控制器 MCU (MicroController Unit)。在国际上,“微控制器”的叫法似乎更通用一些,而我国则比较习惯“单片机”这一名称。

1.1.2 通用单片机和专用单片机

根据控制应用的需要,可以将单片机分成通用型和专用型两种类型。

通用型单片机是一种基本芯片,它的内部资源比较丰富、性能全面且适应性强,能覆盖多种应用需求。用户可以根据需要设计成各种不同应用的控制系统,即通用单片机有一个再设计的过程,通过用户的进一步设计,才能组建成一个以通用单片机芯片为核心再配以其它外围电路及应用程序的应用控制系统(本课程介绍的是通用型单片机)。

在单片机的控制应用中,有许多时候是专门针对某个特定产品的,例如电度表和 IC 卡读写器上的单片机等。这种应用的最大特点是针对性强而且数量巨大,为此生产厂家常与芯片制造商合作,设计和生产专用的单片机。由于专用单片机是针对一种产品或一种控制应用而专门设计的,设计时已经对系统结构的最简化、软硬件资源利用的最优化、可靠性和成本的最佳化等方面都作了通盘的考虑和论证,所以专用单片机具有十分明显的综合优势。但是

应当说明,无论专用单片机在应用上有多么“专”,然而其原理和结构却是建立在通用单片机的基础之上的。

1.1.3 单片机与单片机系统

单片机通常是指芯片本身,它是由芯片制造商生产的,在它上面集成的是一些作为基本组成部分的运算器电路、控制器电路、存储器、中断系统、定时器/计数器以及输入/输出接口电路等。但一个单片机芯片并不能把计算机的全部电路都集成到其中,如组成谐振电路和复位电路的石英晶振、电阻、电容等,这些元件在单片机系统中只能以散件的形式出现。此外,在实际的控制应用中,常常需要扩展外围电路和外围芯片。可以看出单片机与单片机系统的区别:单片机只是一个芯片,而单片机系统则是在单片机芯片基础上扩展其它电路或芯片构成的具有一定应用功能的计算机系统。

通常所说的单片机系统都是为实现某一控制应用而由用户设计的,是一个围绕单片机芯片而组建的计算机应用系统。在单片机系统中,单片机处于核心地位,是构成单片机系统的硬件和软件基础。

在单片机硬件的学习上,既要学习单片机也要学习单片机系统,即单片机芯片内部的组成和原理,以及单片机系统的组成方法。

1.1.4 单片机的程序设计语言

单片机应用系统是为控制应用而设计的,该系统与控制对象结合在一起使用,是单片机开发应用的成果。但由于软硬件资源有限,单片机系统本身不能实现自我开发,要进行系统的开发设计,必须使用专门的单片机开发系统。

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,而在单片机应用系统中只能使用机器语言。

机器语言是用二进制代码表示的单片机指令,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,单片机也开始尝试使用高级语言,如C语言等。本教材就是采用C语言来描述、开发和应用单片机的。

1.1.5 单片机的发展

1974年,美国仙童(Fairchild)公司研制出世界上第一台单片微型计算机F8。该机由两片集成电路芯片组成,结构奇特,具有与众不同的指令系统,深受电器和仪器仪表领域的欢迎和重视。从此,单片机开始迅速发展,应用范围也不断扩大,现已成为微型计算机的重要分支。单片机的发展过程通常可以分为以下几个发展阶段:

(1) 第一代单片机(1974~1976年),这是单片机发展的起步阶段。这个时期单片机的特点是制造工艺落后和集成度低。代表产品有Fairchild公司的F8和Mostek公司的3870等。

(2) 第二代单片机(1976~1978年),单片机的发展阶段。这个时期单片机的特点是片

内集成 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等功能部件。典型的产品有 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机。

(3) 第三代单片机 (1979~1982 年), 八位单片机的成熟阶段。这一时期生产的单片机品种齐全, 可以满足各种不同领域的需要。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Motorola 公司的 MC6801 系列机、TI 公司的 TMS7000 系列机等。

(4) 第四代单片机 (1983 年以后), 这是十六位单片机和八位高性能单片机并行发展的时代。

纵观单片机近 30 年的发展历程, 可以认为单片机今后将向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格、外围电路内装化以及片内存储器容量增加的方向发展, 但其位数不一定会增加 (尽管现已有了 32 位的单片机, 但使用的并不多)。此外, 专用化也是单片机的一个发展方向, 针对单一用途的专用单片机将会越来越多。

1.2 单片机应用

单片机具有极为广阔的应用前景, 以下从单片机的应用特点和应用领域两个方面介绍。

1.2.1 单片机的应用特点

■ 控制系统在线应用

以计算机代替常规的模拟或数字控制电路, 使计算机位于其中并成为控制系统、测试系统或信号处理系统的一个组成部分, 通常把这种带计算机的控制系统称为计算机控制系统。

计算机控制系统由于计算机要身处其中, 因此对计算机有体积小、功耗低、价格廉以及控制功能强等要求。为满足这些要求, 应当使用单片机。

然而在线控制应用中由于单片机与控制对象联系密切, 所以不但对单片机的性能要求高, 而且对设计者的要求也很高, 不但要熟练掌握单片机, 而且还要了解控制对象, 懂得传感技术, 具有一定的控制理论知识等。

■ 软硬件结合

单片机的引入使控制系统大大“软化”, 但与其它计算机应用问题相比, 单片机控制应用中的硬件内容仍然较多, 所以说单片机控制应用中有软硬件相结合的特点。为此, 在单片机的应用设计中需要软、硬件统筹考虑, 设计者不但要熟练掌握有关设计语言的编程技术, 而且还要具有较扎实的单片机硬件方面的理论和实践知识。

■ 应用现场环境恶劣

通常单片机应用现场的环境比较恶劣, 电磁干扰、电源波动、冲击震动、高低温等因素都影响系统工作的稳定。稳定和可靠在单片机的应用中具有格外重要的意义。

1.2.2 单片机应用的领域

■ 自动控制

单片机已在工业过程控制、机床控制、机器人控制、汽车控制以及飞行器制导系统等方面得到了广泛的应用。由于单片机提供了多种通信接口, 很容易建立双机或多机之间的通信联系, 从而为建立分布式控制系统创建了十分有利的条件。

■ 智能仪器仪表

由于单片机具有超微型化的特点，并且有无可比拟的高性能价格比，从而为仪器仪表的智能化提供了可能。

■ 数据采集系统

单片机可提供多路 A/D 输入通道，因此很适合用于模拟量（温度、压力及流量等）输入采样系统。

■ 计算机外设控制器

计算机的外部设备五花八门，随着单片机的发展，很多外部设备都使用单片机作为控制器，使这些外部设备智能化。

■ 家用电器

家用电器更是单片机芯片生产厂家竞争非常激烈的应用领域。这个领域的特点是量大面广，并且要求价格低廉，单片机在这个领域扮演着极其重要的角色。

■ 军事装备

科技强国、国防现代化离不开计算机，在现代化的飞机、军舰、坦克、导弹和雷达等各种军用装备上，都有单片机深入其中。

单片机的应用绝不仅限于它的广阔范围以及所带来的经济效益上，更重要的还在于从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法。从前必须由模拟电路或数字电路实现的大部分控制功能，现在已能使用单片机通过软件（编程序）方法实现了。这种以软件取代硬件并提高系统性能的控制系统的“软化”技术，称之为“微控制技术”。微控制技术是一种全新的概念，是对传统控制技术的一次革命。随着单片机应用的推广普及，微控制技术必将不断发展、日益完善和更加充实。

1.3 AVR 系列单片机

1.3.1 AVR 单片机的特点

AVR 单片机是美国 ATMELE 公司 1997 年推出的全新配置精简指令集（RISC）单片机。

ATMELE 为美国的爱特梅尔公司，是全球著名的半导体公司之一，以生产高性能、低功耗、非易失性存储器和数字集成电路而著称。

20 世纪 90 年代初，ATMELE 公司率先把 MCS-51 内核与其擅长的 Flash（闪存）技术相结合，推出了轰动业界的 AT89 系列单片机。1997 年，ATMELE 挪威设计中心的 A 先生与 V 先生出于市场的考虑，充分发挥其 Flash 技术优势，推出全新配置的精简指令集（RISC）AVR（ADVANCE RISC）系列单片机，简称 AVR。

几年来，AVR 单片机已形成系列产品，其中 ATtiny，AT90 及 ATmega 分别对应低、中、高档产品。根据用户的不同需要，现已推出了 30 多种型号，引脚为 8~64 脚，价格从几圆到上百圆人民币，内部配置也大不相同，但其基本结构和编程方法是一样的。

下面，以 AT90S（AVR 单片机的中档产品）为例，介绍 AVR 单片机的优点。

■ 价格低廉的、可擦写 1000 次以上的、16（字）位指令系统。因采用了 Flash 技术，不再有报废品产品。数据存储为 8 位，AVR 仍属于 8 位单片机。

■ 高速度（50ns）、低功耗（ μA ），具有 Sleep（休眠）功能及 CMOS 技术，每条指令执行速度达 50ns（20MHz），而耗电则在 1~2.5mA 之间。

AVR 单片机采用 Harvard 结构, 对程序和数据存储器带有不同的存储器和总线, 且具有预取指令功能: 当执行某一指令时, 下一条指令被预先从程序存储器中取出。这使得指令可以在每一个时钟周期内被执行。

- 高度保密性。可多次烧写的 Flash 具有多重密码保护锁死 (LOCK) 功能, 因此可低价快速完成产品商品化, 并可多次更改程序 (产品升级) 而不浪费电路板, 大大提高产品质量及竞争力。

- 工业级产品。具有大电流 (灌电流) 10 ~ 20mA 或 40mA (单一输出), 可直接驱动继电器; 有看门狗定时器 (WDT), 安全保护, 防止程序走飞, 提高产品的抗干扰能力。

- 超强功能精简指令。具有 32 个通用工作寄存器及 128B ~ 4KB 的 SRAM, 可灵活使用指令运算, 并可用功能很强的 C 语言编程, 易学、易写、易移植。

- 程序写入器件既可并行写入, 又可串行在线下载擦写。

- 并行 I/O 口是真正意义上的 I/O 口, 能正确反映 I/O 口的输入/输出真实情况。

- 片内有模拟比较器, 可组成廉价的 A/D 转换器。

- 有多个固定中断向量入口地址, 内、外中断可快速响应。

- 可重设启动复位。片内有内部电源开关启动计数器, 可将低电平复位 ($\overline{\text{RESET}}$) 直接接到 Vcc 端。当开电源时, 利用内部的 RC 看门狗定时器, 可延时 MCU 启动执行程序, 这种延时使 I/O 口稳定后执行程序, 以提高单片机工作可靠性, 同时可节省外加复位延时电路。

- 具有休眠省电功能 (POWER DOWN) 和闲置 (IDLE) 低功耗功能。

- 部分 AVR 器件片内有 RC 振荡器—1MHz 的工作频率, 使该类单片机无需外加元件即可工作。

- 计数器/定时器 (C/T) 有 8 位和 16 位。

- 有串行异步通信 UART, 不占用定时器和 SPI 传输功能。

- 有多通道 10 位 A/D 及实时时钟 RTC (Real - Time Counter)。

- 工作电压范围宽: 2.7 ~ 6.0V, 电源抗干扰性能强。

为了缩短进入市场的时间和简化维护的支持, 对于单片机来说, 用高级语言编程是一种标准编程方法。AVR 单片机的指令结构充分考虑了与 C 语言的对应, 其 C 语言程序效率较高, 从而能高效地开发出目标产品。

1.3.2 AVR 单片机的选型

表 1-1 ~ 表 1-3 为部分 AVR 系列单片机的选型表。

表 1-1 部分 AVR 系列 (ATtiny) 单片机选型表

内部资源	ATtiny11L	ATtiny11	ATtiny12V	ATtiny12L	ATtiny12	ATtiny15L	ATtiny26L	ATtiny26	ATtiny28V	ATtiny28L
Flash (KB)	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
EEPROM (B)	—	—	64	64	64	64	128	128	—	—
RAM (B)	0	0	0	0	0	0	128	128	0	0
快速寄存器	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
指令条数	90	90	90	90	90	90	118	118	90	90
I/O Pins	6	6	6	6	6	6	16	16	20	20

续表

内部资源	AT90LS8515	AT90S8515	AT90LS8535	AT90S8535	ATmega8L	ATmega8	ATmega16	ATmega32	ATmega64	ATmega128
实时时钟	—	—	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
模拟比较器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
10 位 A/D 通道	—	—	8	8	6/8	6/8	8	8	8	8
片内振荡器	—	—	—	—	Y	Y	Y	Y	Y	Y
BOD	—	—	—	—	Y	Y	Y	Y	Y	Y
在线编程 (ISP)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
自编程 (SPM)	—	—	—	—	Y	Y	Y	Y	Y	Y
$V_{cc}(V)$ (最底)	2.7	4.0	2.7	4.0	2.7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0
(最高)	6.0	6.0	6.0	6.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
系统时钟 (MHz)	0~4	0~8	0~4	0~8	0~8	1~16	0~16	.0~16	0~16	0~16
封装形式	40-PinDIP 44-PinPLOC, TQFP	40-PinDIP 44-PinPLOC, TQFP	40-PinDIP 44-PinPLOC, TQFP	40-PinDIP 44-PinPLOC, TQFP	28-PinDIP 32-PinMLF, TQFP	28-PinDIP 32-PinMLF, TQFP	40-PinDIP 44-PinMLF, TQFP	40-PinDIP 44-PinMLF, TQFP	64-PinMLF, TQFP	64-PinMLF, TQFP

1.4 AVR 单片机的系统结构

AVR 单片机的总体结构，可用图 1-2 描述。

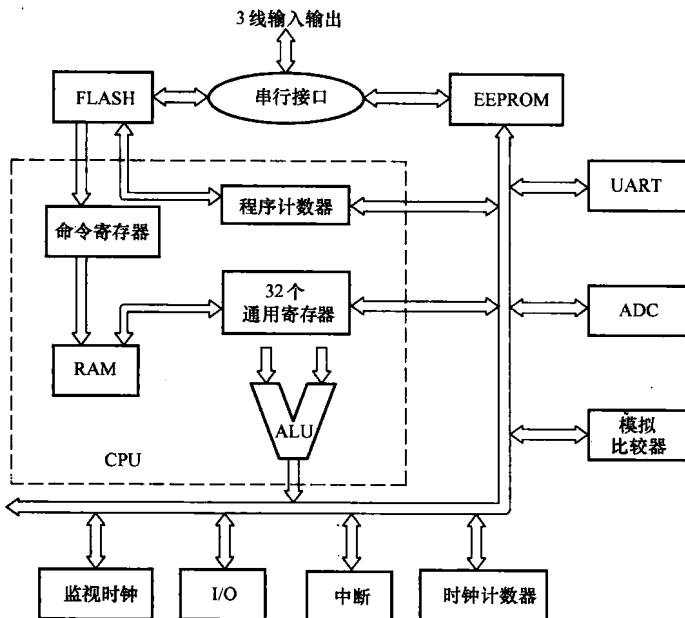


图 1-2 AVR 单片机结构框图

1.4.1 中央处理器 (CPU)

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

■ 运算器电路

一个 8 位的运算器用于实现算术和逻辑运算。ALU (算术逻辑单元)、32 个通用寄存器等属于运算电路。

■ 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。程序计数器、命令寄存器、命令译码器 (图中未画出) 等均属于控制电路。

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（FLASH）中读出指令，送指令寄存器保存，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。

1.4.2 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，其意思为随机存取存储器，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，停电后立即消失，故它又称为易失性存储器。

EEPROM 是 Electrically Erasable Programmable Read Only Memory 的缩写，其意思为电可擦除可编程只读存储器。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，这样，上电后数据即可恢复。因为 EEPROM 的特点是掉电后，存入的数据仍保存着。应该说 EEPROM 是 RAM 的一种补充，但因 EEPROM 存储速度慢，EEPROM 不能代替 RAM。

1.4.3 内部程序存储器

内部程序存储器在图中指 FLASH（闪速存储器，简称闪存）。芯片型号的不同，AVR 系列单片机片内的 FLASH 大小为 1K ~ 128KB。FLASH 用于存放应用程序和原始数据，因此称之为程序存储器。AVR 系列单片机的特点之一是，程序存储器 FLASH 可反复擦写并可在线调试，修改程序至少 1000 次以上不损坏。

1.4.4 定时器/计数器

出于控制应用的需要，AVR 系列单片机有多个定时器/计数器以及实时时钟 RTC，以实现定时或计数功能，在控制应用中较为广泛。

1.4.5 并行 I/O 口

AVR 系列单片机有多个 8 位的 I/O 口（芯片型号不同，并行 I/O 口的数量也不同），以实现数据的并行输入输出。

1.4.6 串行口

AVR 系列单片机带有一个或两个全双工的通用串行异步收发器 UART（Universal Asynchronous Receiver and Transmitter）和一个全双工的同步串行接口 SPI（Serial Peripheral Interface），以实现单片机和其它数据设备以及几个单片机之间的串行数据传送。

1.4.7 中断控制系统

AVR 系列单片机具有较强的中断功能，丰富的中断源，用以满足控制应用的需要。

1.4.8 时钟电路

时钟电路图中未画出, AVR 系列单片机有晶体振荡器电路和实时时钟振荡器电路。时钟电路用于产生单片机工作所需的时钟信号。单片机本身是一个复杂的同步时序电路, 为了保证同步工作方式的实现, 电路应在惟一的时钟信号控制下严格地按时序进行工作。实时时钟振荡器电路是为定时器异步操作而设置的。在该模式下, 实时时钟振荡电路独立于系统时钟电路, 从而定时器可作为实时时钟 RTC (Real-time Clock)。

1.4.9 总线

上述部件都是通过总线连接起来, 才能构成一个完整的单片机系统。总线在图中以带箭头的粗线表示, 系统的地址信号、数据信号和控制信号都是通过总线传送的。总线结构减少了单片机的连线和引脚, 提高了集成度和可靠性。

从上述内容可以看出, 虽然 AVR 单片机只是一块芯片, 但“麻雀虽小五脏俱全”, 作为计算机应该具有的基本部件在单片机中几乎都包括, 因此它已经是一个简单的微型计算机系统了。

练 习

1. 单片机主要应用在哪些领域? 有什么用途?
2. AVR 系列的单片机由哪几部分组成?