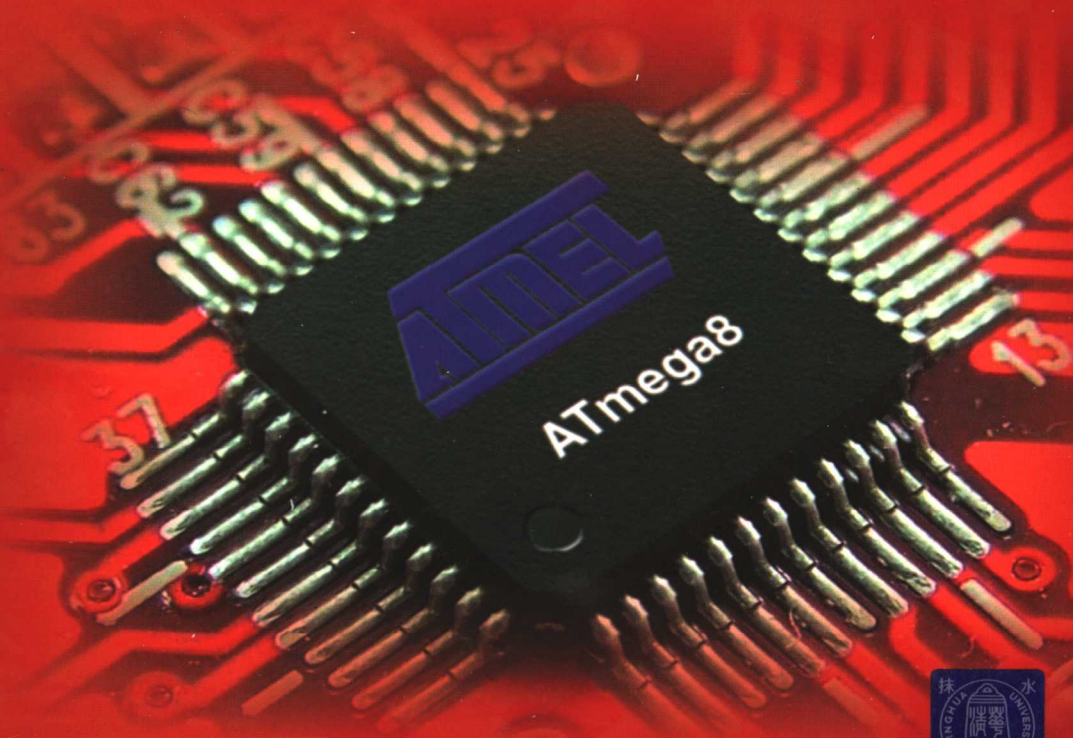


AVR单片机BASIC语言 编程及开发

周建新 马 潮 耿德根 编著



清华大学出版社

AVR 单片机 BASIC 语言 编程及开发

周建新 马 潮 耿德根 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要以 AVR 单片机中 ATmega8 为典型, 围绕应用 BASCOM-AVR 进行 AVR 单片机的学习、编程、开发而展开。AVR 单片机是一种性能卓越的 8 位通用型单片机, 是 RISC 精简指令集的通用寄存器阵列, 使 CPU 具有高速的数据处理能力, 片上集成有功能强大的外围器件, 为用户在各个复杂环境的应用提供了有力的保障和支持, 特别是它的 FLASH 程序存储器和 ISP 程序下载技术, 使单片机的学习、实验、开发和产品升级, 变得廉价、安全、高效。BASCOM-AVR 编程软件为开发 AVR 单片机提供了功能强大、简洁方便的软件平台, 其与 QB 高度兼容的 BASIC 语言易懂好学; 功能齐备的硬件仿真平台, 使单片机的学习、实验、开发, 显得简单、容易而富有乐趣, 许多设计在计算机仿真中就可得知结果。有了 BASCOM-AVR, 使大规模地推广普及 AVR 单片机成为可能。为了配合本书的出版, 双龙电子网站 <http://www.avr.com.cn>, 专门开设了 BASCOM-AVR 专栏, 作为本书的补充及与读者交流的场所。

本书通过大量的典型实例和练习题, 由浅入深地论述, 可作为单片机爱好者的自学读本, 也可作为高职、技校和大专院校自动化、计算机、电子等专业的教材或参考书, 亦可作为电子应用技术的培训教材。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目 (CIP) 数据

AVR 单片机 BASIC 语言编程及开发/周建新, 马潮, 耿德根编著. —北京: 清华大学出版社, 2005. 3

ISBN 7-302-10437-9

I. A… II. ①周… ②马… ③耿… III. ①单片微型计算机, AVR-程序设计 ②BASIC 语言-程序设计 IV. ①TP368.1 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 009204 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 曾 刚

文稿编辑: 李虎斌

封面设计: 姜凌娜

版式设计: 李永梅

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 三河市金元装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185 × 230 印张: 15.5 字数: 290 千字

版 次: 2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10437-9/TP · 7089

印 数: 1 ~ 5000

定 价: 23.00 元

前 言

单片微型计算机简称“单片机”，是把微处理器和各种外围电路器件——存储器、定时器/计数器、串行接口、并行接口、数/模转换器、模/数转换器等集成在同一个芯片上的计算机，主要作用是实现测量/计算/控制的功能，因此常常又称作“微控制器”，简写作 MCU。根据实际需要，可以通过设计程序，命令单片机在其能力范围内按照人们的要求，忠实地执行各项简单或者复杂的工作任务。我们的日常生活和社会经济建设当中，小至智能电池，大至航天飞机，单片机都扮演着重要的角色。有的商品因其而身价倍增，有的产品因其而功能强大，有的设计因其而成本大降，有的构想因其而成为现实。无可争辩的事实是，随着社会的发展进步，单片机的应用越来越普及，功能越来越强大，智能化程度越来越高，被广泛应用于自动控制、智能仪表、数据采集、家用电器等方面，渗透于社会、生产、服务、家庭等领域。单片机已经成为现代科技中不可或缺的重要一员，推广和普及单片机应用，既符合国家的经济和技术发展政策，客观上也已经完全具备了条件。

在以前，单片机技术之所以不易掌握和普及，其主要原因在于：首先，学习者必须有较强的数字逻辑电路基础，学习中要深刻理解单片机内部严谨的硬件结构关系；其次，教材中使用的编程语言多是晦涩难懂的汇编语言，即使原来已经具有某些单片机知识的用户，从这个角度学习一种新的单片机亦非易事，除了专业人士，大多都将其视为畏途；再次，实验和实践条件苛刻，动辄要购置一大套器材，调试、排错手续相当繁杂。因此，长期以来，单片机技术似乎成了少数“精英”的“专利”，对许多人而言更是可望而不可及。

随着微电子技术的的发展和社会进步的要求，出现了许多优秀的单片机，ATMEL 公司生产的 AVR 单片机就是其中的佼佼者之一，它的家族成员众多，型号齐全，适用面广。除了本身出色的、可反复电擦写的 FLASH 程序存储技术以及通用寄存器结构等，特别值得一提的是，它的串行可在线下载 ISP 编程技术（一般不需要再购编程器、仿真器、芯片适配器等昂贵设备）能够在电路板上直接对 AVR 单片机进行程序修改和烧录，一条 ISP 下载线可以开发所有 AVR 器件，使得单片机的开发应用变得廉价、安全和高效，并且方便产品在线升级。

与之相应，MCS 公司开发的以 BASIC 高级程序设计语言为平台的 AVR 单片机开发软件——BASCOM-AVR，为我们学习和使用 AVR 单片机提供了简洁方便、功能强大的工具。该软件具有可视化图形界面，是与 VB/QB 高度兼容的结构化 BASIC 语言，简要清晰，易

于初学者理解和掌握。除了有专门为 AVR 单片机串行和并行接口、外围器件开发的语句, 另外还扩充了许多通用的单片机外部设备的专用语句(键盘、LCD 显示器……), 使我们调用各种硬件资源更加得心应手。程序经过编译之后, 进入软件仿真窗口作仿真运行, 可以非常清楚地观察程序运行反应, 从实物图形化的硬件仿真平台上, 可以直观地进行实验操作, 使学习和开发单片机更加容易、方便, 更有乐趣, 许多设计在计算机仿真中就可得知结果。程序编译产生的.hex 文件, 可以使用廉价的 ISP 下载电缆烧录到 AVR 单片机的 FLASH 程序存储器。

本书的第 1 章和第 2 章简要介绍了 AVR 单片机的基本结构和指令系统以及 BASCOM-AVR 的集成开发环境和仿真器的概貌; 第 3 章~第 6 章介绍了 BASIC 语言的基本要素、程序结构和过程; 第 7 章~第 12 章以 ATmega8 为主线, 介绍如何用 BASCOM-AVR 来配置和调用 AVR 单片机的各种硬件资源, 包括中断系统、串行接口、并行接口、定时器/计数器、模/数转换器等, 但其基本方法完全适用于其他 AVR 单片机; 第 13 章简述设计和开发单片机的基本步骤和软、硬件手段。实际上, 无论是 AVR 单片机还是 BASCOM-AVR, 它们的强大功能都远超出本书所述。我们最大的心愿是努力成为单片机爱好者和入门者的阶梯与朋友。

本书是集体努力的结晶, 在编写过程中得到了广州市天河双龙电子有限公司的大力支持。华东师范大学电子科学技术系马潮教授很早就在国内开展 AVR 单片机以及 BASCOM-AVR 的应用研究与教学研究, 无论是在本书的方向性结构上还是具体的细节问题上, 马潮教授都起到了重要的指导作用, 并且对全书进行了认真审核。周建新老师在教学岗位上也积极使用 BASCOM-AVR 于单片机教学当中, 编写了教材, 取得了一定的成绩。广州天河双龙电子有限公司耿德根高级工程师对本书编写提供了有关技术资料及指导意见, 并专门在 <http://www.avr.com.cn> 网站开设 BASCOM-AVR 专栏, 作为本书的补充及与读者交流 BASCOM-AVR 的场所。双龙电子有限公司还专门设计了 SL-MEGA8A 低价开发实验器, 作为学校开课教学实践或学生 DIY 实验使用。

本书是应教学要求而编写的, 虽然已经竭尽全力, 不敢有丝毫懈怠, 但是由于水平有限, 时间较紧, 错漏之处在所难免, 不当之处, 祈不吝赐教, 幸甚! 幸甚!

编著者

2004 年 8 月 19 日于广州

目 录

第 1 章 AVR 单片机简介	1
1.1 AVR 单片机硬件结构	1
1.1.1 AVR 单片机主要特点	1
1.1.2 ATmega8 结构概要	2
1.1.3 ATmega8 的存储器和寄存器组织	5
1.2 AVR 单片机指令系统	9
1.3 SL-MEGA8A 开发实验器	12
习题一	14
第 2 章 初识 BASCOM-AVR	15
2.1 BASCOM-AVR 集成开发环境	15
2.2 BASCOM-AVR 仿真器	17
2.2.1 工具条	18
2.2.2 仿真选项卡	19
2.2.3 终端仿真子窗口	20
2.2.4 源程序代码执行子窗口	20
练习	21
2.3 程序下载	21
2.3.1 选择编程器	22
2.3.2 BASCOM-AVR 下载软件介绍	23
习题二	24
第 3 章 BASCOM-AVR 语言基础	25
3.1 字符集、标识符和保留字	25
3.1.1 字符集	25
3.1.2 标识符和保留字	25
3.2 二进制、数据类型和变量	26
3.2.1 二进制简介	26

3.2.2	数据类型和变量声明	27
3.3	变量赋值	28
	练习 3.1	29
	练习 3.2	29
	练习 3.3	30
3.4	实验操作 1	31
3.4.1	BASCOM-AVR 编程环境设置	31
3.4.2	SLISP 下载软件	32
3.4.3	硬件实验	33
3.4.4	SL-MEGA8A——PC 实验连接简图	35
	习题三	35
第 4 章	运算	37
4.1	标准 LCD 显示器	37
4.1.1	硬件接线	37
4.1.2	软件语句	38
	练习 4.1	39
4.2	算术运算	41
4.2.1	算术运算符	41
	练习 4.2	41
4.2.2	数值函数	42
	练习 4.3	43
4.3	逻辑运算	43
4.4	字符串处理	45
4.4.1	字符串运算	45
	练习 4.4	45
4.4.2	字符串函数	46
	练习 4.5	46
4.4.3	输出格式函数	48
	练习 4.6	48
4.4.4	取子串函数	49
	练习 4.7	49
4.4.5	其他字符串处理函数	50

4.5	实验操作 2	50
	习题四	51
第 5 章	程序结构	52
5.1	顺序结构	52
5.2	分支结构	53
5.2.1	IF...THEN	53
	练习 5.1	54
	练习 5.2	55
5.2.2	SELECT CASE	57
	练习 5.3	57
5.2.3	ON...GOSUB/GOTO	58
	练习 5.4	59
	练习 5.5	60
5.3	循环结构	60
5.3.1	FOR...NEXT	61
	练习 5.6	62
5.3.2	DO...LOOP	62
	练习 5.7	63
5.3.3	WHILE...WEND	63
	练习 5.8	64
	习题五	64
第 6 章	子程序、子过程和函数过程	66
6.1	子程序	66
6.1.1	转子语句和子程序的格式	66
6.1.2	GOTO 和 GOSUB 的区别	66
	练习 6.1	67
	练习 6.2	67
6.2	子过程	68
	练习 6.3	69
6.3	函数过程	71
	练习 6.4	71

6.4	PonyProg2000 简要.....	73
	习题六.....	76
第 7 章	通用 I/O 端口	77
7.1	端口硬件配置和软件操作	77
7.1.1	端口配置和特性.....	77
7.1.2	通用 I/O 的操作语句	78
	练习 7.1.....	80
7.2	通用 I/O 端口的应用	81
7.2.1	电气连接.....	81
7.2.2	十六键小键盘.....	81
7.2.3	LED 七段数码管	83
	练习 7.2.....	84
	练习 7.3.....	86
7.2.4	步进电机驱动.....	87
	练习 7.4.....	88
	习题七.....	91
第 8 章	中断	92
8.1	什么是中断	92
8.2	怎样使用中断	93
8.3	为何使用中断	94
8.3.1	理由.....	94
	练习 8.1.....	95
8.3.2	小制作.....	98
	练习 8.2.....	98
8.3.3	中断的优先级.....	99
	练习 8.3.....	100
	习题八.....	101
第 9 章	定时器/计数器.....	103
9.1	定时器/计数器 0	103
9.1.1	定时器功能.....	103
9.1.2	计数器功能.....	104

9.1.3 定时器和计数器的使用	105
练习 9.1	106
练习 9.2	108
练习 9.3	110
9.2 定时器/计数器 1	112
9.2.1 定时器/计数器功能	112
练习 9.4	114
练习 9.5	116
9.2.2 输入捕获功能	119
练习 9.6	120
9.2.3 比较匹配输出功能	122
练习 9.7	124
练习 9.8	126
9.2.4 数字 PWM 功能	127
练习 9.9	130
9.3 定时器/计数器 2	132
9.3.1 定时器功能	132
练习 9.10	132
9.3.2 比较匹配输出功能	134
练习 9.11	135
9.3.3 数字 PWM 功能	137
练习 9.12	137
习题九	139
第 10 章 模/数转换	140
10.1 传感器和运算放大器简介	140
10.1.1 传感器	140
10.1.2 运算放大器	141
10.2 模/数转换器	143
10.2.1 模/数转换原理简介	143
10.2.2 AVR 单片机的内置模/数转换器	146
练习 10.1	147
练习 10.2	150

练习 10.3.....	151
10.3 模拟比较器	154
10.3.1 模拟比较器简介.....	154
10.3.2 模拟比较器的配置.....	155
10.3.3 模拟比较器应用.....	156
练习 10.4.....	156
10.3.4 制作逐次比较模/数转换器.....	158
练习 10.5.....	159
习题十.....	161
第 11 章 串行通信.....	163
11.1 同/异步串行接口 USART	163
11.1.1 异步串行通信简介.....	163
11.1.2 异步通信的程序语句.....	164
11.1.3 异步通信的应用.....	166
练习 11.1.....	166
练习 11.2.....	167
练习 11.3.....	168
11.1.4 USART 的同步串行通信	169
11.2 同步串行接口 SPI.....	170
11.2.1 SPI 简介	170
11.2.2 SPI 同步通信语句结构	171
11.2.3 SPI 总线应用	173
练习 11.4.....	175
练习 11.5.....	176
11.3 TWI 串行接口.....	177
11.3.1 TWI 总线概述	177
11.3.2 分析 AT24C02	178
11.3.3 BASCOM-AVR 的软件 I2C 语句.....	180
11.3.4 AT24C02 的写/读操作	181
练习 11.6.....	181
练习 11.7.....	182
习题十一.....	184

第 12 章 其他	185
12.1 EEPROM	185
12.1.1 EEPROM 读/写操作	185
练习 12.1	186
练习 12.2	187
练习 12.3	189
12.1.2 EEPROM 和查表技术	191
练习 12.4	192
12.2 看门狗	194
12.2.1 看门狗看哪个门	194
练习 12.5	194
12.2.2 浅谈抗干扰措施	196
12.3 低功耗设计	197
习题十二	198
第 13 章 设计与开发阶段	199
13.1 设计开发	199
13.1.1 设计过程	199
13.1.2 开发实验器	201
13.2 语言混合编程	203
13.2.1 ASM 和 BASIC 混合编程	203
练习 13.1	203
13.2.2 建立自己的库	205
练习 13.2	206
13.2.3 调用库文件和过程	207
练习 13.3	207
练习 13.4	208
13.3 ATtiny 单片机编程特点	208
练习 13.5	209
附录 A ASIC 字符码	211
附录 B 部分 AVR 单片机的引脚图	214

附录 C AVR 部分常用型号参数表.....	225
附录 D BASCOM-AVR 保留字.....	228
参考文献	230
后记.....	231

第 1 章 AVR 单片机简介

单片机又称作微控制器 (Microcontroller——MCU), 是把微处理器、程序存储器、数据存储器和各种外围器件 (如通用并行 I/O、同步/异步串行 I/O、定时器/计数器、模/数转换器、模拟比较器……) 有机结合在一块集成电路芯片上的计算机系统。人们能够根据任务需要编写程序, 调度单片机的各种资源用于工作。单片机主要嵌入于各种产品当中, 实现产品智能化, 被广泛应用在自动化控制、智能化仪器、数据采集、家用电器等方面, 渗透于社会、生产、服务、家庭等领域, 时至今日, 单片机的踪影几乎无处不及。特别是单片机系统与网络、通信、多媒体结合, “嵌入式” 概念展现出了巨大的威力, 单片机技术更加显示出无比广阔的发展前景。

1.1 AVR 单片机硬件结构

1.1.1 AVR 单片机主要特点

目前作为测量/控制方面通用的单片机中, 8 位单片机依然是应用的主流。ATMEL 公司的 AVR 单片机是增强型 RISC (Reduced Instruction Set CPU) 结构, 如图 1-1 所示, 采用低功耗 CMOS 技术的 8 位微控制器, 目前已具有多种型号规格以满足客户不同需要 (详见附录 B 和附录 C, 更详细的资料可以到 <http://www.atmel.com> 或 <http://www.sl.com.cn> 网站查看), 一般分为 ATtiny 系列、AT90S 系列、ATmega 系列, 对应为低、中、高档产品, 虽然型号不同, 封装各异, 功能有别, 但其基本结构是一样的。最近的趋势是许多中档 90S 系列单片机功能提升成为高档次的 MEGA 系列, 而价格却更低了。

AVR 单片机具有其他一些单片机所没有的特点:

- ☐ 建构于精简指令集计算技术 RISC 结构的 32 个通用寄存器阵列, 克服了单一累加器结构的瓶颈现象。
- ☐ 指令执行速度快, 每个时钟周期执行一条字指令。
- ☐ 使用在线可编程 (ISP) 技术的 FLASH 程序存储器 (可反复擦写 10 000 次以上), 方便新产品开发和现场更新、升级程序。
- ☐ 片上集成有电可擦写 EEPROM 数据存储器 and SRAM 静态数据存储器。

❑ 功能强大的外围器件：I/O、T/C、ADC、AC、WDT、TWI、USART 和 SPI 等。

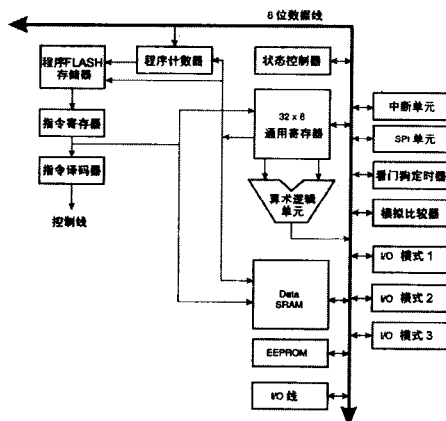


图 1-1 AVR 单片机的 RISC 结构

1.1.2 ATmega8 结构概要

本书以 ATmega8 为典型结构进行讨论，讲述 AVR 单片机采用 BASCOM-AVR 进行基本的编程、开发与应用的方法，以期达到举一反三的效果。ATmega8 是一款价格低廉的高性能 AVR 单片机，其封装外形如图 1-2 所示。

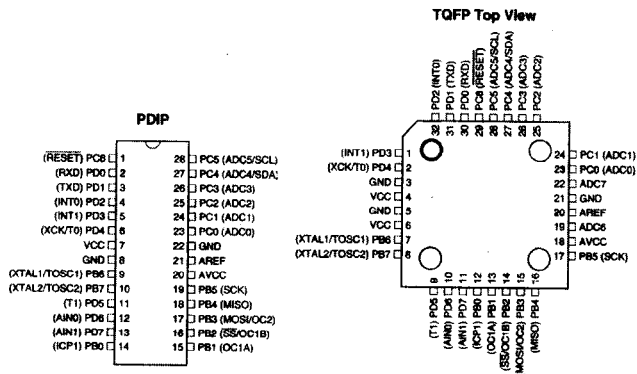


图 1-2 ATmega8 引脚配置图

采用高级语言的一个目的，是尽量避免过多地涉及硬件结构，但是作为单片机应用必须对硬件有基本的认识，并且越充分越好。图 1-3 所示是 ATmega8 的结构方框图，单片机内集成有：

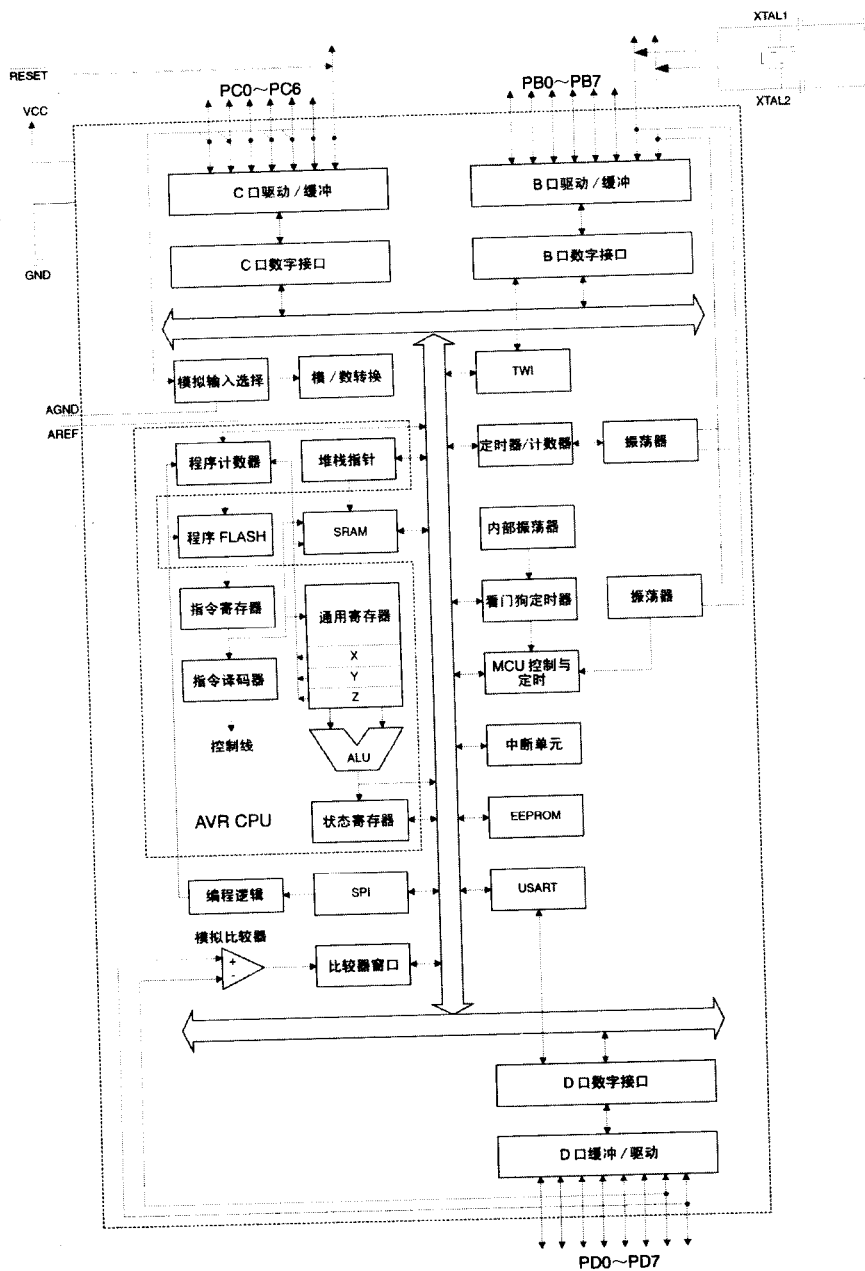


图 1-3 ATmega8 结构框图

1. 中央处理器

它是单片机的中枢指挥机构, 简称 CPU, 包含程序计数器、指令寄存器、指令译码器、堆栈指针、算术逻辑单元、通用工作寄存器等。

2. 存储器

包含 8KB 在线可编程 FLASH 程序存储器, 1KB 的 SRAM 数据存储器, 512B 在线可擦写的 EEPROM。

3. 外围器件

1) 23 个通用可编程 I/O 引脚, 分成 B 口、C 口、D 口, 既可以被编程为并行 I/O 端口, 按字节输入或输出数字信息, 也可以按位编程各个引脚作开关量的输入或输出。引脚的负载能力可达 40mA 电流 (总电流不大于 200mA)。C 口的 6 个引脚还可以作为 ADC (模/数转换器) 的模拟量输入端子; B 口、D 口的引脚也可用做其他特殊功能的输入、输出接口 (图 1-2 所示引脚配置图上圆括号内的名称是该端子的第二、第三功能, 可以通过编程实现所需的功能)。

2) 3 个可预分频的定时器/计数器 (Timer/Counter, 简写 T/C), 其中, T/C0、T/C2 是 8 位计数长度, T/C1 是 16 位计数长度。

(1) T/C1 的功能最强, 除了可用做一般的定时器、计数器之外, 还具有:

- ☐ 两个比较匹配输出或者 PWM [脉冲宽度调制, 可作 DAC (数字量/模拟量转换) 用途] 输出, 其功能由引脚 PB1 (OC1A)、PB2 (OC1B) 实现。
- ☐ 捕获功能。当该功能被启动, 外界信号触发引脚 PB0 (ICP1) 时, T/C1 立即记录触发时刻。该功能多用于测量。
- ☐ 引脚 PD5 (T1) 是 T/C1 的计数输入端。T/C1 作为计数器使用时, 来自 PD5 (T1) 的脉冲信号就是 T/C1 计数器的计数脉冲。

(2) T/C0 只作定时/计数之用, 引脚 PD4 (T0) 是它的计数脉冲输入端。

(3) T/C2 除了是 8 位的定时器之外, 还有 8 位的比较匹配输出或 PWM 输出功能, 引脚 PB3 (OC2) 是其输出端子。

3) 6 (或 8) 个模/数转换器的模拟量输入通道, PC0~PC3 输入的模拟信号可进行 10 位模/数转换, PC4、PC5 的输入模拟信号只作 8 位模/数转换。

4) 内置模拟比较器。PD6 (AIN0)、PD7 (AIN1) 是两个比较输入端子。

5) 串行接口。微机之间或者微机与其他设备之间进行串行信息交换。

(1) 全双通用同步/异步串行接口 USART。引脚 PD0 (RXD) 用于接收信息, 引脚 PD1 (TXD) 用于发送信息, 引脚 PD4 (XCK) 在同步模式时, 作同步时钟的输入/输出端子。

(2) 同步串行接口 SPI。引脚 PB5 (SCK) 是同步时钟信号发/收端子, 引脚 PB4