



AVR高速嵌入式单片机 原理与应用

耿德根 宋建国 马潮 叶勇建 编



北京航空航天大学出版社
<http://www.buaapress.com.cn>

AVR 高速嵌入式单片机 原理与应用

耿德根 宋建图 马潮 叶勇建 编

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书详细介绍 ATMELE 公司开发的 AVR 高速嵌入式单片机的结构;讲述 AVR 单片机的开发工具,包括 AVR Studio 调试工具、单片机汇编器和 AVR 单片机串行下载实验;学习指令系统时,每条指令均有实例,边学习边调试,使学习者看得见指令流向及操作结果,真正理解每条指令的功能及使用注意事项;介绍 AT90S 系列多种单片机功能特点、实用程序设计及应用实例;作为提高篇,讲述简单易学、适用 AVR 单片机的高级语言 BASCOM - AVR 及 IAR C 编译器。

本书的每个实验应用程序都是在 SL - AVR 开发编程实验器上,由广州天河双龙电子有限公司的科技人员和华东师范大学电子工程系(ATMELE 实验室)师生实验通过的。源程序清单及硬件接线图、系统工作软件,可上网(<http://www.sl.com.cn>)下载。广州天河双龙电子有限公司还可提供图文并茂的相关工作软件和实验应用源程序的光盘,作为本书的补充。

本书有较强的系统性和实用性,可作为高等院校自动化、计算机、电子等专业的教学参考及工程技术人员的实用参考,亦可作为应用技术的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

AVR 高速嵌入式单片机原理与应用/耿德根等编.

北京:北京航空航天大学出版社,2001.2

ISBN 7 - 81077 - 039 - X

I. A... II. 耿... III. 单片微型计算机, AVR 高速
嵌入式 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01653 号

AVR 高速嵌入式单片机原理与应用

耿德根 宋建国 马潮 叶勇建 编

责任编辑 王瑛 王小青

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市学院路 37 号(100083) 发行部电话(010)82317024

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

E-mail: pressell@publica.bj.cninfo.net

河北省涿州市新华印刷厂印制 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:29 字数:739 千字

2001 年 2 月第 1 版 2001 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7 - 81077 - 039 - X/TP · 024 定价:40.00 元

致 读 者

美国 ATMEL 公司率先将 Flash 存储技术应用于单片机产品中,推出了 AT89 系列单片机,在全球电子业内引起了巨大的反响,在中国也受到了众多用户的喜爱。在此,特向各位用户表示感谢!

继 AT89 系列之后,ATMEL 公司又向世界发布了本书所介绍的全新配置的精简指令集(RISC)AVR(ADVANCE RISC)AT90 系列单片机。ATMEL 公司的步伐始终在不断向前,现在,更强的 32 位 AT91M 系列单片机也已上市。

ATMEL 公司是一家跨国的专业半导体企业。总部设在美国著名的硅谷圣何塞,在美国、法国、德国、英国、马来西亚都设有大型生产厂,有十几个专门的配套和封装厂,另还在几十个国家和地区设有设计中心和办事处。其中 AVR 产品的设计中心就设在挪威。ATMEL 以其最先进的工艺和技术生产各种存储器、可编程逻辑器件、多种系列的单片机及数十种智能卡。其中以 AVR 为核的几款 CPU 卡的性能非常具有竞争力。最新推出的 AVR + FPGA + SRAM (FPSLIC——Field Programmable System Level ICs)现场可编程系统级电路,更占据业内的领先地位。ATMEL 还为宇航、军事、工业及民用等许多专门用户设计生产了大量的数字、模拟、逻辑混合型专用电路(ASIC)。

ATMEL 在电可擦技术上,拥有世界上最多的专利和最先进的工艺,又有制作混合电路的技术和经验,是少数可将 SiGe(硅锗)技术用于 RF 射频通讯产品的公司之一。我们将这些特点与先进的 AVR 核相结合,为您提供最优配置的系列单片机。AVR 系列单片机的主要特点是:程序区 Flash 可多次电擦写;内部含电可擦数据 EEPROM 存储器,可串行下载;最新、最优、最全的配置;执行速度快,指令高效率;低电压,低功耗,高驱动;程序加密性好;简便易学,开发工具廉价;型号全,适用范围广;可扩展性强,可为用户做专用芯片。最重要的还有:AVR 物美价廉,雅俗共赏,生命力长久。

ATMEL 公司很欢迎各位朋友选用 AVR 产品,愿为您的设计提供服务,也愿为您要求的专用芯片提供设计和生产。

希望这本书能给您了解和使用 AVR 提供方便,也希望得到您的建议和帮助。

向为本书出版作出巨大贡献的广州天河双龙有限公司的耿德根先生、北京航空航天大学何立民教授、上海华东师范大学的马潮教授、ATMEL 北京办事处的叶勇建先生、北京航空航天大学出版社等朋友,致以深深的谢意;再次向 1998 年为 AVR 出书的宋建国先生表示感谢;在此还要向 ATMEL 在中国的所有代理商及分销商表示感谢。

美国爱特梅尔(ATMEL)公司

2000 年 12 月 1 日

前 言

随着电子技术的迅猛发展,单片机更广泛地应用于军事、工业、通讯、家用电器、智能玩具、便携式智能仪表等领域,使产品功能、精度和质量大幅度提高,而电路设计更简单、故障率低、可靠性高且成本低廉。应该看到,Flash 技术、在线可编程、低功耗、大规模集成是今后单片机的发展方向。

ATMEL 公司是全球著名的半导体公司之一。90 年代初,ATMEL 率先把 MCS-51 内核与其擅长的 Flash 技术相结合,推出轰动业界的 AT89 系列单片机。至今,ATMEL 在 MCS-51 市场上仍占据主要份额。1997 年,ATMEL 挪威设计中心的 A 先生与 V 先生出于市场需求考虑,充分发挥其 Flash 技术优势,推出全新配置的精简指令集(RISC)单片机,简称 AVR。几年来,AVR 单片机已形成系列产品,其 ATtiny、AT90 与 ATmega 分别对应为低、中、高档产品。为了使广大用户和读者对 AVR 单片机的原理与应用有一个系统、详细的认识,尤其针对 AT90 系列,我们特意编写了这本书。

一、AVR AT90S 系列单片机的优点

(1) 价格低廉的、可擦写 1 000 次以上的、16(字)位指令(程序存储器数据为 16 位,即 $XXXX \times 16$;也可理解为 8 位,即 $2 \times XXXX \times 8$)。因采用了 Flash 技术,不再有报废品产生。数据存储器为 8 位,AVR 还是属于 8 位单片机。

(2) 高速度(50ns)、低功耗(μA)! 具有 Sleep(休眠)功能及 CMOS 技术,每一指令执行速度可达 50ns(20MHz),而耗电则在 1~2.5mA 间(典型功耗,WDT 关闭时为 100nA)。AVR 运用 Harvard 结构概念(具有预取指令功能),即对程序和数据存储带有不同的存储器和总线。当执行某一指令时,下一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。

(3) 高度保密(LOCK)! 可多次烧写的 Flash 且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)而不必浪费 IC 或电路板,大大提高产品质量及竞争力。

(4) 工业级(WDT)产品! 具有大电流(灌电流)10~20mA 或 40mA(单一输出),可直接驱动 SSR 或继电器;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。

(5) 超功能精简指令! 具有 32 个通用工作寄存器(相当于 8051 中的 32 个累加器,克服了单一累加器数据处理造成的瓶颈现象)及 128B~4KB 个 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。

(6) 程序写入器件可以并行写入(用万用编程器),也可串行在线下载(ISP)擦写。也就是说不必将 IC 拆下拿到万用编程器上烧录,而可直接在电路板上进行程序修改、烧录等操作。方便产品升级,尤其是 SMD 封装,更利于产品微型化。

(7) 并行 I/O 口输入/输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入类同外,

也可设定类同 8051 系列内部拉高电阻作输入端的功能,便于作各种应用特性所需(多功能 I/O 口)。AVR 是真正的 I/O 口,能正确反映 I/O 口的输入/输出真实情况。

(8) 单片机内有模拟比较器,I/O 口可作 A/D 转换用,可组成廉价的 A/D 转换器。

(9) 像 8051 一样,有多个固定中断向量入口地址,可快速响应。

(10) 像 PIC 一样,可重设启动复位。AVR AT90S 系列也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 V_{CC} 端。当电源开时,由于利用内部的 RC 看门狗定时器,可延迟 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。

(11) 具有休眠省电功能(Power Down)及闲置(IDLE)低功耗功能。

(12) AT90S1200 等部分 AVR 器件具有内部 RC 振荡器——1MHz 的工作频率,使该类单片机无需外加元器件即可工作,可谓简单方便。

(13) 计数器/定时器,C/T 有 8 位和 16 位,可作比较器;计数器外部中断和 PWM(也可当 D/A)用于控制输出。

(14) 有串行异步通讯 UART,不占用定时器和 SPI 传输功能;因其高速故可以工作在一般标准整数频率,而波特率可达 576K。

(15) AT90S4414 及 AT90S8515 具有可扩展外部数据存储器,达 64KB。它们的引脚排列及功能与 8051 相似,即可替代 8051 系列单片机(8751/8752)的应用系统。当然,还在硬件、软件上带来很多优点(如 WDT 看门狗,模拟比较器作 A/D,PWM 作 D/A 等)。

(16) 工作电压范围宽(2.7~6.0V),电源抗干扰性能强。

(17) 有多通道 10 位 A/D 及实时时钟 RTC。具有 8 路 10 位 A/D 器件的有 AT90S4434/8535;具有 6 路 10 位 A/D 器件的有 AT90S2333/4433。ATmega103(L)单片机更有 Flash 128KB,EEPROM 4KB,RAM 4KB,I/O 端口 48 个,中断源 16 个,外部中断 8 个,SPI 1 个,UART 1 个,8 位定时器 2 个,16 位定时器 1 个,PWM(D/A)4 个;还有看门狗定时器、实时时钟 RTC、模拟比较器,8 路 10 位 A/D,可在线编程 ISP,工作电压为 2.7~5.5V。

(18) AVR 由于 Flash 存储器构成,并具有较大容量、可擦写 100 000 次的 EEPROM,对掉电后数据的保存带来方便,来电后能记住掉电时的工作状态。

(19) 从高级语言 C 代码,看各种单片机性能比较(见表 0.1)

/* 一个小 C 函数

/* Return the maximum value of a table of 16 integers */

```
int max(int * array)
{
    char a;
    int maximum=-32768;

    for (a=0;a<16;a++)
        if (array[a]>maximum)

            maximum=array[a];
    return (maximum);
```

}

AVR 汇编输出: Code Size——46 Bytes, Execution time——335 cycles。

C51 汇编输出: Code Size——112 Bytes, Execution time——9 384 cycles。

HC11 汇编输出: Code Size——57 Bytes, Execution time——5244 cycles。

PIC16C74 汇编输出: Code Size——87 Bytes, Execution time——2492 cycles。

AT90S8515 8MHz/80C51 24MHz/68HC11A8 12MHz/PIC16C74 20MHz。

表 0.1 从 C 代码比较各种单片机性能

	Code Size (Bytes)	Function Execution Time/ μ s	Current Consumption /mA	Executions /S/Mw
AT90S8515	46(1)	42(1)	11(1)	434(1)
80C51	112(2, 4)	391(9)	16(1.5)	32(0.07)
68HC11	57(1.2)	437(10)	27(2.5)	17(0.04)
PIC16C74	87(1.9)	125(3)	13.5(1.2)	119(0.27)

从上述得出的结论为: 8MHz AVR 等于 224MHz80C51。

二、AVR 的 2 种开发工具

1. ICE200

ICE200 采用 AVR 专用仿真 CPU 与监控 CPU 独立设计的方案, 充分提供各种调试手段, 真实再现被仿 AVR 的各种特性。它可仿真 AVR 的器件有 ATtiny10/11/12(V/L)、AT90S1200/2313、AT90(L)S2333/4433、AT90S4414/8515、AT90(L)S4434/8535。由于仿真器的电源不对外, 所以 ICE200 也支持低电压器件。ICE200 的仿真软件最新版为 STUDIO 3. X, 在支持以上 11 种 AVR 以外, 还可模拟其它 AVR 器件的运行, 支持汇编及 C 高级语言。其中汇编编译器免费提供, C 编译器只提供 Image Craft Inc. 的 30 天免费试用版 Icc AVR demo。该软件及其升级版均可从互联网(www.imagecraft.com)上免费获得。

ICE200 包括一个仿真器主板、一个 POD 板(AtadapEM04, 有仿真 CPU)、五块适配器板(适合 DIP8/20/28/40 封装 AVR CPU)、一块诊断保护板(ATadap4000)、两根柔性印刷电缆、一根 9 针串行通讯电缆、一个 9V 直流电源(赠送)、一份工作光盘(含 ICE200 中文使用手册)、一份 ICE200 简介。

广州市天河双龙电子有限公司为了使 AVR 单片机在我国迅速得到应用, 及时引进美国原装 AVR 实时在线仿真器 ICE200, 推广价定位在国人能承受的价位。

2. SL - AVR

经济普及型 AVR 串行下载开发实验器 SL - AVR, 等于 AVR 编程器 + 模拟仿真器 + 实验器 + 科研样机。它的硬件采用模块化设计, 便于用户灵活组成科研项目所需的各种硬件结构。硬件有: RS232 通信接口; 串行下载监控; DIP8/20/28/40 通用锁紧插座, DIP40 端口用短路块连接作输出, 用 LED 发光二极管显示器件引脚高低电平, 也可用短路块断开, 作输入或其它用途; 6 位 LED 数码管作显示; 2×16 点阵 LCD 液晶显示器; 17 键的键盘; 网络电阻作高精度 A/D 转换; 步进电机驱动电路模块; 模拟比较输入电路; 音响电路; 复位电路; 模拟电压输入电路等; 随机附 120mm $\times$ 170mm 万通实验板及一片 AT90S8515 器件。

SL- AVR 适用于所有具有串行下载编程功能的 AVR 单片机, 用户板上的 AVR 器件无需拆下即可编程, 同时还可作 AVR 单片机的 I/O 口、A/D、D/A、LED、LCD、键盘输入、步进电机控制、音频输出、模拟比较等开发实验; 提供功能强大的 WIN 版汇编级编译器 WVRASM、模拟仿真调试软件 AVRStudio3. X 及串行下载软件 AVR PROG, 同时也提供限制版的 C(IAR, ICC) 编译器、限 2KB 的 BASCOM- AVR 编译器; 对初学 AVR 单片机的设计者, 可暂时节省购买较昂贵的实时仿真器及万用编程器的费用。

SL- AVR 开发实验器提供了几十个实用实验程序, 用户也可改变硬件接口、修改程序, 实现源程序的其它功能。这对大专院校学生发挥其创造性思维及动手能力的培养特别有用, 可改变我国传统教育下的“高分低能”的弊病。该开发实验器也可当作科研样机使用。

SL- AVR 开发实验器是由广州天河双龙电子有限公司开发出的。本书的每个实验应用程序都是在 SL- AVR 开发编程实验器上, 由广州天河双龙电子有限公司的科技人员和华东师范大学电子工程系(ATMEL 实验室)师生实验通过的。源程序清单及硬件接线图、系统工作软件, 可上网(<http://www.sl.com.cn>)下载。广州天河双龙电子有限公司还可提供图文并茂的相关工作软件和实验应用源程序的光盘*, 作为本书的补充。

本书共分九章。第一章 ATMEL 单片机简介; 第二章介绍 AVR 单片机总体结构; 第三章介绍 AVR 单片机开发工具; 第四章介绍 AVR 单片机指令系统; 第五章介绍 AVR 单片机 AT90 系列; 第六章介绍实用程序设计; 第七章介绍 AVR 单片机的应用; 第八章介绍 BASCOM- AVR 的应用; 第九章介绍 AVR C 语言的应用。附录简单介绍 AT89、AT94K 系列单片机和指令集综合。书后附有 ATMEL 公司的产品目录、公司代表处及代理商名录及购买 SL- AVR 的优惠证。

本书由 ATMEL 公司供稿, 耿德根主编。耿德根编写第三、六、七、九章, 并对第四章每条指令用程序调试方法验证指令功能; 宋建国编写第一、二、四章; 叶勇建编写第五章; 马潮编写第八章。本书承蒙何立民教授的关心和支持, 在审校中得到了王小青副总编等的大力支持, 在录入、校稿、实验等方面得到了沈延红、周惠忠、葛仁春、钟楚洪、覃辉等同志的大力协助。ATMEL 公司提供全部技术资料、广州天河双龙电子有限公司提供实验设备、华东师范大学电子工程系(ATMEL 实验室)等给予多方面的帮助, 在此一并致谢!

编 者

2000 年 12 月于广州

* 本书配套磁盘的邮购方法

邮购地址: (邮编 510630) 广州天河龙口西路龙苑大厦 A3 座新赛格电子城 331 室

邮购费: 20 元(平寄)/30 元(特快专递)

联系人: 耿德根(电话 020-85510191 E-mail: gzs1@sl.com.cn)

目 录

第一章 ATME1 单片机简介

1.1 ATME1 公司产品的特点	1
1.2 AT90 系列单片机简介	2
1.3 AT91M 系列单片机简介	2

第二章 AVR 单片机系统结构

2.1 AVR 单片机总体结构	4
2.2 AVR 单片机中央处理器 CPU	6
2.2.1 结构概述	7
2.2.2 通用寄存器堆	8
2.2.3 X、Y、Z 寄存器	9
2.2.4 ALU 运算逻辑单元	9
2.3 AVR 单片机存储器组织	10
2.3.1 可下载的 Flash 程序存储器	10
2.3.2 内部和外部的 SRAM 数据存储器	10
2.3.3 EEPROM 数据存储器	11
2.3.4 存储器访问和指令执行时序	11
2.3.5 I/O 存储器	13
2.4 AVR 单片机系统复位	16
2.4.1 复位源	17
2.4.2 加电复位	18
2.4.3 外部复位	19
2.4.4 看门狗复位	19
2.5 AVR 单片机中断系统	20
2.5.1 中断处理	20
2.5.2 外部中断	23
2.5.3 中断应答时间	23
2.5.4 MCU 控制寄存器 MCUCR	23
2.6 AVR 单片机的节电方式	24
2.6.1 休眠状态	24
2.6.2 闲置模式	24
2.6.3 掉电模式	25
2.7 AVR 单片机定时器/计数器	25
2.7.1 定时器/计数器预定比例器	25
2.7.2 8 位定时器/计数器 0	25

2.7.3	16 位定时器/计数器 1	27
2.7.4	看门狗定时器	33
2.8	AVR 单片机 EEPROM 读/写访问	34
2.9	AVR 单片机串行接口	35
2.9.1	同步串行接口 SPI	35
2.9.2	通用串行接口 UART	40
2.10	AVR 单片机模拟比较器	45
2.10.1	模拟比较器	45
2.10.2	模拟比较器控制和状态寄存器 ACSR	46
2.11	AVR 单片机 I/O 端口	47
2.11.1	端口 A	47
2.11.2	端口 B	48
2.11.3	端口 C	54
2.11.4	端口 D	55
2.12	AVR 单片机存储器编程	61
2.12.1	编程存储器锁定位	61
2.12.2	熔断位	61
2.12.3	芯片代码	61
2.12.4	编程 Flash 和 EEPROM	61
2.12.5	并行编程	62
2.12.6	串行下载	66
2.12.7	可编程特性	67
第三章 AVR 单片机开发工具		
3.1	AVR 单片机的编辑和编译	69
3.1.1	AVR Assembler 汇编文件的安装与打开	69
3.1.2	AVR 单片机汇编语言源程序举例	70
3.1.3	源文件说明	73
3.1.4	AVR 汇编器	74
3.2	模拟调试窗口	78
3.2.1	安装 AVR Studio 调试工具	78
3.2.2	设置器件配置文件 *.aio 方法	78
3.2.3	AVR Studio 调试窗口下拉菜单	79
3.2.4	AVR Studio 窗口	82
3.2.5	AVR Studio 命令	87
3.2.6	执行对象	90
3.3	AVR 单片机开发下载实验器 SL - AVR	92
3.3.1	SL - AVR 开发下载实验器硬件结构	92
3.3.2	SL - AVR 硬件接口电路	93
3.4	AVR 单片机串行下载操作	98

3.5 SLAVR*.ASM 综合程序简介	98
第四章 AVR 单片机指令系统	
4.1 指令格式	102
4.1.1 汇编指令	102
4.1.2 汇编器伪指令	102
4.1.3 表达式	105
4.2 寻址方式	107
4.3 数据操作和指令类型	110
4.3.1 数据操作	110
4.3.2 指令类型	110
4.3.3 指令集名词	110
4.4 算术和逻辑指令	111
4.4.1 加法指令	111
4.4.2 减法指令	115
4.4.3 乘法指令	119
4.4.4 取反码指令	119
4.4.5 取补指令	120
4.4.6 比较指令	121
4.4.7 逻辑与指令	123
4.4.8 逻辑或指令	125
4.4.9 逻辑异或指令	128
4.5 转移指令	129
4.5.1 无条件转移指令	129
4.5.2 条件转移指令	132
4.6 数据传送指令	153
4.6.1 直接数据传送指令	153
4.6.2 间接数据传送指令	155
4.6.3 从程序存储器直接取数据指令	162
4.6.4 I/O 口数据传送	163
4.6.5 堆栈操作指令	164
4.7 位指令和位测试指令	165
4.7.1 带进位逻辑操作指令	165
4.7.2 位变量传送指令	169
4.7.3 位变量修改指令	170
4.7.4 其它指令	179
4.8 新增指令	180
4.8.1 EICALL——延长间接调用子程序	180
4.8.2 EIJMP——扩展间接跳转	181
4.8.3 ELPM——扩展装载程序存储器	182

4.8.4	ESPM——扩展存储程序存储器	182
4.8.5	FMUL——小数乘法	184
4.8.6	FMULS——有符号数乘法	184
4.8.7	FMULSU——有符号小数和无符号小数乘法	185
4.8.8	MOVW——拷贝寄存器字	186
4.8.9	MULS——有符号数乘法	187
4.8.10	MULSU——有符号数与无符号数乘法	187
4.8.11	SPM——存储程序存储器	188

第五章 AVR 单片机 AT90 系列介绍

5.1	AT90S1200	190
5.1.1	特 点	190
5.1.2	描 述	191
5.1.3	引脚配置	192
5.1.4	结构纵览	193
5.2	AT90S2313	201
5.2.1	特 点	201
5.2.2	描 述	202
5.2.3	引脚配置	203
5.3	AT90S2323/2343	203
5.3.1	特 点	203
5.3.2	描 述	204
5.3.3	AT90S/LS2323 和 AT90S/LS2343 的比较	206
5.3.4	引脚配置	206
5.4	AT90S2333/4433	207
5.4.1	特 点	207
5.4.2	描 述	208
5.4.3	引脚配置	208
5.5	AT90S4414/8515	210
5.5.1	特 点	210
5.5.2	AT90S4414 和 AT90S8515 的比较	212
5.5.3	引脚配置	212
5.6	AT90S4434/8535	212
5.6.1	特 点	212
5.6.2	描 述	213
5.6.3	AT90S4434 和 AT90S8535 的比较	215
5.6.4	引脚配置	215
5.6.5	AVR RISC 结构	216
5.6.6	定时器/计数器	227
5.6.7	看门狗定时器	232

5.6.8	EEPROM 读/写	232
5.6.9	串行外设接口——SPI	232
5.6.10	通用串行接口 UART	232
5.6.11	模拟比较器	232
5.6.12	模数转换器	233
5.6.13	I/O	238
5.7	ATmega83/163	243
5.7.1	特 点	243
5.7.2	描 述	244
5.7.3	ATmega83 与 ATmega163 的比较	245
5.7.4	引脚配置	246
5.8	ATtiny10/11/12	247
5.8.1	特 点	247
5.8.2	描 述	248
5.8.3	引脚配置	250
5.9	ATtiny15/L	252
5.9.1	特 点	252
5.9.2	描 述	252
5.9.3	引脚配置	254
5.10	ATmega603/103	254
5.10.1	特 点	254
5.10.2	描 述	255
5.10.3	ATmega603 和 ATmega103 的比较	257
5.10.4	引脚配置	257
5.11	ATmega161	259
5.11.1	特 点	259
5.11.2	描 述	260
5.11.3	引脚配置	260
5.12	AVR 单片机替代 MCS-51 单片机	262
第六章 实用程序设计		
6.1	程序设计方法	264
6.1.1	程序设计步骤	264
6.1.2	程序设计技术	264
6.2	应用程序举例	265
6.2.1	内部寄存器和位定义文件	265
6.2.2	访问内部 EEPROM	268
6.2.3	数据块传送	268
6.2.4	乘法和除法运算应用一	269
6.2.5	乘法和除法运算应用二	269

6.2.6	16 位运算	269
6.2.7	BCD 运算	269
6.2.8	冒泡分类算法	269
6.2.9	设置和使用模拟比较器	269
6.2.10	半双工中断方式 UART 应用 1	269
6.2.11	半双工中断方式 UART 应用 2	270
6.2.12	8 位精度 A/D 转换器	270
6.2.13	装载程序存储器	270
6.2.14	安装和使用相同模拟比较器	270
6.2.15	CRC 程序存储的检查	270
6.2.16	4×4 键区休眠触发方式	271
6.2.17	多工法驱动 LED 和 4×4 键区扫描	271
6.2.18	I ² C 总线	271
6.2.19	I ² C 工作	272
6.2.20	SPI 软件	272
6.2.21	验证 SL - AVR 实验器及 AT90S1200 的口功能 1	273
6.2.22	验证 SL - AVR 实验器及 AT90S1200 的口功能 2	273
6.2.23	验证 SL - AVR 实验器及具有 DIP40 封装的口功能	273
第七章 AVR 单片机的应用		
7.1	通用延时子程序	274
7.2	简单 I/O 口输出实验	280
7.2.1	SLAVR721. ASM	280
7.2.2	SLAVR722. ASM	281
7.2.3	SLAVR723. ASM	282
7.2.4	SLAVR724. ASM	284
7.2.5	SLAVR725. ASM	285
7.2.6	SLAVR726. ASM	286
7.2.7	SLAVR727. ASM	287
7.3	综合程序	288
7.3.1	LED/LCD/键盘扫描综合程序	288
7.3.2	LED 键盘扫描综合程序	289
7.3.3	在 LED 上实现字符 8 的循环移位显示程序	289
7.3.4	电脑放音机	291
7.3.5	键盘扫描程序	299
7.3.6	十进制计数显示	300
7.3.7	廉价的 A/D 转换器	303
7.3.8	高精度廉价的 A/D 转换器	308
7.3.9	星星灯	311
7.3.10	按钮猜数程序	312

7.3.11 汉字的输入	318
7.4 复杂实用程序	320
7.4.1 10 位 A/D 转换	320
7.4.2 步进电机控制程序	323
7.4.3 测脉冲宽度	326
7.4.4 LCD 显示 8 字循环	332
7.4.5 LED 电脑时钟	338
7.4.6 测频率	344
7.4.7 测转速	346
7.4.8 AT90S8535 的 A/D 转换	348
第八章 BASCOM - AVR 的应用	
8.1 基于高级语言 BASCOM - AVR 的单片机开发平台	354
8.2 BASCOM - AVR 软件平台的安装与使用	355
8.3 AVR 输入输出 I/O 口的应用	359
8.3.1 LED 发光二极管的控制	359
8.3.2 简易手控广告灯	360
8.3.3 简易电脑音乐收音机	361
8.4 LCD 显示器	363
8.4.1 标准 LCD 显示器的应用	363
8.4.2 简单游戏机——按钮猜数	365
8.5 串口通信 UART	366
8.5.1 AVR 系统与 PC 的简易通信	367
8.5.2 PC 控制的简易广告灯	368
8.6 单总线接口和温度计	370
8.7 I ² C 总线接口和简易 IC 卡读写器	373
第九章 AVR C 语言的应用	
9.1 AVR 支持 C 和高级语言编程的结构	379
9.2 C 编译	383
9.3 测试应用程序	389
9.3.1 读/写口	390
9.3.2 延时函数	390
9.3.3 读/写 EEPROM	391
9.3.4 AVR 的 PB 口变速移位	391
9.3.5 4 个口 LED 亮灯变速移位	392
9.3.6 音符声程序	393
9.3.7 8 字循环移位显示程序	394
9.3.8 按键加 1 计数显示程序	395
9.4 用 C 语言产生各种波形	396
9.4.1 锯齿波	397

9.4.2 正三角形波	397
9.4.3 梯形波	398
9.4.4 正弦波	399
9.4.5 方波	400
附录 1 AT89 系列单片机简介	402
附录 2 AT94K 系列现场可编程系统标准集成电路	405
附录 3 指令集综合	408
参考文献	412
ATMEL 公司的产品目录	413

第一章 ATMELE 单片机简介

1.1 ATMELE 公司产品的特点

ATMELE 公司是世界上著名的高性能、低功耗、非易失性存储器 and 数字集成电路的一流半导体制造公司。ATMELE 公司最引人注目的是它的 EEPROM 电可擦除技术, 闪速存储器技术和高质量、高可靠性的生产技术。在 CMOS 器件生产领域中, ATMELE 的先进设计水平、优秀的生产工艺及封装技术, 一直处于世界领先地位。这些技术用于单片机生产, 使单片机也具有优秀的品质, 在结构、性能等方面都有明显的优势。ATMELE 公司的单片机是目前世界上一种独具特色且性能卓越的单片机。它在计算机外部设备、通讯设备、自动化工业控制设备、宇航设备、仪器仪表和各种消费类产品中都有着广泛的应用前景。ATMELE 公司产品的主要特点表现为如下几点:

一、以 EEPROM 电可擦除及 Flash 技术为主导

ATMELE 公司把其 EEPROM 及 Flash 技术巧妙地结合形成特殊的集成电路, 从而使一些芯片的应用领域扩大, 其中闪速可编程逻辑器件 Flash PLD、Flash 存储器、AT90 系列 Flash 单片机、AVR 增强型单片机、智能 IC 卡等是最典型的产品。这些产品内部含有 Flash 存储器, 从而使它们在无交流电环境下的、便携类的产品中大有作为。含有 EEPROM 及 Flash 存储器是 ATMELE 公司有关产品的明显特色之一。

在 ATMELE 公司的 Flash 产品中, 一共有商业 C 档($0 \sim +70^{\circ}\text{C}$)、工业 I 档($-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$)、汽车 A 档($-40 \sim +125^{\circ}\text{C}$)和军用 M 档($-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$)四种档次的产品。

二、多种封装形式和高的质量

ATMELE 公司有多种封装形式的集成电路, 封装形式有: DIP、PGA、PQFP、TQFP、SOIC、CBGA、 μ BGA 和客户专门定制等多种。

ATMELE 公司的封装是按军工标准进行的, 有优秀的商品质量。军工产品封装和测试按军用标准 MIL - STD - 883 进行。所有的军工产品在制造和开发过程中均以 MIL - M - 38510 标准说明书为依据, 并且追踪这个标准的最新版本。同时, ATMELE 公司将统计过程控制 SPC 标准用于军用 IC 的装配和测试中, 从而优化质量和产品的稳定性。

三、高标准的质量检测

ATMELE 公司具有高质量、高水准的检测能力, 可以对数字集成电路和模拟集成电路、军用集成电路进行质量检测。就 ATMELE 公司的军用集成电路产品而言, 其工作性能是完全符合军用标准的, 在 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$ 范围内正常工作, 甚至在高达 $+150^{\circ}\text{C}$ (特殊档) 的条件下, 集成电路仍然实现正常的输出功能。ATMELE 公司的 Audo、Sentry 和 Teraclyne 测试器件符合统计过程控制 SPC 标准, 并且依照美国国家标准局的测试标准执行。

由于 ATMELE 公司的产品具有优秀的品质, 故在航空航天仪器、雷达系统、导弹、智能自适应仪器、机器人、各种武器电子系统、抗恶劣环境电子系统等都被广泛加以应用。