

胡汉才 编著



高档 AVR 单片机 原理及应用

清华大学出版社



TP368.1/397

2008

胡汉才 编著

高档 AVR 单片机 原理及应用

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 ATmega 系列嵌入式单片机为主线,系统地论述了这类高性能单片机的组成原理、指令系统和汇编语言程序设计,并在此基础上详细讨论了 SRAM、FLASH 和 E²PROM 存储器、中断系统、I/O 端口、定时器/计数器、A/D 和 D/A、AC 比较器、USART、SPI 和 TWI 等片内功能模块的结构、原理和使用方法,最后还结合实例对这类单片机应用系统的设计、开发和调试等进行了专门介绍。全书共分 10 章,每章都有一定数量的习题,习题解答和实验指导书将以配套教材形式另行出版。

本书在编写过程中参阅了大量 AVR 单片机的最新资料,吸收了单片机应用新成果,也融入了作者在从事 ATmega 系列单片机应用开发中的成功实例。全书自成体系、结构紧凑而合理,层次清楚、前后呼应和语言通俗,具有先进性、通用性、系统性和实用性。

本书可作为高等院校研究生和大学本科生的单片机教材,也是从事单片机应用与开发人员的一本较为理想的参考书。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

高档 AVR 单片机原理及应用/胡汉才编著. —北京:清华大学出版社,2008.2

ISBN 978-7-302-15379-5

I. A… II. 胡… III. 单片微型计算机 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 082345 号

责任编辑:薛 阳 刘 霞

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:34.25 字 数:824 千字

版 次:2008 年 2 月第 1 版 印 次:2008 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:49.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:026132-01

前 言

ATMEL(艾特梅尔)公司地处美国硅谷,现已发展成为全世界著名的集 IC 设计、研发、制造和销售于一体的大型跨国半导体器件公司。该公司自创建以来,一直是美国宇航局和军用 IC 芯片的主要供货商。ATMEL 公司于 1994 年涉足单片机行业,并在研制成 AT89 系列单片机基础上于 2002 年推出 AVR 单片机系列中的顶级产品 ATmega 8,引起了世界单片机业界和广大用户的高度重视,芯片销量与日俱增。近年来,该公司又陆续推出 ATmega 16、ATmega 32、ATmega 64 和 ATmega 128 等 20 余种新产品,现已发展成为 ATmega 系列。

ATmega 系列单片机是新一代高性能 8 位单片机,其内核采用 HarVard 结构和先进的 RISC 技术,能在 1 个时钟周期内执行一条指令(MCS-51 执行一条指令至少需要 12T),并融入了世界领先的 FLASH 和 E²PROM 技术。因此,和传统单片机相比,采用 ATmega 系列单片机开发成功的产品具有速度快、功能强、体积小、重量轻、可靠性高、功耗低和价格便宜等一系列优点,受到了人们的高度重视,现已成为我国传统工业技术改造和新产品更新换代的理想机种,具有广阔的发展前景。为了适应单片机应用这一新形势和满足我国高等院校单片机教材内容更新的需求,作者特地结合自身的教学和科研编著了本书,以此奉献广大读者。

20 余年来,我国高校的单片机教学一直以 MCS-51 为对象机组织教学,为传统工业的技术改造和新产品开发培养了大批科技人才,实现了跨越式发展,成绩是巨大的。但随着新一代嵌入式单片机的不断涌现以及社会对这方面人才的迫切需求,这必然会引发单片机教学内容的更新,迎来一个以讲授 ATmega 或其他高性能单片机为对象的新格局。为了迎接我国高校单片机教学内容改革的新高潮,作者特地把本书改为教材出版,对章节进行了精心编排,文字力求通俗易懂,并特地撰写了《高档 AVR 单片机原理及应用习题解答与实验指导》作为配套教材。

本书以 ATmega 8 单片机为主线,以宏汇编语言为手段,全面而翔实地论述了 ATmega 系列单片机的结构、原理和应用。全书结构紧凑,章节编排合理,具有通用性、先进性、系统性和实用性,文句力求简洁、深入浅出和通俗易懂。全书共分 10 章:第 1 章是 ATmega 8 内部结构综述;第 2~9 章为 ATmega 8 片内各功能模块的结构、原理和应用;第 10 章为单片机应用系统的设计。

本书由胡汉才教授领衔主编和主审,高为将、王少东和史瑶为参编。其中,第 3、4 章由高为将编写,第 5 章由王少东编写,第 2 章由史瑶编写,其余各章由胡汉才执笔。本书在编写和出版过程中,得到了胡芸、胡萍和王梓骁的大力支持和帮助,胡芸和胡萍为本书整理了资料。对于上述人员以及和本书出版有关人员,在此谨向他们表示诚挚的谢意。

由于时间仓促和水平所限,书中一定存在一些错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2007 年 12 月

目 录

第 1 章 ATmega 8 内部结构综述	1
1.1 ATMEL 公司的单片机	1
1.1.1 ATMEL 公司的发展概况	1
1.1.2 ATMEL 公司的 FLASH 单片机	4
1.1.3 ATMEL 公司的 AVR 单片机	7
1.1.4 ATMEL 公司的 ARM 核微控制器	12
1.2 ATmega 8 内部结构综述	17
1.2.1 采用 ATmega 8 组织教学的理由	17
1.2.2 ATmega 8 的内部结构	17
1.2.3 ATmega 8 的主要性能	20
1.2.4 ATmega 8 的引脚功能和封装	22
习题与思考题	27
第 2 章 ATmega 8 MCU 内核	30
2.1 ATmega 8 MCU 内核	30
2.1.1 MCU 内核的结构和原理	30
2.1.2 MCU 内核的组成部件	32
2.1.3 MCU 内核的工作时序	38
2.1.4 MCU 内核对复位和中断的处理	40
2.2 ATmega 8 存储器组织	41
2.2.1 FLASH 存储器	41
2.2.2 SRAM 存储器	42
2.2.3 EEPROM 存储器	44
2.2.4 I/O 寄存器	44
2.2.5 熔丝位编程单元	47
2.3 ATmega 8 时钟系统	49
2.3.1 ATmega 8 时钟系统结构	49
2.3.2 ATmega 8 时钟系统振荡源	52
2.4 ATmega 8 电源管理和休眠模式	57
2.4.1 ATmega 8 的电源管理	57
2.4.2 ATmega 8 的休眠模式	58
2.4.3 如何将功耗降到最低	61

2.5	ATmega 8 系统复位	62
2.5.1	ATmega 8 的复位逻辑	62
2.5.2	ATmega 8 的复位源	63
2.5.3	MCUCSR 和内部参考电压源	66
	习题与思考题	67
第 3 章	ATmega 8 指令系统	71
3.1	指令系统概述	71
3.1.1	指令格式	71
3.1.2	指令分类	74
3.1.3	指令系统综述	75
3.2	寻址方式	77
3.2.1	寄存器寻址	77
3.2.2	直接寻址	79
3.2.3	立即数寻址	80
3.2.4	寄存器间址	81
3.2.5	SRAM 空间的变址寻址	84
3.2.6	FLASH 空间的相对寻址	84
3.2.7	位寻址	85
3.3	数据传送指令	86
3.3.1	SRAM 空间的数据传送指令(27 条)	86
3.3.2	FLASH 空间的数据传送指令(4 条)	89
3.3.3	I/O 空间的数据传送指令(2 条)	91
3.3.4	堆栈操作指令(2 条)	91
3.3.5	数据传送指令小结	92
3.4	算逻运算和移位指令	93
3.4.1	算术运算指令(18 条)	94
3.4.2	逻辑操作指令(13 条)	99
3.4.3	移位指令(6 条)	102
3.5	控制转移指令	103
3.5.1	无条件转移指令(3 条)	104
3.5.2	条件转移指令(25 条)	105
3.5.3	子程序调用/返回指令(5 条)	109
3.6	位操作和 MCU 控制指令	112
3.6.1	位操作指令(22 条)	112
3.6.2	MCU 控制指令(3 条)	113
	习题与思考题	114

第 4 章 汇编语言程序设计	118
4.1 汇编语言程序设计基础	118
4.1.1 汇编语言的构成	118
4.1.2 汇编器伪指令及其包含文件	121
4.1.3 汇编语言源程序的汇编	129
4.1.4 汇编语言源程序的设计步骤	132
4.2 简单与分支程序设计	134
4.2.1 简单程序设计	134
4.2.2 分支程序设计	135
4.3 循环与查表程序设计	138
4.3.1 循环程序设计	139
4.3.2 查表程序设计	144
4.4 代码转换与子程序设计	146
4.4.1 子程序设计	146
4.4.2 代码转换程序设计	149
4.5 运算程序设计	151
4.5.1 加减运算程序设计	152
4.5.2 乘除运算程序设计	154
4.5.3 开平方运算程序设计	160
习题与思考题	161
第 5 章 I/O 端口、中断系统和 E²PROM	165
5.1 ATmega 8 的 I/O 端口及应用	165
5.1.1 ATmega 8 I/O 端口概述	165
5.1.2 ATmega 8 端口的通用 I/O 功能	169
5.1.3 ATmega 8 端口的第二功能	175
5.1.4 ATmega 8 端口的应用	181
5.2 ATmega 8 的中断系统	183
5.2.1 ATmega 8 中断源和中断标志	184
5.2.2 ATmega 8 对中断请求的控制	190
5.2.3 ATmega 8 对中断的响应	194
5.2.4 ATmega 8 中断矢量表位置的配置	195
5.2.5 ATmega 8 对中断请求的撤除	198
5.2.6 ATmega 8 的中断系统初始化	200
5.3 ATmega 8 对 LED/LCD/键盘的接口	200
5.3.1 ATmega 8 对 LED 的接口	200
5.3.2 ATmega 8 对 LCD 的接口	204
5.3.3 ATmega 8 对键盘的接口	212

5.3.4	键盘/显示系统	220
5.4	ATmega 8 对 BCD 码拨盘开关的接口	224
5.4.1	ATmega 8 和 BCD 码拨盘直接接口	225
5.4.2	ATmega 8 通过门电路和 BCD 拨盘的接口	226
	习题与思考题	228
第 6 章	ATmega 8 定时器/计数器	231
6.1	定时器/计数器 0 及应用	231
6.1.1	T/C0 和 T/C1 的预定比例分频器	231
6.1.2	T/C0 的结构和原理	233
6.1.3	T/C0 的应用举例	236
6.2	定时器/计数器 1 及应用	239
6.2.1	T/C1 的结构和原理	240
6.2.2	T/C1 的 I/O 寄存器	245
6.2.3	T/C1 的工作模式	254
6.2.4	T/C1 的计数时序	261
6.2.5	T/C1 的应用举例	262
6.3	定时器/计数器 2 及应用	273
6.3.1	T/C2 的时钟源和预定比例分频器	273
6.3.2	T/C2 的结构和原理	274
6.3.3	T/C2 的 I/O 寄存器	278
6.3.4	T/C2 的工作模式和时序	282
6.3.5	T/C2 的异步操作方式	287
6.3.6	T/C2 的应用举例	290
6.4	看门狗定时器及应用	294
6.4.1	WDT 的结构和原理	294
6.4.2	WDT 的 I/O 寄存器及其安全级别	295
6.4.3	WDT 的应用编程	297
	习题与思考题	300
第 7 章	ATmega 8 的 ADC、AC 和 E²PROM	303
7.1	ATmega 8 的 ADC 转换器及应用	304
7.1.1	ADC 转换器的结构和原理	304
7.1.2	ADC 转换器的 I/O 寄存器	312
7.1.3	ADC 的应用举例	316
7.2	ATmega 8 的 AC 比较器及应用	319
7.2.1	AC 比较器的结构和原理	319
7.2.2	AC 比较器的 I/O 寄存器	320
7.2.3	AC 比较器的应用举例	322

7.3	ATmega 8 对 E ² PROM 的读写	325
7.3.1	ATmega 8 对 E ² PROM 的读写	326
7.3.2	ATmega 8 对 E ² PROM 的读写举例	329
	习题与思考题	332
第 8 章	ATmega 8 的串行通信接口	334
8.1	串行同步接口 SPI	334
8.1.1	SPI 接口的结构和原理	334
8.1.2	SPI 接口的 I/O 寄存器	339
8.1.3	SPI 接口的应用举例	342
8.2	通用同步/异步串行接口 USART	344
8.2.1	串行通信的分类	345
8.2.2	USART 的结构和原理	347
8.2.3	串行时钟发生器	348
8.2.4	USART 的字符帧格式及初始化	350
8.2.5	USART 的数据发送和接收	352
8.2.6	USART 字符帧接收时序和多机通信模式	356
8.2.7	USART 的 I/O 寄存器	359
8.2.8	USART 的应用举例	368
8.3	两线串行总线接口 TWI	376
8.3.1	TWI 总线的概念	377
8.3.2	TWI 总线的基本知识	378
8.3.3	TWI 总线接口的功能、结构和原理	385
8.3.4	TWI 总线接口的 I/O 寄存器	390
8.3.5	TWI 总线接口的工作方式	394
8.3.6	多主机系统及其总线仲裁	409
8.4	光纤通信简介	411
8.4.1	光纤通信系统的组成	412
8.4.2	光纤通信的原理	412
8.4.3	光纤通信实例	414
	习题与思考题	414
第 9 章	ATmega 8 的 FLASH 编程和自编程	419
9.1	FLASH 存储器的自编程	419
9.1.1	引导加载技术的实现	419
9.1.2	FLASH 的 I/O 寄存器	423
9.1.3	FLASH 的自编程	426
9.1.4	FLASH 的自编程举例	431
9.2	FLASH 存储器的编程	434

9.2.1	FLASH 存储器的编程概述	434
9.2.2	FLASH 存储器的并行编程	438
9.2.3	FLASH 存储器的串行编程	447
	习题与思考题	451
第 10 章	单片机应用系统的设计	455
10.1	单片机的通信总线	455
10.1.1	单片机总线概述	455
10.1.2	通信总线	458
10.2	单片机前向通道的设计	464
10.2.1	传感器和模拟信号放大器	465
10.2.2	多路开关和采样保持器	468
10.2.3	LM331 的原理和应用	470
10.3	单片机后向通道的设计	477
10.3.1	线路驱动器和接收器	477
10.3.2	外围驱动器	479
10.3.3	显示驱动器和电平转换器	482
10.3.4	电气隔离技术	484
10.4	单片机应用系统的抗干扰设计	486
10.4.1	单片机应用系统的硬件抗干扰设计	486
10.4.2	单片机应用系统的软件抗干扰设计	495
10.5	应用实例——单片机温度控制系统	502
10.5.1	硬件电路	502
10.5.2	温度监测程序和算法	504
	习题与思考题	517
附录		520
附录 I	ASCII 码字符表	520
附录 II	ATmega 8 单片机指令表	521
参考文献		533

第1章 ATmega 8 内部结构综述

美国 ATMEL(爱特梅尔)公司是世界上著名的高性能、低功耗、非易失性存储器和数字集成电路的一流半导体制造公司。2002 年以来,该公司隆重推出了新一代 ATmega 系列单片机,现已引起单片机业界的高度重视,其市场的销售份额也在与日俱增。本章将先对 ATMEL 公司单片机的特点与分类作一介绍,并在此基础上对 ATmega 8 单片机的内部结构、特点和引脚等作一综述,以便为读者进行后续章节的学习打下一个基础。

1.1 ATMEL 公司的单片机

迄今为止,ATMEL 公司生产的单片机共可分为: FLASH 单片机、AVR 单片机和 ARM 核微控制器三类。本文将先对 ATMEL 公司作简单介绍,并在此基础上分别对这三类单片机的内部结构、性能特点和分类情况加以讨论。

1.1.1 ATMEL 公司的发展概况

ATMEL 公司是 20 世纪 80 年代中期成立并发展起来的一家半导体企业,经过 20 年来的艰辛创业,现已发展成为一家大型的跨国半导体制造公司,走出了一条令人振奋的成功之路。

1. ATMEL 公司的发展历程

1984 年,ATMEL 公司在美国加利福尼亚州的圣何塞(San Jose)成立,专门从事非易失性存储器(即: EPROM 和 E²PROM 等)芯片的设计与制造。由于该公司地处美国硅谷,周边有着大量高科技半导体制造厂和计算机制造公司,为产品的制造和销售提供了良好的发展空间。

1989 年,ATMEL 公司生产的集成电路芯片已颇有影响,产品的先进制造工艺和优秀品质受到美国宇航局和军方的青睐,并因此而收到大批订单。ATMEL 公司在科罗拉多泉(Colorado Springs)也设立了集成电路制造厂,成为美国宇航局和军方的重要集成电路供货商。

1991 年,ATMEL 公司增加了可编程逻辑器件 PLD(包括: SPLD 和 CPLD)、专用集成电路芯片 ASIC 和门阵列 Gate Array 等产品的设计和生。随着产品门类的增加和市场的扩大,ATMEL 公司的财政收入也超过了 1 亿美元,成为美国当年财政增长较快的公司之一。

1992 年,ATMEL 公司推出了世界上第一个 3V 超低压闪速(FLASH)存储器芯片,为便携式计算机产品的开发带来美好前景,公司业绩和经济效益也获得了同步增长。

1993 年,ATMEL 公司成功收购了美国 Con Current Logic 公司,吸收了该公司的场可编程门阵列 FPGA(Field Programmable Gate Array)技术,并在此基础上推出了自己的 AT6000 系列场可编程阵列产品。AT6000 系列的 FPGA 器件共有 4 种型号,容量最大的

器件有 10000 个门、6400 个触发器和 173 条 I/O 线。ATMEL 公司在场可编程门阵列中的优势吸引了 IBM 公司,并因此而获得了 IBM 公司给予的 FPGA 器件的生产、使用和销售权。ATMEL 公司同年还推出了 1.0V 超低压专用 ASIC 芯片,并投入 2 亿美元兴建了第 2 个集成电路制造厂。1993 年,ATMEL 公司的财政收入已达 2.9 亿美元,比 1991 年几乎增长 2 倍。

1994 年,ATMEL 公司吞并了美国的 Seeq 公司,生产规模一跃而成为世界上最大的 E²PROM 供应商。为了涉足单片机市场,ATMEL 公司以 E²PROM 技术作为交换条件,获得了 Intel 公司的 80C31 单片机的核心技术,并结合其先进的 FLASH 技术生产出 FLASH 型 AT89 系列单片机,冲击了单片机在便携式产品中的应用市场。这一年,ATMEL 公司还把其独有的 FLASH 技术应用于可编程逻辑器 EPLD 产品中,生产出 ATF16V8、ATF20V8、ATF22VID 和 ATF1500 等多个系列的 FLASH PLD 产品。此外,ATMEL 公司还把先进的 E²PROM 技术与门阵列技术结合生产出智能 IC 卡芯片,并向中国市场推出 IC 卡成品。1994 年,ATMEL 公司的财政收入已上升到 4 亿美元。

1995 年,ATMEL 公司和日本富士胶卷公司共同开发成功 PCMCIA 闪速式存储器,开创了它们在便携式计算机、仪器仪表、数字相机和手提电话等领域中应用的新局面。

1997 年,ATMEL 公司在 AT89 系列单片机基础上推出了全新配置的 AVR 型单片机。同年年底,ATMEL 公司还采用业界流行的 ARM7TDMI 内核,推出了更强功能的 32 位单片机,称为 AT91 系列微控制器。这一年,公司的财政收入超过了 10 亿美元。

2002 年第一季度,ATMEL 公司又成功推出 ATmega 8 单片机。这是该公司 AVR 单片机中的顶级产品,现已成为 ATmega 系列单片机中的最小成员。

2. ATMEL 公司产品的优秀品质

ATMEL 公司之所以能从小到大和由弱到强而发展成为世界一流半导体公司,靠的是其产品的优秀品质。ATMEL 公司对产品的先进设计思想、优秀生产工艺、高标准质量检测和多样化封装技术闻名世界,这些技术的综合应用使得 ATMEL 公司产品具有非常优秀的品质。ATMEL 公司产品的优秀品质主要表现在产品性能卓越、性能价格比高、可靠性好,功耗低和灵活多样的封装技术等方面。

按照产品的不同使用环境,ATMEL 公司产品共可分为 C(商业)档、I(工业)档、A(汽车)档和 M(军用)档 4 个档次,任凭用户选用。C 档产品的环境使用温度为 0℃~70℃;I 档产品的温度范围是-40℃~+85℃;A 档产品的温度范围为-40℃~+125℃;M 档产品的使用温度高达-55℃~+150℃。这就是说:在环境使用温度高达+150℃条件下,军用 IC 产品仍能可靠工作,不会出现故障。ATMEL 公司对它的 IC 产品的质量保障做到了一丝不苟,贯穿于产品制造的全过程。尤其是军工产品,不仅在研发制造中要时时追踪 MIL-M-38510 标准的最新版本,而且也要在封装和测试中严格按照军用标准 MIL-STD-883 进行。同时,ATMEL 公司还把统计过程控制(Statistical Process Control)用于军用 IC 的装配和测试,从而优化了产品质量和稳定性的提高。

ATMEL 公司的 IC(Integrated Circuit)产品不仅品质优秀,而且门类也十分齐全。目前,ATMEL 公司的 IC 产品主要有:各类非易失性存储器、8 位和 32 位单片机系列、可编程逻辑器件 PLD、场可编程门阵列 FPGA、智能 IC 卡和各类数字集成电路等。这些产品活跃于世界集成电路市场,在全世界几十个国家和地区销售,赢得了广大用户的喜爱。ATMEL

公司产品除了可以在计算机外部设备、通信设备、自动化工业控制、仪器仪表和各类消费类产品中使用外,还在航空航天仪表、雷达系统、导弹系统、智能自适应仪器、机器人和各类武器系统中广泛应用。

3. ATMEL 公司单片机的分类和特点

ATMEL 公司的单片机现可分为三类:一类称为 FLASH 单片机,主要指 AT89 系列单片机;另一类叫做 AVR 单片机,主要指 AT90 系列单片机;第三类称为 ARM 核微控制器,主要指 AT91 系列单片机。前两类属于 8 位单片机,第三类是 32 位单片机。在深入学习前,先要弄清这三类单片机间的相互关系和分类特点,以便启迪我们的思维和开阅读者的视野。

ATMEL 公司最令人瞩目的是 FLASH 和 E²PROM 存储器技术,一直处在世界领先地位。因此,ATMEL 公司单片机的共同特点是片内融入了 FLASH 和 E²PROM 存储器技术,大大提高了单片机的性能。FLASH 存储器本质上是一种只读(非易失性)存储器,在单片机器件中通常用来存放用户程序和系统程序。在单片机执行用户程序时,MCU(Micro Computer Unit)可以根据程序计数器 PC(Program Counter)中 FLASH 字地址来读取当前需要执行的指令码,由于读出速度非常快(通常小于 1 个系统时钟周期),故称为闪速(FLASH)存储器。FLASH 存储器中的用户程序不因停电而消失,但用户可以通过编程和自编程方法对用户程序加以修改,只是编程代码的写入时间较长,甚至可以达到读出时间的 1000 倍。

ATMEL 公司的许多单片机中还集成有 E²PROM 存储器。E²PROM(Electrically EPROM)是一种利用电脉冲擦除所存信息的 PROM,也是一种非挥发性存储器。在正常工作时,单片机中 MCU 可以像 RAM 存储器一样对 E²PROM 存储器进行读写,但停电后 E²PROM 中信息不会丢失,仍然保留了停电前写入的数据。因此,E²PROM 通常用来存放常数以及不因停电而消失的实时数据。对于像 IC 卡、水表和电表一类的便携式产品,这类单片机深受用户喜爱。

AT89 系列和 AT90 系列单片机,虽然它们同属于 8 位单片机和片内都集成有 FLASH 存储器,但彼此间还是有本质区别的。AT89 系列单片机是最先在片内融入 FLASH 存储器的一类单片机,故人们又将它称为 FLASH 单片机。AT90 系列单片机是第 1 个采用精简指令集 RISC(Reduced Instruction Set Computer)结构的新型单片机,故又称为 AVR(AdVanced RISC)单片机。

和传统的 CISC(Complex Instruction Set Computer)单片机相比,AVR 型单片机是一款旨在提高 MCU 工作速度的新型单片机。其关键技术在于采用了流水线操作(Pipelining)和等长指令的体系结构,MCU 和 FLASH 存储器可以在同一时间里进行并行操作(即:MCU 执行现行指令的同时,FLASH 存储器恰在读取 MCU 将要执行的下条指令),使单片机可以在一个时钟周期内执行一条或多条指令,大大提高了 MCU 的运算速度。AVR 单片机片内还集成有 32 个快速通用工作寄存器 R0~R31,每个工作寄存器都可以在指令执行前存放一个操作数和指令执行后存放操作结果(好像有 32 个累加器 A),这就有效地避免了 CISC 结构中累加器 A 和 SRAM 存储器间实际存在的数据传送瓶颈。

AT91 系列单片机又称为 ARM 核微控制器,是一簇片内嵌有 ARM7TDMI 处理器核的 32 位高性能单片机。ARM7TDMI 处理器核是英国的 ARM 公司 ARM7 系列产品中的

成员之一,故它因此而被称为 ARM 核微控制器。

1.1.2 ATMEL 公司的 FLASH 单片机

ATMEL 公司的 FLASH 单片机专指 AT89 系列单片机。这个系列的所有单片机均采用 80C51 作为核心部件,并融入了 FLASH 技术,有些单片机还增加了新的功能,如看门狗定时器 WDT、TWI 和 SPI 串行接口等。因此,AT89 系列单片机从诞生那天起就受到业界高度重视,成为取代 MCS-51 系列单片机的主流芯片之一。AT89 系列产品进入我国市场已有 10 多年历史,受到过单片机开发人员的喜爱,占有较大的市场份额。

目前,AT89 系列单片机共分三个档次 17 个品种,指令系统及引脚排布和 MCS-51 完全兼容。这就是说:任何熟悉 MCS-51 系列单片机的用户,如果要采用 AT89 系列单片机进行应用性设计和开发,那他一定能轻车熟路地使用 AT89 系列。

1. AT89 系列单片机内部结构

和 MCS-51 类同,AT89 系列单片机通常由如下部件构成。

(1) 一个算逻辑部件 ALU(Arithmetic and Logical Unit),能对 8 位二进制数进行算术运算和逻辑操作。一个 8 位累加器 A 可以用来存放操作数或操作结果,8 个工作寄存器 R0~R7、PSW、SP 和 DPTR 等。

(2) 一个时钟电路能把晶振输出的正弦波加工成系列方波,作为推动芯片的系统时钟源。

(3) 大多数单片机的片内存储器分为数据存储器 RAM 和 FLASH 程序存储器两类,有的单片机还含有 E²PROM 存储器。数据存储器容量较小,通常只有 128B~512B;FLASH 存储器容量也只有 1KB~8KB。

(4) 一个中断控制系统可以对 5 级中断源进行中断的允许和中断优先级控制。有些单片机的中断系统含有 9 个中断源。

(5) 在标准型 FLASH 单片机中,I/O 端口可以分为 P0、P1、P2 和 P3 四个 8 位 I/O 端口,并具有第二功能。

(6) 多数单片机片内只含有 T0 和 T1 两个 16 位定时器/计数器,但无输出比较和输入捕捉功能。个别单片机才含有三个 16 位定时器/计数器和一个 WDT 定时器。

(7) 一个串行接口 UART,可以实现它和上位机/其他单片机间的异步串行数据通信。

总之,AT89 系列单片机继承和发扬了 MCS-51 的优秀品质,特别是它的片内 FLASH 存储器,为用户程序的编程和修改带来极大方便。但随着单片机技术的飞速发展,AT89 系列及其 MCS-51 单片机由于其本身结构的限制以及片内功能部件不够齐全,现已不能很好适应中高档应用产品的开发。

2. AT89 系列单片机的型号编码

AT89 系列单片机的型号编码由前缀、型号和后缀三部分组成,前缀和型号为必选项,后缀为可选项,型号和后缀之间用“-”符号相隔。具体格式如下:

AT89C××××-××××

(1) 前缀

AT 为前缀,表示是 ATMEL 公司的产品。

(2) 型号

89 是系列号,表示是 FLASH 单片机。若改用 90 来替代 89,表示是 AVR 型单片机。

89 或 90 后面的大写英文字母 C 表示 CMOS 产品；若改用字母 S,则表示内含可下载 FLASH 存储器产品；若改用字母 LV,则表示是低电压产品。字母 C、S 或 LV 后面的××××表示器件型号。

(3) 后缀

在后缀中,共有 4 组参数,用“×”来表示每一组参数。第 1 个参数×表示速度(如:×=24 表示芯片的系统时钟频率为 24MHz);第 2 个参数×表示芯片的封装形式(如:×=S 表示 SOIC 封装,×=Q 表示 PQFP 封装,×=A 表示 TQFP 封装);第 3 个参数×表示温度范围(如:×=I 表示工业档产品,温度范围为-40℃~+85℃;×=M 表示军工产品,环境温度的范围为-55℃~+150℃);第 4 个参数×表示产品的工艺标准(如:×=空表示采用标准工艺制成;×=/883 表示制造工艺符合 MIL-STD-883 标准)。

例如:一个型号为 AT89C51-12PI 的单片机,表示它是 AT89 系列中的 CMOS 51 型单片机,速度为 12MHz,双列直插式封装,工业档产品,按标准工艺生产。

AT89 系列单片机型号的编码序列,同样也适用 AT90 系列的单片机。例如:一个型号为 AT90S2312 的单片机表示它是 AVR 单片机,型号是 2312,内含可下载 FLASH 存储器。

3. AT89 系列单片机的分类

AT89 系列单片机共有 17 个品种,分为标准型、低档型和高档型三类。

AT89 系列单片机的标准型有 AT89C51 等 8 种型号,基本结构和 Intel 公司的 80C51 类同,是 80C51 的兼容产品。AT89 系列的低档型有 AT89C1051U 等 3 种,内核也是 80C51,但并行口较少,片内功能较弱。AT89 系列的高档型有 AT89S8252 等 6 种,是一类在标准型结构基础上又添加了新功能部件的单片机,具有较标准型更加优良和完美的性能。

(1) 标准型单片机

AT89 系列的标准型单片机共有 8 种型号,如表 1-1 所示。

表 1-1 AT89 系列标准型单片机选型表

内部资源	AT89	AT89	AT89	AT89
	C51/LV51	C52/LV52	S51/LS51	S52/LS52
FLASH	4KB	8KB	4KB	8KB
在线编程(ISP)	—	—	Y	Y
E ² PROM	—	—	—	—
RAM	128B	256B	128B	256B
I/O 引脚数	32	32	32	32
中断源个数	6	8	6	8
SPI 接口	—	—	—	—
UART 接口	1	1	1	1
16 位定时器	2	3	2	3
WDT 定时器	—	—	1	1
数据指针数	1	1	2	2
低功耗模式	空闲和掉电	空闲和掉电	空闲和掉电	空闲和掉电
最高工作频率	24MHz	24MHz	33MHz	3MHz
	/12MHz	/12MHz	/16MHz	/16MHz
工作电压	5V	5V	4.0V~5.5V	4.0V~5.5V
	/2.7V~6V	/2.7V~6V	/2.7V~4.0V	/2.7V~4.0V

由表可见, AT89 系列标准型单片机其实只有 AT89C51、AT89C52、AT89S51 和 AT89S52 4 种基本型号, AT89LV51、AT89LV52、AT89LS51 和 AT89LS52 是上述单片机的改进型。它们彼此间的差别仅在于最高工作频率和工作电压不同。例如: AT89C51 的工作频率为 0~24MHz 和工作电压为 5V, 而 AT89LV51 的工作频率为 0~12MHz 和工作电压为 2.7V~6.0V。

(2) 低档型单片机

AT89 系列低档型单片机共有 4 种型号, 如表 1-2 所示。

表 1-2 AT89 系列低档型单片机选型表

内部资源	AT89	AT89	AT89
	C1051/C1051U	C2051	C4051
FLASH	1KB	2KB	4KB
在线编程(ISP)	—	—	—
E ² PROM	—	—	—
RAM	64B	128B	128B
I/O 引脚数	15	15	15
中断源个数	6	6	6
SPI 接口	—	—	—
UART 接口	0/1	1	1
16 位定时器	2	2	2
WDT 定时器	—	—	—
数据指针数	1	1	1
低功耗模式	空闲和掉电	空闲和掉电	空闲和掉电
最高工作频率	24MHz	24MHz	24MHz
工作电压	2.7V~6.0V	2.7V~6.0V	2.7V~6.0V

表中可见, AT89 系列低档型单片机共有 AT89C1051、AT89C2051 和 AT89C4051 三个基本型号。其中, AT89C1051U 是 AT89C1051 的改进型, 只是它比 AT89C1051 片内多一个 UART 串行接口, 其余和 AT89C1051 完全相同。和 AT89 系列的标准型相比, AT89 系列低档型单片机也是以 80C51 为内核, 但片内功能较弱, FLASH 容量也不大, 器件引脚总共只有 20 条, 恰好是标准型单片机的一半。

(3) 高档型单片机

AT89 系列的高档型单片机也有 8 种型号, 每种型号单片机的片内功能部件如表 1-3 所示。

表中可见, AT89 系列高档型单片机其实也只有 AT89C51RC、AT89S8252、AT89S53 和 AT89C55WD 等 4 种基本型号, AT89LV51RC、AT89LS8252、AT89LS53 和 AT89LV55WD 是上述基本型号中的低电压改进型。它们彼此间的差别仅在于工作频率和工作电压不同。例如: AT89C55WD 的工作频率为 0~33MHz 和工作电压为 4.0V~5.5V, AT89LV55WD 的工作频率为 0~12MHz 和工作电压为 2.7V~5.5V。显然, AT89LV51RC、AT89LS8252、AT89LS53 和 AT89LV55WD 是牺牲了高的工作频率换来了低工作电压, 从而也降低了芯片的功耗。总之, AT89 系列的高档型单片机也是以 80C51 为内核, 并在标准型基础上

增加了一些片内功能部件,FLASH 存储器的容量也普遍比标准型大得多,适合在比较复杂一些的控制中应用。

表 1-3 AT89 系列高档型单片机选型表

内部资源	AT89	AT89	AT89	AT89
	CS51RC/LV51RC	S8252/LS8252	S53/LS53	C55WD/LV55WD
FLASH	32KB	8KB	12KB	20KB
在线编程(ISP)	—	—	—	—
E ² PROM	—	2KB	—	—
RAM	512B	256B	256B	256B
I/O 引脚数	32	32	32	32
中断源个数	8	9	9	8
SPI 接口	—	Y	Y	—
UART 接口	1	1	1	1
16 位定时器	3	3	3	3
WDT 定时器	1	1	1	1
数据指针	2	2	2	2
低功耗模式	空闲和掉电	空闲和掉电	空闲和掉电	空闲和掉电
最高工作频率	33MHz /12MHz	24MHz /12MHz	24MHz /12MHz	33MHz /12MHz
工作电压	4.0V~5.5V /2.7V~5.5V	4.0V~6.0V /2.7V~6.0V	4.0V~6.0V /2.7V~6.0V	4.0V~5.5V /2.7V~5.5V

AT89 系列单片机继承和发扬了 MCS-51 的优秀品质,特别是它的 FLASH 存储器,为用户程序的编程和修改带来极大方便。但随着单片机技术的飞速发展,AT89 系列及其 MCS-51 单片机由于它们自身结构的限制,现已不能很好适应中高档产品的应用开发。

AT89 系列单片机的缺陷主要表现在三个方面:一是它们片内的 CISC 型体系结构限制了单片机工作速度的提高,CPU 和 FLASH 存储器不能并行工作,以致执行一条指令至少需要一个机器周期(12T);二是只有一个累加器 A,执行双操作数指令前需要把一个操作数预先传送到累加器 A,执行该指令后又需要把累加器 A 中形成的操作结果传送回 RAM,这就造成了累加器 A 和 RAM 间数据传送的瓶颈;三是片内功能部件不够齐全,FLASH 存储器容量有限。因此,如果用户采用这类单片机来构建一个单片机应用系统,就会因外扩部件太多(例如:外部 FLASH 存储器、A/D 和 D/A 等)而造成应用系统硬件复杂、运算速度慢和可靠性变低等问题。

1.1.3 ATMEL 公司的 AVR 单片机

ATMEL 公司的 AVR 单片机是第一个真正的 8 位 RISC 型单片机,该类单片机于 1997 年进入市场以来深受用户喜爱,现已有几十个品种,占有相当大的市场份额,其应用领域也在不断扩大。