

胡汉才 编著

高档 AVR 单片机 原理及应用 习题与实验指导

清华大学出版社



胡汉才 编著

高档 AVR 单片机 原理及应用 习题与实验指导

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《高档 AVR 单片机原理及应用》的配套教材。全书共分 4 章:第 1 章是主教材的习题解答;第 2~4 章是配合主教材的实验指导,介绍了 ATmega 8 单片机开发实验器、ATmega 8 的实验和 ATmega 8 的实验解答。在第 3 章中,作者精心设计了 16 个实验,涵盖了 ATmega 系列单片机片内各功能模块的使用方法,内容全面,具有先进性、系统性和实用性等特点,每个实验都附有相应参考程序。

本书可作为高等院校研究生和大学本科生的单片机的实践教材,也是从事嵌入式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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

高档 AVR 单片机原理及应用习题与实验指导/胡汉才编著. —北京:清华大学出版社,2008.3
ISBN 978-7-302-15939-1

I. 高… II. 胡… III. 单片微型计算机, AVR—教学参考资料 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128756 号

责任编辑:薛 阳 刘 霞 战晓雷

责任校对:梁 毅

责任印制:杨 艳

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:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市漂源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:11 字 数:261 千字

版 次:2008 年 3 月第 1 版 印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:18.00 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:026131-01

前 言

ATMEL 是当今世界上一家著名的大型跨国半导体器件公司,该公司最令人瞩目的是 FLASH 和 E²PROM 存储器技术,一直处于世界领先地位。ATMEL 公司的 IC(Integrated Circuit)产品具有非常优秀的品质:不仅产品性能卓著和价格便宜,而且质量高、功耗低和可靠性好,并具有灵活多样的封装,以致该公司在美国军方和宇航局享有崇高声誉。

ATmega 系列单片机是新一代高性能 8 位单片机,是 AVR 单片机中的一款顶级产品。ATmega 系列单片机内核采用先进的 RISC 技术,能在一个时钟周期内执行一条指令,并融入了世界领先的 FLASH 和 E²PROM 技术。因此,和传统单片机 MCS-51 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,受到了世界各国用户的高度重视,其芯片销量也与日俱增。为了适应单片机应用这一新形势,满足我国高校单片机教材内容的更新换代,作者特地结合了自身的教学和科技开发实践编著了《高档 AVR 单片机原理及应用》一书,以此奉献给广大读者。

本书是《高档 AVR 单片机原理及应用》的配套教材。全书共分 4 章:第 1 章为主教材各章习题的解答;第 2 章介绍了 ATmega 8 单片机开发实验器,其中论述了广州双龙电子有限公司开发的 SL-MEGA 8 开发实验器、AVR STUDIO3 集成开发环境的使用方法和 SL-MEGA 8 的编程操作;第 3 章为 ATmega 8 的实验,作者精心设计了 16 个实验,内容不仅涉及指令系统和汇编语言程序设计,而且还涉及 I/O 端口和片内各功能模块的使用;第 4 章为 ATmega 8 的实验解答,并附有各实验的参考程序。

本书由胡汉才教授担任主编,张念涛和王梓骁参编。在本书的编写和出版过程中,作者得到了姜晓琳、胡芸和胡萍的大力支持和帮助,在此作者谨向她们以及和本书出版有关人员表示诚挚谢意。

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 高档 AVR 单片机原理及应用习题解答	1
1.1 ATmega 8 内部结构综述习题解答	1
1.1.1 填充题解答	1
1.1.2 选择题解答	1
1.1.3 问答题解答	1
1.2 ATmega 8 MCU 内核习题解答	5
1.2.1 填充题解答	5
1.2.2 选择题解答	6
1.2.3 问答题解答	6
1.3 ATmega 8 指令系统习题解答	12
1.3.1 填充题解答	12
1.3.2 选择题解答	12
1.3.3 问答题解答	12
1.4 汇编语言程序设计习题解答	23
1.4.1 填充题解答	23
1.4.2 选择题解答	23
1.4.3 问答题解答	23
1.5 ATmega 8 I/O 端口及中断系统习题解答	39
1.5.1 填充题解答	39
1.5.2 选择题解答	40
1.6 ATmega 8 定时器/计数器习题解答	40
1.6.1 填充题解答	40
1.6.2 选择题解答	40
1.7 ATmega 8 的 ADC、AC 和 E ² PROM 习题解答	41
1.7.1 填充题解答	41
1.7.2 选择题解答	41
1.8 ATmega 8 的串行通信习题解答	41
1.8.1 填充题解答	41
1.8.2 选择题解答	42
1.9 ATmega 8 的 FLASH 编程和自编程习题解答	42
1.9.1 填充题解答	42
1.9.2 选择题解答	43

1.10	单片机应用系统的设计习题解答	43
1.10.1	填充题解答	43
1.10.2	选择题解答	44
第2章	ATmega 8 单片机开发实验器	45
2.1	SL-MEGA 8 开发实验器	45
2.1.1	SL-MEGA 8 的硬件结构	45
2.1.2	SL-MEGA 8 的电路原理	49
2.2	ATmega 8 的集成开发环境	52
2.2.1	AVR STUDIO 3 集成开发环境	52
2.2.2	汇编语言源程序的输入、编辑和汇编	53
2.2.3	汇编语言源程序的仿真调试	58
2.3	ATmega 8 的编程操作	66
2.3.1	ATmega 8 的编程方式	67
2.3.2	ATmega 8 的 ISP 下载操作	67
第3章	ATmega 8 的实验	71
3.1	基础实验	71
3.1.1	指令系统实验	71
实验 1	传送和算逻运算指令练习	71
实验 2	转移和位操作指令练习	75
3.1.2	汇编语言程序设计实验	79
实验 3	分支和循环程序练习	79
实验 4	查表和代码转换程序练习	81
实验 5	运算程序练习	84
3.2	I/O 端口和定时器/计数器实验	88
3.2.1	I/O 端口实验	88
实验 6	ATmega 8 的 I/O 端口实验	88
实验 7	电脑时钟实验	91
3.2.2	定时器/计数器实验	92
实验 8	脉冲频率测量实验	92
实验 9	利用 T/C1 输入捕捉功能测量方波周期实验	95
3.3	A/D、D/A 和存储器实验	97
3.3.1	A/D 和 D/A 转换实验	97
实验 10	A/D 转换实验	97
实验 11	D/A 转换实验	99
3.3.2	片内存储器读/写实验	101
实验 12	E ² PROM 读/写实验	101
实验 13	FLASH 自编程实验	104

3.4	串行口实验	105
3.4.1	SPI 串行口实验	105
	实验 14 SPI 串行通信实验	106
3.4.2	USART 串行口实验	107
	实验 15 USART 串行异步通信实验	109
	实验 16 USART 串行同步通信实验	112
第 4 章	ATmega 8 的实验解答	116
4.1	基础实验解答	116
4.1.1	指令系统实验解答	116
	实验 1 传送和算逻辑指令练习解答	116
	实验 2 转移和位操作指令练习解答	118
4.1.2	汇编语言程序设计实验解答	120
	实验 3 分支和循环程序练习解答	120
	实验 4 查表和代码转换程序练习解答	122
	实验 5 运算程序练习解答	124
4.2	I/O 端口和定时器/计数器实验解答	126
4.2.1	I/O 端口实验解答	126
	实验 6 ATmega 8 的 I/O 端口实验解答	126
	实验 7 电脑时钟实验解答	129
4.2.2	定时器/计数器实验解答	131
	实验 8 脉冲频率测量实验解答	131
	实验 9 利用 T/C1 输入捕捉功能测量方波周期实验解答	134
4.3	A/D、D/A 和存储器实验解答	136
4.3.1	A/D 和 D/A 转换实验解答	136
	实验 10 A/D 转换实验解答	136
	实验 11 D/A 转换实验解答	140
4.3.2	片内存储器读/写实验解答	143
	实验 12 E ² PROM 读/写实验解答	143
	实验 13 FLASH 自编程实验解答	146
4.4	串行口实验解答	149
4.4.1	SPI 串行口实验解答	149
	实验 14 SPI 串行通信实验解答	149
4.4.2	USART 串行口实验解答	154
	实验 15 USART 串行异步通信实验解答	154
	实验 16 USART 串行同步通信实验解答	159

第1章 高档 AVR 单片机原理及 应用习题解答

本章内容为主教材《高档 AVR 单片机原理及应用》的每章习题解答。因此,全章分为10节,每节分别对应主教材中的每1章。例如:“1.1 ATmega 8 内部结构综述习题解答”对应主教材中第1章后的习题。

1.1 ATmega 8 内部结构综述习题解答

1.1.1 填空题解答

1. 环境温度范围大,片内有 FLASH 存储器,片内有 E²PROM 存储器,功耗低
2. FLASH,E²PROM
3. 1KB~4KB
4. 32KB
5. AVR CPU
6. 两
7. 三
8. 128KB,4KB
9. 0000 0062H
10. 2096KB
11. 外部晶振,外部低频晶振,外部 RC 振荡器,外部时钟,内部可校准 RC 振荡器
12. 空闲,掉电,省电,等待,ADC 降噪
13. 上电,外部,看门狗,BOD
14. 18
15. SCK,MISO,MOSI, $\overline{SS}$
16. PB1(OC1A),PB2(OC1B)
17. 编程
18. SCL,SDA
19. T0,T1
20. 时钟输出,接收时钟

1.1.2 选择题解答

1. A 2. D 3. D 4. B 5. B 6. B 7. C 8. C 9. D 10. A 11. B

1.1.3 问答题解答

1. 为什么说 AVR 单片机的运算速度通常要比使用相同晶振频率的 AT89 系列单片机

的速度快 10 倍?

解: AT89 系列单片机的结构是一种传统型 CISC 计算机, 执行一条指令至少需要 12 个时钟周期 T。AVR 单片机采用 HarVard 结构, 两级流水线技术, 能在执行现有指令的同时, 使 FLASH 存储器读取下条要执行的指令, 故它能在 1 个时钟周期内执行一条指令。

2. AVR 单片机内部有 32 个通用快速寄存器, 均能起到累加器 A 的作用。这种结构为什么可以消除累加器 A 和内部 RAM 间数据传送的瓶颈现象?

解: 在 MCS-51 单片机中, 由于只有一个累加器 A, 所有需要进行算术逻辑运算的指令都必须先通过数据传送指令将两个操作数中的一个调入累加器 A, 并在相应操作完成后再把累加器 A 中的操作结果调入另一个工作寄存器。在 AVR 单片机中, 由于有 R0~R31 共 32 个工作寄存器, 每个工作寄存器均相当于一个累加器 A, 故它在进行算术逻辑运算时无须在运算前把某个操作数调入累加器 A 和运算后把结果操作数调入工作寄存器。

例如: 已知 R3=3 和 R4=8, 现欲实现把 R3 和 R4 中的操作数相加, 并把操作结果送入 R4 的运算。采用 MCS-51 指令编辑需要如下三条指令:

```
MOV  A,  R4      ; R4 中 8 送 A
ADD  A,  R3      ; A←R4+R3=11
MOV  R4,  A      ; 结果送入 R4
```

若改用 ATmega 8 指令编程, 则仅需如下一条指令便可完成上述运算。

```
ADD  R4, R3      ; R4←R4+R3=11
```

3. 在 AVR 单片机中, 请比较其低档、中档和高档单片机片内功能的异同。

解: 对照主教材中表 1-4、表 1-5、表 1-6 和表 1-7, 可以得出如下结论:

相同点:

内部结构皆为 RISC 型, 两级流水, 皆为 32 个快速工作寄存器, 指令系统向上兼容, 片内皆有一个 FLASH 存储器和一个 E²PROM 型存储器。

不同点:

(1) 片内 FLASH 和 E²PROM 存储器容量各不相同。低档型的 FLASH 容量为 1KB~2KB; E²PROM 容量为 64B~128B; SRAM 容量为 0~128B。中档机的 FLASH 容量为 1KB~4KB; E²PROM 容量为 64B~256B; SRAM 容量为 0~128B。高档机的 FLASH 容量为 8KB~128KB; E²PROM 容量为 512B~4KB; SRAM 容量为 512B~4KB。

(2) 片内功能部件不相同。低档机的 I/O 引脚只有 6~18 条; 中断个数为 4~11 级; 定时器/计数器为 1~2 个(8 位); 10 位 A/D 通道为 0~11 个, 少数机型有 2 路 PWM 输出; 个别机型具有 SPM 自编程功能。中档机的 I/O 引脚有 3~20 条; 中断个数为 2~14 级; 定时器/计数器为 8 位和 16 位各 1 个; 10 位 A/D 转换器; 少数机型有 PWM 输出; 通常无 SPM 自编程功能。高档机的 I/O 引脚为 23~54 条; 中断个数为 16~34 级; 8 位定时器/计数器 1~2 个, 16 位定时器/计数器 1~2 个; 10 位 A/D 通道 8 个; PWM 输出为 3~8 路; 有 SPM 自编程功能; 有 SPI、USART 和 TWI 接口; 有硬件乘法器和 AC 模拟比较器。

4. 英国 ARM 公司的 ARM 处理器核的性能特点是什么?

解: ARM 处理器核是 32 位的 RISC 设计, 具有世界一流的设计和卓越的优秀品质, 主

要体现在如下三个方面:

(1) 三级指令流水线结构。ARM 处理器核具有两个指令集: 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集。指令执行时, Thumb 指令透明地被解压缩成 32 位 ARM 指令码 (Thumb 指令长度只有 ARM 指令码长度的 65%) 供给 CPU 执行, 而且 CPU 在 Thumb 状态和 ARM 状态间来回切换的硬件开销为 0。一条指令的执行可以分为取指、译码和执行三个阶段, 三个阶段的执行可以同时进行, 因此 ARM 处理器核执行一条指令仅需 $\frac{1}{3}$ 个时钟周期。

(2) 对存储器的接口。ARM7TDMI 处理器核对存储器接口设计非常成功, 即使在最少使用存储器的情况下也能发挥其潜能。存储器接口电路能理想地同片内和片外的 FLASH 模块接口。

(3) 嵌入式 ICE-RT 逻辑。嵌入式 ICE-RT 接口用于支持在片调试功能, 以便用户可以在程序中设置断点和观察断点处出现的条件。ICE-RT 逻辑本身含有一个调试用通信信道 DDC, 用于在目标和宿主之间传送信息。ICE-RT 逻辑由测试访问口 JTAG 控制。

5. ARM 公司有哪 5 个系列的 ARM 处理器核?

解: ARM 处理器核共有如下 5 个系列:

ARM7; ARM9; ARM9E; ARM10; SecuCore。

6. 请根据主教材中图 1-2 简述 AT91 系列微控制器的工作原理。

解: 由主教材中图 1-2 可见, AT91 系列微控制器内核采用 ARM 公司的 ARM7TDMI, 具有 ARM 公司 32 位嵌入式 RISC 处理器核的一切优点。

ARM7TDMI 挂接在 ASB 总线上, 可以通过 EBI 接口同外部存储器和专用外设接口; 也可以同片内 SRAM、FLASH、E²PROM 和 ROM 等连成一体, 以便 CPU 执行 FLASH 存储器中的程序代码以及对 E²PROM 和 SRAM 存储器进行读/写。

外围数据控制器 PDC 为系统提供了 4 个 DMA 通道, 用于各存储器同两个外围部件上的 USART 之间实现无 CPU 干预的 DMA 快速数据传送。

AMBA 桥用于把 ASB 总线和 APB 总线相连, 以便 ASB 可以通过 AMBA 桥来驱动 APB 总线工作, 达到访问片内“通用外围部件”、“专用外围部件”和其他功能模块的目的。

通用外围部件包括外部 I/O 总线接口 PIO、中断控制器、并行 I/O 控制器、USART、定时器/计数器和 WDT 等; 专用外围部件包括电源管理控制器、实时时钟、USART 和多处理器接口等, 模拟功能模块由 A/D 和 D/A 转换电路组成。ARM7TDMI 核可以通过 AMBA 桥以 32 位总线宽度对外围部件和模拟功能块进行访问。

7. 在单片机应用中, 采用 ATmega 系列单片机有什么好处?

解: 采用 ATmega 系列单片机有以下好处:

(1) 速度快。在相同时钟频率下, ATmega 系列单片机要比 MCS-51 单片机快 10 倍。

(2) 工作寄存器 R31~R0 与 SRAM 存储器间没有瓶颈现象。因此, 采用 ATmega 系列单片机所编的程序通常要比采用 AT89 系列单片机要短。

(3) 通常, ATmega 系列单片机并不存在一个存储器扩充问题。不同应用中所需不同容量的存储器可以通过选用不同型号的单片机来解决。应用程序小的课题可以选用 ATmega 8 一类机型; 应用程序大的选题可以选用 ATmega 64 或 ATmega 128 一类的单

片机。

(4) 片内功能齐全。A/D 和 D/A 转换器均在芯片内部,用户不需要将其安装在印刷电路板上,故用 ATmega 系列单片机开发的产品体积会更小,重量会更轻。

(5) ATmega 系列单片机质量好,工作可靠性高,对环境温度的适应范围大。军品 M 级的温度范围可达 $-55^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ 。

(6) 性能/价格比高,一块 MLF 封装的 ATmega 8 约需人民币 9 元。

8. 请对照主教材图 1-3 简述 ATmega 8 片内有哪些功能模块? 各模块的作用是什么?

解: ATmega 8 片内功能模块如下:

(1) 存储器模块。FLASH 存储器有 8KB,用于存放用户程序或 SPM 自编程引导程序。E²PROM 存储器有 512B,用于存放常数或不因停电后丢失的实时数据或中间结果。SRAM 存储器有 1KB RAM 存储器,用来存放操作数或操作结果。

(2) I/O 端口模块。23 条 I/O 引线对应 23 套 I/O 端口电路,分为 PB 口、PC 口和 PD 口,实现片内和片外数据和地址的并行传送。

(3) 电源管理模块。ATmega 8 共有 5 种休眠模式,即空闲模式、掉电模式、省电模式、等待模式和 ADC 降噪模式。

(4) 定时器/计数器模块。T/C0 为 8 位定时器/计数器,有定时器和计数器共两种工作模式。T/C1 是 16 位定时器/计数器,除可设定为定时器和计数器等两种工作模式外,还具有输入捕捉和输出比较匹配等功能,因此可以用作 D/A 转换器和用来测量片外输入波形的频率和周期时间。T/C2 也是一个 8 位定时器/计数器,除可作为定时器和计数器使用外,也具有输入捕捉和输出比较匹配功能。

(5) 中断模块。中断模块也叫做中断电路,它可以实现 18 级中断,对各中断进行排队和判优。

(6) A/D 和 AC 模拟比较模块。ATmega 8 片内有一个 10 位 ADC 转换器,可以把 8 路输入的模拟量转换成与之成正比关系的数字量。此外,还有一个 AC 模拟比较电路,实现对输入模拟量的比较操作。

(7) 串行接口模块。ATmega 8 共有 SPI、USART 和 TWI 等三种不同类型的串行接口电路,用于实现 ATmega 8 同它的上位机、其他单片机和外围器件间的串行数据传送。

9. ATmega 8 有 23 条 I/O 端口线,可具有第一功能和第二功能,少数引脚还具有第三功能。这些引脚用作第二功能或第三功能是由什么因素决定的? 各端口线在系统上电复位后常常作为哪种功能来使用?

解: 23 条 I/O 引脚的第二功能和第三功能的设定条件各不相同。总的来说: 各 I/O 引脚的第二功能和第三功能由熔丝位或相应 I/O 寄存器设定。现对各 I/O 引脚的第二功能或第三功能及其设定分述如下:

PB7 和 PB6: 这两条引脚的第二功能是用作 XTAL2 和 XTAL1,由熔丝位低字节中的 CKSEL3~CKSEL0 设定为 1111B~1010B 时决定。第三功能是作为 T/C2 实时时钟的晶振源输入引脚 TOSC2 和 TOSC1,由 CKSEL3~CKSEL0 设定为 0001B~0100B 和 ASSR 中 AS2=1 时规定。

PB5~PB2: PB5~PB2 的第二功能是作为 SPI 接口的传输线,由 SPI 控制寄存器 SPCR 中各位设定。其中, PB5 的第二功能是 SCK(SPI 同步时钟); PB4 为 MISO 线, PB3

为 MOSI 线; PB2 用作 SPI 的 $\overline{SS}$ 线。此外, PB3 和 PB2 还有第三功能, 由 TCCR1A 和 TCCR1B 中各有关位设定, PB3 的第三功能是 OC2, PB2 的第三功能是 OC1B。

PB1 和 PB0: 这两条引脚的第二功能是作为 T/C1 的 PWM 输出线和输入捕捉线, 其中 PB1 用作 OC1A, PB0 用作 ICP, 由 TCCR1A 和 TCCR1B 中相应位设定。

PC6: 第二功能用作 $\overline{RESET}$ 引脚, 由熔丝位高字节中的 RSTDISBL=1 设定。

PC5 和 PC4: 这两条引脚的第二功能是作为 SCL 和 SDA 线来用的, 由 TWCR 中相关位设定。PC5 和 PC4 还有第三功能, 可以作为 10 位 A/D 转换器的 ADC5 和 ADC4 来用, 由 ADCSR 中各有关位设定。

PC3~PC0: 这四条引脚的第二功能是作为片内 10 位 A/D 转换器的 ADC3~ADC0 来用, 由 A/D 控制/状态寄存器 ADCSR 中相关位设定。

PD7~PD6: PD7 和 PD6 引脚的第二功能是用作 AIN1 和 AIN0, 由模拟比较控制和状态寄存器 ACSR 中 ACD=0 和 ACBG=0 设定。

PD5 和 PD4: PD5 的第二功能是用作 T1 (T/C1 的计数输入引脚), 由 TCCR1B 中 CS12~CS10=110B/111B 设定。PD4 的第二功能是 XCK, 由 UCSRC 中相关位设定, PD4 的第三功能是用作 T/C0 的计数器输入引脚 T0, 由 TCCR0 中 CS02~CS00=110B/111B 设定。

PD3~PD2: 这两条引脚的第二功能为 INT1 和 INT0, 由 GICR 中 INT1=1 和 INT0=1 设定。

PD1 和 PD0: PD1 的第二功能是 TXD, PD0 的第二功能为 RXD, 由 USART 设定为异步模式时规定。

各 I/O 端口线在 ATmega 8 复位时均设定为第一功能, 即作为通用 I/O 引脚使用。

1.2 ATmega 8 MCU 内核习题解答

1.2.1 填空题解答

- 16, 将要执行指令的 FLASH 字地址
- 1
- 从通用快速工作寄存器中取出操作数, 根据操作码进行 ALU 操作, 把操作结果送入目的工作寄存器
- 应用程序区, 引导程序区
- SRAM, SP
- 00H~3FH, 0020H~005FH
- 货物位置(地址)
- 47.8, 42
- 应用程序/系统程序, 引导加载
- 00H~1FH
- BOTRST
- BOOTSZ1, BOOTSZ0
- CLK_{CPU} , CLK_{FLASH} , $CLK_{I/O}$, CLK_{ADC} , CLK_{ASY}
- 1110B, CKSEL0, SUT1 : SUT0

15. CKOPT
16. 降低芯片功耗
17. 某个中断源的中断
18. INT0/INT1, TWI
19. BODEN, BODLEVEL
20. 等待电源电压稳定
21. RESET 引脚电压达到 V_{RST} 所需时间, 延时启动时间 t_{TOUT}
22. t_{RST}
23. 采用 BOD 复位, 使能模拟比较器, 使能 A/D 转换

1.2.2 选择题解答

1. C 2. A 3. C 4. C 5. B 6. C, D 7. A 8. C 9. B 10. C 11. B 12. D

1.2.3 问答题解答

1. ATmega 8 的 MCU 内核主要由哪几部分组成? 各部分作用是什么?

解: ATmega 8 的 MCU 内核主要由以下几部分组成。

(1) 通用工作寄存器

这组寄存器共 32 个, 每个寄存器均为 8 位二进制, 编号为 R0~R31, 用于存放指令操作数和操作结果。ALU 每次对 R0~R31 中某个或某两个读/写一次仅需一个时钟周期。该寄存器组的物理地址为 00H~1FH, 在 SRAM 存储空间的映射地址是 0000H~001FH。其中, R31~R26 除可以用来存放操作数或操作结果以外, 还可专门用作 X、Y 和 Z 指针寄存器, 用来存放操作数/操作结果在 SRAM 或 FLASH 存储器中的地址。

(2) ALU 和 SREG

ALU 称为算术/逻辑单元, 是 MCU 的关键部件, 能对 8 位二进制操作数进行快速运算和逻辑操作, 并将操作结果存入 R0~R31 中。ALU 执行指令时形成的标志位存放于 SREG 状态寄存器中, SREG 为二进制 8 位, 也是 64 个 I/O 寄存器之一。

(3) PC、IR 和 ID

PC 称为程序计数器, 二进制 16 位长 (对于 ATmega 8 为 12 位长), 用于存放下条当前欲执行指令的 FLASH 存储器地址。PC 能自动加 1, 可以追踪指令的执行。

IR 叫做指令寄存器, 二进制 16 位长, 用于存放当前正在执行指令的指令码。

ID 称为指令译码器, 二进制 16 位长, 用于对当前从 FLASH 存储器中取出的指令码 (在 IR 中) 进行译码, 并产生一系列控制信号, 以控制本指令的执行。

2. 已知: R16=53H 和 R18=28H, 请仿效主教材例 2.1 分析 ADD R16, R18 指令执行后 R16 中的内容是多少? SREG 中的内容是多少?

解: 上述指令执行时的人工模拟算法是:

83	Rd=0	1	0	1	0	0	1	1	B.....R16
40	Rr=0	0	1	0	1	0	0	0	B.....R18
123	R = 0	1	1	1	1	0	1	1	B
	0								

式中, $C = R_{d7} \cdot R_{r7} + R_{r7} \cdot \overline{R_7} + \overline{R_7} \cdot R_{d7} = 0 + 0 + 0 = 0$

$Z = \overline{R_7} \cdot \overline{R_6} \cdot \overline{R_5} \cdot \overline{R_4} \cdot \overline{R_3} \cdot \overline{R_2} \cdot \overline{R_1} \cdot \overline{R_0} = 0$

$N = R_7 = 0$

$V = R_{d7} \cdot R_{r7} \cdot \overline{R_7} + \overline{R_{d7}} \cdot \overline{R_{r7}} \cdot R_7 = 0 + 0 = 0$

$S = N \oplus V = 0$

$H = R_{d3} \cdot R_{r3} + R_{r3} \cdot \overline{R_3} + R_{d3} \cdot \overline{R_3} = 0 + 0 + 0 = 0$

T 不变, I 不变, 均以 0 计

所以 SREG=00H 和 R16=7BH

3. 请简述和牢记熔丝位高字节中各位定义。

解: 熔丝位高字节(FHB)各位定义如主教材中图 2-9 所示。图中, 各位定义不全, 现补述如下:

(1) BOOTRST(位 0)

BOOTRST 称为复位向量设定位。若令 BOOTRST=0(编程), 则表示复位向量设置在 BOOT 区开头; 若使 BOOTRST=1(未编程), 则表示复位向量放置在应用程序区开头(即 0000H)。

(2) BOOTSZ1 和 BOOTSZ0(位 2 和位 1)

这两位用于控制 Boot 区的大小, 其作用如主教材图 2-9 所示。

(3) EESAVE(位 3)

EESAVE 用于对 E²PROM 存储器进行擦除保护。若令 EESAVE=0(编程), 则用户在擦除 ATmega 8 存储器时, E²PROM 被保护而不被擦除; 若使 EESAVE=1(未编程), 则下载程序在对芯片进行擦除时, E²PROM 中的内容也被擦除。

(4) CKOPT(位 4)

CKOPT 称为时钟选择位, 作用有两个。一是在选用 XTAL1 和 XTAL2 上外部晶振作为系统主振荡源时, CKOPT 用来控制 XTAL2 上输入信号的振幅(即: 若 CKOPT=0, 晶振输出满摆幅振荡信号; 若 CKOPT=1(未编程), 则晶振输出小摆幅振荡信号)。二是在 ATmega 8 选用外部低频晶振或外部 RC 振荡器或外部时钟源作为系统主振荡源时, CKOPT 用于控制 XTAL1 和地之间的片内 36pf 电容是否有效(若 CKOPT=0, 则片内 36pf 电容有效; 若 CKOPT=1(未编程), 则片内 36pf 电容无效)。

(5) SPINE(位 5)

SPINE 称为 SPI 使能位, 用于控制串行编程(数据下载)是否有效。若令 SPINE=0(编程), 则允许 SPI 编程; 若使 SPINE=1(未编程), 则禁止下载软件的串行下载。

(6) WDTON(位 6)

WDTON 称为看门狗总有效控制位。若 WDTON=0(编程), 则 WDT 功能被禁止; 若 WDTON=1(未编程), 则 WDT 由 WDTCR 控制是否有效。

(7) RSTDISBL(位 7)

RSTDISBL 称为复位禁止位, 用于控制 PC6 引脚是否可以作为 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚使用。若 RSTDISBL=0(编程), 则 PC6 用作通用 I/O; 若 RSTDISBL=1(未编程), 则 PC6 用作 $\overline{\text{RESET}}$ 。

4. 请简述和牢记熔丝位低字节中各位定义。

解：熔丝位低字节(FLB)各位定义如主教材中图 2-10 所示。图中，各位定义简述如下。

(1) CKSEL3~CKSEL0(位 3~位 0)

这四位称为“时钟选择位”，用来为 ATmega 8 选择 5 种时钟主振荡源中哪一种作为主振荡源。

(2) SUT1 和 SUT0(位 5 和位 4)

这两位用来选择 MCU 的复位延时启动时间和 MCU 从哪种休眠模式下的唤醒脉冲数。

(3) BODEN(位 6)

这一位称为 BOD 复位使能位。若 BODEN=0(编程)，则系统允许采用 BOD 复位；若 BODEN=1(未编程)，则系统禁止使用 BOD 复位。

(4) BODLEVEL(位 7)

这一位称为 BOD 复位触发电平选择位，用来选择 BOD 复位所需门限电压的值。若 BODLEVEL=0(编程)，则 BOD 门限电压为 2.7V；若 BODLEVEL=1(未编程)，则 BOD 门限电压为 4.0V。

5. 采用外部晶振和外部时钟作为系统主振荡源的根本区别是什么？

解：采用外部晶振和采用外部时钟的根本区别在于：外部晶振产生的是设定频率的正弦波；采用外部时钟产生的是给定频率的系列方波信号。

6. 在采用内部校准 RC 振荡器作为系统时钟的振荡源时，请简述用户对 8MHz 频率进行校准的方法。

解：ATmega 8 单片机除 FLASH 存储器、E²PROM 存储器和 SRAM 存储器以外，还有一个 4×16 的只读存储器，用户通过编程器或仿真器可以对该只读存储器中内容进行读取，存储器中的内容如表 1-1 所示。

表 1-1 ATmega 8 单片机的校准字节和标识字节

地 址	高字节内容	校 准 字 节	低字节内容	标识字节意义
000H	nnH	1MHz 校准参数	1EH	厂商 ATMEL
001H	nnH	2MHz 校准参数	93H	8KBFLASH 存储器
002H	nnH	4MHz 校准参数	07H	器件型号 ATmega 8
003H	nnH	8MHz 校准参数		

表中，内部校准 RC 振荡器的校准参数位于 4×16 只读存储器高字节，低字节(003H 单元不用)为芯片标识位。

(1) 用户可以先使用编程器或仿真器读取该只读存储器 003H 单元中的 8MHz 校准参数，并将它写入到 FLASH 或 E²PROM 中某个地址(设该地址为 XJZ)单元。

(2) 用户在应用程序的系统初始化程序段中应安排从 XJZ 单元读取 8MHz 校准参数，并将之存入校准寄存器 OSCCAL。

这样，ATmega 8 片内 8MHz 可校准 RC 振荡器的频率就得到了校准，误差不会超过 1%。

7. 在熔丝位高字节中，CKOPT 位的作用有哪三个？

解：在熔丝位高字节中，CKOPT 位的作用有如下三个：

(1) 在系统采用 XTAL2 和 XTAL1 上外部晶振作为系统时钟源时,CKOPT 用来控制 XTAL2 和 XTAL1 上所接晶振的输出信号摆幅。若 CKOPT=0(编程),则晶振输出满摆幅;若 CKOPT=1(未编程),则晶振输出小摆幅。

(2) 在系统选用外部低频晶振或外部 RC 振荡器或外部时钟源作为系统时钟振荡源时,CKOPT 用来控制 XTAL1 和 XTAL2 上同地之间的 36pf 电容是否有效。若 CKOPT=0(编程),则片内 36pf 电容有效;若 CKOPT=1(未编程),则片内 36pf 电容无效。

(3) 在系统外接陶瓷振荡器时,CKOPT 可以用来控制晶振的工作频率。若 CKOPT=1(未编程),则最大工作频率为 8MHz;若 CKOPT=0(编程),则陶瓷振荡器的最大工作频率为 16MHz。

8. 请简述 MCUCR(MCU 控制寄存器)中各位的作用。

解: MCU 各位的作用综合如下:

(1) ISC01 和 ISC00(位 1 和位 0)

ISC01 和 ISC00 是 INT0 的中断触发方式控制位,用于设定 INT0 上输入中断请求信号的触发方式(见表 1-2)。

表 1-2 INT0 中断触发方式选择表

ISC01	ISC00	中断触发方式
0	0	INT0 低电平触发中断
0	1	INT0 下降沿和上升沿触发中断
1	0	INT0 下降沿触发中断
1	1	INT0 上升沿触发中断

(2) ISC11 和 ISC10(位 3 和位 2)

ISC11 和 ISC10 是 INT1 的中断触发方式控制位,用于设定 INT1 上中断请求信号的中断触发方式(见表 1-3)。

表 1-3 INT1 中断触发方式选择表

ISC11	ISC10	中断触发方式
0	0	INT1 低电平触发中断
0	1	INT1 下降沿和上升沿触发中断
1	0	INT1 下降沿触发中断
1	1	INT1 上升沿触发中断

(3) SM2~SM0(位 6~位 4)

SM2~SM0 称为休眠模式设置位,用于控制系统进入哪种休眠模式。各位定义如表 1-4 所示。

(4) SE(位 7)

SE 称为休眠使能位,用于控制系统是否需要进入某种休眠模式。若使 SE=0,则 MCU 为正常模式;若使 SE=1,则 MCU 可以进入由 SM2~SM0 所决定的休眠模式。

9. 简述 ATmega 8 在 5 种休眠模式下的工作状态? 各有哪些可以唤醒 MCU 的唤醒源?

表 1-4 ATmega 8 各种休眠模式的设定

SM2	SM1	SM0	休眠模式
0	0	0	空闲(IDLE)
0	0	1	ADC 降噪(ADC Noise Reduction)
0	1	0	掉电(Power-down)
0	1	1	省电(Power-SAVE)
1	0	0	保留(Reserved)
1	0	1	保留(Reserved)
1	1	0	等待(Standby)

解：ATmega 8 的 5 种休眠模式如下：

(1) 空闲模式

状态：CLK_{CPU} 和 CLK_{FLASH} 时钟停止工作。

唤醒：SPI、USART 和 TWI 中断；AC 和 ADC 中断；定时器/计数器的各种中断；WDT 中断；外部 INT0/INT1 中断。外部复位、WDT 复位和 BOD 复位也可以使 MCU 从空闲模式下退出。

(2) ADC 降噪模式

状态：CLK_{CPU}、CLK_{FLASH} 和 CLK_{I/O} 停止工作。

唤醒：ADC 中断；TWI 中断；T/C2 中断；SPM/E²PROM 准备好中断；INT0/INT1 外部电平中断都可以唤醒 MCU。外部复位、WDT 复位和 BOD 复位也可以使 MCU 从 ADC 降噪模式下退出。

(3) 掉电模式

状态：晶振停振，CLK_{CPU}、CLK_{FLASH}、CLK_{I/O}、CLK_{ASY} 和 CLK_{ADC} 均停止工作。

唤醒：TWI(地址匹配)中断；INT0/INT1 外部电平中断；WDT 中断。外部复位、WDT 复位和 BOD 复位均可使 MCU 从掉电模式下退出。

(4) 省电模式

状态：晶振停振，CLK_{CPU}、CLK_{FLASH}、CLK_{I/O}、CLK_{ASY} 和 CLK_{ADC} 皆停止工作。

唤醒：异步方式下的 T/C2(溢出/输出比较)中断；外部复位、WDT 复位和 BOD 复位均可使 MCU 从省电模式下退出。

(5) 等待模式

状态：外部晶振仍工作，CLK_{CPU}、CLK_{FLASH}、CLK_{I/O}、CLK_{ASY} 和 CLK_{ADC} 均停止工作。

唤醒：TWI(地址匹配)中断；INT0/INT1 外部电平中断。外部复位、WDT 复位和 BOD 复位均可使 MCU 从等待模式下退出。

10. ATmega 8 系统时钟有哪 5 路输出？MCU 进入降噪模式后有哪些时钟可以输出？作用是什么？

解：ATmega 8 系统时钟共有如下 5 路输出：

(1) CLK_{CPU} 称为 CPU 时钟，主要用于驱动 ALU、工作寄存器组、状态寄存器 SREG 和 SRAM 存储器工作，以完成算术/逻辑操作。

(2) CLK_{I/O} 叫做 I/O 时钟，主要用于输入/输出模块(例如：定时器/计数器、SPI 和 USART 接口等)。CLK_{I/O} 时钟还可驱动外部中断模块工作，但有些外部中断信号(如 TWI