

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

李长林 等编著

AVR

单片机应用设计



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

AVR 单片机应用设计

李长林 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了 AVR 单片机的系统结构、运行原理与指令系统，并结合 AVR 单片机的先进性和特点，介绍了脉宽调制（PWM）输出，看门狗定时器，休眠模式的应用，片内 A/D 转换器的使用，异、同步串口通信，软件 DAA 等。本书主要介绍目前常用的 MEGA 系列机，也适用于其他型号的 AVR 单片机。

本书可作为嵌入式系统应用工程技术人员的设计参考书，也可为大专院校的教学提供参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

AVR 单片机应用设计/李长林等编著. —北京：电子工业出版社，2005.9
ISBN 7-121-01748-2

I. A II. 李 III. 单片微型计算机—程序设计 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 104577 号

责任编辑：高买花

印 刷：北京东光印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销：各地新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：23.5 字数：602 千字

印 次：2005 年 9 月第 1 次印刷

印 数：5 000 册 定价：32.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。
联系电话：（010）68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

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。

继 AT89 系列、AT90 系列单片机之后,ATMEL 公司又推出了 MEGA 系列,这也是目前最常用的 AVR 单片机。

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,其中 AVR 产品的设计中心设在挪威。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。

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。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 E²PROM 存储器,可串行下载;最新、最优、最全的配置;执行速度快,指令效率高;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,可用做专用芯片。最重要的还有:AVR 物美价廉,生命力长久。

本书共分 11 章。第 1 章对 AVR 单片机进行综合介绍;第 2 章介绍 AVR 单片机系统结构;第 3 章介绍 AVR 单片机指令系统;第 4 章介绍 ICcAVR;第 5 章介绍 AVR 单片机复位和休眠系统;第 6 章介绍 AVR 单片机中断系统;第 7 章介绍 AVR 单片机调试工具;第 8 章介绍 AVR 单片机接口系统;第 9 章介绍 AVR 单片机 A/D 的应用;第 10 章介绍 AVR 单片机应用;第 11 章介绍 AVR 单片机的综合实例。

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。

本书由李长林编写,在编写过程中赵光、张玉平、兰吉昌、姜艳波、王烁、刘文涛、陈伟、罗浩、顾正大、宋盟、张瑞雪、刘勃、赵木青、王岩、沙盼盼、刘春红、孙宁等给予很大的帮助,在此表示感谢!

编著者

2005 年 7 月

目 录

第 1 章 AVR 单片机系统	1
1.1 概述	1
1.1.1 低开发成本	1
1.1.2 安全、高速、低功耗的性能	1
1.1.3 A/D 转换功能	1
1.1.4 具有较强驱动能力的 I/O 口	2
1.1.5 精简指令集	2
1.1.6 其他功能	2
1.2 AVR 系列单片机的选型	2
1.2.1 ATtiny 系列单片机特点	3
1.2.2 AT90S 系列单片机特点	5
1.2.3 ATmega 系列单片机特点	6
1.3 AVR 系列单片机的开发步骤	7
1.3.1 设计硬件电路	7
1.3.2 用 C 语言编写程序	8
1.3.3 程序调试	11
1.3.4 搭建实验电路板	13
1.3.5 程序下载	13
第 2 章 AVR 单片机系统结构	14
2.1 AVR 单片机结构	14
2.2 AVR 存储器	18
2.2.1 系统内可编程的 Flash 程序存储器	18
2.2.2 SRAM 数据存储器	18
2.2.3 EPROM 数据存储器	20
2.2.4 I/O 存储器	21
2.2.5 外部存储器接口	21
2.3 时钟管理	29
2.3.1 时钟系统及其分布	29
2.3.2 时钟源	30
2.3.3 默认时钟源	30
2.3.4 晶体振荡器	30
2.3.5 外部 RC 振荡器	32
2.3.6 标定的片内 RC 振荡器	33
2.3.7 外部时钟	33
2.4 电源管理及睡眠模式	34

2.4.1	MCU 控制寄存器 (MCUCR)	34
2.4.2	空闲模式	35
2.4.3	ADC 噪声抑制模式	35
2.4.4	掉电模式	35
2.4.5	省电模式	36
2.4.6	Standby 模式	36
2.4.7	扩展 Standby 模式	36
2.4.8	最小化功耗	37
2.5	系统控制和复位	37
2.5.1	复位 AVR	37
2.5.2	复位源	38
2.5.3	上电复位	39
2.5.4	外部复位	40
2.5.5	掉电检测复位	40
2.5.6	看门狗复位	41
2.5.7	MCU 控制和状态寄存器	41
2.5.8	片内基准电压	41
2.5.9	看门狗定时器	42
2.5.10	改变看门狗定时器配置的时间序列	44
第 3 章	AVR 单片机指令系统	46
3.1	指令格式	46
3.1.1	汇编指令	46
3.1.2	汇编器伪指令	47
3.1.3	表达式	50
3.2	寻址方式	51
3.3	数据操作和指令类型	57
3.3.1	数据操作	57
3.3.2	指令类型	57
3.3.3	指令集名词	57
3.4	算术和逻辑指令	58
3.4.1	加法指令	58
3.4.2	减法指令	61
3.4.3	乘法指令	64
3.4.4	取反码指令	64
3.4.5	取补指令	65
3.4.6	比较指令	65
3.4.7	逻辑与指令	67
3.4.8	逻辑或指令	69
3.4.9	逻辑异或指令	71
3.5	转移指令	72

3.5.1	无条件转移指令	72
3.5.2	条件转移指令	74
3.6	数据传送指令	90
3.6.1	直接数据传送指令	91
3.6.2	间接数据传送指令	92
3.6.3	从程序存储器直接取数据指令	97
3.6.4	I/O 口数据传送	97
3.6.5	堆栈操作指令	98
3.7	位指令和位测试指令	99
3.7.1	带进位逻辑操作指令	99
3.7.2	位变量传送指令	102
3.7.3	位变量修改指令	103
3.7.4	其他指令	111
3.8	新增指令	112
3.8.1	EICALL——延长间接调用子程序	112
3.8.2	EIJMP——扩展间接跳转	113
3.8.3	ELPM——扩展装载程序存储器	113
3.8.4	ESPM——扩展存储程序存储器	114
3.8.5	FMUL——小数乘法	115
3.8.6	FMULS——有符号数乘法	115
3.8.7	FMULSU——有符号小数和无符号小数乘法	116
3.8.8	MOVW——拷贝寄存器字	117
3.8.9	MULS——有符号数乘法	117
3.8.10	MULSU——有符号数与无符号数乘法	118
3.8.11	SPM——存储程序存储器	119
3.9	指令使用实例	119
第 4 章	ICCAVR 语法基础	126
4.1	ICCAVR 标识符	126
4.1.1	ICCAVR 标识符的构成规则	126
4.1.2	ICCAVR 的关键字	127
4.2	数据类型	129
4.2.1	变量与常量	129
4.2.2	整型 (int) 数据	130
4.2.3	浮点型 (float) 数据	132
4.2.4	字符型 (char) 数据	133
4.2.5	指针型 (*) 数据	134
4.2.6	无值型 (void) 数据	134
4.3	变量的作用域	135
4.3.1	块结构	135
4.3.2	自动型变量	135

4.3.3	外部型变量	136
4.3.4	静态型变量	137
4.3.5	寄存器型变量	137
4.4	const 修饰符	138
4.5	ICCAVR 的分隔符	139
4.6	运算符	139
4.6.1	运算符的分类	139
4.6.2	运算符的优先级	147
4.7	表达式	148
4.7.1	算术表达式	148
4.7.2	赋值表达式	148
4.7.3	逗号运算符与逗号表达式	149
4.7.4	关系表达式	149
4.7.5	逻辑表达式	150
4.8	访问寄存器	150
4.9	语句	151
4.9.1	说明语句	151
4.9.2	表达式语句	151
4.9.3	复合语句	152
4.9.4	条件语句	152
4.9.5	开关与跳转语句	155
4.9.6	循环语句	159
4.9.7	函数调用语句	162
4.9.8	空语句	162
4.9.9	ICCAVR 语句的流程与控制	163
4.9.10	逐步求精的设计方法	164
4.10	函数	165
4.10.1	函数的调用和返回	166
4.10.2	函数的作用域	172
4.10.3	函数的变量作用域	172
4.10.4	main 函数	173
4.10.5	ICCAVR 中断函数	175
4.11	ICCAVR 库函数	179
第 5 章	复位系统及睡眠模式	181
5.1	系统控制和复位	181
5.1.1	复位 AVR	181
5.1.2	复位源	182
5.1.3	上电复位	182
5.1.4	外部复位	183
5.1.5	掉电检测复位	184

5.1.6	看门狗复位	184
5.1.7	MCU 控制和状态寄存器 MCUCSR	185
5.1.8	片内基准电压	185
5.1.9	看门狗定时器	186
5.1.10	改变看门狗定时器配置的时间序列	188
5.2	睡眠模式	188
5.2.1	MCU 控制寄存器包含了电源管理的控制位	189
5.2.2	空闲模式	189
5.2.3	ADC 噪声抑制模式	189
5.2.4	掉电模式	190
5.2.5	省电模式	190
5.2.6	Standby 模式	190
5.2.7	扩展 Standby 模式	190
5.2.8	最小化功耗	191
第 6 章	AVR 中断系统	193
6.1	复位与中断处理	193
6.1.1	中断类型	193
6.1.2	中断处理	194
6.1.3	中断响应时间	197
6.2	中断向量	197
6.3	外部中断	202
6.3.1	外部中断控制寄存器 A (EICRA)	202
6.3.2	外部中断控制寄存器 B (EICRB)	203
6.3.3	外部中断屏蔽寄存器 (EIMSK)	204
6.3.4	外部中断标志寄存器 (EIFR)	204
第 7 章	调试工具	205
7.1	AVR 单片机的编译	205
7.1.1	AVR Assembler 编译文件的安装与打开	205
7.1.2	AVR 单片机汇编语言源程序实例	206
7.1.3	源文件说明	206
7.1.4	AVR 汇编器	207
7.2	模拟调试窗口	211
7.2.1	安装 AVR Studio 调试工具	211
7.2.2	设置器件配置文件	212
7.2.3	AVR Studio 调试窗口下拉菜单	213
7.2.4	AVR Studio 窗口	214
7.2.5	AVR Studio 命令	219
第 8 章	接口技术	224
8.1	JTAG 接口和片上调试系统 OCD	224
8.1.1	测试访问端口 TAP	224

8.1.2	TAP 控制器	225
8.1.3	使用片上调试系统	226
8.1.4	片上调试专用的 JTAG 指令	228
8.1.5	I/O 存储器里与片上调试相关的寄存器	228
8.1.6	利用 JTAG 的可编程能力	228
8.2	使用边界扫描链	229
8.2.1	数据寄存器	229
8.2.2	用于边界扫描的 JTAG 指令	231
8.3	AVR 单片机串行接口	233
8.3.1	同步串行接口 SPI	233
8.3.2	通用串行接口 UART	236
8.4	串行外设接口 SPI	242
8.5	\overline{SS} 引脚功能	245
8.5.1	从机模式	245
8.5.2	主机模式	246
8.5.3	SPI 控制寄存器 SPCR	246
8.5.4	SPI 状态寄存器 SPSR	247
8.5.5	SPI 数据寄存器 SPDR	248
8.5.6	数据模式	248
8.6	两线串行接口 TWI	249
8.6.1	特点	249
8.6.2	两线串行接口总线定义	249
第 9 章	A/D 转换	251
9.1	模拟比较器	251
9.1.1	特殊功能 I/O 寄存器 SFIOR	251
9.1.2	模拟比较器控制和状态寄存器 ACSR	252
9.1.3	模拟比较器负极输入	253
9.2	模数转换器	253
9.2.1	启动一次转换	255
9.2.2	预分频及 ADC 转换时序	255
9.3	改变通道或基准源	257
9.3.1	ADC 输入通道	257
9.3.2	ADC 基准电压源	257
9.4	ADC 噪声抑制器	258
9.4.1	模拟输入电路	258
9.4.2	模拟噪声抑制技术	259
9.4.3	ADC 精度定义	259
9.5	ADC 转换结果	261
9.5.1	ADC 多工选择寄存器 ADMUX	261
9.5.2	ADC 控制和状态寄存器 A (ADCSRA)	263

9.5.3	ADC 数据寄存器——ADCL 及 ADCH	264
第 10 章	AVR 单片机的应用	265
10.1	BASCOM-AVR 的应用	265
10.1.1	软件开发平台和硬件系统	265
10.1.2	BASCOM-AVR 软件平台的安装与使用	266
10.1.3	AVR 输入/输出的应用	269
10.1.4	LCD 显示器	273
10.2	AVR C 语言的应用	276
10.2.1	AVR 支持 C 和高级语言编程的结构	276
10.2.2	高效的 C 编译器	277
10.3	通用延时子程序	283
10.4	简单 I/O 口输出实验	289
10.4.1	测试验证 DIP20 AVR 单片机 B 口、D 口引脚输出	289
10.4.2	测试 AVR DIP40 引脚输出和 SL-AVR 开发下载实验器功能	290
10.4.3	测试验证 AVR DIP40 引脚输出和 SL-AVR 开发下载实验器功能	291
10.4.4	AVR 的 I/O 口发出音符声	293
10.4.5	利用延时程序 I/O 口输出报警声	294
10.4.6	PA 口使用建表方式的 LED 广告灯演示程序	295
10.4.7	LED 发光二极管加 1 计数程序	296
第 11 章	综合实例	298
11.1	在 LED 上实现字符 8 的循环移位显示程序	298
11.2	电脑放音机	299
11.3	键盘扫描程序说明	306
11.4	十进制计数显示	308
11.5	简单的 A/D 转换器	310
11.6	高精度 A/D 转换器	315
11.7	按钮猜数程序	317
11.8	输入汉字	323
11.9	10 位 AD/转换	325
11.10	步进电机控制程序	327
11.11	测脉冲宽度	330
11.12	LCD 显示 8 字循环	336
11.13	LED 电脑时钟	342
11.14	测频率	349
11.15	测转速	354
11.16	AT90S8535 的 A/D 转换	359

第 1 章 AVR 单片机系统

AVR 单片机是由 ATMEL 公司研制开发的, 具有增强型内置 Flash 的 RISC (Reduced Instruction Set CPU) 精简指令集高速 8 位单片机。AVR 单片机可以广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器等各个领域。

1.1 概述

1997 年, ATMEL 公司挪威设计中心的两位工程师利用 ATMEL 公司的 Flash 新技术, 共同研发出 RISC 精简指令集的高速 8 位单片机, 简称 AVR 单片机。AVR 单片机具有电路简单、故障率低、可靠性高、成本低、可采用高级语言编程等优势。

1.1.1 低开发成本

(1) 进入 AVR 单片机开发的门槛非常低, 只要具备电脑就可以学习 AVR 单片机的开发。需用一条 ISP 下载线, 把编辑、调试通过的软件程序直接在线写入 AVR 单片机, 即可以开发 AVR 单片机系列中各种封装的器件。

(2) AVR 单片机便于升级。AVR 程序写入是直接在电路板上进行程序修改、烧录等操作, 这样便于产品升级。

(3) AVR 单片机费用低廉。学习 AVR 单片机可直接把 PC 上编译好的程序写到单片机的程序存储器中, 不需购买仿真器、编程器、擦抹器和芯片适配器等设备, 就可进行所有 AVR 单片机的开发应用, 而且程序存储器擦写可达 10 000 次以上。

(4) AVR 已成一个系列, 有高、中、低档三类, 封装从 8PC 到 64PC (DIP/SOIC/TQFP), 最低价格才 6 元。

1.1.2 安全、高速、低功耗的性能

AVR 单片机是高速嵌入式单片机, 具体表现在以下几点:

(1) AVR 单片机具有预取指令功能, 即在执行一条指令时, 预先把下一条指令取进来, 使得指令可以在一个时钟周期内执行。

(2) 多累加器型, 数据处理速度快。AVR 单片机具有 32 个通用工作寄存器, 相当于有 32 条立交桥, 可以快速通行。

(3) 中断响应速度快。AVR 单片机有多个固定中断向量入口地址, 可快速响应中断。另外, AVR 单片机耗能低, 对于典型功耗情况, WDT 关闭时为 100nA。AVR 单片机保密性能好, 它具有不可破解的位加密锁 Lock Bit 技术。

1.1.3 A/D 转换功能

AVR 单片机内带模拟比较器, 可以进行 A/D 转换, 组成廉价的 A/D 转换器。ATmega48/8/16

等器件具有8路10位A/D。

1.1.4 具有较强驱动能力的 I/O 口

AVR 单片机的 I/O 口能正确反映 I/O 口输入/输出的真实情况。工业级产品具有大电流 10~40 mA，可直接驱动可控硅 SSR 或继电器，节省了外围驱动器件。

AVR 单片机的 I/O 线全部带可设置的上拉电阻，可单独设定为输入/输出，可设定高阻输入，驱动能力强，使得 I/O 口资源灵活、功能强大、可充分利用。

1.1.5 精简指令集

AVR 单片机 32 个工作寄存器全部与 ALU 相连，加快了指令存取时间。AVR 单片机具有多个累加器，所以可以进行高速数据处理，一个机器周期可以执行一条指令。

早期单片机由于工艺及设计水平不高、功耗高和抗干扰性能差等原因，所以采取稳妥方案，即采用较高的分频系数对时钟分频，使得指令周期长，执行速度慢。以后的 CMOS 单片机虽然采用提高时钟频率和缩小分频系数等措施，但 51 以及 51 兼容的单片机这种状态并未被彻底改观。此间虽有某些精简指令集单片机问世，但依然沿袭对时钟分频的做法。

AVR 单片机的推出，彻底打破这种旧设计格局，废除了机器周期，抛弃复杂指令计算机 CISC 追求指令完备的做法，采用精简指令集，以字作为指令长度单位，将内容丰富的操作数与操作码安排在一字之中，取指周期短，又可预取指令，实现流水作业，故可高速执行指令。当然，这种速度上的飞跃是以高可靠性为后盾的。

AVR 单片机硬件结构采取 8 位机与 16 位机的折中策略，即采用局部寄存器存堆和单体高速输入/输出的方案，提高了指令执行速度，可以达到 1MIPS/MHz；克服了瓶颈现象，增强了功能；同时又减少了对外设管理的开销，相对简化了硬件结构，降低了成本。AVR 单片机在软/硬件开销、速度、性能和成本诸多方面取得了优化平衡，是性价比的单片机。

1.1.6 其他功能

AVR 单片机的定时/计数器有 8 位和 16 位，可用做比较器。计数器外部中断和 PWM 用于控制输出，某些型号的 AVR 单片机有 3~4 个 PWM，是用做电机无级调速的理想器件。

AVR 单片机有串行异步通信 UART 接口，不占用定时器和 SPI 同步传输功能，因其具有高速特性，故可以工作在一般标准整数频率下，而波特率可达 576Kb/s。

部分 AVR 单片机可组成零外设元件单片机系统，使该类单片机无外加元器件即可工作，简单方便，成本又低。

AVR 单片机可重设启动复位，以提高单片机工作的可靠性。有看门狗定时器实行安全保护，可防止程序走飞，提高了产品的抗干扰能力。

1.2 AVR 系列单片机的选型

AVR 单片机系列齐全，可适应各种不同场合的要求。

AVR 单片机有以下 3 个档次：

(1) 低档 Tiny 系列 AVR 单片机，主要有 Tiny11/12/13/15/26/28 等。

(2) 中档 AT90S 系列 AVR 单片机, 主要有 AT90S1200/2313/8515/8535 等。随着单片机技术的发展, 这一系列单片机正在被淘汰或转型到 Mega 系列。

(3) 高档 ATmega 系列 AVR 单片机, 主要有 ATmega8/16/32/64/128, 以及 ATmega8515/8535 等。

现在应用较多的是 ATmega8/ATmega16。

1.2.1 ATtiny 系列单片机特点

ATtiny 系列单片机是基于 AVR RISC 的低功耗 CMOS 的 8 位单片机。通过在一个时钟周期内执行一条指令, ATtiny 可以取得接近 1MIPS/MHz 的性能。AVR 核将 32 个工作寄存器和丰富的指令集连接在一起, 使 AVR 得到了比普通 CISC 单片机高将近 10 倍的性能, 见表 1-1。

表 1-1 单片机工作性能

器 件	Flash/KB	E ² PROM/B	寄 存 器	电压范围/V	频率/MHz
ATtiny10/11L	1	-	32	2.7~5.5	0~2
ATtiny10/11	1	-	32	4.0~5.5	0~6
ATtiny12V	1	64	32	1.8~5.5	0~1
ATtiny12L	1	64	32	2.7~5.5	0~4
ATtiny12	1	64	32	4.0~5.5	0~8

ATtiny13 具有 1KB 的 Flash, 64B 的 E²PROM, 64B 的 SRAM, 6 个通用 I/O 口线, 32 个通用工作寄存器, 1 个具有比较模式的 8 位定时器/计数器, 片内/外中断, 4 路 10 位 ADC, 具有片内震荡器的可编程看门狗, 定时器, 以及三种可以通过软件进行选择的省电模式。工作于空闲模式时 CPU 停止工作, 而 SRAM、T/C、ADC、模式比较器以及中断系统继续工作; 掉电模式时保存寄存器中值, 停止除中断和硬件复位之外所有功能工作; ADC 噪声抑制模式时终止 CPU 及 ADC 以外所有 I/O 模块的工作以降低 ADC 转换噪声。工作电压为:

- Attiny13V: 1.8~5.5V;
- Attiny13V: 2.7~5.5V。

ATtiny2313 具有 2KB 系统内可编程 Flash, 128B 的 E²PROM, 128B 的 SRAM, 18 个通用 I/O 口线, 32 个通用工作寄存器, 对片内调试的单线接口, 2 个具有比较模式的灵活的定时器/计数器, 片内/外中断, 串行可编程 USART, 有启动状态检测器的通用串行接口, 含片内震荡器的可编程看门狗定时器, 以及三种可以通过软件进行选择的省电模式。工作于空闲模式时 CPU 停止工作, 而 SRAM、T/C 以及中断系统继续工作; 掉电模式时晶体震荡器停止震荡, 所用功能除了中断和硬件复位之外都停止工作; Standby 模式下只有晶体震荡器运行, 使得器件只消耗极少的电流, 同时具有快速启动能力。工作电压为:

- ATtiny26L: 2.7~5.5V;
- ATtiny26L: 4.5~5.5V。

ATtiny26(L)具有 2KB Flash, 128B E²PROM, 128B SRAM, 16 个通用 I/O 口线, 32 个通用工作寄存器, 两个 8 定时器/计数器, 其中一个有 PWM 输出, 片内/外震荡器, 片内/外中断, 可编程看门狗定时器, 含两个差分输入电压增益级的 11 通道 10 位模数转换器, 以及 4

个可以通过软件进行选择的省电模式。工作于空闲模式时 CPU 停止工作，而 T/C 以及中断系统继续工作；ATtiny26(L)还有专门的 ADC 噪声抑制模式降低 ADC 转换噪声，ADC 噪声抑制模式时终止 ADC 以外所有 I/O 模块的工作，掉电模式时晶体振荡器停止震荡，所有功能除了中断和硬件复位之外都停止工作；Standby 模式下只有外部晶体振荡器运行，其余与掉电模式相同。ATtiny26(L)中引脚触发唤醒与中断使能的特性，使得器件只能消耗极少的电流，同时具有快速启动能力。工作电压为：

- ATtiny26L: 2.7~5.5V;
- ATtiny26L: 4.5~5.5V。

其中 ATtiny26 产品特性如下：

(1) 高性能、低功耗 8 位 AVR 微处理器

(2) RISC 结构

- 118 条指令，大多数指令执行时间为单个时钟周期。
- 32 个 8 位通用工作寄存器。
- 全静态工作。
- 工作于 16 MHz 时性能高达 16 MIPS。

(3) 非易失性程序和数据存储器

- 2KB 的系统内可编程 Flash，擦写寿命为 10 000 次。
- 128B 的系统内可编程 E²PROM，擦写寿命为 10 000 次。
- 128B 的片内 SRAM，可以对锁定位进行编程以及实现 E²PROM 数据的加密。

(4) 外设特点

- 具有独立预分频器的 8 位定时器/计数器。
- 具有独立预分频器的高速 8 位定时器。
- (5) 2 个具有独立输出比较寄存器的高频率 PWM，非重叠的反相 PWM 输出引脚
- 具有开始状态检测器的通用串行接口。
- 10 位 ADC。

(6) 11 个单端通道

(7) 8 个差分 ADC 通道

(8) 7 对具有可编程增益的差分通道

- 片内模拟比较器。
- 外部中断。
- 11 个引脚电平变化可以触发中断。
- 具有独立片内振荡器的可编程看门狗定时器。

(9) 特殊的处理器特点

- 低功耗空闲模式、噪声抑制模式、省电模式。
- 上电复位以及可编程的掉电检测。
- 片内/片外中断源。
- 通过 SPI 端口在系统内可编程。
- 经过标定的片内 RC 振荡器。

(10) I/O 和封装

- 20 引脚 PDIP/SOIC: 16 个可编程 I/O 线。
- 32 引脚 MLF: 16 个可编程 I/O 线。

(11) 工作电压

- ATtiny26L: 2.7~5.5V。
- ATtiny26: 4.5~5.5V。

(12) 速度等级

- ATtiny26L: 0~8 MHz。
- ATtiny26: 0~16 MHz。

(13) ATtiny26L 的功耗

- 16 MHz, 5V, 25°C: 5 mA。
- 1 MHz, 3V, 25°C: 0.70 mA。
- 1 MHz, 3V, 25°C, 空闲模式: 0.18 mA。
- 掉电模式 < 1 μ A。

1.2.2 AT90S 系列单片机特点

AT90S 系列单片机是中档 AVR 单片机, 其中 AT90S1200 是一款基于 AVR RISC 的低功耗 CMOS 的 8 位单片机。通过在一个时钟周期内执行一条指令, AT90S1200 可以取得接近 1MIPS/MHz 的性能。

AT90S1200 的特点如下:

(1) AVR RISC 结构

(2) AVR 高性能低功耗 RISC 结构

- 89 条指令大多数为单指令周期。
- 32 个 8 位通用工作寄存器。
- 工作在 12 MHz 时具有 12 MIPS 的性能。

(3) 数据和非易失性程序内存

- 1KB 的在线可编程 Flash, 擦除次数 1 000 次。
- 64B 在线可编程 E²PROM, 寿命 100 000 次。
- 程序加密位。

(4) 外围 Peripheral 特点

- 一个可预分频 Prescale 的 8 位定时器/计数器。
- 片内模拟比较器。
- 可编程的看门狗定时器由片内振荡器生成。
- 用于下载程序的 SPI 口。

(5) 特别的 MCU 特点

- 低功耗空闲和掉电模式。
- 内外部中断源。
- 可选的片内 RC 振荡器。

(6) 规范 Specification

- 低功耗高速 CMOS 工艺。

- 全静态工作。
- (7) 4MHz、3V、25℃条件下的功耗
 - 工作模式 2.0mA。
 - 空闲模式 0.4mA。
 - 掉电模式 < 1A。
- (8) I/O 和封装
 - 15 个可编程的 I/O 脚。
 - 20 脚 PDIP 和 SOIC 封装。
- (9) 工作电压
 - AT90S1200-4: 2.7~6.0V。
 - AT90S1200-12: 4.0~6.0V。
- (10) 速度
 - AT90S1200-4: 0~4MHz。
 - AT90S1200-12: 0~8MHz。

1.2.3 ATmega 系列单片机特点

ATmega 系列单片机是较高档次的 AVR 单片机,其中 ATmega8 是基于增强的 AVR RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器。由于其先进的指令集以及单时钟周期指令执行时间,ATmega8 的数据吞吐率高达 1MIPS/MHz,从而可以缓解系统在功耗和处理速度之间的矛盾。

ATmega8 的特点如下:

- (1) 高性能、低功耗的 8 位 AVR® 微处理器
- (2) 先进的 RISC 结构
 - 130 条指令,大多数指令执行时间为单个时钟周期。
 - 32 个 8 位通用工作寄存器。
 - 全静态工作。
 - 工作于 16 MHz 时性能高达 16 MIPS。
 - 只需两个时钟周期的硬件乘法器。
- (3) 非易失性程序和数据存储器
 - 8KB 的系统内可编程 Flash,擦写寿命为 10 000 次。
 - 具有独立定位的可选 Boot 代码区。
 - 通过片上 Boot 程序实现系统内编程。
 - 真正的同时读/写操作。
 - 512B 的 E²PROM,擦写寿命为 100 000 次。
 - 1KB 的片内 SRAM。
 - 可以对定位进行编程以实现用户程序的加密。
- (4) 外设特点
 - 两个具有独立预分频器 8 位定时器/计数器,其中之一有比较功能。
 - 一个具有预分频器、比较功能和捕捉功能的 16 位定时器/计数器。
 - 具有独立振荡器的实时计数器 RTC。