

## MSP430 微控制器讲座

## (二)

基于 Slope A/D 实现的超低功耗  
温度控制仪

雷奥

A/D 模数转换器在很多微处理器系统中是必需的, 对于内部没有集成 A/D 模块的某些 MSP430 单片机, 利用其片内集成的比较器和定时器, 采用 Slope(斜边)A/D 实现信号的数字化。本文利用 MSP430F413 内部集成的比较器和定时器实现 Slope A/D 转换, 通过测量外部热敏电阻阻值的方法实现超低功耗温度控制仪的设计, 同时将获得的温度值和设定值进行比较来点亮 LED, 表示所操作的状态, 最后对系统功耗进行评估和分析。

## Slope A/D 原理

Slope A/D 技术是利用比较器而不是标准的 ADC 模块实现 A/D 转换, 通过对已知容量的电容进行充、放电, 记录电容放电时间, 然后计算出实际的电压值达到对电压数字化。可以通过测量具有变化阻抗元件如热敏电阻进行电压数字化, 若电阻不变则电压和放电时间存在 V-T 指数函数关系, 也可以进行电阻数字化, 电压不变则电阻和放电时间存在线性关系, 而微控制器完成线性关系转换比计算 V-T 指数函数关系转换更容易, 本文采用后一种方法。

MCU 通过 Slope A/D 转换测量阻抗的电路原理图如图 1 所示, 通过被测电阻  $R_{sens}$  和参考电阻  $R_{ref}$  对电容进行放电, 测量两者放电时间得出两者关系, 具体测量方法如下:

测量  $R_{sens}$  阻值, 首先将 P1.4 口置为高电平, 对电容  $C_m$  进行充电, 定时器 TAR 开始计时, 然后将 P1.4 口置为低电平, 电容  $C_m$  通过电阻  $R_{sens}$  放电, 当电容电压降到比较器参考电压  $V_{caref}$  时, 比较器输出端 (CAOUT) 跳变, 同时捕捉定时器 TAR 值并保存到寄存

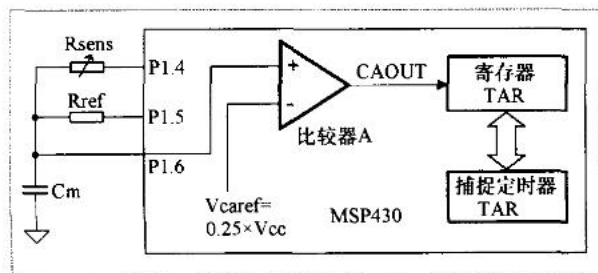


图 1

器 CCR1 中, 该值即为被测电阻  $R_{sens}$  的放电时间  $t_{sens}$ , 同理对电阻  $R_{ref}$  重复以上过程, 得出参考电阻的放电时间  $t_{ref}$ , 两种放电情况下  $V_{caref}$  值不变, 计算出唯一的未知量  $R_{sen}$ , 大多数利用 Slope A/D 测量阻值的方案都采用该方法, 比指数运算计算量小且精度高。

## 温控仪原理

以 MSP430F413 微控制器的 DEMO 板为例, 结合上述介绍的阻值测量方法实现超低功耗温控仪。首先热敏

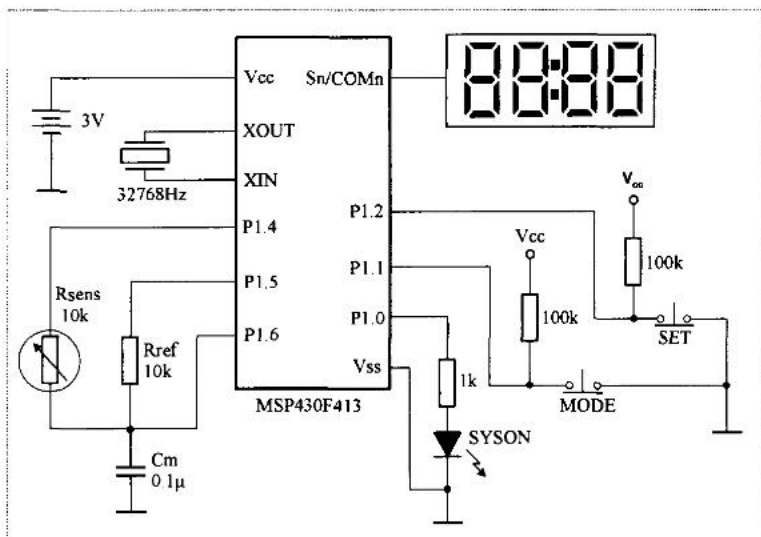


图 2

电阻的阻值通过 Slope A/D 转换得到, 查表获得环境温度, MCU 通过设置按键改变不同工作模式和设定温度值, 再根据不同工作模式驱动 LCD 显示当前温度、设定温度及设定时间等值。

**硬件设计** 温控仪的原理框图和原理图分别如图 2、图 3 所示, 包括 MSP430F413、LCD 显示、实时时钟和设置按键输入, 由中断触发主循环每秒运行一次, 执行完毕后进入 LPM3 模式实现系统超低功耗。

**工作模式** MCU 的 DEMO 板设置有两个按键, 一个“模式”按键切换不同的工作模式, 另一个“设置”按键实现不同工作模式下的某些功能设置。

1. 模式按键 (MODE\_KEY) 每按一次 MODE\_KEY 键, 显示当前工作模式的内容, 从模式 1 到模式 8 按下



5s 自动切换到模式 1 默认的显示状态下。

模式 4 设置系统时钟“分”，LCD 显示系统时钟“分”，以 0.5s 的频率闪烁，通过设置“SET\_KEY”键，每按一次系统时钟“分”在调整范围内加 1 分钟。

模式 5 设置系统时钟“时”，LCD 显示系统时钟“时”，以 0.5s 的频率闪烁，通过设置“SET\_KEY”键，每按一次系统时钟“时”在调整范围内加 1 小时。

模式 6 显示系统时钟“秒”。

模式 7 测试低功耗状态 A (LPM3+LCD 显示), 进入此模式后系统关闭 2s, 定时测温处于 LPM3 模式, RTC 时钟运行并定时刷新 LCD 显示, LCD 显示 “LPXX”, 其中 “LP” 为低功耗, “XX” 为时钟 “秒”。

模式 8 测试低功耗状态 B (LPM3)，进入此模式后系统关闭 2s，定时测温，同时关闭 LCD 显示，仅 RTC 时钟运行系统处于 LPM3 模式下。

## 2. 设置按键 (SET\_KEY) 在模式 2、模式 4 和模式

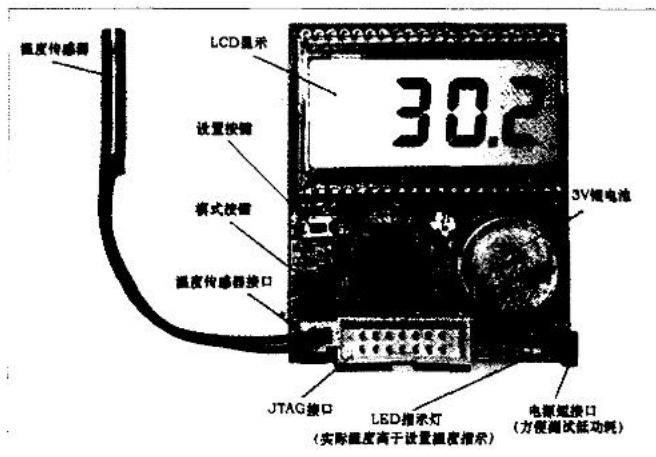


图 4

5 状态下, "SET\_KEY" 键有效, 用来调整当前模式的内

容。模式 2 状态时 每按一次 "SET\_KEY" 键, 温度增加 1℃ 或 1F, 以℃为单位时在 14~50℃ 范围内调整, 以 F 为单位时在 60~95F 范围内调整; 模式 4 状态时 每按一次 "SET\_KEY" 键, 时钟 "分" 在 0~59 范围内调整增加 1; 模式 5 状态时 每按一次 "SET\_KEY" 键, 时钟 "时" 在 0~12 范围内增加 1。

**中断和低功耗模式分配** A-CLK 为系统时钟源, 为充分体现低功耗, 程序要求分时工作的同时尽可能进入合理的睡眠模式, 并利用中断模式唤醒。简单列举睡眠模式和中断唤醒: LPM0 模式时 5ms 电容充电中断, LPM3 模式

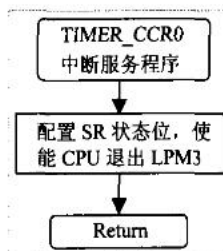


图 5

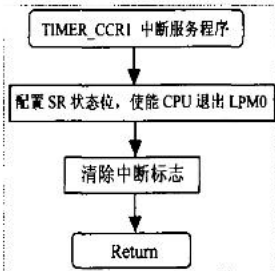


图 6

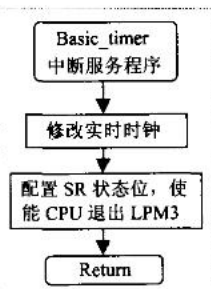


图 7

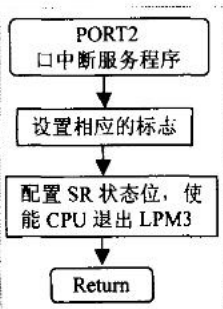


图 8

时 0.5s 定时中断, 20ms 键盘消抖中断, 放电检测中断; 同时 1s 内可以分时完成如修改时钟、测量温度、修改显示、扫描键盘以及温度设定和时钟设定等工作。

温控仪的实物图如图 4 所示。

软件设计 各中断服务程序及主程序流程图分别如图 5、图 6、图 7、图 8、图 9 所示。

### 功耗分析

系统功耗分析图如图 10 所示, 图中近似相等的时间和电流均用统一的状态标号, 不同状态标号对应的电流值和意义如表 1 所示, 系统运行时主程序循环一次所消耗的功率值如表 2 所示, 其中电容、二极管和 I/O 口的漏电流忽略不计。

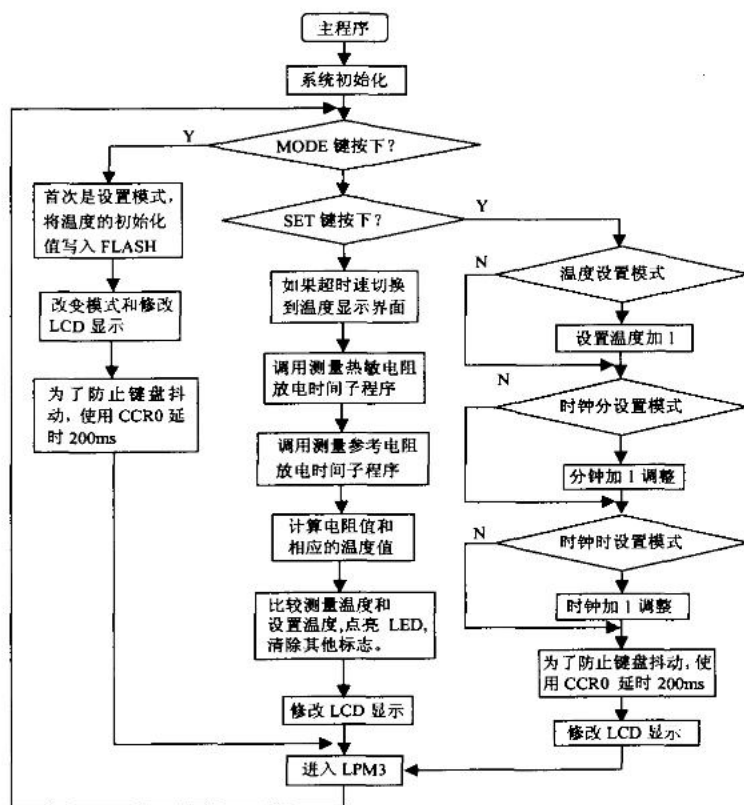


图 9

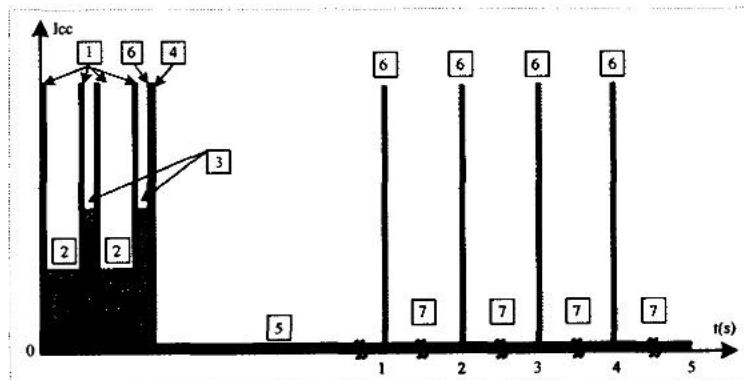


图 10

表 1

状态标记	功能描述	执行时间	工作状态	电流耗损
1	主程序运行活动模式	70 $\mu$ s(每次)	LCD 显示 CPU 运行	1 $\mu$ A+300 $\mu$ A=301 $\mu$ A
2	电容充电	5.000ms(每次)	LCD 显示 CPU 睡眠 (LPM0)	1 $\mu$ A+94 $\mu$ A=95 $\mu$ A
3	电容放电	1.400ms(每次)	比较器 A 运行 LCD 显示 CPU 运行	47 $\mu$ A+1 $\mu$ A+94 $\mu$ A =142 $\mu$ A
4	主程序放电处理	310 $\mu$ s	LCD 显示 CPU 运行	1 $\mu$ A+300 $\mu$ A=301 $\mu$ A
5	睡眠	985.955ms	LCD 显示 CPU 睡眠 (LPM3)	1 $\mu$ A+0.9 $\mu$ A=1.9 $\mu$ A
6	每秒钟修改时钟 并显示	247 $\mu$ s(每次)	LCD 显示 CPU 运行	1 $\mu$ A+300 $\mu$ A=301 $\mu$ A
7	睡眠	999.753ms(每次)	LCD 显示 CPU 睡眠 (LPM3)	1 $\mu$ A+0.9 $\mu$ A=1.9 $\mu$ A

表 2

状态标记	执行次数	电流(典型值)	持续时间	总时间	$\mu$ A-ms
1	4	301 $\mu$ A	0.070ms	0.28ms	84.28
2	2	95 $\mu$ A	5.000ms	10.000ms	950.00
3	2	142 $\mu$ A	1.400ms	2.800ms	397.60
4	1	301 $\mu$ A	0.310ms	0.310ms	93.31
5	1	1.9 $\mu$ A	986.61ms	986.61ms	1874.559
6	1	301 $\mu$ A	0.720ms	0.720ms	216.72
7	1	1.9 $\mu$ A	999.280ms	999.280ms	1898.632
				2s	5515.101
					2.757 $\mu$ A/s

## MSP430 样品、学习板或开发板套件申请表

申请注意事项 (请仔细阅读, 复印有效)

1. 请按下面表格认真填写您的详细信息, 可另附页详细描述您的项目方案、开发周期及今后产量等, 项目方案可以有方案框图、方案要达到的指标、方案内容或原理的描述等, 您描述的越仔细清楚, 我们越容易根据您的描述批准申请表, MSP430 样品、学习板或开发套件的型号可以从利尔达科技有限公司网站([www.lierda.com](http://www.lierda.com))获得。我们会认真阅读每位读者的来信, 尽快答复, 若编辑部解决不了您的问题, 我们会及时将您的来信与利尔达科技有限

公司联系, 根据您的方案提供样品、资料等技术支持, 并会对您所提供的信息保密。

2. 因样品、学习板或开发板有限, 我们有可能根据您的方案, 对您申请的物品进行适当的调整, 我们也不能承诺某一时间内某一申请人一定能申请到所需的物品, 请您谅解。

3. 填写完后请您将申请表按页脚地址邮到编辑部, 如您对此条款有异议, 请及时与我们联系。

姓名: \_\_\_\_\_ 部门/职位/学校: \_\_\_\_\_

公司: \_\_\_\_\_

申请型号: \_\_\_\_\_

地址: \_\_\_\_\_ 邮编: \_\_\_\_\_

电话: \_\_\_\_\_ 邮件: \_\_\_\_\_

方案叙述 (可附页):

---



---



---

地址: 北京市海淀区玉渊潭南路普惠南里 13 号楼 通讯处: 北京 165 信箱 邮编: 100036

编辑部: 010-68278179 广告部: 010-68278572 传真: 010-68278572

网址: <http://www.eleworld.com> E-mail: [dzs@public.bta.net.cn](mailto:dzs@public.bta.net.cn)