

基于 MSP430 的低功耗温度采集仪

甄兰兰 沈昱明

(上海理工大学光电学院 上海 200093)

摘要: 详细介绍了基于美国 TI 公司的新型超低功耗芯片 MSP430F13X 的温度采集仪的工作原理及软硬件设计方法, 采用 MSP430F13X 的软件模拟 A/D 转换技术实现温度测量。该技术应用了 MSP430F41X 内置的精密比较器, 通过软件编程来实现 A/D 转换, 其优势在于充分利用了 MSP430 内部资源, 使得外围元器件最少, 功耗极低。特别地, A/D 转换精度可由用户根据具体需要通过软件设置, 开发成本低。系统设计思想对超低功耗、微型便携式的智能化检测仪表的研究和开发具有一定的参考价值。

关键词: MSP430 低功耗 A/D 转换

0 前言

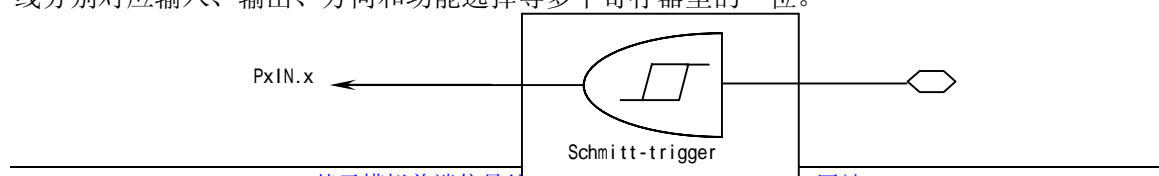
在铂电阻测温的大多数应用中, 温度采集部分的硬件电路设计通常采用精密电桥或者恒流源, 然后经 A/D 转换器来实现模数转换。该方法除功耗大, 需要外围 A/D 等器件外, A/D 转换精度依赖于精密电桥的结构及参数选择。无论那一种方法, 都不能满足时下对便携式数字化仪表的高精度和低功耗的双重要求。当测量精度要求较高时, 复杂的调理电路和高位数的 A/D 转换器, 都使得微处理器的外围元器件越来越多, 从而使成本上升的同时, 功耗也攀升不下。鉴于此, 我们采用基于 MSP430 的转换精度可调的软件模拟 A/D 转换技术, 通过软件编程实现温度测量, A/D 转换精度可由用户根据具体需要通过软件设置, 解决了设计成本、功耗与测量精度之间的矛盾。

随着微电子技术的不断创新, 以及大规模集成电路工艺水平的不断提高, 出现了更多, 更好的低功耗、高性价比的微处理器, 从而使得嵌入式系统的设计方法不断推陈出新, 向传统的设计方法提出挑战。本文所介绍的温度采集仪采用美国 TI 公司的超低功耗 16 位微控制器——MSP430F135 作为系统级芯片, 采用其软件模拟 A/D 转换技术实现温度测量, 使得整个系统设计成本降低, 降耗节能, 而且测量精度也大大提高, 满足当代便携式温度测量系统的设计要求。

1 硬件设计

1.1 系统芯片 MSP430F135^[1]

MSP430F 系列是美国 TI 公司是美国德州仪器公司生产的一种特低功耗的 Flash 微控制器, 有“绿色微控制器(Green Mcu)”称号, 其技术特征代表了单片机的发展方向。其存储器模块是目前业界所有内部集成 Flash 存储器产品中能耗最低的一种, 消耗功率仅为其它闪存微控制器(Flash Mcu)的五分之一。同其它微控制器相比, 既缩小了线路板空间, 又降低了系统成本。该系列新型器件集成了业界领先的超低功率闪存、高性能模拟电路和一个 16 位精简指令集计算机(RISC) CPU, 指令周期可达 125ns, 且大部分指令可在一个指令周期内完成。工作电流极小, CPU 处于工作模式 LMP5 时, 电流可低至 0.1uA。另外该芯片属低电压器件, 仅需 1.8-3.6v 电压供电, 从而有效降低了系统功耗。它具有超低功耗的数控振荡器技术, 可以实现频率调节和无晶振运行。6uS 的快速启动时间可以延长待机时间并使启动更加迅速, 降低了电池的功耗。MSP430F412 片内资源丰富: 带有 3 个捕获/比较寄存器的 16 位 Timer A, 4KB Flash Rom 和 256B 的信息 Flash Ram 和 256B 的 Ram, 具有 6 个输入输出带有施密特触发器的 I/O 口(见图 1), 共 48 根 I/O 口线。I/O 端口功能强大且十分灵活, 所有的 I/O 位均可单独配置, 每一根口线分别对应输入、输出、方向和功能选择等多个寄存器里的一位。



基于模拟前端信号处理与控制技术的专业论坛、网站

图 1 I/O 口输入逻辑简图

1.2 温度传感器

温度敏感元件采用铂电阻 Pt1000，由于铂电阻性质稳定，测温范围广，且 Pt1000 的阻值范围宽，初始电阻值高，可忽略相对较小的导线电阻的影响，对电阻值的测量非常有利。铂电阻在 $0^{\circ}\text{C} \sim 850^{\circ}\text{C}$ 范围内与温度的关系如下：

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2) \quad (1)$$

式中： $a = 3.96847 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$

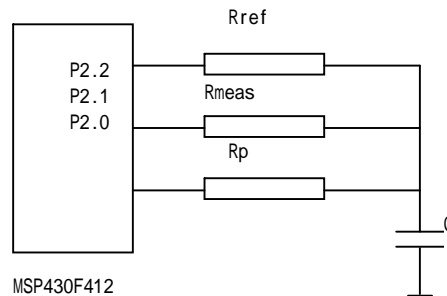
$$b = -5.847 \times 10^{-7} / ^{\circ}\text{C}$$

温度的标度变换采用查表和线性插值相结合的方法^[2]，即以温度增加 1°C 对应的绝对电阻值建立温度表，将测得的电阻值与表格内电阻值进行比较，直到 $R_n < R < R_{n+1}$ 时停止比较。此时 R_n 所对应的温度值 q_n 为所测温度的整数部分，而温度的小数部分为：

$$\Delta q = q - q_n = (R - R_n) / (R_{n+1} - R_n) \quad (0^{\circ}\text{C} < \Delta q < 1^{\circ}\text{C})$$

1.3 工作原理

温度测量原理为：应用电容充放电把被测电阻值转换成时间，而时间的测量可以利用 MSP430 内部的捕获比较寄存器准确捕捉，从而测量出热敏电阻的阻值，间接获得温度值。温度检测的电路结构如图 2 所示。



图中 Rref 是参考电阻，用于定标；Rmeas 即铂电阻；Rp 是限流电阻，用于电容放电过程中限制 P2.0 口的放电电流。

工作过程如下：首先令 P2.2 口置位，输出高电平 V_{cc} 通过标准电阻对电容定时充电，定时间到，端口复位，使电容放电，放电过程一直持续到电容上的电压降到 P2.2 口的“0”电平上限为止^[3]。截止时刻由 Timer_a 内部的捕捉器通过捕捉入口 P2.0 准确地捕捉，这一段放电时间可标记为 Tref。然后，对 P2.1 施以同样的操作，可获得电容通过被测电阻放电的时间 Tmeas。最后比较 Tref 和 Tmeas，可由下式计算出被测电阻值：

$$R_{meas} = R_{ref} \times T_{meas} / T_{ref} \quad (2)$$

计算公式(2)证明如下：

因为： $T_{meas} / T_{ref} = (-R_{meas} \times C \times \ln(V_{ref} / V_{cc})) / (-R_{ref} \times C \times \ln(V_{ref} / V_{cc}))$

所以 $T_{meas} / T_{ref} = R_{meas} / R_{ref}$

则 $R_{meas} = R_{ref} \times (T_{meas} / T_{ref})$

式中 R_{meas} 一被测热敏电阻， T_{meas} 一被测元件放电时间， T_{ref} 一参考元件放电时间， R_{ref} 一参考精密电阻。

由(2)式可以看出，只要电压和电容的值在测量中保持稳定，电压和电容的具体取值是不重要的，这是因为在比例测量原理中，这些因素在计算过程中被消除。因此，尽管仪表的供电电池的电压具有离散性，并且该电压会随着时间的推移逐渐减小，但是由于被测电阻值的测量与

电源电压值的大小毫无关系，所以该测量方法具有电源电压自补偿特性。

R_p 的取值一般为 $100\Omega \sim 200\Omega$ 。两个关键参数 R_{ref} 和 C 的取值取决于所要求的分辨率的位数。 R_{ref} 大约是要测量的最大电阻值的一半，而电容取值应确保当测量上限电阻值时，微处理器不会产生计数过头的现象。例如，欲测的最大电阻为 $R_{max}=1500\Omega$ ，分辨率为 8 位（即 $2^8=256$ 个测量周期），时钟为 $6MHz$ ， $V_{cc}=3V$ ， $V_{IL}=0.6V$ ，参考电阻 $R_{ref}=750\Omega$ ，一次计数时间是 12 个振荡周期，则达到 8 位分辨率所需的测量时间为

$$T = -R_{max} C \ln(V_{IL} / V_{cc}) = 256 \times 12 / 6 = 512ms$$

因此可得电容为：

$$C = \frac{-T}{R_{max} \ln(V_{IL} / V_{cc})} = \frac{-512}{1500 \ln(0.6/3)} = 212pF$$

实际应用的电容应比 C 稍小。

2 软件设计

系统软件包括主程序、定时中断服务程序，和一系列子程序组成。主程序完成单片机的初始化，以及等待中断。定时中断服务程序包括定时充电程序、放电时间测量程序（流程图如图 3 所示）和数据处理子程序。被测电阻的测量精度取决于放电时间的测量周期数，例如，当所需分辨率为 10 位时，可设置计数器的最大值为 2^{10} （1024 个测量周期）。

3 电源管理低功耗设计策略^[4]

要想最大效率地利用电池的能量，延长便携式仪表的电池使用寿命，除了选择低电压低功耗器件为硬件的基础外，必须编制具有灵活的电源管理功能的软件。

(1) 微处理器内部的基本模块都有各自的电源开关，只有在使用时才打开。例如，进行温度采样时，启动定时器 $Timer_a$ ，开始捕获；采样结束时，立即关闭定时器，禁止捕获。

(2) 由于温度属时慢变参数，因而温度的采集采用定时中断方式不会影响测量的结果。CPU 初始化后立即进入低功耗模式，等待中断。定时器中断将唤醒 CPU 进行温度采集、数据处理，并将此时的温度值存入 Flash Ram 中，处理完毕后，CPU 再次进入低功耗模式。

(3) 对 CPU 状态的智能化管理。MSP430 单片机具有 5 种低功耗模式 (Low power mode)，LMP0~LMP4 (序号越高，该模式下的功耗越低)。当不进行温度采集时，CPU 处于低功耗模式 LMP3。 $V_{cc}=3V$ ， $f_{(ACLK)}=32768Hz$ ，该模式下的工作电流只有 $2\mu A$ 。从低功耗模式到工作模式的转换时间小于 $6\mu S$ 。

(4) 为了降低电流的消耗，温度检测电路里用到的 3 根 I/O 口线，平时均处于高阻态，在数据采集过程中 CPU 将相应的口线切换到输出状态。

(5) 增加电源检测功能。一旦电池电压不足，强迫 CPU 处于 LMP4 模式。在该模式下，整机所消耗的电流几乎为零。LMP4 只能由被允许的外部中断事件唤醒。

4 结束语

随着功能强大的高速微处理器的出现，许多的数字化仪表和数据采集系统都将部分的硬件功能转移到软件上来实现，降低硬件设计的难度。硬件功能软件化的优势在于使得外围元器件

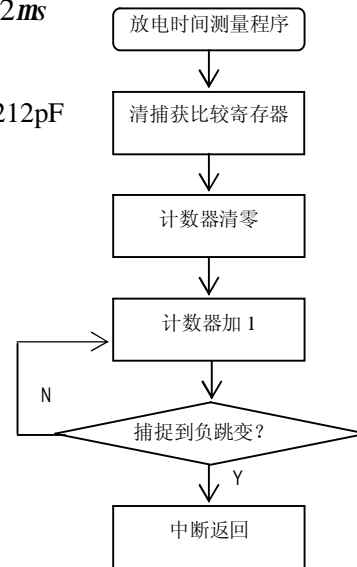


图 3 应用程序流程图

最少，功耗极低，而且部分参数可调，增强了系统的灵活性。本文所介绍的温度数据采集系统以价格低廉的 MSP430F412 为核心，仅使用很少的外部元件实现温度测量，使系统功耗极低，设计成本下降。该系统充分利用了微处理器的内部资源，通过软件校正提高测量精度，在较大的温度范围内达到了 0.1℃ 以上的测量精度，而且可以根据具体需要，A/D 转换精度可方便地通过软件设置。该系统设计思想对超低功耗、微型便携式的智能化检测仪表的研究和开发具有一定的参考价值。

参考文献

- 1 胡大可，MSP430 系列 Flash 型超低功耗 16 位单片机，北京，北京航空航天大学出版社，2001
- 2 金海龙，基于 MSP430 的高精度温度测量的补偿方法，单片机与嵌入式系统应用，2001，7，51—53
- 3 蔡纯洁，邢武，PIC16/17 单片机原理和应用，合肥，中国科学技术大学出版社，1997
- 4 徐太忠，邹高平，便携式电子系统的低功耗设计，单片机与嵌入式系统应用，2001，8，11—13