

基于单片机的 RC 振荡 R/F 多路测温系统设计

海 涛¹,李昭勇¹,廖炜斌²,林 波³

(1.广西大学 电气工程学院,南宁 530004;2.广西公安厅交警总队科研所,南宁 530001;

3.广西比迪光电科技工程有限责任公司,南宁 530031)

摘要:由热敏电阻与非门构成RC振荡电路,将热敏电阻阻值转化为频率信号。单片机通过测到的振荡频率,采用拟合法计算出相应的温度值。利用单片机间歇控制非门电源,实现多路快速测温。在实际使用过程中表明,该装置廉价实用,能实现远距离和较高精度的温度测量。

关键词:热敏电阻;RC振荡电路;频率;多路测温;线性分段拟合;精度

中图分类号:TP216 **文献标志码:**A

Design of the RC Oscillator R/F Multi-channel Temperature Measurement System Based on the Microcontroller

HAI Tao¹,LI Zhao-yong¹,LIAO Wei-bin²,LIN Bo³

(1.School of Electrical Engineering,Guangxi University,Nanning 530004,China;2.Guangxi Public Security Bureau Traffic Police Corps Research Institutes,Nanning 530001,China;3.Guangxi Bidi Photoelectric Technology Engineering Co.,Ltd.,Nanning 530031,China)

Abstract:The RC oscillator circuit which constitute by the thermistor and the NAND gate,turn the thermistor resistance into a frequency signal. Microcontroller take the fitting method by measuring the oscillation frequency to calculated the corresponding temperature values,By controlling the NOT gate power intermittently,the system achieve multiple rapid temperature measurement.The actual use show that the system was cheap and practical,and can achieve Long-distance and high precision temperature measurement.

Key words:thermistor;RC oscillator circuit;frequency;multi-channel temperature measurement;linear piecewise fitting;precision

温度测量广泛地应用于各领域中,通常是先将电阻变化转换为电压信号,经调理后,送入 A/D 转换器完成温度采集,该测量方法需要解决温漂、测量引线短、成本高等问题^[1-2]。现提出一种实用简易的测温方法:通过 RC 振荡器 R/F 转换,实现热敏电阻阻值 R 到振荡频率 F 的转换,经过 LPC1114 单片机的外中断最终获得被测温度值。对于民用测温

产品,性能与价格很难兼顾。热敏电阻的特点是灵敏度高、电阻值大,连接热敏电阻的引线长度也可达 200 m,可实现较远距离测温,且引线长度造成的误差可忽略,该温度测量系统的电路简单、经济^[3]。此研究在太阳能热水器的水温检测中已经正式投入使用,采用此方法,对于提高产品性能、降低成本具有一定的实用意义。

收稿日期:2012-08-17;修订日期:2012-10-08

作者简介:海涛(1963—),男,高级工程师,硕士生导师,主要从事自动控制与检测装置及太阳能综合应用的研究;李昭勇(1983—),男,硕士研究生,研究方向为自动控制装置。

1 RC 振荡器及测温方法

RC 振荡原理如图 1 所示^[4]。

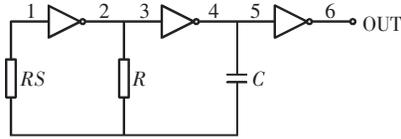


图 1 RC 振荡器
Fig.1 RC oscillator

非门输出的周期参数直接取决于电路中阻容元件 RC 的数值,其周期可表示为^[5]:

$$t=(1.4\sim 2.2)RC \text{ 即 } F=\frac{1}{KRC}, K \text{ 是一个系数。}$$

当电容 C 为固定值时,热敏电阻阻值随着温度的变化而变化,RC 振荡器的输出振荡周期也相应的发生变化。传统测温方法是测得振荡周期,算出热敏电阻阻值,通过查阻值/温度表,得到被测温度值,这种方法有一定的缺陷:周期 t 和 RC 之间、电阻 R 和温度值 T 之间是非线性的,虽可以通过线性化的方法线性化 t 和 RC, R 和 T 之间的关系,但最终的计算结果会造成两次误差累计,增大计算误差。现提出通过振荡频率和被测温度值之间的关系,构造一元线性分段拟合函数,利用单片机测量出的频率值代入一元线性分段拟合函数换算得到相对应的温度值。以单片机 LPC1114 为控制器核心,对温度传感器信号进行检测并从硬件和软件两方面进行误差校正及补偿,对温度控制采用相关的控制算法,并在实验室中通过反复调试控制参数^[6]。

2 硬件及控制方法

2.1 热敏电阻选取及其参数

选取 NTC 热敏电阻作为传感器探头,NTC 是指具有负温度系数的热敏电阻。具有温度特性波动小、对各种温度变化响应快的特点,可实现高灵敏度、高精度的检测^[7]。其阻值和温度的关系可表示为

$$R_T=R_{T_0}\exp\left[\beta\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)\right]$$

其中: R_T 为温度 T 时的阻值; R_{T_0} 为温度 T_0 时的阻值; T, T_0 的单位是 K; β 为热敏电阻的材料系数,可见 R_T 与 T 呈指数关系,要实现线性关系,需要进行线性补偿^[8-9]。

热敏电阻阻值与温度之间的部分对应关系如表 1 所示。

表 1 NTC10K 阻值/温度表
Tab.1 NTC10k resistance / temperature

温度/ (°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
阻值/ Ω	33620	20174	12535	8037	5301	3588	2486	1759	1270	933	697	529	407

2.2 控制器的选取

采用的核心控制芯片为 NXP 公司开发的基于 Cortex-M3 核心的 Arm 单片机 LPC1114,是为嵌入式系统应用而设计的高性能、低功耗的 32 位微处理器。

2.3 系统硬件电路及控制

RC 振荡硬件电路图,如图 2 所示。

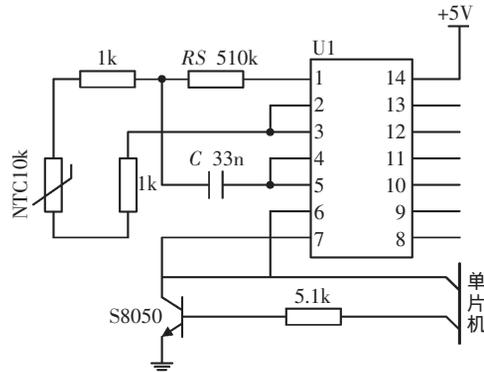


图 2 RC 振荡硬件电路
Fig.2 RC oscillator hardware circuit

由图 1 可知一路 RC 振荡需要 3 个非门,而一片 74HC04 包含 6 个非门,可实现 2 路测温。图 2 中 U1 代表 74HC04,NTC10K 作为温度传感器,U1 的第 7 脚是工作地,第 6、8 脚是频率输出端,U1 右边的电路和左半边电路一致,省略不画。以两路为例,电路工作控制方法如图 3 所示。

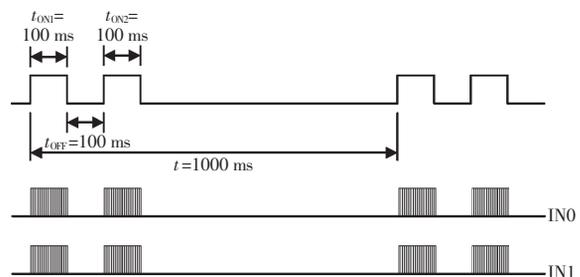


图 3 单片机输出控制波形

Fig.3 Output control waveforms of microcontroller

根据采集温度实时性的需求,周期性间歇控制三极管 S8050 的导通。采用每隔 1 s,输出 2 个 100 ms

的高电平驱动三极管 S8050, 用于控制 U1 的通断。如图 3, 在 $t_{ON1}=100\text{ ms}$ 期间内, 单片机 IN1 中断关闭, IN0 中断打开, 计数 U1 第 6 脚输出脉冲个数 N , 并把 N 定义为 100 ms 内测得的频率 f 。同理在 $t_{ON2}=100\text{ ms}$ 期间, 单片机 IN0 中断关闭, IN1 中断打开, 计数 U1 第 8 脚输出脉冲个数 N 。单片机程序流程图如图 4 所示。

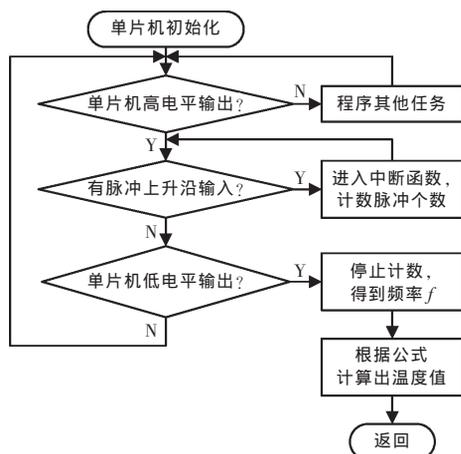


图 4 温度测量子程序流程图

Fig.4 Flow chart of temperature subroutine

3 实验波形

当被测温度为 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 测量出电路实际输出波形如图 5 所示。

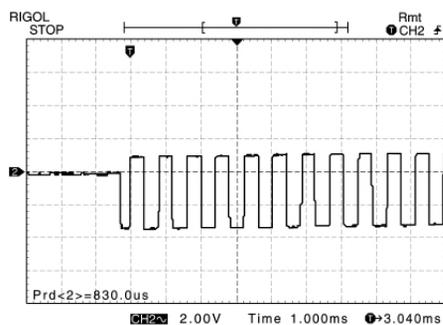


图 5 输出频率波形

Fig.5 Output of frequency waveforms

4 多路测温

多路测温系统的电路框架如图 6 所示。

$U1, U2, U_n$ 为 74HC04 标号; $IN0, IN1, IN_i$ 为单片机接收中断的引脚; $CTR1, CTR2, CTR_n$ 是单片机发出控制信号引脚。多路控制方式原理和两路相同, 单片机依次计数单位时间内 $IN0, IN1, IN_i$ 的脉冲个数, 分别计算得到对应的温度值。

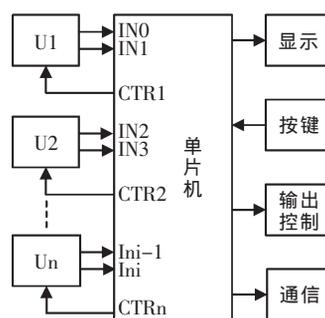


图 6 多路测温系统示意图

Fig.6 Multi-channel temperature measurement system

5 频率信号与温度的调理标定

热敏电阻阻值与温度的关系是非线性的, 所以振荡频率和温度值的关系也是非线性关系, 应用时需进行线性化处理^[10]。可根据实际测量范围和测量精度的要求选用不同的线性校正方法。在实际电路设计过程中使用查表法、数学公式法两种方法, 得到了很好的线性化结果。

5.1 查表法

使用恒温槽确定温度-频率之间的直接对应关系, 跳过电阻的计算过程。恒温槽对槽内液体的温度能精确地控温(控温精度是 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 甚至是 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$)。把热敏电阻 NTC10K 置于恒温槽中, 根据实际测温范围和精度的需要, 调节恒温槽的每个温度值, 同时分别记下每个温度值所对应的输出震荡频率的大小。实际使用热敏电阻 R/F 测温的时候, 所测得的频率信号, 采用直接查表法, 可得到所对应的温度值, 该方法直接, 但要测量的频率参数较多, 且频率会在小范围内波动, 给查表法带来一定的难度。

5.2 数学公式法

5.2.1 采用最小二乘法一元线性分段拟合

设变量 T 与 f 成线性关系, 即 $T=a_0+a_1f$, 现已知 m 个实验点 $f_i, T_i(i=1, 2, m)$ 求两个未知参数 a_0, a_1 。

由最小二乘法原理参数 a_0, a_1 使 $s(a_0, a_1) = \sum_{i=1}^m (T_i - a_0 - a_1 f_i)^2$ 取得极小值。根据极小值的求法, a_0 和 a_1 满足:

$$\begin{cases} \frac{\partial s}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^m (T_i - a_0 - a_1 f_i) = 0 \\ \frac{\partial s}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^m (T_i - a_0 - a_1 f_i) f_i = 0 \end{cases}$$

$$\text{即: } \begin{cases} a_0 + \frac{a_1}{m} \sum_{i=1}^m f_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_i \\ a_0 \sum_{i=1}^m f_i + a_1 \sum_{i=1}^m f_i^2 = \sum_{i=1}^m f_i T_i \end{cases}$$

从中解得 a_0, a_1 :

$$\begin{cases} a_0 = \bar{T} - a_1 \bar{f} \\ a_1 = \left(\sum_{i=1}^m f_i T_i - m \bar{f} \bar{T} \right) / \left(\sum_{i=1}^m f_i^2 - m (\bar{f})^2 \right) \end{cases}$$

其中: $\bar{f} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_i$; $\bar{T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_i$ 。从而求得线性化频率和温度之间的关系。

最小二乘法一元线性分段拟合法较为精确,但其要采集较多的实验参数,计算繁琐,且单片机不易于实现其算法,被测温度精度要求较高时,可以采用。

5.2.2 采用一元线性分段拟合法

把温度/频率之间的非线性关系分段拟合成为若干段线性关系。方法如下:把热敏电阻探头置于恒温槽中,不断调节恒温槽的温度,每隔 10 °C,记录测得的频率值(注:频率值定义为 100 ms 测得的脉冲个数)。测得实验数据如表 2 所示。

表 2 温度/频率实验数据

Tab.2 Temperature / frequency experimental data

温度/ (°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
频率/ (Hz)	29	43	65	90	127	163	200	235	270	300	340

根据表 2 T/f 的对应关系,用一元线性分段拟合法线性化曲线绘制出 T/f 曲线图如图 7 所示。

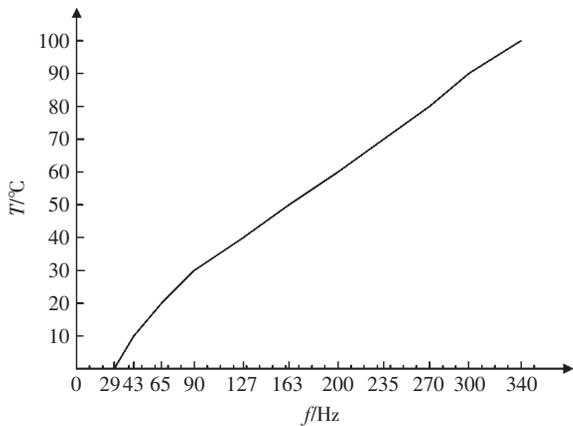


图 7 T/f 分段线性拟合曲线图

Fig.7 Piecewise linear fitting curves

程序根据测得的频率值,判断其大小,代入对应的 T/f 关系式,算得温度值。一元线性分段拟合法给出公式如下:

$$T = T_n + \frac{T_{n+1} - T_n}{f_{n+1} - f_n} (f - f_n)$$

式中: T 为被测对象的拟合计算温度值; T_n 为第 n 段线段的起始温度值; T_{n+1} 为第 $n+1$ 段线段的终止温度值; f_n 为第 n 段线段的起始频率值; f_{n+1} 为第 $n+1$ 段线段的终止频率值; f 为实测得的频率值,且 $f_n \leq f \leq f_{n+1}$, n 取值 $0, 1, 2, \dots$ 。取 $n=2$ 这条线段为例,现测得采样频率 $f=75$,即 $65 \leq f \leq 90$,带入上式公式,

$$T = T_2 + \frac{T_3 - T_2}{f_3 - f_2} (f - f_2)$$

$$\text{即 } T = 20 + \frac{30 - 20}{90 - 65} (75 - 65), \text{ 算得 } T = 24 \text{ } ^\circ\text{C}。$$

实验证明:分段线性切线拟合法计算简单,单片机容易实现此算法,且稳定可靠,有一定的精度,绝对误差 $< 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。实验以每 10 °C 刻画一条线段,可根据实际精度要求,进一步细分线性,理论上,拟合的线段越多,精度越高。

6 误差与精度分析

6.1 精度的提高

$$(1) \text{RC 震荡频率公式 } f = \frac{1}{KC} \cdot \frac{1}{R}, \text{ 等效于 } f = K^* \cdot$$

R^* , 其中 $K^* = \frac{1}{KC}$, $R^* = \frac{1}{R}$, 适当的减小电容 C 的值,相当于提高系数 K^* 值,单位时间内检测到的频率值就成倍数的增加,有利于提高检测的灵敏度,减小误差。

(2) 多路测温时,尽量选择同一批次生产、规格型号相同一致性高的热敏电阻和高速非门,可以有效减小由于器件不一致性引起的误差。

6.2 误差分析

(1) 由于温度值和频率值之间的关系是非线性的,使用一元分段拟合函数线性化它们之间的关系,会有一定范围的误差。

(2) 单片机测得频率值 f 是 100 ms 内的震荡脉冲个数,对应到被测温度时,精度降低。

(3) 由于 RC 震荡的频率在小范围内波动,也会引起测量误差。

6.3 实验温度数据

从表 3 可以看出, $0 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ 实验测得误差小于 $0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$, 可以满足一般性的温度测量需求。

表3 实际温度/测得温度/误差数据表

Tab.3 Data table of actual temperature/measuring temperature/error

实际温度/($^{\circ}\text{C}$)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
测得温度/($^{\circ}\text{C}$)	0	4.9	10.1	14.8	19.9	24.8	30.1	34.8	40.2	45.2	49.8	54.8	60.1	64.7	70.1	75.2	79.9	84.7	90.3	94.6
误差/($^{\circ}\text{C}$)	0	-0.1	+0.1	-0.2	-0.1	-0.2	+0.1	-0.2	+0.2	+0.2	-0.2	-0.2	+0.1	-0.3	+0.1	+0.2	-0.1	-0.3	+0.3	-0.4

7 结语

提出了一种新的热敏电阻测温方法,即把阻值信号转化为频率信号,根据一元线性分段拟合法算出被测温度值,给出详细的设计过程,结果已得到实践证明。基于单片机的 RC 震荡 R/F 测温系统,其具有设计简单、成本低、热敏电阻探头引线长、抗干扰能力强等优点。适用范围较广,可用于大棚蔬菜测温、太阳能热水器以及各种测温系统。由于输出震荡频率 f 仅与热敏电阻 R 和电容 C 有关,与常规系统测温电路相比,成本低廉、可靠性高,其显著优点是可以在较远距离测量温度。

参考文献:

- [1] 沈恒,李舜韶,周华鹏,等.高精度铂电阻温度测量新方法[J].压电与声光,2010,32(5):889-893.

(上接第 29 页)传输,只有总线空闲才能发送自己的数据;当两节点同时发送数据时就会出现总线冲突,优先级高的会优先获得总线使用权首先发送数据;优先级低的节点则时刻检测总线,只有优先级高的节点传输完毕,才能传输。本设计对这种传输仲裁进行测试,让主节点 1 向所有节点发送广播命令帧,节点收到命令后同时传输数据,冲突仲裁波形如图 7 所示。

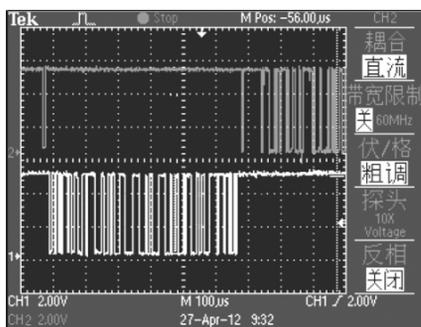


图7 CAN 总线冲突传输“仲裁”波形

Fig.7 Arbitration waveform of transmission conflict for the CAN-bus

图中高优先级的通道 1 显示的 CAN 节点数据抢占了低优先级的通道 2 显示的 CAN 节点数据传输,通道 2 数据等通道 1 数据发送完毕方才进行自

- [2] 刘二林,姜香菊.基于热敏电阻的新型温度检测装置研究与实现[J].自动化与仪器仪表,2010(2):84-86.
- [3] 冯荣达,曹柏荣.基于热敏电阻的多点温度测量系统[J].单片机开发与应用,2008,24(4-2):110-111.
- [4] 阎石.数字电子技术基础[M].5版.北京:高等教育出版社,2006:480-486.
- [5] 丁超,张科峰,王磊.一种新型高精度数字 RC 振荡电路[J].计算机与数字工程,2007,35(11):167-169.
- [6] 文小玲,易先军,曾涛.高精度温度测控系统[J].仪表技术与传感器,2007(8):46-50.
- [7] 宋大雷,宋国永,田川,等.一种新型低成本海洋测温仪的研制[J].中国海洋大学学报,2012,42(1-2):157-162.
- [8] 季渊,徐美华,唐智杰.新型单片机水温自适应测控系统[J].自动化仪表,2004,25(9):51-54.
- [9] 张鹏超,张强.一种 NTC 热敏电阻校正方程的试验研究[J].传感技术学报,2012,25(2):220-223.
- [10] 沙占友,王彦朋,杜之涛.NTC 热敏电阻的线性化及其应用[J].自动化仪表,2004,25(9):28-30.

己的数据传输。

7 结语

考虑到航天工业现场的恶劣环境,对总线电缆及 CAN 主节点进行了冗余设计,可灵活地切换备用总线和备用节点,保证了通信系统数据传输的可靠性。利用 CAN 总线通讯的高速率,实现多节点(或多通信系统)之间的数据传输。该系统经反复测试,在总线或通道处引入故障时,备用总线和备份节点均能顺利进行切换,并保障通讯正常。本设计满足航天工业现场对通信系统的需求,目前已经成功应用于某信号航天测试系统中,该方案可灵活、快捷地扩展 CAN 网络中的通信节点。

参考文献:

- [1] 郭晓松,王振业,于传强,等.基于 CAN 总线的容错冗余技术研究[J].计算机测量与控制,2009,17(1):60-63.
- [2] 孙立辉,原亮.基于 CAN 总线的双机冗余系统设计方法[J].单片机与嵌入式系统应用,2002(9):33-35.
- [3] 冯源,向桂林,李军.基于 C8051 的冗余 CAN 总线智能节点设计[J].航空计算技术,2008,38(5):107-110.
- [4] 王红亮,田帅帅.基于节点冗余的 CAN 总线网络双冗余方法[J].探测与控制学报,2010,32(4):90-94.