

The Design of Quartz Temperature Sensor for Remote Thermometer*

ZHANG Fucui^{1*}, SUN Peng¹, WANG Zhichao²

(1. Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150022, China;
2. The No. 205 Institute of China Ordnance Industry Corporation Group, Xi'an 710065, China)

Abstract: The paper introduces the digital quartz thermometer designed with Y cut crystal sensor, it has better linear relationship between output frequency signal and temperature, and overcomes the problem of analog sensor temperature and time drift, etc. The quartz thermometer can be used for high-precision temperature measurement and control system. The experimental results show, the digital quartz thermometer resolution is 0.05 °C. Finally, the system uses wireless data module to realize the temperature data transmission.

Key words: thermometer; sensor; resolution; wireless data module

EEACC: 7230 doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2013.09.026

石英温度传感器遥测温度计的设计*

张福才^{1*}, 孙 鹏¹, 王智超²

(1. 黑龙江科技大学电气与控制工程学院, 哈尔滨 150022; 2. 中国兵器工业集团第 205 研究所, 西安 710065)

摘 要: 文章介绍了 Y 切型石英晶体作为传感器的数字温度计, 其输出的频率信号与温度存在较好的线性关系, 没有模拟传感器难以克服的温漂、时漂等问题, 这种温度计可以用于高精度的温度测量与控制系统中。实验结果显示, 该数字温度计分辨率为 0.05 °C。最终系统使用无线数据模块实现了温度数据的传输。

关键词: 温度计; 传感器; 分辨率; 无线数据模块

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2013)09-1314-03

温度是一个基本的物理量, 在许多情况下人们希望能够快速、准确地对其进行测量, 特别是一些人员不便进入的场合, 如对高山、海洋等区域实现温度的遥测就有着重要的意义。何瑾、王玉娟等人对 Y 切型的石英晶体的理论和实现已经做了初步的探索^[1-3]; 孙鹏等人对石英晶体的测量精度和数据处理方法提出了改进的方法并做了试验验证^[4-6]。本文在上述人员研究的基础上, 利用 Y 切型温度传感器其输出的频率信号与温度信号之间的比例关系, 设计出了一种具有较高测量和重复性的无线温度测量系统, 该系统具有温度测量准确、响应速度快、体积小等优点。

1 温度计测量原理

温度计测温电路由振荡电路、差频电路、频率计和微处理器组成。石英晶体温度传感器选择的是 Epson 生产 Y 切型温度传感器 HTS-206, 其振荡频率在 40 kHz 附近。测温晶体输出与被测温度相关的频率信号, 参考晶体采用的是 OCXO(T2) 晶体模块, 其

输出频率可以看作与温度无关(其输出的频率基本不受温度影响), 二者的频率通过差频电路整形后得到几百赫兹的方波, 该方波作为门控信号, 从而实现 OCXO(T1) 频率的计数功能, 这个计数结果送入单片机进行温度的计算, 最后由显示电路驱动 LCD 显示器进行显示。测量原理框图如图 1 所示。

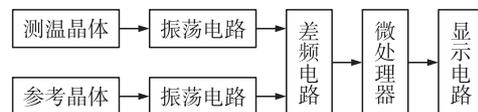


图 1 无线温度计遥测系统原理框图

2 石英晶体传感器的原理

本设计中, 选择石英晶体作为温度传感器, 其频率-温度特性为:

$$f(T) = f_0(T) + f_0 \sum_{n=1}^{\infty} T_f^{(n)} (T - T_0)^n \quad (1)$$

为了保证良好的频率-温度成为良好的线性关系, 石英晶体的 $T_f^{(1)}$ 要远大于其余各项, 最佳状态

是 $T_f^{(1)}$ 后面的所有项都为零,但实际生产过程中很难做到这一点^[4]。从文献[3,4]中,对于Y切型石英晶体,其一阶温度系数 $T_f^{(1)} \approx 4 \times 10^{-5}$ 度, $T_f^{(2)}$ 和 $T_f^{(3)}$ 都远小于 $T_f^{(1)}$,可以保证输出温度与频率之间良好的线性关系。

由上述分析为了后续测量方便,用式(2)代替式(1)

$$f(T) = f_0(T) + f_0 T_f^{(1)}(T - T_0) \quad (2)$$

如果可以测得频率 $f(T)$,理论上就可以求解温度 T 。但这种方法并不简单。因此,首先用它的线性近似方程(4)来求解:

$$T = \frac{f(T) - f(T_0)}{T_f^{(1)} f_0} + T_0 \quad (3)$$

通过计算得到频率 T 的修正值:

$$f = f_0 [T_f^{(2)}(T_1 - T_0)^2 + T_f^{(3)}(T_1 - T_0)^3] \quad (4)$$

为了减少计算的误差,进行了四次迭代,且记为:

$$T_5 = \frac{f(T) - f(T_4)}{T_f^{(1)} f_0} + T_4 \quad (5)$$

3 系统硬件电路设计

3.1 石英晶体振荡电路设计

为了获得所需的频率信息,我们需要用石英晶体和相关元件构成振荡电路才能获得频率信号的输出。由于传感器的精度要求高,所以要求振荡器元件的温度性能要好,石英晶体与电路的接线要短,并要求振荡电路的振荡裕度要大。参考已有的几种电路设计原理^[7-9],本文采用的石英晶体振荡电路如图2所示。

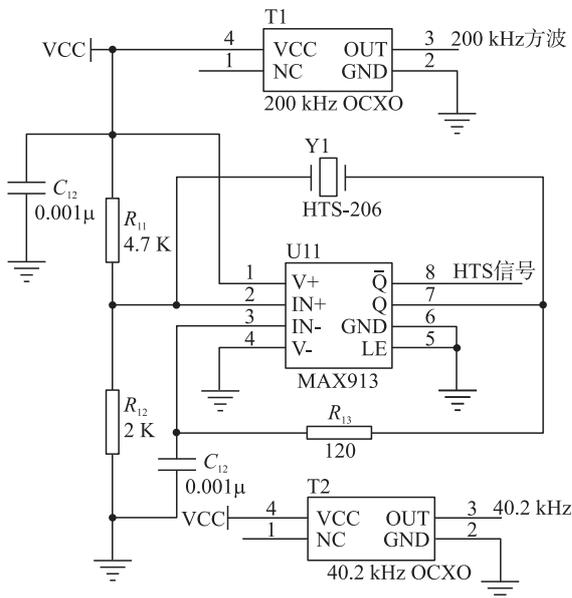


图2 传感器的典型振荡电路图

这个差频信号用于后续计数电路的门控信号,门控芯片实现对T1(OXCXO)的计数功能,计数所得的计数值与测量的温度值相对应,从而可以计算出测量的温度值。根据石英晶体HTS-206的资料可知,温度在-40℃~+85℃时,频率变化的范围约为150 Hz,即温度变化1℃时频率变化1.2 Hz,如果直接采用这个测量频率来计算温度,就不能保证温度测量的精度,所以不予采用。与文献[6]中使用的频率测量方法相比,本文设计的方法以待测的频率信号作为门控信号,用这个门控信号去测量T1(OXCXO)在这个门控周期内频率的变化量,通过这个变化量再去计算温度,该方法较大幅度地提高了测量的灵敏度,保证了测量的精度。

3.2 单片机与无线射频芯片nRF2401的接口

无线数据收发部分主要是单片机MSP430F169与nRF2401芯片的接口电路设计^[10-11]。nRF2401通过外接晶体为它提供工作所需的时钟。nRF2401还必须要有天线电路,这样才能实现数据的收发。数据采集芯片MSP430F169与nRF2401芯片通过SPI相连,由于nRF2401芯片的SPI接口只有一个数据管脚,所以该管脚与数据采集芯片MSP430F169的SPI管脚直接连接。数据采集芯片MSP430F169的SPI口两个管脚都连接到nRF2401芯片的DATA管脚,因此数据采集芯片MSP430F169的SPI管脚都需要串接10 K的电阻。另外,由于DR1为高电平有效,因此需要将P2.2管脚拉低(下拉电阻未画出)。图3为数据采集芯片MSP430F169与nRF2401芯片的接口电路原理图。

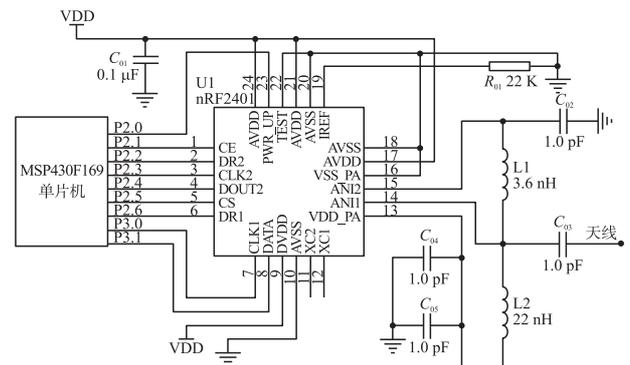


图3 MSP430F169与nRF2401芯片接口原理图

4 系统软件设计

在本设计中利用串口调试助手来选择模块的工作于发送还是接收模式,系统每隔5S检测串口,在串口没有数据时,系统进入待机状态,这种设计方式有利于降低系统的功耗。在实际操作过程中,首先对单片机和nRF2401进行初始化,nRF2401的初始

化主要包括对射频模块的收发模式、信道频率、传输数据速度、地址、校验、功率等部分的配置,其流程图如图4所示^[12-13]。

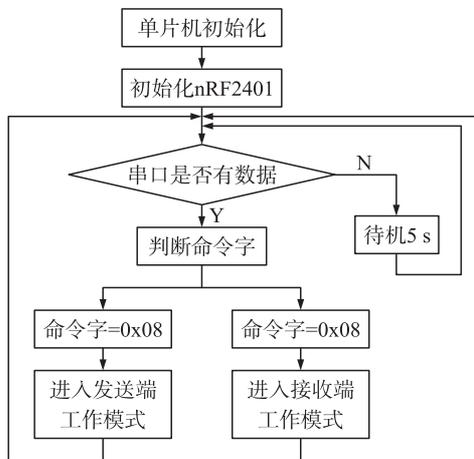


图4 主函数流程图

5 实验测量数据

表1为在实验室环境下,测得石英晶体温度传感器输出频率值与被测温度值之间的对应关系表。

表1 频率量与温度值对应关系

编号	频率/Hz	温度/℃
1	1 219	-30.01
2	1 174	-24.80
3	1 117	-17.53
4	1 079	-12.32
5	1 629	0.00
6	900	18.54
7	844	30.52
8	805	40.50
9	768	50.29

从测量数据可知,对于任何一个温度而言, $\Delta f_i/\Delta T_i \leq 1/0.05\text{ }^\circ\text{C}$ (频率/温度比),即每一个数字量可以对应 $0.05\text{ }^\circ\text{C}$ 的温度变化,此种方法构成的温度计在 $-40\text{ }^\circ\text{C} \sim 85\text{ }^\circ\text{C}$ 的温度范围内,其准确度优于 $0.05\text{ }^\circ\text{C}$ 。

6 结束语

本文介绍了MSP430F169和石英温度传感器并结合nRF2401实现的高精度数据采集及无线传输功

能。采用了间接的温度方法,实现了 $0.05\text{ }^\circ\text{C}$ 温度分辨力。采用nRF2401为专用的无线数据传输芯片,具有所需外围元件较少,数据收发可靠等优点。

实验数据表明,采用这种间接方式设计的新型的温度测量电路具有较高准确度、较好响应速度、良好的抗干扰能力。从整体来讲,该温度测量装置具有较为广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 何瑾,李朝辉,孙鹏.用于遥测的新型水晶温度传感器[J].工业仪表与自动化装置,2006(1):43-44.
- [2] 王玉娟,董晓辉,叶东生,等.一种音叉式水晶温度传感器[J].传感器技术,1999,18(1):31-35.
- [3] Xu Jun, Li Xin, Duan Jinhua, et al. A High Accuracy Temperature Sensor and Temperature Compensation Algorithm Embedded In TPMS [J]. 11th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT-2012), 2012(4):1372-1374.
- [4] 孙鹏.数字传感器非线性校正方法研究[J].工业仪表与自动化装置,2009(4):15-17.
- [5] 吕日新,周学酬,冯明辉,等.涂敷脲醛树脂的石英晶体微天平湿度传感器[J].传感技术学报,2012,25(2):166-169.
- [6] 徐晶,骆英. QCM 振荡频率检测平台的建立及其稳定性探讨[J].传感技术学报,2008,21(4):15-17.
- [7] 赵升,张辉.用石英温度传感器 HTS-206 实现高精度温度测量[J].仪器仪表学报,2004,25(4):372-374.
- [8] 王剑锋,刘红林,张淑琴.基于拉曼光谱散射的新型分布式光纤温度传感器及应用[J].光谱学与光谱分析,2013,33(4):865-871.
- [9] Xu Jun, Li Xin, Duan Jinhua, et al. High-Precision Low-Power Quartz Tuning Fork Temperature Sensor with Optimized Resonance Excitation [J]. Journal of Zhejiang University-Science C (Computers and Electronics), 2013(4):264-273.
- [10] 万聪梅.基于预测模型的温度传感器动态补偿新方法[J].传感技术学报,2007(8):1762-1765.
- [11] 林海军,杨进宝,汪鲁才,等.基于复合RBFNN的数字温度传感器误差补偿方法[J].传感技术学报,2011,24(2):243-247.
- [12] 李丽,王代华,张志杰.基于射频芯片CC1020的无线数传系统的设计[J].国外电子测量技术,2008,27(5):71-74.
- [13] 孙伟超,汪定国,王怡苹,等.基于CC1020加功率放大器的射频收发模块设计[J].电子测量技术,2011,34(8):11-14.



张福才(1978-),男,汉族,吉林省白城人,黑龙江科技大学电气与控制工程学院教师,哈尔滨工业大学在读博士,研究方向为仪器科学与技术, qingtengzfc@yeah.net.