

基于 LM3S101 的新型两线制温度变送器的设计

赵艳东,张兴隆,任宪勇

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院,山东 青岛 266042)

摘要: 介绍了一种基于 ARM Cortex-M3 的低功耗单片机 LM3S101 的新型智能二线制热电阻 (Pt100) 温度变送器的电路设计,分析了系统设计的理论依据和软硬件实现方案,并对非线性桥路进行了线性化设计。该智能二线制温度变送器具有精度高、可靠性好、现场显示、生产调试方便等特点,有着广泛的应用前景。

关键词: LM3S101; 两线制; 线性化; AD620; AD7457

中图分类号: TH862

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)21-0024-03

Design of new two-wire temperature transducer based on LM3S101

ZHAO Yan Dong, ZHANG Xing Long, REN Xian Yong

(College of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: A new two-wire temperature transducer with heat resistors (PT100) based on low-power single chip processor LM3S101 of ARM Cortex-M3 is introduced. The theory, software and hardware circuits of system are also analyzed, and the linear design of non-linear bridge circuits is completed. This device has many advantages such as high accuracy, high reliability, field display, easy debugging and so on. It has a wide application prospect.

Key words: LM3S101; two-wire; linearization; AD620; AD7457

温度变送器广泛应用于工业中需要测温的场合,但传统的温度变送器是四线制、非智能化的,其精度、稳定性、可靠性较低,并且难以调试和维护。随着微电子技术的发展,两线制温度变送器的智能化势在必行。

智能化两线制温度变送器测量精度高、稳定性好,但研制的关键是必须解决低功耗和线性化处理以及抗干扰问题,尤其是在 4 mA~20 mA 的传输规范要求下,如何保证电流为 4 mA 时温度变送器还能正常工作。目前市场上的两线制温度变送器,在非线形处理、抗干扰方面仍然存在一些不足。为此,本文提出采用高性能单片机 LM3S101,结合仪表放大器 AD620 和 A/D 转换芯片 AD7457,设计新型的两线制温度变送器。

1 系统硬件设计

1.1 系统总体结构及工作原理

两线制温度变送器的总体结构如图 1 所示。传感器对信号源所产生的信号进行采集,然后通过放大器对信号进行放大处理,再由 A/D 转换模块完成 A/D 转换,转换后的数字信号,通过微控制器进行数据处理,最后再

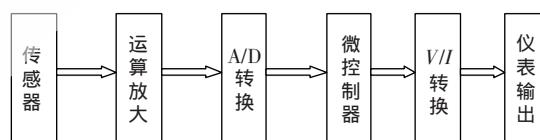


图 1 温度传感器系统结构图

通过 V/I 转换模块把线性反映温度变化的信号,调制成电压信号后转换成相应的 4 mA~20 mA 电流信号,通过两线输出,将两线接入仪表,由仪表显示。整个系统可以分为信号采集模块、信号放大模块、数据运算模块和 V/I 转换四大模块。

1.2 桥路测温原理及线性化

桥图电路分析图如图 2 所示。由图 2 可得:

$$V_0 = \frac{R_1}{R_2 + R_4} V_B - \frac{R_2}{R_2 + R_3} V_B = \frac{\frac{R_1}{R_4} - \frac{R_2}{R_3}}{\left(1 + \frac{R_1}{R_4}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)} V_B \quad (1)$$

由式 (1) 可知, V_0 与 4 个电阻的输出关系为非线性的,当 $\frac{R_1}{R_4} - \frac{R_2}{R_3} = 0$, 即 $\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$ 时, $V_0 = 0$ 。基于 Pt100 的

温度传感器的桥路中,令 R_2 为热电阻, $R_1=R_3=R_4=R$, $R_2=R+\Delta R$, 可得 $V_0=\frac{V_B}{4}\left[\frac{\Delta R}{R+\Delta R/2}\right]^{[2]}$ 。由此可以看出, V_0 与 ΔR 是非线性关系。为了尽可能消除非线性影响, 本文设计了如图 3 所示的桥路。

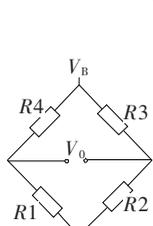


图2 桥路电路分析图

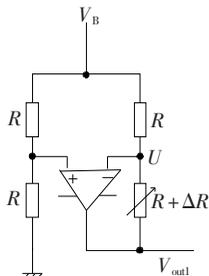


图3 桥路的线性化电路图

如图 3 所示,令放大器与两个桥臂的交点处的电压为 U , 可得方程组:

$$\begin{cases} \frac{U}{R} = \frac{V_B}{R+R} \\ \frac{V_{OUT}-U}{R+\Delta R} = \frac{U-V_B}{R} \end{cases} \quad (2)$$

解方程组得, $V_{OUT}=-V_B\frac{\Delta R}{2R}$, 满足了线性化的要求。

对于 R 阻值大小的选择, 由于桥路的灵敏度为 $11\text{ mV/V}\sim 10\text{ mV/V}$, 即当激励电压为 $1\text{ V}\sim 10\text{ V}$ 的范围时, 输出电压为 $10\text{ mV}\sim 100\text{ mV}$; 若激励电压为 10 V 时, 输出为 100 mV 。虽然灵敏度高, 但会引起 Pt100 热电阻由于自热引起的电阻损耗, 对温度测量的精确度极为不利。当激励电压为 1 V 时, 输出电压又太小, 灵敏度非常低, 也不利于温度测量。综合考虑, 选择 5 V 的激励电压^[3]。由 $V_{OUT}=-V_B\frac{\Delta R}{2R}$ 可得, 当 V_B 为 5 V , R 的阻值选择在 $10\text{ k}\Omega$ 时, 输出电压能够达到满意的效果。

1.3 模拟信号放大

本设计采用了 AD620 仪表放大器对桥路输出的模拟信号进行放大。仪表放大器是在有噪声的环境下放大小信号的器件, 其本身具有低漂移、低功耗、高共模抑制比、宽电源供电范围及小体积等一系列优点, 其利用的是差分小信号叠加在较大的共模信号之上的特性, 既能够去除共模信号, 而又同时能将差分信号放大。仪表放大器的关键参数是共模抑制比, 这一性能可以用来衡量差分增益与共模衰减之比, 主要应用于传感器接口、工业过程控制等领域。AD620 是一种低成本、高精度仪表放大器, 仅需要一个外部电阻来设置增益, 增益范围为 $1\sim 1000$ 。因为二线制温度变送器的最低电流为 4 mA , 在 4 mA 条件下必须能够正常工作, 这就对器件的功耗要求比较高。而 AD620 最大的工作电流仅为 1.3 mA , 功耗非常低, 可满足低功耗的要求。此外, AD620 具有高精度, 它的最大非线性度达到了 40 ppm , 并且具有低失调电压和低失调漂移特性。所以本设计选用 AD620 作为电

压信号的仪表放大器。AD620 的应用电路如图 4 所示。

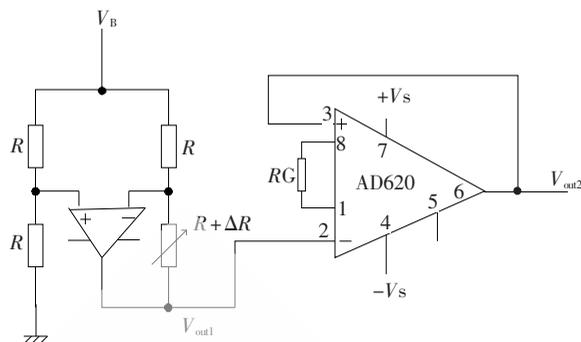


图4 仪表放大器 AD620 的应用电路

如图 4 所示, AD620 通过设置 R_G 来调整增益, 并且具有非常好的共模抑制比。线性化桥路的输出电压 V_{out1} 连接到 AD620 的管脚 2, 作为输入电压信号, AD620 管脚 3 连接到管脚 6 的输出作为反馈。 V_S 作为 AD620 的工作电压。 V_{out2} 为电压信号放大后的输出, 进入 A/D 转换芯片 AD7457, 并将其转换成数字信号, 送入微控制器。

1.4 A/D 转换

由仪表放大器放大后的电压信号, 需要经过 A/D 转换成数字信号送入单片机。本设计选择 TI 公司生产的 A/D 转换芯片 AD7457。AD7457 芯片为 12 位低功耗、逐次逼近型(SAR)模数转换器, 采用伪差分模拟输入, 工作电压为 $2.7\text{ V}\sim 5.25\text{ V}$ 单电源, 功耗非常低(最大为 0.9 mW)。转换过程和数据采集过程通过 CS 及串行时钟进行控制, 为器件与微处理器或 DSP 接口创造了条件。

1.5 LM3S101 控制芯片

LM3S101 微控制器是基于 ARM Cortex-M3 控制器, 它将高性能的 32 位计算引入到对价格敏感的嵌入式微控制器应用中, 能够方便地运用多种 ARM 的开发工具和片上系统(SoC)的底层 IP 应用方案。微控制器使用了兼容 ARM 的 Thumb 指令集 Thumb2 的指令集来减少存储容量的需求, 并以此达到降低成本的目的。LM3S101 具有 14 种中断并具有 8 个优先等级、单周期 Flash、兼容 ARM Firm 的看门狗定时器、同步串行接口(SSI)和较低功耗等特性。与一般的 PIC、AVR、C51 单片机相比, 在稳定性、数据处理、抗干扰等方面, 更具优势。所以选择 LM3S101 作为处理数据的微控制器。LM3S101 控制输出部分的电路设计如图 5 所示。

如图 5 所示, XTR116u 是 $4\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$ 电流环路发送器, 可以传送模拟 $4\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$ 电流信号, 符合工业电流环的标准; 可提供精确电流刻度, 并具有有限输出电流的功能。A 和 B 为供电电压, 由 AD620 放大后的电压信号 V_{out2} 接入 AD7457 的管脚 7, 再由 AD7457 转换成数字信号, 送入 LM3S101 芯片 24 管脚处, 经 LM3S101 芯片数据处理后, 由 19 管脚输出。XTR116u 将 LM3S101 芯片处理后的信号转化成标准的 $4\text{ mA}\sim 20\text{ mA}$ 电流, 由

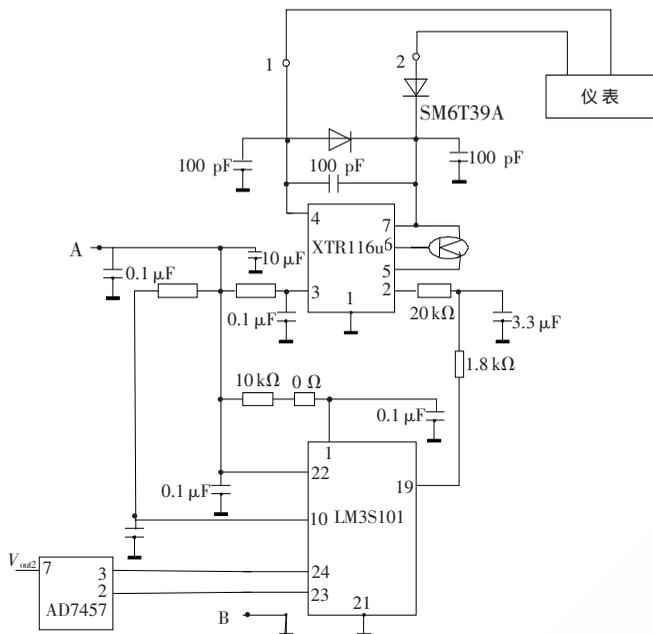


图5 LM3S101 芯片控制输出部分电路设计图

1 和 2 两线输出,最后将 1 和 2 两线接入到仪表,并由仪表显示。

1.6 功耗计算

AD7457 芯片在工作电压为 3 V 的情况下,最大功耗为 0.9 mW,最大工作电流为 0.3 mA。LM3S101 消耗电流为 2 mA (工作电压 3.3 V)。AD620 最大工作电流为 1.3 mA, XTR116u 芯片的最大消耗电流为 200 μA,其他元器件最大总消耗电流约 0.2 mA,所以总消耗电流为:0.3 mA+2 mA+1.3 mA+0.2 mA=3.8 mA<4 mA,满足了工作要求。

2 软件设计

系统软件的设计包括:初始化及主程序模块、数据采集模块、数据处理及传送控制输出模块。其中数据采集过程中进行了滤波处理,处理了一些非正常的信号。数据采用多次采样求平均值的算法对采样值进行处理^[4],在数据处理中进行了线性化的软件设计,最后信号用 PWM 方式输出。软件设计流程图如图 6 所示。

3 实验结果

为了验证所设计的温度变送器的精度,在同样的温度下,比较实际阻值与理想阻值的误差。Pt100 热电阻每升高 1℃,电阻值增加的大小并不同,但它们之间是线性关系,为 $\Delta R_t = 0.385 - (11/80\ 000)(T-1)^{[5]}$, ($1 \leq T \leq 800\ ^\circ\text{C}$), 由此式可得任一温度的热电阻阻值为:

$$R_t(n) = R_t(n-1)0.385 - (11/80\ 000)(T-1) \quad (1 \leq T \leq 200\ ^\circ\text{C}), R_t(0) = 100\ \Omega \quad (3)$$

实验中,取 0~200℃ 之间的理想曲线,将式(3)迭代函数在 Matlab 中编程,得到理想曲线;在 0~200℃ 之间,每隔 5℃ 取一采样值,与理想阻值比较,并将采样点连接。实验结果如图 7 所示。由图可以看出,采样所得曲线与理想曲线基本吻合,精确度高。

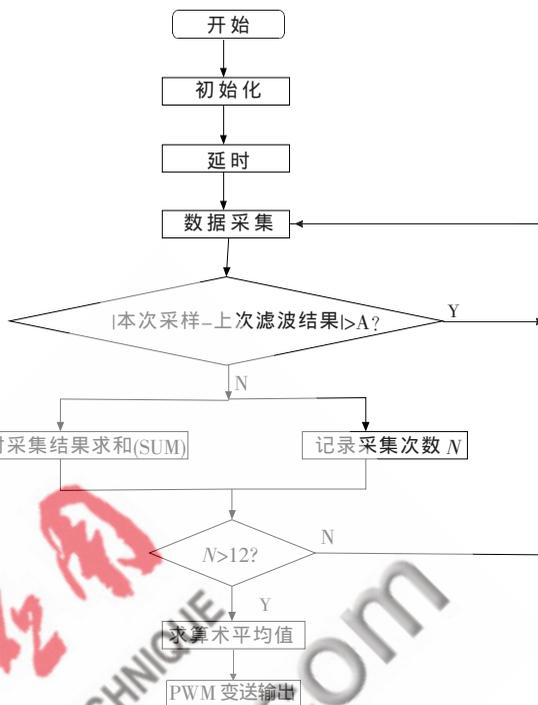


图6 软件设计流程图

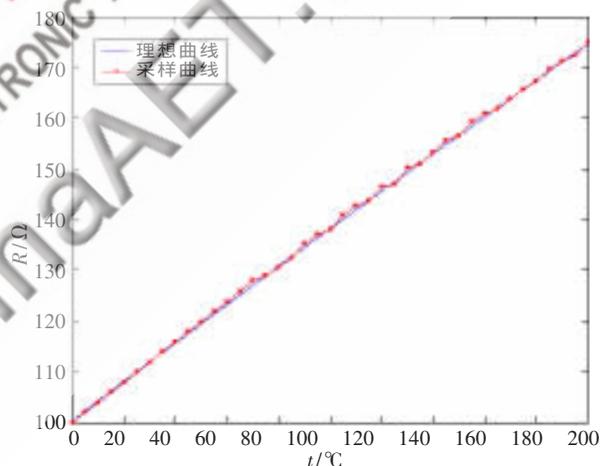


图7 实验曲线与理想曲线对比图

本文介绍了基于 LM3S101 单片机的新型二线制温度变送器,在设计过程中对测温桥路进行了线性化的改进,并采用高性能单片机 LM3S101 对数据进行处理,使其测温结果精度高、抗干扰能力强、稳定性好。由于采用二线制,降低了成本,因而在工业生产中得到了广泛应用。

参考文献
 [1] 杨振江.智能仪器与数据采集中的新器件及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001.
 [2] 孙海.S 系列智能温度变送器的设计与实现[J].化工自动化及仪表,2004,31(4):55-58.
 [3] 徐军,李欣.基于 PIC16F877 的新型二线制变送器[J].仪器仪表学报,2003,24(4):154-156.
 [4] 郝祖龙.基于 HART 总线智能变送器的电源分析与设计

- [J].现代电力,2005,22(6):53-56.
- [5] COHEN T. Leadership challenges in clinical and information services [J]. Biomedical Instrumentation and Technology, 2003, 37(4): 259-262.

(收稿日期:2010-06-09)

作者简介:

赵艳东,女,1976年生,博士,副教授,主要研究方向:时滞系统及非线性系统的最优控制。

张兴隆,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:基于表面声波传感器的轮胎压力测试系统的设计。

