

电阻式传感器转换电路研究与分析

王程远

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院 青岛 266061)

摘要: 针对现有电阻式传感器转换电路的设计多采用桥式电路,其电路结构复杂的问题,提出了在一定应用场景中可以用极简化电路替代桥式电路的设计思想。通过对这两类电路比较仿真,指出在微处理器性能、模数转换电路分辨率不断提高的情况下,极简化电路也可以满足大多数场景的应用,从而使原材料成本在满足功能性能经济需求的情况下,向更低极限推进。在此基础上,提出了极简化电路定值电阻的最优器件选型方法。最后,以实际蓝牙体温计项目进行开发设计。经测试数据表明,测温误差 $\leq 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,满足国家标准的要求。

关键词: 电阻式传感器;转换电路;极简化电路;桥式电路;研究分析

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Research and analysis of resistive sensor conversion circuit

Wang Chengyuan

(School of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: In view of the problem that the existing resistive sensor conversion circuit design mostly adopts the bridge circuit and its circuit structure is complicated, the design idea that the bridge circuit can be replaced with a very simplified circuit in certain application scenarios is proposed. By comparing and emulating these two types of circuits, it is pointed out that extremely simplified circuits can also meet the application of most scenarios with the continuous improvement of microprocessor performance and analog-to-digital conversion circuit resolution. So that the cost of raw materials can meet the requirements of functional performance. Then, push to a lower limit under the circumstances. On this basis, an optimal device selection method for extremely simplified circuit of fixed-value resistors is proposed. Finally, the actual bluetooth thermometer project is used for development and design. The test data shows that the temperature measurement error is less than or equal to $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, which meets the requirements of national standards.

Keywords: resistive sensor; conversion circuit; simplified circuit; bridge circuit; research and analysis

0 引言

传感器在自动化检测、自动化控制系统等领域中发挥着非常重要的作用,其功能是感知并采集信号^[1]。本文以电阻式传感器为例,对其转换电路进行研究与分析。

目前,电阻式传感器采集电路中转换电路的设计大多数传统上都采用桥式电路^[2-4],精度高,但电路复杂。文献[2]中研究了电阻应变式传感器全电桥测量电路,并通过仿真得出了全桥电路比半桥电路灵敏度高,改善了非线性误差。文献[3]基于无线应变传感节点,将应变片接入直流电桥,利用两级运算放大器进行应变信号检测,实现了对桥梁、大坝等建筑的健康监测。文献[4]采用电桥电路利用热敏电阻实现对温度的采集。由于现在集成电路的发展,使得模数转换器集成在芯片内部^[5],降低了开发成本,再者其

位数也由原先的8位发展为现在的24位^[6-7],在满足设计功能需求的情况下,以上设计电路可进一步优化。

本文提出一种转换电路可设计为电阻分压式的思想,相较于桥式电路,电路极简化。并通过器件选型算法,得出电阻分压式电路中定值电阻的计算方法。最后通过蓝牙体温计项目进行技术实现,满足功能性能要求,确认电路应用的可行性。

1 电阻式传感器基本原理

电阻式传感器的主要原理是将感测量(例如加速度、温度、力和位移等非电量)转换成电阻阻值的变化,从而可通过测量电阻阻值变化来测量非电量^[8]。电阻式传感器有应变式传感器、压阻式传感器、电位器式传感器、热电阻传感器和热敏电阻传感器等,应用于测量力、拉力、压力、位移、

温度等领域^[8-10],其采集电路结构如图 1 所示。其中,被测量信号(例如加速度、温度、力、位移等)通过电阻式传感器采集,经转换电路转换为电信号,模数转换器(analog to digital converter, ADC)将电信号模拟信号转换为数字信号,进而由微控制单元(micro control unit, MCU)运算,得出被测量的信息。电源电路为相应电路提供合适电压。

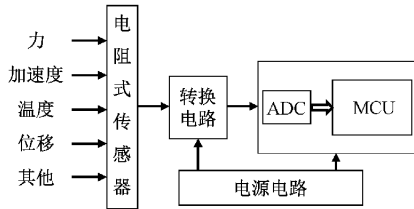


图 1 电阻式传感器采集电路结构

2 桥式转换电路

传统型转换电路主要是桥式电路,利用电桥法测量^[11], R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_x 四个电阻构成了电桥网络,其转换电路如图 2 所示。其中 R_1 、 R_2 和 R_3 的阻值是固定值, R_x 是电阻式传感器,LM 是运算放大器。

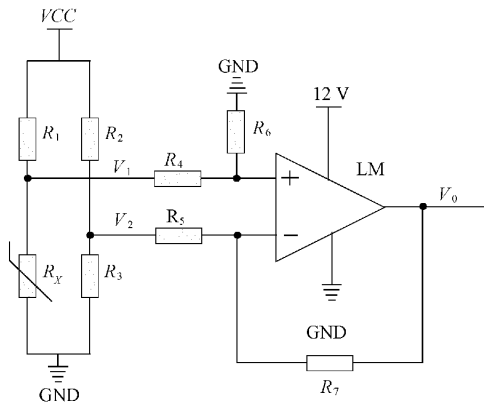


图 2 桥式转换电路

假设供电电压 VCC 为 V 伏特,根据图 2 所示桥式转换电路原理,可以得出 V_1 和 V_2 的分压值:

$$V_1 = \frac{R_x}{R_1 + R_x} \times V \quad (1)$$

$$V_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times V \quad (2)$$

分压 V_1 的值会随着电阻式传感器 R_x 阻值的改变而改变,分压 V_2 是个固定值,其之间压差 ΔU 为:

$$\Delta U = V_1 - V_2 \quad (3)$$

将分压 V_1 和 V_2 作为运算放大器的输入,通过运算放大器进而对 ΔU 进行合理的放大,使得得到的输出电压范围在 ADC 参考电压内尽可能的宽^[12],这样使用 ADC 就可以更加精确地测量电压值。对于如图 2 所示电路,若 $R_4 = R_5$, $R_6 = R_7$,运算放大器 LM 的放大倍数为 $A = R_7/R_5$ 。经放大后的电压 V_0 进入 ADC 中进行模数转换。假定

ADC 的参考电压为 U_{ADC} ,ADC 的位数是 N bit,ADC 的测量值为 D_1 ,根据运算放大器的输入输出特性,得:

$$V_0 = \Delta U \times A \quad (4)$$

式(1)~(4)联立,可得:

$$\left(\frac{R_x}{R_1 + R_x} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \times V \times A = \frac{D_1}{2^N - 1} \times U_{ADC} \quad (5)$$

式中:由于 R_1 、 R_2 、 R_3 、 V 、 A 及 U_{ADC} 都是已知量,那么就可以根据 ADC 测量得到的值 D_1 ,计算出 R_x 的阻值。

当电桥平衡时, $\Delta U=0$,从而 $V_0=0$,ADC 的测量值为 0,因此桥式测量电路测量范围理论上可占满整个 ADC 转换范围,从而提高测量精度。现以 NTC (negative temperature coefficient) 热敏电阻为例^[13],选取一测温范围为 $25^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$,相应的电阻阻值范围为 $18 \sim 51 \text{ k}\Omega$ 。考虑到其电阻值随温度增大而减少^[14],电路设计过程中,当温度 50°C 时,对应的电阻阻值为 $18 \text{ k}\Omega$,这时电桥达到平衡;当温度 25°C 时,对应的电阻阻值为 $51 \text{ k}\Omega$,这时使 ADC 的输出值接近 ADC 满量程。

$$\frac{R_1}{1.8 \times 10^4} = \frac{R_2}{R_3} \quad (6)$$

$$\left(\frac{5.1 \times 10^4}{R_1 + 5.1 \times 10^4} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \times V \times A = U_{ADC} \quad (7)$$

对于桥臂电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 阻值的选型可通过式(6)、(7)来确定。假设选择 R_2 的阻值为 $300 \text{ k}\Omega$, R_1 为 $100 \text{ k}\Omega$, R_3 为 $54 \text{ k}\Omega$,电桥供电电压 V 为 3.3 V ,运放放大倍数 A 为 1.96 。这样就建立了输入与 ADC 的数据关系,对不同位数的 ADC 仿真结果如图 3 所示。

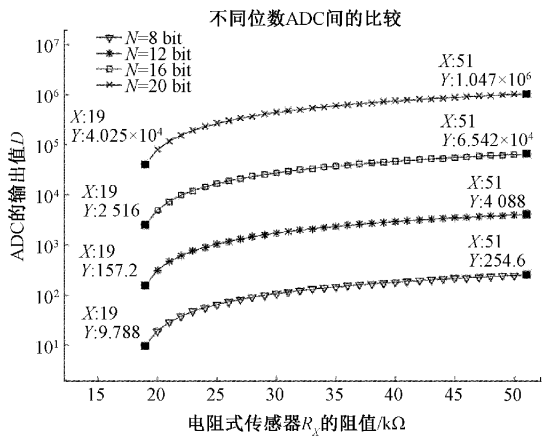


图 3 桥式转换电路不同 ADC 的输出值曲线

图 3 中分别给出了 ADC 位数 $N=8, 12, 16$ 和 20 bit 的测量曲线,可以看出桥式转换电路充分利用了 ADC 的位数,实现 ADC 零点到满量程的利用,提高了测量精度。对于不同位数的 ADC 的数据比较如表 1 所示。

从表 1 可以看出,桥式转换电路可以利用 ADC 的全部转换范围,随着 ADC 位数的增加,实现了测量精度的提高。

表 1 桥式转换电路不同位数 ADC 间的比较

ADC 的位数	转换范围	范围大小	V_0 范围/V	测量精度/ $^{\circ}\text{C}$
$N=8$	$[0,255]$	255	$[0,1.2]$	1.02×10^{-1}
$N=12$	$[0,4\ 088]$	4 088	$[0,1.2]$	6×10^{-3}
$N=16$	$[0,65\ 421]$	65 421	$[0,1.2]$	4×10^{-4}
$N=20$	$[0,1\ 046\ 751]$	1 046 751	$[0,1.2]$	2×10^{-5}

3 电阻分压式转换电路

电阻分压式转换电路是根据串联电路中电流不变的原理设计而成,由直流电源、地、定值电阻和电阻式传感器组成^[15],定值电阻与电阻式传感器呈串联方式,相较于传统型桥式转换电路,电路极简化。由于接地电阻的不同可分为两类,1)定值电阻接地,2)电阻式传感器接地(以下简称传感器接地)。根据接地电阻的分压值可计算出电阻式传感器的阻值,进而得出所对应的参数值。

3.1 定值电阻接地分压式电路

定值电阻接地分压式电路就是定值电阻与电阻式传感器串联,定值电阻接地的情况,电路如图 4 所示。其中 VCC 是直流电源, R 是定值电阻, R_x 是电阻式传感器, GND 是地, V_0 为电阻分压值。

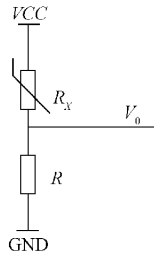


图 4 定值电阻接地分压式电路

假设供电电压 VCC 为 V 伏特,由图 4 可得:

$$V_0 = \frac{R}{R + R_x} \times V \quad (8)$$

$$A \times \left(\frac{R}{R + R_1} \times V - \frac{R}{R + R_2} \times V \right) \leq U_{\text{ADC}} \quad (9)$$

$$A \times \frac{R}{R + R_1} \times V \leq U_{\text{ADC}} \quad (10)$$

$$A \times \frac{R}{R + R_2} \times V \leq U_{\text{ADC}} \quad (11)$$

$$A > 0 \quad (12)$$

$$R_x \in [R_1, R_2] \quad (13)$$

式中: A 为运算放大器倍数, U_{ADC} 为 ADC 的参考电压, R_1 和 R_2 是电阻式传感器 R_x 阻值下限和上限。对模数转换电路来说, 现有电路实现高精度测量, V_0 的最大值要 $\leq U_{\text{ADC}}$, V_0 的变化范围不应该逾越 ADC 量程^[16], 不仅要 $\leq U_{\text{ADC}}$, 还要保证在 U_{ADC} 内尽可能的宽。本文暂不考虑分压式转换电路加入运算放大器的情况, 故 $A=1$ 。

现假定 ADC 的位数是 N bit, ADC 的测量值为 D_2 , 那么模数的对应关系为:

$$\frac{V_0}{U_{\text{ADC}}} = \frac{D_2}{2^N - 1} \quad (14)$$

可得:

$$R_x = \frac{(2^N - 1) \times R \times V}{U_{\text{ADC}}} \times \frac{1}{D_2} - R \quad (15)$$

由式(15)可以看出, R 、 V 、 U_{ADC} 如果是已知量, 电阻式传感器 R_x 的阻值就可计算出来。因此在进行设计时, 关键在于定值电阻 R 的选型。

在如图 4 所示的电路中, V_0 的范围为 $0 < V_0 \leq U_{\text{ADC}}$, 同样以 NTC 热敏电阻为例, 选取一测温范围为 $25^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$, 相应的热敏电阻的阻值范围为 $18 \sim 51 \text{ k}\Omega$, 即 R_1 为 $18 \text{ k}\Omega$, R_2 为 $51 \text{ k}\Omega$ 。选取 ADC 参考电压 $U_{\text{ADC}}=1.2 \text{ V}$, 外部直流供电电压 $V=3.3 \text{ V}$, 通过对式(8)~(13)分析并代入, 对其进行仿真如图 5 所示。

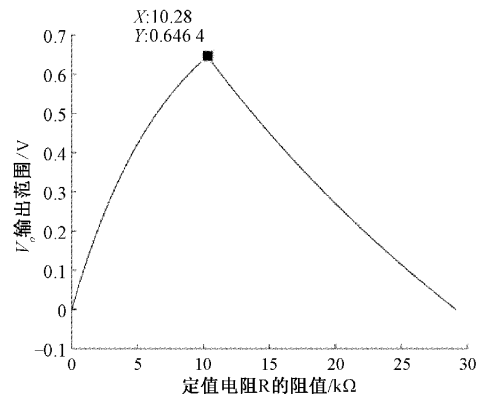


图 5 定值电阻接地分压式电路测量范围与定值电阻阻值关系曲线

由图 5 可知, 当 $\frac{R}{R + 1.8 \times 10^4} \times 3.3 = 1.2$, 可得出定值电阻 $R=10.28 \text{ k}\Omega$ 时, V_0 的输出范围可最大; 当定值电阻 $R=0 \Omega$ 时, 相当于 V_0 和地 GND 相连, V_0 恒为 0, 输出范围为 0; 随着定值电阻阻值的增大, V_0 的输出范围也在增大, 当 $R=10.28 \text{ k}\Omega$ 时, V_0 的输出范围可最大。当定值电阻 $R > 10.28 \text{ k}\Omega$ 后, V_0 的上限值将大于 ADC 的参考电压 U_{ADC} , V_0 的有效输出范围将是参考电压 U_{ADC} 与 V_0 的下限值的差值。当 V_0 的下限值等于 U_{ADC} 时, V_0 的有效输出范围为 0, 这时 V_0 的输出值将超出 ADC 的量程范围。表明当电阻式传感器阻值 $18 \text{ k}\Omega$, 所对应测量对象 50°C 时, 可得

出定值电阻 R 的阻值,并且使 ADC 的测量范围最宽,提高转换精度,这是在最佳分辨率情况下的定值电阻阻值的最优解。

定值电阻 R 阻值的确定,是电阻分压式转换电路最重要的一环。从而可推算出电阻式传感器 R_x 阻值的变化所对应的不同位数 ADC 测量值的变化,仿真如图 6 所示,其中 N 代表 ADC 的位数。

图 6 中分别给出了常见的 ADC 不同位数的输出仿真曲线,其中包括 8、12、16 及 20 bit。可以看出 ADC 的测量值随电阻式传感器阻值的变化呈非线性变化,对于 NTC 热敏电阻而言,ADC 测量值与可变电阻阻值呈负相关关系。

值得注意的是,因为 $V_0 \neq 0$,ADC 的测量值不可能为 0,所以导致测量范围并没有完全占满 ADC 的转换范围,如图 6 所示曲线的变化并没有无穷接近横坐标轴。不同位数 ADC 间数据比较如表 2 所示。

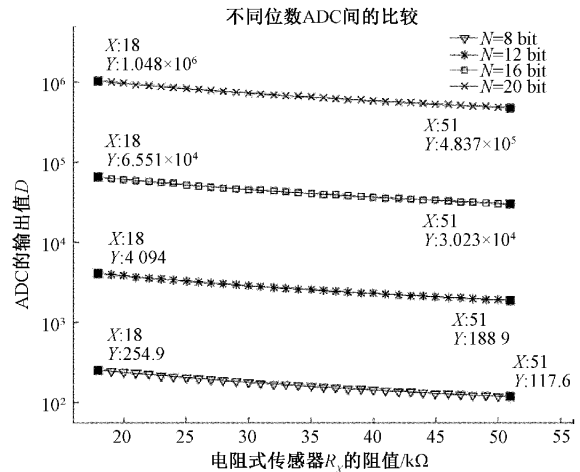


图 6 定值电阻接地分压式电路不同位数 ADC 的测量值曲线

表 2 定值电阻接地分压式电路不同位数 ADC 间的比较

ADC 的位数	转换范围	范围大小	V_0 的范围/V	测量精度/ $^{\circ}\text{C}$
$N=8$	[118,255]	137	[0.553,1.199]	1.894×10^{-1}
$N=12$	[1 889,4 094]	2 205	[0.553,1.199]	1.179×10^{-2}
$N=16$	[30 230,65 510]	35 280	[0.553,1.199]	7.369×10^{-4}
$N=20$	[483 700,1 048 000]	564 300	[0.553,1.199]	4.607×10^{-5}

从表 2 可以得出,定值电阻接地分压式电路,没有占满 ADC 的转换范围,ADC 转换范围的利用率大约是 54%。但是随着 ADC 位数的增加,测量精度也达到了一客观的效果。

3.2 传感器接地分压式电路

电阻式传感器接地分压式电路就是定值电阻 R 与电阻式传感器 R_x 串联,电阻式传感器接地的情况,电路如图 7 所示。

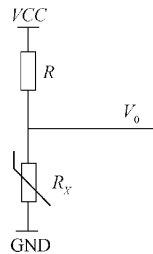


图 7 电阻式传感器接地分压式电路

假设供电电压 VCC 为 V 伏特,由图 7 可得:

$$V_0 = \frac{R_x}{R + R_x} \times V \tag{16}$$

$$\left(\frac{R_4}{R + R_4} \times V - \frac{R_3}{R + R_3} \times V \right) \leq U_{\text{ADC}} \tag{17}$$

$$\frac{R_4}{R + R_4} \times V \leq U_{\text{ADC}} \tag{18}$$

$$\frac{R_3}{R + R_3} \times V \leq U_{\text{ADC}} \tag{19}$$

$$R_x \in [R_3, R_4] \tag{20}$$

式中: U_{ADC} 是 ADC 的参考电压, R_3 和 R_4 是电阻式传感器 R_x 阻值的下限和上限。在如图 7 所示的电路中,根据电路知识,当定值电阻 R 阻值确定后,随着可变电阻 R_x 阻值的变大,流经此电路的电流变小,从而可以得到 V_0 。在变大,即 V_0 随着 R_x 阻值的变大而变大。

同理,ADC 的位数是 N bit,ADC 的测量值为 D_3 ,那么模数的对应关系为:

$$\frac{V_0}{U_{\text{ADC}}} = \frac{D_3}{2^N - 1} \tag{21}$$

从而可得:

$$R_x = \frac{R \times U_{\text{ADC}} \times D_3}{(2^N - 1) \times V - U_{\text{ADC}} \times D_3} \tag{22}$$

电阻式传感器的阻值可由式(22)推算出,从而就可以得出相应参数的值。同样以 NTC 热敏电阻为例,假定测温范围为 $25^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$,相应的热敏电阻的阻值范围为 $18 \sim 51 \text{ k}\Omega$,即 R_3 为 $18 \text{ k}\Omega$, R_4 为 $51 \text{ k}\Omega$ 。通过对式(16)~(20)分析并代入,对其进行仿真如图 8 所示。

由图 8 可知,当 $\frac{5.1 \times 10^4}{R + 5.1 \times 10^4} \times 3.3 = 1.2$,可得出定值电阻 $R = 89.25 \text{ k}\Omega$ 时, V_0 的输出范围可最大。当 V_0 的下限值等于 ADC 参考电压 U_{ADC} 时, V_0 的有效输出范围将

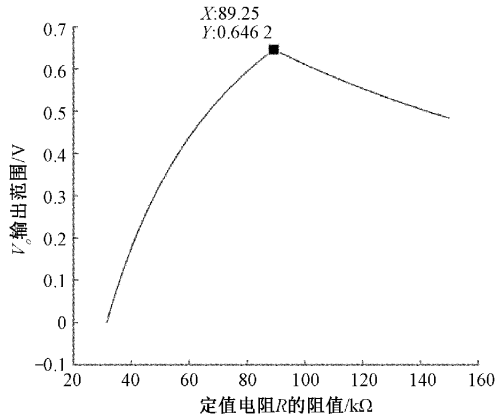


图 8 传感器接地分压式电路测量范围与定值电阻阻值关系曲线

为 0;随着定值电阻的增大, V_o 的下限值小于 U_{ADC} , V_o 的有效输出范围是 U_{ADC} 与 V_o 下限值的差值;当定值电阻 $R=89.25\text{ k}\Omega$ 时, V_o 的上限值等于 U_{ADC} , 此时 V_o 的输出范围可最大;当定值电阻 $R>89.25\text{ k}\Omega$ 后, V_o 的输出范围将变小。表明当电阻式传感器阻值 $51\text{ k}\Omega$, 所对应测量对象 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 可得出定值电阻 R 的阻值, 并且使 ADC 的测量范围最宽, 提高转换精度。

仿真出不同位数 ADC 测量值与可变电阻阻值的变化曲线, 如图 9 所示。

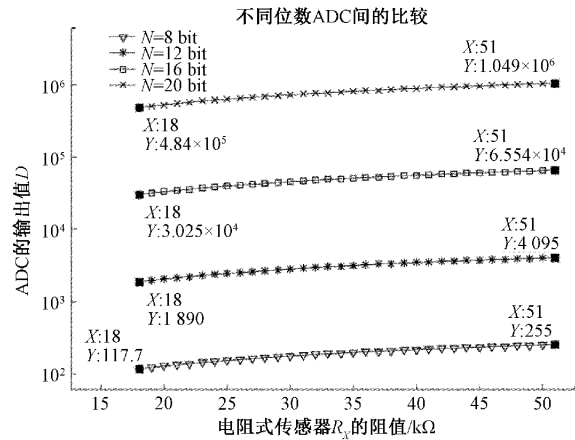


图 9 传感器接地分压式电路不同位数 ADC 的输出曲线

由图 9 可以看出, 电阻式传感器接地分压式电路 ADC 输出值与传感器阻值呈正相关关系, 与定值电阻接地分压式电路的负相关关系不同。

对于 NTC 热敏电阻而言, 电阻式传感器接地分压式电路 ADC 测量值的最大值对应测温范围温度的最小值, 这样的关系可在程序设计加以注意。当然图 7 电路可直接应用正系数变化的电阻式传感器, 图 4 电路则相反。

该电路不同位数 ADC 间的数据比较如表 3 所示。

表 3 电阻式传感器接地分压式电路不同位数 ADC 间的比较

ADC 的位数	转换范围	范围大小	V_o 的范围/V	测量精度/ $^\circ\text{C}$
$N=8$	[118, 255]	137	[0.554, 1.2]	1.894×10^{-1}
$N=12$	[1 890, 4 095]	2 205	[0.554, 1.2]	1.179×10^{-2}
$N=16$	[30 247, 65 535]	35 288	[0.554, 1.2]	7.368×10^{-4}
$N=20$	[483 958, 1 048 575]	564 617	[0.554, 1.2]	4.605×10^{-5}

从表 3 可以得出, 电阻式传感器接地分压式电路, 同样也没有占满 ADC 的转换范围, ADC 转换范围的利用率大约是 54%。ADC 位数的增加, 测量精度也不断提高。

4 3 种电路比较

两种电阻分压式电路均可应用于特定场景中, 不管是呈正相关关系还是负相关关系, 可以在软件设计中加以设

计。由于定值电阻接地分压式电路中定值电阻的阻值比传感器接地分压式电路定值电阻的阻值小, 其电路功耗要大。因此, 传感器接地分压式电路从功耗上要优于定值电阻接地分压式电路。

在相同位数 ADC 的情况下, 电阻分压式转换电路的测量精度没有桥式转换电路的高, 但是 ADC 的位数增加, 其也有很高的精度, 三者比较如表 4 所示。

表 4 3 种电路的比较

ADC 位数	传统型桥式转换电路		定值电阻接地分压式电路			电阻式传感器接地分压式电路		
	转换范围大小	精度/ $^\circ\text{C}$	转换范围大小	测量精度/ $^\circ\text{C}$	功耗	转换范围大小	测量精度/ $^\circ\text{C}$	功耗
$N=8$	255	1.02×10^{-1}	138	1.894×10^{-1}	高	138	1.894×10^{-1}	低
$N=12$	4 088	6×10^{-3}	2 205	1.179×10^{-2}	高	2 205	1.179×10^{-2}	低
$N=16$	65 420	4×10^{-4}	35 280	7.369×10^{-4}	高	35 288	7.368×10^{-4}	低
$N=20$	1 047 000	2×10^{-5}	564 300	4.607×10^{-5}	高	564 617	4.605×10^{-5}	低

在本文基础上,通过对 3 种电路的比较,可以得出:

1) 电阻分压式转换电路没有占满 ADC 的转换范围,其转换范围的利用率大约是 54%。

2) 对于相同位数 ADC,虽然电阻式分压式转换电路精度比桥式转换电路的低,但是可以用高位数 ADC 来进行替换。12 bit ADC 用于电阻分压式转换电路的测量精度是 8 bit ADC 用于传统型桥式转换电路的 8.6 倍,依次类推。因此极简化电路也可以满足多数场景的应用。

3) 从定值电阻选型来看,传感器接地分压式电路的功耗低于定值电阻接地分压式电路。传感器接地分压式电路相对优于定值电阻接地分压式电路。

5 测试与验证

为验证本文所研究的内容的有效性,依托蓝牙体温计项目进行技术实现,该项目产品蓝牙体温计已应用于市场。依据医用电子体温计国家标准 GB/T 21416 文件,温度测量范围不窄于 $35.0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 41.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,体温计的最大允许误差如表 5 所示。

该项目利用蓝牙技术传输相关信息,在芯片选型时,选择的是 Dialog 公司的 DA14580 蓝牙芯片,内部集成

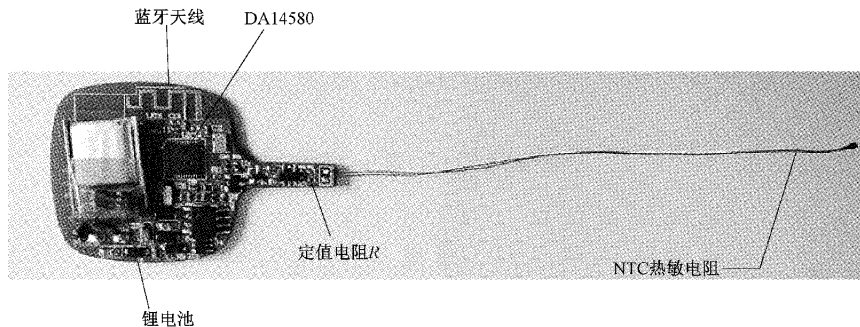


图 10 蓝牙体温计未塑封实物图

将 NTC 热敏电阻由直流电阻器代替如图 11 所示,进行模拟实验数据验证,其中引线尽可能短,减少引线电阻对实验的影响。

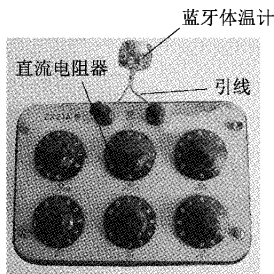


图 11 实验模拟图

实验数据如表 6 所示。表 6 中数据为测量范围的一部分数据,选取的是人体正常体温范围即 $36.0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其中,理论电阻值和理论温度是 NTC 热敏电阻 R-T 表中的数据,上行程显示温度和下行程显示温度是 10 次模拟实验的平均值。由表 6 可知,温度误差满足医用电子体温

表 5 温度显示范围及其最大允许误差

温度显示范围/ $^{\circ}\text{C}$	最大允许误差/ $^{\circ}\text{C}$
低于 35.3	± 0.3
35.3~36.9	± 0.2
37.0~39.0	± 0.1
39.1~41.0	± 0.2
高于 41.0	± 0.3

10 bit ADC,根据客户所定义的测温范围 $32\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$,依据以上研究内容,考虑体温计 3.7 V 锂电池损耗,排除了桥式转换电路,采用的是传感器接地分压式转换电路。在电阻式传感器选型上,选用的是型号 503ET-87L 的 NTC 热敏电阻,由相应的 Resistance-Temperature (R-T) 表可知,测温范围 $32\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所对应的热敏电阻的阻值范围是 $38.1365\sim 22.4843\text{ k}\Omega$ 。在最佳分辨率的情况选取定值电阻 R 的阻值如式(23)所示。

$$\frac{38.1365}{R + 38.1365} \times 3.3 = 1.2 \quad (23)$$

由式(23)可得,定值电阻 $R = 66.74\text{ k}\Omega$ 。对电路进行原理图设计,其蓝牙体温计未塑封实物如图 10 所示。

计国家标准,符合产品功能要求。

6 结 论

本文以电阻式传感器为研究对象,对比工程设计中传统的桥式转换电路,结合不同位数 ADC,提出极简化电路电阻分压式电路代替桥式电路应用的可行性,并提出电阻选型相应的计算方法。

随着集成电路的发展,ADC 与 CPU 集成在同一芯片上,极大降低了成本。虽然桥式转换电路测量精度高,但 ADC 位数的提高,使电阻分压式转换电路测量可替代桥式转换电路,且电路结构简单,在满足性能设计需求的情况下,原料成本向更低极限推进。

电阻分压式电路设计关键在于定值电阻的选型:本文在考虑获得最佳分辨率,提高测量精度的基础上,得出定值电阻阻值最优解。定值电阻可由被测对象测量范围的边界值来计算。定值电阻接地分压式电路利用最小值来计算,电阻式传感器接地分压式电路利用最大值来计算。

表6 模拟实验数据表

理论电阻值/k Ω	理论温度/ $^{\circ}\text{C}$	直流电阻器阻值/ Ω	上行程显示温度/ $^{\circ}\text{C}$	下行程显示温度/ $^{\circ}\text{C}$	上行程绝对误差/ $^{\circ}\text{C}$	下行程绝对误差/ $^{\circ}\text{C}$
32.217 6	36.0	32 217.6	35.9	36.0	-0.1	0
32.083 6	36.1	32 083.6	36.0	36.0	-0.1	-0.1
31.950 2	36.2	31 950.2	36.1	36.1	-0.1	-0.1
31.817 5	36.3	31 817.5	36.2	36.2	-0.1	-0.1
31.685 3	36.4	31 685.3	36.3	36.3	-0.1	-0.1
31.553 8	36.5	31 553.8	36.5	36.5	0	0
31.422 9	36.6	31 422.9	36.6	36.6	0	0
31.292 6	36.7	31 292.6	36.7	36.7	0	0
31.163 0	36.8	31 163.0	36.8	36.8	0	0
31.033 9	36.9	31 033.9	36.9	36.9	0	0
30.905 5	37.0	30 905.5	36.9	37.0	-0.1	0
30.780 2	37.1	30 780.2	37.0	37.1	-0.1	0
30.655 4	37.2	30 655.4	37.1	37.1	-0.1	-0.1
30.531 2	37.3	30 531.2	37.3	37.2	0	-0.1
30.407 6	37.4	30 407.6	37.4	37.3	0	-0.1
30.284 6	37.5	30 284.6	37.4	37.4	-0.1	-0.1
30.162 2	37.6	30 162.2	37.5	37.5	-0.1	-0.1
30.040 2	37.7	30 040.2	37.6	37.6	-0.1	-0.1
29.918 9	37.8	29 918.9	37.7	37.8	-0.1	0
29.798 1	37.9	29 798.1	37.8	37.9	-0.1	0
29.777 9	38.0	29 777.9	37.9	37.9	-0.1	-0.1

参考文献

- [1] 王洪燕,李高杰,张崇军.传感器的应用及发展研究[J].河南科技,2018,12(17):22-23.
- [2] 姜静,刘迪,鹿珂珂.一种电阻应变式传感器信号调节电路的设计[J].船电技术,2013,33(2):12-14.
- [3] 郭二辉.一种基于 Zigbee 的无线应变传感节点设计[J].电子技术与软件工程,2019,30(10):73-74.
- [4] 杨清志,张运芝.基于 NTC 热敏电阻简易快速智能体温计的设计[J].曲靖师范学院学报,2020,39(3):58-62.
- [5] 刘燕妮.电阻式气体传感器阵列集成变送电路设计[D].成都:电子科技大学,2016.
- [6] 郭鹏腾,王瑾.基于改良惠斯通电桥和滑动滤波算法的电子秤设计[J].国外电子测量技术,2020,39(6):97-101.
- [7] 刘颖,刘义平,任婷婷,等.不同曲线拟合方式对 NTC 热敏电阻测温精度的影响[J].中国测试,2018,44(S1):200-204.
- [8] 郭二辉.一种电阻式应变传感器的数据处理方法[J].物联网技术,2019,9(9):82-83,86.
- [9] 黄武桐.电阻式可穿戴柔性力学传感器的设计及实验研究[D].成都:电子科技大学,2019.
- [10] 王革思.虚拟仿真电阻式传感器设计[J].实验科学与技术,2019,17(5):47-50.
- [11] 李云辉,王晓东,朱小明.基于 NTC 的非平衡桥式测温电路的误差分析[J].电子测量技术,2015,38(12):41-45.
- [12] 叶晓靖,刘付永红,谭炎.基于非平衡电桥的 NTC 热敏电阻测量校正[J].电子设计工程,2016,24(4):56-58.
- [13] 朱玉田,陈晓,刘钊.电阻式位移传感器非线性矫正[J].中国工程机械学报,2015,13(4):363-366.
- [14] 陈叶若溪.应用非平衡电桥测量 NTC 热敏电阻的实验原理及误差分析[J].广西物理,2018,39(Z1):36-38.
- [15] 吴云杰,徐超,周旭,等.柔性力敏传感器的快速标定方法的研究[J].电子测量技术,2019,42(1):78-82.
- [16] 肖立志,郭兰申,张磊.基于应变片压阻效应的柔性传感器阵列的设计[J].仪表技术与传感器,2017,21(7):4-6,19.

作者简介

王程远,硕士,主要研究方向为测控技术与仪器、控制科学与工程、检测技术与装置。
E-mail:1904589043@qq.com