



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108802422 B

(45)授权公告日 2019.11.22

(21)申请号 201810510768.1

G01P 13/04(2006.01)

(22)申请日 2018.05.24

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108802422 A

(43)申请公布日 2018.11.13

(73)专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037号(72)发明人 黄永安 尹锋 许奕 熊文楠
朱臣(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

代理人 周磊 曹葆青

(51)Int.Cl.

G01P 5/12(2006.01)

CN 101349708 A,2009.01.21,

CN 103592461 A,2014.02.19,

CN 104523276 A,2015.04.22,

CN 101349708 A,2009.01.21,

US 6683678 B2,2004.01.27,

Kim S., Nam T., & Park S..Measurement
of flow direction and velocity using a
micromachined flow sensor.《Sensor and
Actuators A:Physical》.2004,312-318.

审查员 张雪松

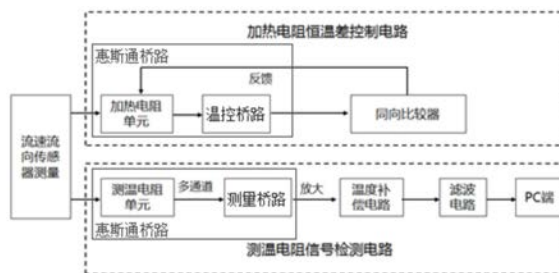
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统及其应用

(57)摘要

本发明属于流速传感器领域,并公开了一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统,包括基底、测温电阻单元、加热电阻单元和引出电极,所述加热电阻单元和所述测温电阻单元均贴附在所述柔性基底上;所述测温电阻单元设置有多组,它们周向均匀布置在所述柔性基底上并且围绕所述加热电阻单元布置;所述加热电阻单元和所述测温电阻单元均为蜿蜒可拉伸结构;所述测温电阻单元上和所述加热电阻单元分别连接引出电极。本发明中能够实现360度全方位的二维流速流向测量。传感器采用聚酰亚胺柔性基底,测温电阻单元使用自相似结构,增大了与风速的有效接触面积,既提高了传感器的灵敏度,又便于复杂飞行器表面的曲面贴附。



1. 一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统,其特征在于,包括柔性基底、测温电阻单元、加热电阻单元、引出电极和信号检测电路,其中,

所述加热电阻单元和所述测温电阻单元均贴附在所述柔性基底上;

所述测温电阻单元设置有多组,它们周向均匀布置在所述柔性基底上并且围绕所述加热电阻单元布置;

所述加热电阻单元和所述测温电阻单元均为蜿蜒可拉伸结构;

所述引出电极设置有多个;

所述测温电阻单元上和所述加热电阻单元分别连接引出电极;

所述信号检测电路包括电源、测量桥路、多通道模拟开关、运算放大电路、温度补偿电路和滤波电路,其中,所述测温电阻单元、多通道模拟开关和所述测量桥路共同构成惠斯通电桥电路;运算放大电路与所述惠斯通电桥电路连接,以用于放大接入的测温电阻单元的电压;所述温度补偿电路与所述运算放大电路连接,以用于对测温进行环境温度补偿;滤波电路连接所述温度补偿电路,以用于消除测量高于设定频率的噪音,此外,所述滤波电路为有源低通滤波器。

2. 根据权利要求1所述的一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统,其特征在于,所述热膜流场传感系统还包括对所述加热电阻单元进行加热的恒温差控制电路,所述恒温差控制电路包括电源、温控桥路和放大器,其中,所述温控桥路与加热电阻单元共同构成惠斯通桥路;

所述电源通过所述惠斯通桥路连接所述放大器;

接通电源对加热电阻单元加热时,加热电阻单元的电阻增大,放大器输入端的电位升高,当加热电阻单元的温度大于设定值时,放大器的输出电压为零,此时没有电流从加热电阻单元流过,加热电阻单元停止加热,加热电阻单元的温度会逐渐下降,放大器输入端的电位也逐渐降低,一段时间后,放大器输出的电压又会大于零,加热电阻单元有电流流过继续进行加热,以此方式,实现对加热电阻单元的恒温差控制。

3. 根据权利要求1所述的一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统,其特征在于,所述柔性基底采用聚酰亚胺制成。

4. 一种采用如权利要求1~3中任一所述柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统测量风速风向的方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 所述测温电阻单元设置四个,它们分别为第一测温电阻单元、第二测温电阻单元、第三测温电阻单元和第四测温电阻单元并且它们按顺时针方向依次布置;

定义第一测温电阻单元所处的方向为 θ_1 并且 θ_1 的方向为初始标定方向,第二测温电阻单元、第三测温电阻单元和第四测温电阻单元所处的方向分别为 θ_2 、 θ_3 和 θ_4 ;

2) 对加热电阻单元提供电流,则四个测温电阻单元分别受到加热电阻单元的热对流影响而温度升高,由于风向不同,第一测温电阻单元、第二测温电阻单元、第三测温电阻单元和第四测温电阻单元的电压输出量分别为 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 ;

3) 在平面直角坐标系中以 $0\sim 360^\circ$ 为横坐标,以电压变化量为纵坐标,将测量数据 (θ_i, V_i) 输入进去,其中 $i=1,2,3,4$;

4) 使用三次样条曲线插值算法在 $0\sim 360^\circ$ 内对步骤3)中标记的点进行拟合,获得函数 $V=f(\theta)$,然后求解该函数在 V 为最小值 $V_{\min}$ 时对应的角度值 $\theta_{\min}$,该角度值示出了风速的方

向；

5) 获得 $V=f(\theta)$ 在 $0\sim 360^\circ$ 内的 $V_{\max}$, 进而获得电压差值 $\Delta V^1=V_{\max}-V_{\min}$, 然后将 ΔV^1 代入公式 $\Delta V=\frac{1}{\alpha+\beta*\sqrt{u}}$, 可求解出风速大小 u , 其中 α 、 β 是与流体性质有关的热传导量。

一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统及其应用

技术领域

[0001] 本发明属于流速传感器领域,更具体地,涉及一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统及其应用。

背景技术

[0002] 流速测量在航空航天、石油、天然气、化学以及医药等行业中都具有非常重要的作用,尤其在航空领域,对飞行器表面的流速流向测量有利于飞行器及时获知外界气动参数的变化,从而做出反馈对飞行姿态等进行调整,保证飞行器平稳安全的飞行。目前用于飞行器流速测量的方法常为皮托管法和热式传感器法。皮托管法是战斗机上测流速的常用方式,技术成熟,但是缺点也很明显,会产生激波,干扰飞行器整体气动特性,而且在小型无人机上并不适用。热式传感器法是利用热式传感器的强迫对流换热效应来进行风速测量。热式传感器又分为热线式和热膜式两种,其中热线式传感器直接采用热丝测量,因此测量过程中易被污染,影响传热,降低测量精度,故常使用热膜式传感器。

[0003] 目前,对于热膜式风速传感器的制作多采用的是微机电系统工艺(MEMS),在硅片(陶瓷或玻璃)上使用这种工艺制作出相应的热膜风速传感器,制作出的热膜式风速风向传感器具有稳定性好、测量精度高和不受压力影响等优点,但由于采用硅等硬性脆基底材料,制作的过程中易碎,而且制作完成后不适合复杂曲面的安装,不方便飞行器表面的流速流向测量。而且随着智能蒙皮技术的提出,要求传感器能够集成到飞行器表面进行实时测量,目前的硅基热膜传感器显然无法满足要求,因此如何设计制作出一种柔性高精度的热膜风速风向传感器适用于飞行器表面流速测量成为了非常关键的一个问题。为了解决这个问题,许多文献中都提到了相应的解决办法,如清华大学朱荣老师团队设计制作了一种基于柔性聚酰亚胺基底的热膜传感器,并将该传感器成功的应用在小型无人机上,该传感器结构简单,但是只能进行双方向测量,无法给出任意来流风速的角度,而且热膜过大,精度有待提高;西北工业大学马炳和老师团队也在聚酰亚胺基底上制作了阵列化的单向热膜传感器,并将该传感器用于风洞模型表面的流速和剪应力测量,单向测量结果良好,但该传感器既不能测任意角度风向,而且热膜和连接导线因为工艺原因存在,在风带来的高频震动下,连接处容易断开失效,同时由于测量电路未实行等温控制,导致整个传感器测量系统功耗非常大。专利CN103592461A和CN101349708A分别公布了一种二维流速矢量传感器的制备和测量,所设计的传感器制作工艺简单,测量电路使用了恒温差设计,降低了功耗,确保了稳定的输出,但这两种传感器不具备柔性,而且连接引线交叉布置,这会影响测量时流场的分布,使得最终测量的结果不准确。

发明内容

[0004] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统及其应用,本发明中热膜风速风向传感器尺寸小、灵敏度高、功耗小、具有多原理测量的特性以及自身具备柔性适合与飞行器智能蒙皮结合用于机翼表面的流速测量。

[0005] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了一种柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统,其特征在于,包括基底、测温电阻单元、加热电阻单元和引出电极,其中,

[0006] 所述加热电阻单元和所述测温电阻单元均贴附在所述柔性基底上;

[0007] 所述测温电阻单元设置有多组,它们周向均匀布置在所述柔性基底上并且围绕所述加热电阻单元布置;

[0008] 所述加热电阻单元和所述测温电阻单元均为蜿蜒可拉伸结构;

[0009] 所述引出电极设置有多个;

[0010] 所述测温电阻单元上和所述加热电阻单元分别连接引出电极。

[0011] 优选地,所述热膜流场传感系统还包括对所述加热电阻单元进行加热的恒温差控制电路,所述恒温差控制电路包括电源、温控桥路和放大器,其中,所述温控桥路与加热电阻单元共同构成惠斯通桥路;

[0012] 所述电源通过所述惠斯通桥路连接所述放大器;

[0013] 接通电源对加热电阻单元加热时,加热电阻单元的电阻增大,放大器输入端的电位升高,当加热电阻单元的温度大于设定值时,放大器的输出电压为零,此时没有电流从加热电阻单元流过,加热电阻单元停止加热,加热电阻单元的温度会逐渐下降,放大器输入端的电位也逐渐降低,一段时间后,放大器输出的电压又会大于零,加热电阻单元有电流流过继续进行加热,以此方式,实现对加热电阻单元的恒温差控制。

[0014] 优选地,所述热膜流场传感系统包括信号检测电路,所述信号检测电路包括电源、测量桥路、多通道模拟开关、运算放大电路、温度补偿电路和滤波电路,其中,

[0015] 所述测温电阻单元、多通道模拟开关和所述测量桥路共同构成惠斯通电桥电路;

[0016] 运算放大电路与所述惠斯通电桥电路连接,以用于放大接入的测温电阻单元的电压;

[0017] 所述温度补偿电路与所述第一运算放大电路连接,以用于对测温进行环境温度补偿;

[0018] 滤波电路连接所述温度补偿电路,以用于消除测量高于设定频率的噪音,此外,所述滤波电路为有源低通滤波器。

[0019] 优选地,所述基底采用聚酰亚胺制成。

[0020] 按照本发明的另一个方面,还提供了一种采用所述柔性智能蒙皮的热膜流场传感系统测量风速风向的方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0021] 1) 所述测温电阻单元设置四个,它们分别为第一测温电阻单元、第二测温电阻单元、第三测温电阻单元和第四测温电阻单元并且它们按顺时针方向依次布置;

[0022] 定义第一测温电阻单元所处的方向为 θ_1 并且 θ_1 的方向为初始标定方向,第二测温电阻单元、第三测温电阻单元和第四测温电阻单元所处的方向分别为 θ_2 、 θ_3 和 θ_4 ;

[0023] 2) 对加热电阻单元提供电流,则四个测温电阻单元分别受到加热电阻单元的热对流影响而温度升高,由于风向不同,第一测温电阻单元、第二测温电阻单元、第三测温电阻单元和第四测温电阻单元的电压输出量分别为 V_1 、 V_2 、 V_3 和 V_4 ;

[0024] 3) 在平面直角坐标系中以 $0\sim 360^\circ$ 为横坐标,以电压变化量为纵坐标,将测量数据 (θ_i, V_i) 输入进去,其中 $i=1, 2, 3, 4$;

[0025] 4) 使用三次样条曲线插值算法在 $0\sim 360^\circ$ 内对步骤3)中标记的点进行拟合,获得

函数 $V=f(\theta)$ ，然后求解该函数在 V 为最小值 $V_{\min}$ 时对应的角度值 $\theta_{\min}$ ，该角度值示出了风速的方向；

[0026] 5) 获得 $V=f(\theta)$ 在 $0\sim 360^\circ$ 内的 $V_{\max}$ ，进而获得电压差值 $\Delta V^1=V_{\max}-V_{\min}$ ，然后将 ΔV^1

代入公式 $\Delta V = \frac{1}{\alpha + \beta * \sqrt{u}}$ ，可求解出风速大小 u ，其中 α 、 β 是与流体性质有关的热传导量。

[0027] 总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，能够取得下列有益效果：

[0028] 1) 本发明中热膜流速流向传感器使用了多个测温电阻单元，围绕加热电阻单元呈圆周分布，能实现360度全方位的二维流速流向测量。传感器采用聚酰亚胺柔性基底，测温电阻单元使用自相似结构，增大了与风速的有效接触面积，既提高了传感器的灵敏度，又便于复杂飞行器表面的曲面贴附。

[0029] 2) 本发明中测温电阻单元和加热电阻单元分离，使用基于同向比较器的恒温差控制电路对加热电阻单元进行温度控制，可以有效降低整个传感器的驱动电压和整体的功耗；测温电阻单元信号测试电路不仅放大了输出电压，同时对输出电压进行了温度补偿、滤波和放大处理。

[0030] 3) 本发明中提出的风速风向解析算法，求解过程简单，可实现计算机编程自动处理，能够快速实时获知传感器所测量的流速和流向，并进行数字化的输出。

附图说明

[0031] 图1a为本发明的实施方式提供的一种柔性热膜风速风向传感器的结构图；

[0032] 图1b为图1a中A处的放大图；

[0033] 图2为本发明热膜风速风向传感器测试电路部分原理框图；

[0034] 图3为本发明对加热电阻单元进行供热的恒温差控制电路结构图；

[0035] 图4为本发明测温电阻单元的信号检测电路结构图。

具体实施方式

[0036] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0037] 图1a为本发明的实施方式提供的一种柔性热膜风速风向传感器的结构图。如图1a所示，本发明中热膜风速风向传感器设计包括引出电极1、基底2、测温电阻单元3和加热电阻单元4共四部分。测温电阻单元3和加热电阻单元4整齐的贴附在柔性基底上。其中，加热电阻单元4位于整个传感器的中间部位，测温电阻单元3围绕加热电阻单元4呈圆形阵列分布。为避免流场的干扰，所有的引出电极1均分布在远离测温电阻单元3和加热电阻单元4的一侧。另外，如图1a所示，本发明中测温电阻单元3为箔式片，参照图1b，测温电阻单元3的形状为蜿蜒可拉伸，当流速传感器被拉伸或弯曲时，这样将不会破坏测温电阻单元的稳定性，有利于飞行器曲面的贴附。另外，采用自相似结构增大了与风速的有效接触面积，提高了传感器的灵敏度。本发明热膜风速风向传感器一个具体的制备过程为通过旋涂的方式，在干

净的蓝宝石玻璃片上制作了一层厚度为20微米的聚酰亚胺基底;然后采用磁控溅射和光刻相结合的方式制作出测温电阻单元和加热电阻单元,其厚度均为2微米,测温电阻单元的线宽为20微米,加热电阻单元的线宽为200微米,因此具有非常高的灵敏度和精确度;再通过激光剥离的方式将传感器从蓝宝石玻璃片上剥离下来,整个制备工艺过程快速简洁,传感器性能稳定,具有非常高的灵敏度和精确度。

[0038] 图2为本发明热膜风速风向传感器测试部分原理框图,如图2所示,本发明中的测试部分又包括对加热电阻单元进行供热的恒温差控制电路和测温电阻单元的信号检测电路。

[0039] 图3为本发明对加热电阻单元进行供热的恒温差控制电路结构图。如图3所示,电路结构在设计上使用的是基于同向比较器的恒温差控制原理,包括电源、惠斯通桥路和放大器三部分。惠斯通桥路包括环境电阻RC、加热电阻单元RH、外接参考电阻(R1、R2)和滑动变阻器RV2。其中,输入电源大小通过一个滑动变阻器RV1进行控制,加热电阻单元通过外接电阻RS接入放大器的反向端,环境电阻RC接入的是放大器的正向端,放大输出端与电压源相连,实现闭环反馈控制。未对电路进行接通时,加热电阻单元不进行加热,通过调节环境电阻所在桥路的滑动变阻器来设定温差,并计算好加热电阻单元和环境电阻所在桥路之间的电压差值。对电路进行接通时,加热电阻单元RH受热电阻增大,输入放大器的电位升高,当加热电阻单元RH所在桥路的电位高于环境电阻所在的桥路时,放大器的输出为反向输入,输出电压为零,加热电阻单元所在桥路电流被放大器吸收,没有电流从加热电阻单元流过,停止加热,直到输入放大器的电位小于环境电阻输入的电位,才继续加热,通过此种方式,实现对加热电阻单元的恒温差控制。

[0040] 图4为本发明测温电阻单元的信号检测电路结构图。如图4所示,信号检测电路包括电源、惠斯通桥路、滑动变阻器、多通道模拟开关、运算放大电路、温度补偿电路和滤波电路。其中,测温电阻单元R分别与多通道模拟开关相连,然后和外接参考电阻(R1、R2)以及滑动变阻器(RV1)组成惠斯通电桥。多通道模拟开关的通断通过单片机程序控制,从而实现对接入的测温电阻单元R选择性的进行实时测量。滑动变阻器RV2起到对输入的电源电压进行调节的作用。惠斯通电桥的输出电压与第一运算放大电路相连,第一运算放大电路由电阻(R3、RF1)和放大器U1组成,第一运算放大电路为比例放大电路,能够放大接入的测温电阻单元的电压。第一运算放大电路的输出端与第二运算放大电路的负向输入端相连,温度补偿电路与第二运算放大电路的正向输入端相连。第二运算放大电路由电阻(R5、RF2)和放大器U2组成,温度补偿电路由滑动变阻器(RV3、RV4)和环境电阻RC组成。第二运算放大电路为减法电路,正向输入端的电压与反向输入端的电压相减,实现对测温电阻单元进行环境温度补偿的目的。第二运算放大电路的输出电压将与滤波电路相连,滤波电路由电阻(R6、R7、R8、RF3),电容C1和放大器U3组成,滤波电路为有源低通滤波器,能够消除测量时高频噪音的影响。滤波后的测量信号将输入电脑的Labview软件进行后续的A/D处理,然后通过提出的风速风向解析方法求解出相应的风速风向。

[0041] 本发明实施例还提供了一种上述柔性热膜传感器测量信号风速风向的解析方法,具体包括以下步骤:

[0042] 第一步:定义第一测温电阻单元的测量方向为 θ_1 (此方向与飞行方向一致)。按顺时针方向定义,则第二测温电阻单元、第三测温电阻单元和第四测温电阻单元所处的方向

分别为 θ_2 、 θ_3 和 θ_4 。

[0043] 第二步:当对加热电阻单元提供电流时,四个测温电阻单元分别受到加热电阻单元的热对流影响,而温度升高,通过惠斯通电桥测出的输出电压发生变化。由于风向不同,四个测温电阻单元的电压输出量分别为 V_1, V_2, V_3, V_4 。

[0044] 第三步:以平面直角坐标系中以 $0\sim 360^\circ$ 为横坐标,电压变化量为纵坐标,将测量数据 (θ_i, V_i) ($i=1\ldots 4$)输入进去。

[0045] 第四步:使用三次样条曲线插值算法在 $0\sim 360^\circ$ 内对第三步中标记的点进行拟合,获得曲线 $V=f(\theta)$ 的函数,然后求解该函数 V 最小时对应的 $\theta_{\min}$ 值,该角度值即为风速的方向。

[0046] 第五步:计算 $V=f(\theta)$ 在 $0\sim 360^\circ$ 内最小的 $V_{\min}$ 和 $V_{\max}$,则它们的差值为 ΔV^1 。将 ΔV^1 代入公式 $\Delta V = \frac{1}{\alpha + \beta * \sqrt{u}}$,可求解出风速 u ,公式 $\Delta V = \frac{1}{\alpha + \beta * \sqrt{u}}$ 是根据热温差型流量传感器

理论和传热学理论提前标定建立的方程, α 、 β 是与流体性质有关的热传导量。

[0047] 另外,本发明一种柔性热膜风速风向传感器整体制作在柔性低热导率材料聚酰亚胺上,适合于贴附在无人机机翼或低速风洞模型等复杂曲面上进行风速风向的感知测量。本发明也可与压电传感器、应变传感器进行集成,组成阵列化的测量传感网络整体应用在飞行器智能蒙皮结构中,实现对飞行器气动参数的自反馈功能。在民用的风速风向测量领域,本发明由于较高的测量精度和灵敏度,传感器结构稳定、低功耗,处理算法简单等优点也具有非常广泛的用途。

[0048] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

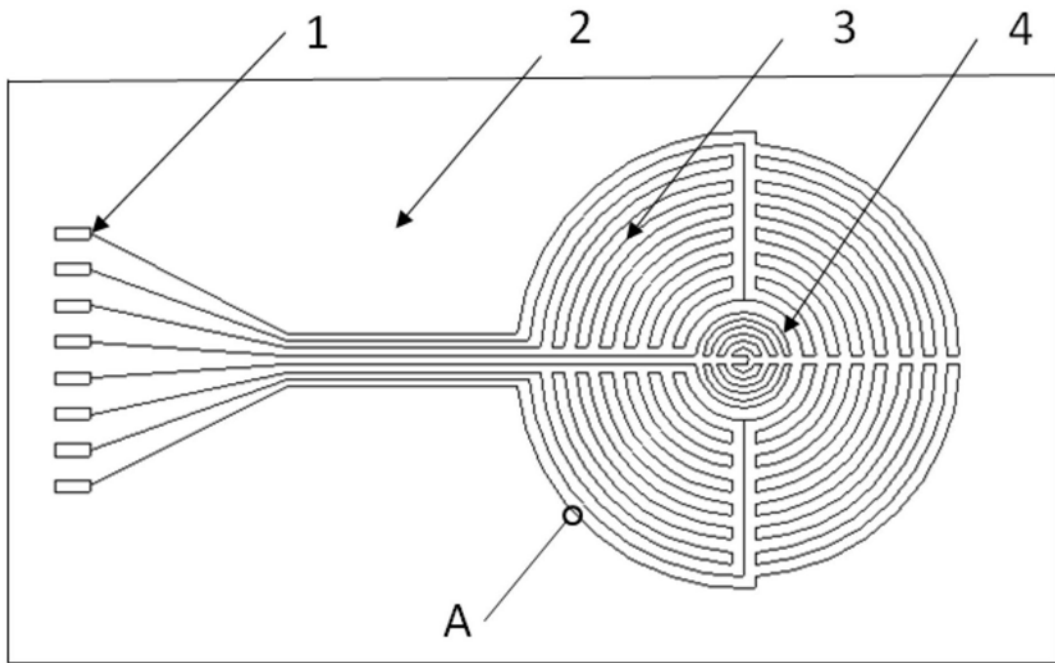


图1a

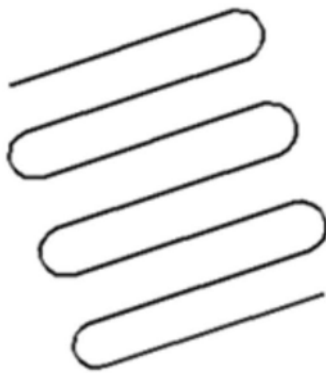


图1b

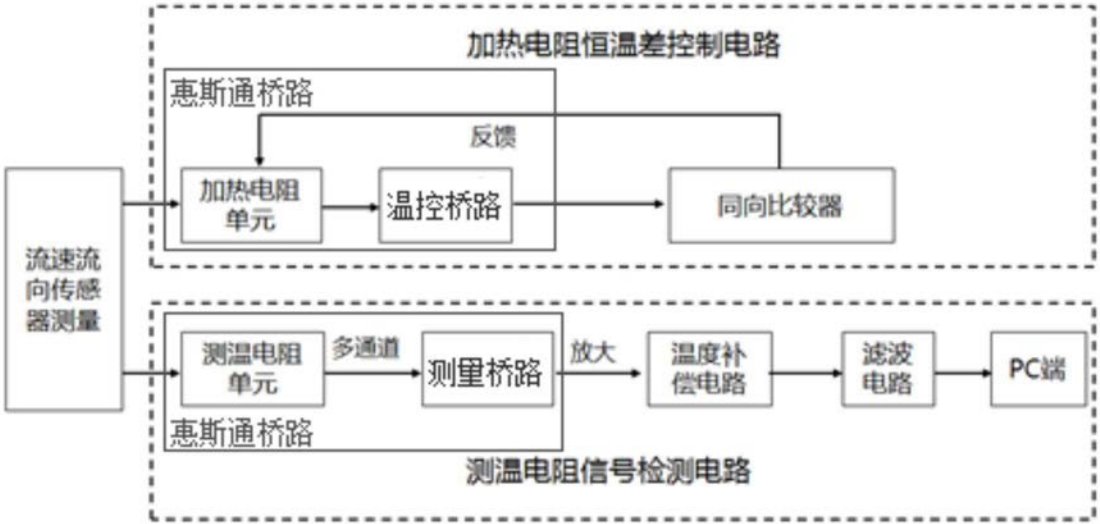


图2

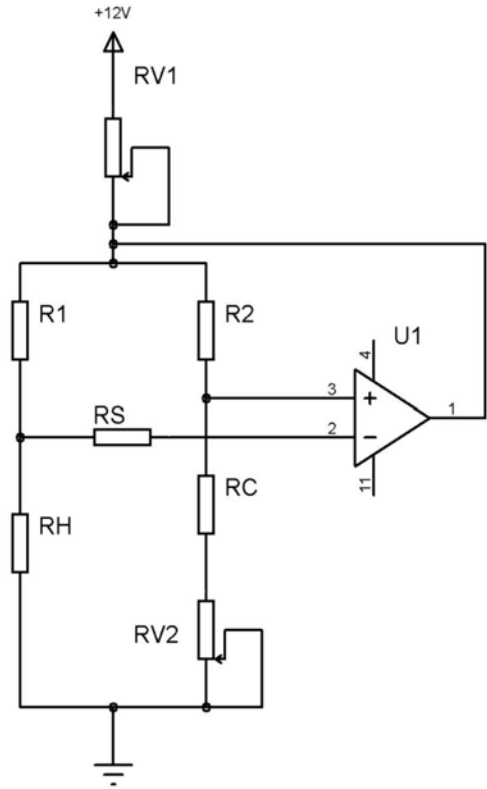


图3

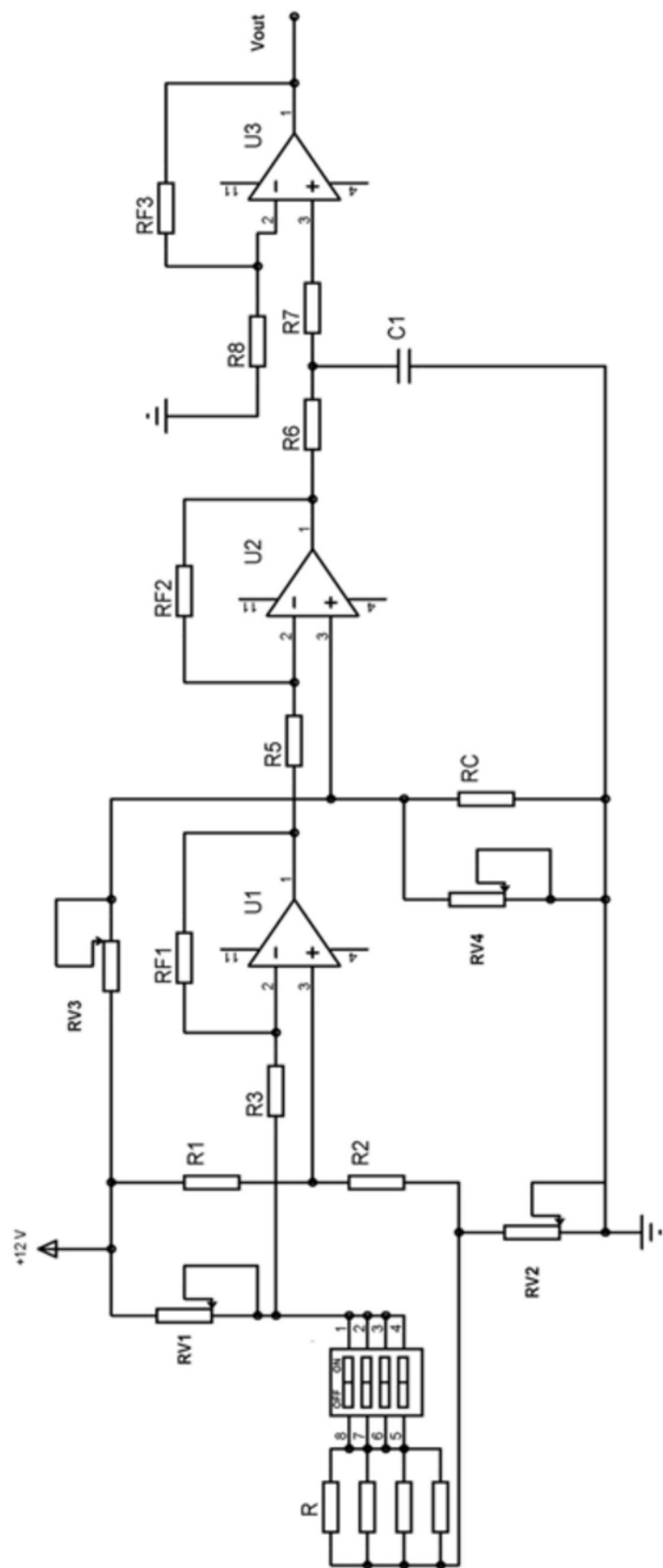


图4