



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104502228 B

(45)授权公告日 2017.03.08

(21)申请号 201410775828.4

(22)申请日 2014.12.15

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104502228 A

(43)申请公布日 2015.04.08

(73)专利权人 中国航空工业集团公司北京长城  
航空测控技术研究所

地址 100022 北京市朝阳区建国路126号瑞  
赛大厦

专利权人 中航高科智能测控有限公司  
北京瑞赛长城航空测控技术有限  
公司

(72)发明人 刘帅 陈国炜 余婷 张梅菊  
王燕山 刘德峰

(74)专利代理机构 北京天奇智新知识产权代理  
有限公司 11340

代理人 陆军

(51)Int.Cl.

G01N 11/00(2006.01)

审查员 李婷

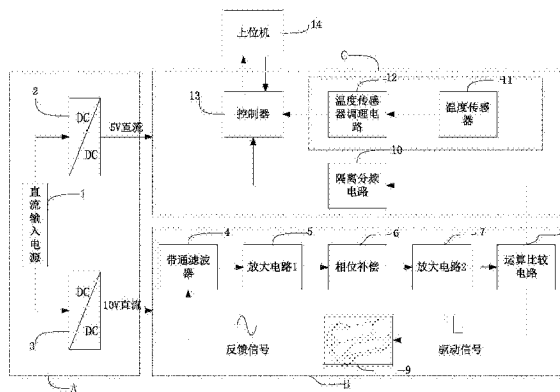
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

用于油液粘度在线检测传感器的测量系统  
和测量方法

(57)摘要

本申请公开了用于油液粘度在线检测传感器的测量系统和测量方法,该测量系统包括上位机、自平衡激励振荡电路模块、数据采集处理模块,上位机与数据采集处理模块连接,用于向数据采集处理模块发送粘度检测指令,并从数据采集处理模块接收粘度检测数据,自平衡激励振荡电路模块包括由信号调理电路和音叉谐振器组成的闭合环路,音叉谐振器在测量过程中被浸入待测油液中,并通过驱动信号形成连续谐振,信号调理电路用于将来自所述音叉谐振器的谐振信号转换为与谐振频率同频的驱动信号,并将驱动信号提供给所述音叉谐振器、以及数据采集处理模块,所述数据采集处理模块用于提取来自所述信号调理电路的驱动信号的频率,并将其转换为待测油液的粘度值。



1. 一种用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,包括上位机(14)、自平衡激励振荡电路模块(B)、以及数据采集处理模块(C),

所述上位机(14)与数据采集处理模块(C)连接,用于向数据采集处理模块(C)发送粘度检测指令,并从数据采集处理模块(C)接收粘度检测数据,

所述自平衡激励振荡电路模块(B)包括由信号调理电路和音叉谐振器(9)组成的闭环环路,所述音叉谐振器(9)在测量过程中被浸入待测油液中,并通过驱动信号形成连续谐振,

所述信号调理电路用于将来自所述音叉谐振器(9)的谐振信号转换为与所述音叉谐振器(9)在油液中的谐振频率同频的驱动信号,并将驱动信号提供给所述音叉谐振器(9)、以及数据采集处理模块(C),

所述数据采集处理模块(C)用于提取来自所述信号调理电路的驱动信号的频率,并将其转换为待测油液的粘度值。

2. 根据权利要求1所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,还包括供电模块(A),所述供电模块(A)用于将输入电源分别转换为所述数据采集处理模块(C)和所述自平衡激励振荡电路模块(B)所需的电源。

3. 根据权利要求1所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,其中,所述信号调理电路包括依次串联的带通滤波器(4)、初级放大电路(5)、RC相位补偿网络(6)、次级放大电路(7)、运算比较电路(8)。

4. 根据权利要求3所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,其中,所述带通滤波器(4)用于对音叉谐振器(9)的原始谐振信号进行滤波处理,所述初级放大电路(5)用于对滤波后的谐振信号放大,所述RC相位补偿网络(6)用于对放大后谐振信号的进行相位补偿,

相位补偿后的信号经所述次级放大电路(7)及运算比较电路(8)之后,生成与音叉谐振器(9)的谐振频率同频的驱动信号,其被连续提供给音叉谐振器(9),以维持音叉谐振器(9)谐振。

5. 根据权利要求1所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,其中,音叉谐振器(9)由固定在一起的压电晶体换能器和音叉组成,其中,利用压电晶体换能器的压电材料的逆压电效应,通过所述驱动信号来驱动压电晶体换能器带动音叉谐振,并且,利用压电晶体换能器的压电材料的正压电效应,输出音叉谐振器(9)的谐振信号。

6. 根据权利要求4所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,其中,所述数据采集处理模块(C)包括隔离分频电路(10)和控制器(13),

其中,运算比较电路(8)还将与谐振频率同频的驱动信号输出到所述数据采集处理模块(C)的隔离分频电路(10),

隔离分频电路(10)包括光电隔离器和计数器,光电隔离器用于将所述驱动信号的峰峰值转换为具有适于输出至控制器(13)的峰峰值的信号,计数器用于对驱动信号的频率进行分频,分频后的信号直接输出至控制器(13)的频率采集端口,由此得到谐振频率的频率值,并且,控制器(13)用于将根据谐振频率计算得到的粘度值输出到上位机(14)。

7. 根据权利要求6所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,其中,所述数据采集处理模块(C)还包括温度传感器(11)、以及温度传感器信号调理电路(12),用于采集并将

待测油液的温度数据发送到所述控制器(13),并经由所述控制器(13)发送到上位机(14)处理并显示。

8.根据权利要求2所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,其中,所述供电模块(A)包括24V直流电源(1)、24V直流转5V直流模块(2)、24V直流转10V直流模块(3),用来分别向数据采集处理模块(C)和自平衡激励振荡电路模块(B)供电。

9.根据权利要求1所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,其中,所述上位机(14)与所述数据采集处理模块(C)之间采用RS485、RS232和/或can总线进行通信。

10.根据权利要求1至9中的一个所述的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统的油液粘度测量方法,包括以下步骤:

系统上电后,供电模块(A)为自平衡激励振荡电路模块(B)及数据采集处理模块(C)分别提供工作电压;

自平衡激励振荡电路模块(B)生成初始驱动信号驱动音叉谐振器(9)产生谐振;

音叉谐振器(9)达到自身谐振频率时,将谐振信号输出到信号调理电路;

信号调理电路将来自所述音叉谐振器(9)的谐振信号转换为与谐振频率同频的驱动信号,并将驱动信号提供给所述音叉谐振器(9)、以及数据采集处理模块(C);

所述数据采集处理模块(C)提取来自所述信号调理电路的驱动信号的频率,并根据以下公式,计算出油液的粘度值:

$$\frac{f_0}{f_1} = \sqrt{1 + \frac{3}{4} \pi \frac{1}{\rho_m t} \sqrt{\frac{2\eta\rho_l}{\omega_l} + \frac{1}{12} \pi \frac{\rho_l w}{\rho_m t}}}$$

其中, $f_0$ 为音叉谐振器(9)在空气中的谐振频率值, $f_1$ 为音叉谐振器(9)在油液中的谐振频率值, $w$ 、 $t$ 分别为音叉谐振器(9)的叉指宽度以及厚度, $\rho_m$ 为音叉谐振器(9)材料的密度, $\rho_l$ 为油液的密度, $\omega_l$ 为音叉谐振器(9)在油液中的角频率, $\eta$ 为油液的粘度值;

数据采集处理模块(C)将油液粘度数据实时发送至上位机(14),并由上位机(14)输出和显示。

## 用于油液粘度在线检测传感器的测量系统和测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及油液粘度在线检测技术,尤其涉及用于油液粘度在线检测传感器的测量系统和测量方法。

### 背景技术

[0002] 粘度也叫粘性系数,为两层液体间一定面积、一定速度梯度时的内摩擦力。粘度是流体重要物理性质之一,它反映流体流动行为的特征。粘度是衡量流体粘性程度大小的物理量,也称为动力粘度、粘滞系数或内摩擦系数,动力粘度的国际标准物理单位为帕斯卡秒(Pa·S)。动力粘度的厘米·克·秒制(cgs)物理单位为泊(P),通常表达为厘泊(cP),尤其在ASTM单位中。不同的物质粘度不同,例如,在常温(20℃)及常压下,空气的粘度为0.018cP,水为1cP等。

[0003] 由于粘度是直接反映流体性质的重要参数,因此粘度的测量被广泛应用于石油、化工、涂料、食品和制药等工业部门,对生产环节的质量控制以及最终产品的性能评定起着重要作用。例如在制药工业中,测量液体粘度(动力粘度),可以区别或检查某些药品的纯杂程度;在石油开采领域,钻井、固井的各个阶段中对钻井液粘度的正确测量和控制不但直接影响钻井效率,而且决定井的质量;在石油化工行业,粘度对各种润滑油的质量鉴别和确定用途以及各种燃料用油的燃烧性能有决定意义。

[0004] 另外,粘度的测量在国防领域也起着十分重要的作用,油液的粘度参数是航空、航天及船舶等工业部门选择油样以及更换油样的重要指标。

[0005] 目前,由于粘度测量的重要性越来越大,国内外科学家研究并开发了多种测量液体粘度的方法与仪器。例如:

[0006] 1、毛细管粘度计

[0007] 毛细管粘度计是根据哈根·泊肃叶定律设计的测量粘度的仪器。其工作原理是,当被测液体流过半径为r,长度为l的毛细管时,使其流量q一定,按哈根·泊肃叶定律,细管两端压差 $\Delta P$ 和流体粘度系数 $\eta$ 之间的关系如下:

$$[0008] \quad \eta = \frac{\pi r^4 \Delta P}{\gamma q l (1 + n_0)}$$

[0009] 式中: $\gamma$ 为流体密度; $n_0$ 为由系统决定的修正系数。按上式测出 $\Delta P$ 加以计算,即可得出粘度。

[0010] 2、旋转粘度计

[0011] 旋转粘度计的原理是基于浸入流体中的物体(如圆筒、圆锥、园板、球及其它形状的刚性体)旋转,或这些物体静止而使周围的流体旋转时,这些物体将受到流体的粘性力矩的作用,粘性力矩的大小与流体的粘度成正比,通过测量粘性力矩及旋转体的转速球液体粘度。其示意图如图2所示。

[0012] 3、落体粘度计

[0013] 使物体在流体中下落,越是粘度高的流体,物体在其中下落的速度越慢,因此通过下落速度可比较流体粘度的大小。假设在装有粘度为 $\eta$ 的粘性流体的试管液中,半径为 $r$ 的刚性小球以速度 $v$ 下落,小球下落一定距离的时间和液体粘度有以下关系:

$$[0014] \quad \eta = K(\rho_0 - \rho)t$$

[0015] 式中 $\rho_0$ 为球的密度, $\rho$ 为流体的密度, $K$ 为定值,它与球的半径 $r$ 和粘度计试液管的圆管直径有关。因此,预先用粘度标准液实验得出常数,然后测定一定距离的下落时间和被测液体的密度即可求出粘度。

#### [0016] 4、振动式粘度计

[0017] 振动式粘度计是基于剪应力原理工作的,传感器的敏感元件受力发生器作用在流体中做扭摆振动,由于流体粘性阻尼变化的作用,其振动幅度会产生变化。由外界来提供由于粘性阻尼所消耗的能量,使敏感元件的振动维持在共振频率和恒定的振幅下,此时所补充的能量与流体的粘度及密度的乘积有如下对应关系:

$$[0018] \quad E \propto \sqrt{\eta\rho}$$

[0019] 式中 $\eta$ 为待测流体的运动粘度; $\rho$ 为待测流体的密度, $E$ 为所补充的能量。

[0020] 由以上可以看出,粘度计的种类很多,但多数研制困难且测试条件要求较高。多数存在只能离线测量,测试时间长,测量误差大等缺点。本发明基于音叉谐振器在不同粘度油样中其谐振频率有所区别这一特性,提出了一种可用于油液粘度在线检测传感器的测量方法,实现了油液粘度的在线检测,大大缩短检测周期,具有良好的应用前景。

### 发明内容

[0021] 有鉴于此,本发明的主要目的在于提供一种用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,可以连续、准确地测量油液粘度值,可应用于工业现场多种需要监测油液粘度变化的场合。

[0022] 本发明提供一种用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,应用于需在线连续检测油液粘度的多种工业场合,可安装在多种场合下的油路、油箱等管路中,解决了离线式测量周期长、测量误差大、不能完全反映实际工况条件下的油液粘度值的一系列问题,极大程度的节省了检测成本。针对在线式油液粘度测量多存在振动大、油液流动、环境温度恶劣等方面的影响,本系统为提高在线式检测传感器的可靠性以及稳定性,电路在环境适应性方面做了优化设计。根据本发明的技术方案,本系统激励信号激励音叉谐振器,其反馈信号是微弱信号,且包含着振动、油液流动等带来的噪声信号。

[0023] 根据本发明的实施例,提供了一种用于油液粘度在线检测传感器的测量系统,包括上位机(14)、自平衡激励振荡电路模块(B)、以及数据采集处理模块(C),所述上位机(14)与数据采集处理模块(C)连接,用于向数据采集处理模块(C)发送粘度检测指令,并从数据采集处理模块(C)接收粘度检测数据,所述自平衡激励振荡电路模块(B)包括由信号调理电路和音叉谐振器(9)组成的闭合环路,所述音叉谐振器(9)在测量过程中被浸入待测油液中,并通过驱动信号形成连续谐振,所述信号调理电路用于将来自所述音叉谐振器(9)的谐振信号转换为与谐振频率同频的驱动信号,并将驱动信号提供给所述音叉谐振器(9)、以及数据采集处理模块(C),所述数据采集处理模块(C)用于提取来自所述信号调理电路的驱动

信号的频率,并将其转换为待测油液的粘度值。

[0024] 本发明的有益效果主要在于:可实时在线连续测量油液粘度,测量精度高,解决了离线式测量周期长、测量误差大的缺点,极大程度的节省了检测成本,并且,可以实时掌握油液粘度变化趋势以及温度变化趋势,并可通过上位机发送指令至控制器,实现数据校准功能。

### 附图说明

[0025] 图1是根据本发明的实施例的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统的总体架构图;

[0026] 图2是现有技术中的旋转粘度计的示意图。

[0027] 图中的附图标记说明如下:

[0028]

1-24V 直流电源	2-24V 直流转 5V 直流模块	3-24V 直流转 10V 直流模块
4-自激励带通滤波器	5-初级放大电路	6-RC 相位补偿电路
7-次级放大电路	8-运算比较电路	9-音叉谐振器
10-隔离分频电路	11-铂电阻温度传感器	12-温度传感器信号调理电路
13-控制器	14-上位机	A-供电模块
B-自平衡激励振荡电路模块	C-数据采集处理模块	

### 具体实施方式

[0029] 下面,结合附图对技术方案的实施作进一步的详细描述。

[0030] 本领域的技术人员能够理解,尽管以下的说明涉及到有关本发明的实施例的很多技术细节,但这仅为用来说明本发明的原理的示例、而不意味着任何限制。本发明能够适用于不同于以下例举的技术细节之外的场合,只要它们不背离本发明的原理和精神即可。

[0031] 另外,为了避免使本说明书的描述限于冗繁,在本说明书中的描述中,可能对可在现有技术资料中获得的部分技术细节进行了省略、简化、变通等处理,这对于本领域的技术人员来说是可以理解的,并且这不会影响本说明书的公开充分性。

[0032] 图1是根据本发明的实施例的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统的总体架构图。

[0033] 如图1所示,用于油液粘度在线检测传感器的测量系统主要包括上位机14、供电模块A、自平衡激励振荡电路模块B、数据采集处理模块C。

[0034] 上位机14与数据采集处理模块C的控制器13连接,用于向数据采集处理模块C发送粘度检测指令,并从数据采集处理模块C接收粘度检测数据,等等。

[0035] 自平衡激励振荡电路模块B主要包括带通滤波器4、初级放大电路(放大电路1)5、RC相位补偿网络6、次级放大电路(放大电路2)7、运算比较电路8、音叉谐振器9,上述各部分组成闭合环路,即,形成自平衡激励振荡电路。

[0036] 自平衡激励振荡电路模块B首先经过带通滤波器4对音叉谐振器9的原始谐振信号(正弦信号)进行针对性滤波处理,经过初级放大电路5放大后,再经过RC相位补偿网路6进行相位补偿,再经次级放大电路7及运算比较电路8,向音叉谐振器9输出稳定的处于音叉谐振器9在油液中的谐振频率点的方波驱动信号。其中,音叉谐振器9由固定在一起的压电晶体换能器和音叉组成,在测试过程中被浸入待测油液中。利用压电晶体换能器的压电材料(PZT)的逆压电效应,通过驱动信号来驱动压电晶体换能器带动音叉谐振,即,驱动音叉谐振器9谐振。并且,利用压电晶体换能器的压电材料(PZT)的正压电效应,输出音叉谐振器9的振荡特性。

[0037] 具体地,自平衡激励振荡电路模块B输出固定频率的驱动信号(方波信号),该频率为初始固定频率,与整个电路模块的闭环参数有关。该驱动信号驱动音叉谐振器9,音叉谐振器9会在激励信号下产生自激振荡,并最终稳定在其谐振频率处,经音叉谐振器9反馈一路模拟信号(正弦信号)。模拟信号输入至自平衡激励振荡电路模块B的输入端,即带通滤波器4的输入端,经由带通滤波器4、初级放大电路5、RC相位补偿网络6、次级放大电路7以及运算比较电路8组成的信号调理电路后,输出与反馈模拟信号(正弦信号)同频率的驱动信号(方波信号),再以此驱动音叉谐振器9,至此,整个自平衡激励振荡模块达到一种闭环稳态。这样,将音叉谐振器9放置在不同粘度的待测油液、或油液的粘度发生变化时,运算比较电路8能够连续输出与油液的粘度相对应的谐振频率的驱动信号(方波信号)。

[0038] 另一方面,运算比较电路8还将与油液的粘度相对应的谐振频率的驱动信号(方波信号)输出到数据采集处理模块C的隔离分频电路10,隔离分频电路主要由光电隔离器和计数器构成,光电隔离器一方面将峰峰值为10V的驱动信号(方波信号)转换为可供控制器直接输入的峰峰值为5V的方波信号,另一方面使电路具备了良好的抗干扰能力。为提高控制器13测量频率的精度,计数器首先将输入信号的频率进行分频处理,处理后的信号直接输出至控制器13的频率采集端口,由此得到谐振频率的频率值,并将根据谐振频率计算得到的粘度值输出到上位机14。

[0039] 可选地,针对环境温度对油液粘度测量精度的影响,数据采集处理模块C还包括铂电阻传感器11、以及温度传感器信号调理电路12。铂电阻传感器11其阻值会随着温度的变化而变化,两者呈线性关系。温度传感器信号调理电路12首先采用恒流源为铂电阻11提供稳定输出的电流值,电流流经铂电阻11后,转换为输出电压值,然后经运算放大器进行一定倍数的放大后输送至模数转换模块。本系统将模数转换模块的输出参考基准电压设置为5V。此处,运算放大器的放大倍数的选择根据待测温度范围来决定,本系统待测范围-40℃~120℃,放大倍数选择为8~9倍。经模数转换模块转换后的数据送至控制器13采集,计算结果发送至上位机14显示。

[0040] 供电模块A包括24V直流电源1、24V直流转5V直流模块2、24V直流转10V直流模块3,用来分别向数据采集处理模块C和自平衡激励振荡电路模块B供电。

[0041] 上位机14与控制器13之间的通信模式可采用RS485、RS232、can总线等通信接口。上位机可以显示油液粘度变化趋势以及温度变化趋势,并可发送指令至控制器,实现数据

校准功能。

[0042] 下面说明根据本发明的实施例的用于油液粘度在线检测传感器的测量系统的粘度测量方法。

[0043] 系统上电后,供电模块A为自平衡激励振荡电路模块B及数据采集处理模块C分别提供工作电压。首先自平衡激励振荡电路B输出驱动信号(方波信号)驱动音叉谐振器9产生自激振荡,音叉谐振器9达到谐振频率时会将反馈信号(正弦信号)输入给自平衡激励振荡电路模块B的输入端(带通滤波器4),经过信号调理电路,自平衡激励振荡电路B的输出驱动信号(方波信号)频率会跟随反馈信号(正弦信号)的频率,最终达到稳态。音叉谐振器9放置在待测油样中,其谐振频率会随着油液的粘度的变化而发生改变。通过测量音叉谐振器9不同粘度下的谐振特征参数,建立油液粘度与特征参数之间的关系,通过解析算法得到待测油样的粘度值。数据采集处理模块C的隔离分频电路10将输入的谐振频率信号的进行隔离和分频处理,控制器13实现谐振频率的采集以及粘度值的换算。具体地,根据以下公式,计算

算出油液粘度值:  $\frac{f_0}{f_1} = \sqrt{1 + \frac{3}{4} \pi \frac{1}{\rho_m t} \sqrt{\frac{2\eta\rho_l}{\omega_l}} + \frac{1}{12} \pi \frac{\rho_l w}{\rho_m t}}$ 。其中,  $f_0$  为音叉谐振器9在空气中的

谐振频率值,  $f_1$  为音叉谐振器9在油液中的谐振频率值,  $w$ 、 $t$  分别为音叉谐振器9的叉指宽度以及厚度,  $\rho_m$  为音叉谐振器9材料的密度,  $\rho_l$  为油液的密度,  $\omega_l$  为音叉谐振器9在油液中的角频率,  $\eta$  为油液的粘度值。

[0044] 可选地,温度传感器11进行油液温度的实时检测,并经由温度传感器调理电路12将温度值发送给控制器13采集。然后利用采集的温度值进行温度补偿,从而消除温度对材料杨氏模量的影响,提高对油液粘度的检测精度。数据采集处理模块C通过RS485通信方式把油液粘度数据发送至上位机14,上位机14实现对数据的解析和显示。上位机14可以显示油液粘度变化趋势以及温度变化趋势,并可发送指令至控制器13,实现数据校准等功能。

[0045] 综上所述,本领域的技术人员能够理解,对本发明的上述实施例能够做出各种修改、变型、以及替换,其均落入如所附权利要求限定的本发明的保护范围。



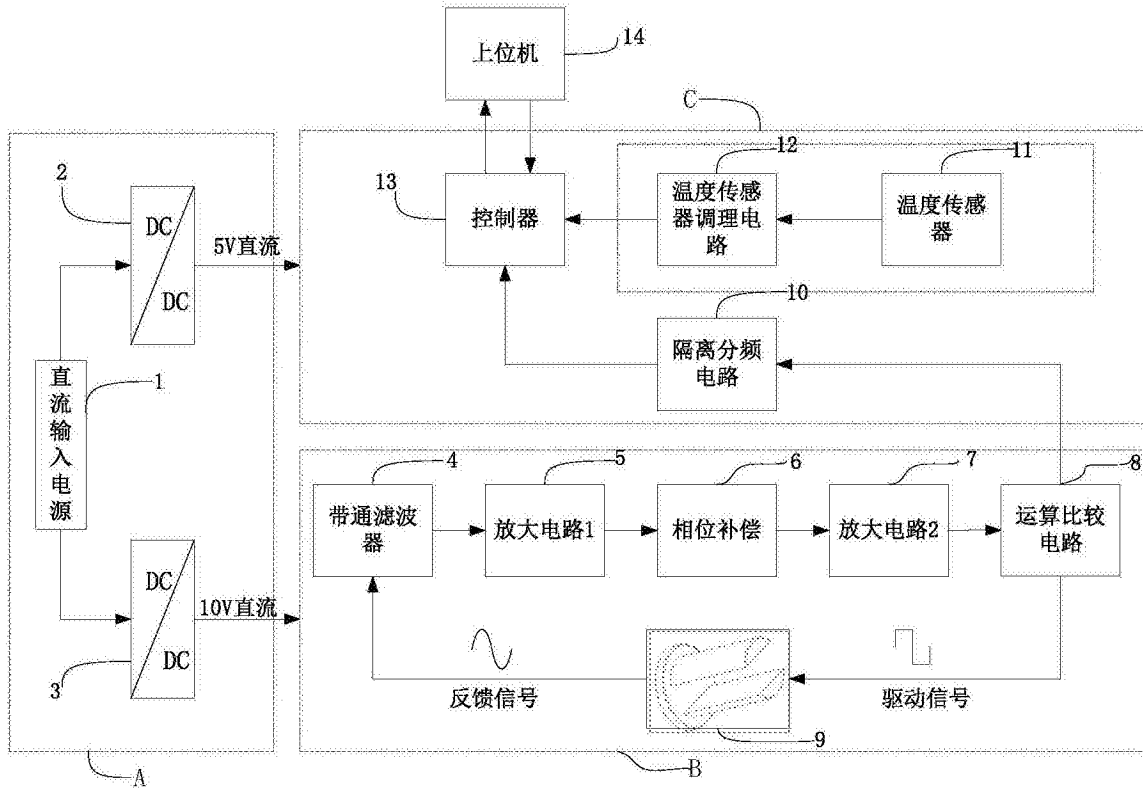


图1

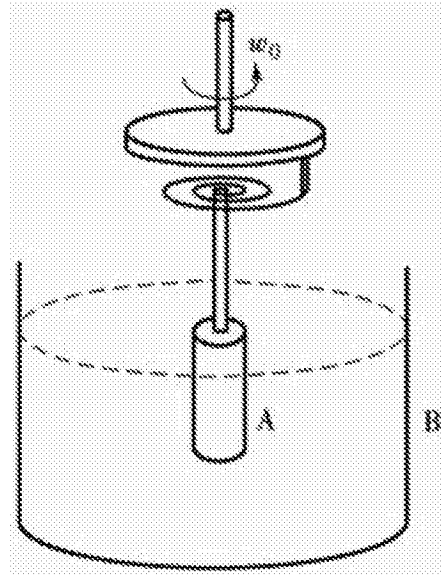


图2