



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115824026 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 21

(21) 申请号 202310108732.1

(22) 申请日 2023.02.14

(71) 申请人 南方科技大学

地址 518000 广东省深圳市南山区桃源街  
道学苑大道1088号

(72) 发明人 彭道杰

(74) 专利代理机构 成都顶峰专利事务所(普通  
合伙) 51224

专利代理师 叶昌威

(51) Int. Cl.

G01B 7/02 (2006.01)

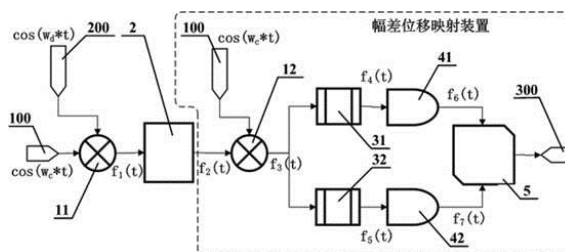
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

## (54) 发明名称

一种差分式谐振腔位移传感系统

## (57) 摘要

本申请公开了一种差分式谐振腔位移传感系统,涉及位移传感器技术领域。所述系统包括有位移调频谐振腔和幅差位移映射装置,其中,所述位移调频谐振腔用于对输入的双频参考信号进行谐振腔幅度调制处理,得到双频调制信号,而所述幅差位移映射装置用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并基于所述谐振腔幅度调制结果得到与幅差线性相关的所求位移量,如此可使整个位移传感系统工作在相当好的线性区间内,仅需要一个已知转换系数即可,进而可以利于现实使用,并相比较于现有单失谐位移传感器,大幅提升线性度,确保测量结果的精准性,便于实际应用和推广。



1. 一种差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,包括有位移调频谐振腔(2)和幅差位移映射装置,其中,所述位移调频谐振腔(2)的谐振频率会随着腔盖(21)在谐振腔体(20)中的位移变化而变化,所述幅差位移映射装置的输入端电连接所述位移调频谐振腔(2)的输出端;

所述位移调频谐振腔(2),用于对输入的双频参考信号进行使输出信号幅值随着所述谐振频率的变化而变化的谐振腔幅度调制处理,得到双频调制信号;

所述幅差位移映射装置,用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并按照如下公式将基于所述谐振腔幅度调制结果所得的幅值作差结果映射到所述腔盖(21)在所述谐振腔体(20)中的位移量 $s$ 上:

$$s=k \times (a_1 - a_0) + s_m$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数, $a_0$ 和 $a_1$ 分别表示对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果, $s_m$ 表示量程中心位移。

2. 如权利要求1所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,所述幅差位移映射装置包括有载波信号输入端子(100)、第二乘法器(12)、第一滤波器(31)、第一幅值测量模块(41)、第二滤波器(32)、第二幅值测量模块(42)和转换模块(5),其中,所述第二乘法器(12)的第一输入端作为所述幅差位移映射装置的输入端电连接所述位移调频谐振腔(2)的输出端,所述第二乘法器(12)的第二输入端电连接所述载波信号输入端子(100),所述第一滤波器(31)的输入端和所述第二滤波器(32)的输入端分别电连接所述第二乘法器(12)的输出端,所述第一幅值测量模块(41)的输入端电连接所述第一滤波器(31)的输出端,所述第二幅值测量模块(42)的输入端电连接所述第二滤波器(32)的输出端,所述转换模块(5)的两输入端分别一一对应地电连接所述第一幅值测量模块(41)的输出端和所述第二幅值测量模块(42)的输出端,所述腔盖(21)在所述谐振腔体(20)中的位移变化范围为 $(s_0, s_1)$ ,所述谐振频率的且与所述位移变化范围对应的变化范围为 $(w_0, w_1)$ , $s_0$ 、 $s_1$ 、 $w_0$ 和 $w_1$ 分别为已知实数;

所述第二乘法器(12),用于对所述双频调制信号 $f_2(t) = A \times (a_0 \times \cos(w_0 \times t) + a_1 \times \cos(w_1 \times t))$ 与经由所述载波信号输入端子(100)输入的单频载波信号 $\cos(w_c \times t)$ 进行相乘处理,得到如下的四频混合信号 $f_3(t)$ :

$$f_3(t) = A \times (a_0 \times (\cos((w_0 - w_c) \times t) + \cos((w_0 + w_c) \times t)) + a_1 \times (\cos((w_1 - w_c) \times t) + \cos((w_1 + w_c) \times t)))$$

式中, $t$ 表示时间变量, $A$ 表示所述双频参考信号的已知幅值, $a_0$ 和 $a_1$ 分别表示对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果, $w_c = |w_0 - w_1| \div 2$ ;

所述第一滤波器(31),用于对所述四频混合信号 $f_3(t)$ 进行滤波处理,得到第一滤波信号 $f_4(t) = A \times (a_0 \times (\cos((w_0 - w_c) \times t))$ ;

所述第一幅值测量模块(41),用于对所述第一滤波信号 $f_4(t)$ 进行幅值测量处理,得到第一幅值信号 $f_6(t)$ ;

所述第二滤波器(32),用于对所述四频混合信号 $f_3(t)$ 进行滤波处理,得到第二滤波信号 $f_5(t) = A \times (a_1 \times (\cos((w_1 - w_c) \times t))$ ;

所述第二幅值测量模块(42),用于对所述第二滤波信号 $f_5(t)$ 进行幅值测量处理,得到第二幅值信号 $f_7(t)$ ;

所述转换模块(5),用于对所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 进行幅值作差处理,并按照如下公式将幅值作差结果映射到所述腔盖(21)在所述谐振腔体(20)中的位移量 $s$ 上:

$$s=k \times (a_1-a_0)+s_m$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数, $s_m$ 表示量程中心位移。

3.如权利要求2所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,还包括有调制信号输入端子(200)和第一乘法器(11),其中,所述第一乘法器(11)的两输入端分别一一对应地电连接所述调制信号输入端子(200)和所述载波信号输入端子(100),所述第一乘法器(11)的输出端电连接所述位移调频谐振腔(2)的输入端;

所述第一乘法器(11),用于对经由所述调制信号输入端子(200)输入的单频调制信号 $\cos(w_d \times t)$ 与经由所述载波信号输入端子(100)输入的单频载波信号 $\cos(w_c \times t)$ 进行相乘处理,得到用于输入所述位移调频谐振腔(2)的双频参考信号 $f_1(t)=A \times (\cos(w_0 \times t)+\cos(w_1 \times t))$ ,其中, $w_d=|w_0-w_1| \div 2$ , $w_c=w_0-|w_0-w_1| \div 2$ , $A=0.5$ 。

4.如权利要求3所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,所述位移变化范围为通过在所述位移调频谐振腔(2)的某个Q值下调节所述单频调制信号与所述单频载波信号的频率间距来预先选定的线性区间范围。

5.如权利要求2所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,所述第一滤波器(31)和/或所述第二滤波器(32)采用带通滤波器。

6.如权利要求2所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,所述第一幅值测量模块(41)和/或所述第二幅值测量模块(42)采用基于压控振荡器和计数器的幅值测量方案,以便得到为模拟信号形式的所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和/或所述第二幅值信号 $f_7(t)$ ;

或者,所述第一幅值测量模块(41)和/或所述第二幅值测量模块(42)采用基于模数转换器的幅值测量方案,以便得到为数字信号形式的所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和/或所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 。

7.如权利要求2所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,当所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 均为模拟信号时,所述转换模块(5)包括有依次电连接的幅值差分模拟电路单元、模数转换电路单元和数字处理电路单元;

所述幅值差分模拟电路单元,用于对所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 进行幅值作差处理,得到幅值差分模拟信号;

所述模数转换电路单元,用于将所述幅值差分模拟信号转换为幅值差分数字信号;

所述数字处理电路单元,用于根据所述幅值差分数字信号,按照如下公式计算得到所述腔盖(21)在所述谐振腔体(20)中的位移量 $s$ :

$$s=k \times (a_1-a_0)+s_m$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数, $s_m$ 表示量程中心位移。

8.如权利要求7所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,所述转换模块(5)还包括有用于串联在所述幅值差分模拟电路单元与所述模数转换电路单元之间的比例放大电路单元;

所述比例放大电路单元,用于对来自所述幅值差分模拟电路单元的幅值差分模拟信号进行比例放大处理,得到比例放大的且用于输入所述模数转换电路的幅值差分模拟信号。

9. 如权利要求2所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,所述位移变化范围为通过调节所述位移调频谐振腔(2)的Q值来预先确定的线性区间范围。

10. 如权利要求2所述的差分式谐振腔位移传感系统,其特征在于,当定义所述位移变化范围的中点为位移量零点时,所述转换模块(5)用于对所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 进行幅值作差处理,并按照如下公式将幅值作差结果映射到所述腔盖(21)在所述谐振腔体(20)中的位移量 $s$ 上:

$$s=k \times (a_1 - a_0)$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数。

## 一种差分式谐振腔位移传感系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于位移传感器技术领域,具体涉及一种差分式谐振腔位移传感系统。

### 背景技术

[0002] 位移传感器又称为线性传感器,是一种属于金属感应的线性器件,传感器的作用是把各种被测物理量转换为电量。在生产过程中,位移的测量一般分为测量实物尺寸和机械位移两种。按被测变量变换的形式不同,位移传感器可分为模拟式和数字式两种。模拟式又可分为物性型和结构型两种。常用位移传感器以模拟式结构型居多,包括电位器式位移传感器、电感式位移传感器、自整角机、电容式位移传感器、电涡流式位移传感器和霍尔式位移传感器等。另外还有人提出了一种基于谐振腔原理的位移传感器,能够通过谐振频率的改变进行位移的测量,并且由于能够承受高温和高污染等恶劣的工作环境,可特别适用于航空发动机的叶尖间隙测试等场景。

[0003] 目前,基于谐振腔的谐振频率变化来测量位移的技术构成主要为单失谐位移传感器,即只使用一路输入信号进入谐振腔,最后通过在谐振腔不同失谐情况下的且该输入信号的自身幅值变化来映射出位移。虽然这种单失谐位移传感器具有结构简单等优点,但缺点是线性度很差。

[0004] 详细的,所述单失谐位移传感器的且基于谐振频率变化来测量位移的数学公式如下:

$$\begin{cases} f(t) = \frac{1}{2} * \hat{a}_0 = \frac{1}{2} * \left( B + \frac{A * w}{\pi} * \frac{1}{w^2 + (\hat{\omega} - \hat{\omega}_0)^2} \right) \\ s = \hat{f}(\hat{\omega}) \end{cases}$$

式中,  $f(t)$  的计算公式近似为洛伦兹线型的一侧,  $t$  表示时间变量,  $\hat{a}_0$  表示谐振腔对所述输入信号的幅度调制结果,  $B$  表示基础偏移,  $A$  表示信号幅值,  $w$  表示谐振腔线宽,  $\hat{\omega}$  表示实际腔频率,  $\hat{\omega}_0$  表示起始参考频率,  $s = \hat{f}(\omega)$  表示从谐振频率  $\omega$  到位移量  $s$  的映射。为了求出所述位移量  $s$ , 首先需要在  $f(t)$  的计算公式中利用解调出来的幅值  $\hat{a}_0$  反解出实际腔频率  $\hat{\omega}$ , 然后再将所述实际腔频率  $\hat{\omega}$  作为谐振频率  $\omega$  代入  $s = \hat{f}(\omega)$ , 最终转化得到位移量  $s$ 。但是由于实际上很难准确地写出谐振腔系统输出的洛伦兹线型公式, 且反解过程需要引入过多的计算, 因此现有的单失谐位移传感器使用起来不太现实, 而将之近似为线性处理又会引入较大的误差。

## 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种差分式谐振腔位移传感系统,用以解决现有单失谐位移传感器所存在使用起来不太现实和线性度很差的问题。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

第一方面,提供了一种差分式谐振腔位移传感系统,包括有位移调频谐振腔和幅差位移映射装置,其中,所述位移调频谐振腔的谐振频率会随着腔盖在谐振腔体中的位移变化而变化,所述幅差位移映射装置的输入端电连接所述位移调频谐振腔的输出端;

所述位移调频谐振腔,用于对输入的双频参考信号进行使输出信号幅值随着所述谐振频率的变化而变化的谐振腔幅度调制处理,得到双频调制信号;

所述幅差位移映射装置,用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并按照如下公式将基于所述谐振腔幅度调制结果所得的幅值作差结果映射到所述腔盖在所述谐振腔体中的位移量 $s$ 上:

$$s=k \times (a_1 - a_0) + s_m$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数, $a_0$ 和 $a_1$ 分别表示对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果, $s_m$ 表示量程中心位移。

[0007] 基于上述发明内容,提供了一种基于谐振腔原理和双频参考信号来差分测量腔盖位移的新方案,即包括有位移调频谐振腔和幅差位移映射装置,其中,所述位移调频谐振腔用于对输入的双频参考信号进行谐振腔幅度调制处理,得到双频调制信号,而所述幅差位移映射装置用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并基于所述谐振腔幅度调制结果得到与幅差线性相关的所求位移量,如此可使整个位移传感系统工作在相当好的线性区间内,仅需要一个已知转换系数即可,进而可以利于现实使用,并相比较于现有单失谐位移传感器,大幅提升线性度,确保测量结果的精准性,便于实际应用和推广。

[0008] 在一个可能的设计中,所述幅差位移映射装置包括有载波信号输入端子、第二乘法器、第一滤波器、第一幅值测量模块、第二滤波器、第二幅值测量模块和转换模块,其中,所述第二乘法器的第一输入端作为所述幅差位移映射装置的输入端电连接所述位移调频谐振腔的输出端,所述第二乘法器的第二输入端电连接所述载波信号输入端子,所述第一滤波器的输入端和所述第二滤波器的输入端分别电连接所述第二乘法器的输出端,所述第一幅值测量模块的输入端电连接所述第一滤波器的输出端,所述第二幅值测量模块的输入端电连接所述第二滤波器的输出端,所述转换模块的两输入端分别一一对应地电连接所述第一幅值测量模块的输出端和所述第二幅值测量模块的输出端,所述腔盖在所述谐振腔体中的位移变化范围为 $(s_0, s_1)$ ,所述谐振频率的且与所述位移变化范围对应的变化范围为 $(w_0, w_1)$ , $s_0$ 、 $s_1$ 、 $w_0$ 和 $w_1$ 分别为已知实数;

所述第二乘法器,用于对所述双频调制信号 $f_2(t) = A \times (a_0 \times \cos(w_0 \times t) + a_1 \times \cos(w_1 \times t))$ 与经由所述载波信号输入端子输入的单频载波信号 $\cos(w_c \times t)$ 进行相乘处理,得到如下的四频混合信号 $f_3(t)$ :

$$f_3(t) = A \times (a_0 \times (\cos((w_0 - w_c) \times t) + \cos((w_0 + w_c) \times t)) + a_1 \times (\cos((w_1 - w_c) \times t) + \cos((w_1 + w_c) \times t)))$$

式中, $t$ 表示时间变量, $A$ 表示所述双频参考信号的已知幅值, $a_0$ 和 $a_1$ 分别表示对所

述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,  $w_c = w_0 - |w_0 - w_1| \div 2$ ;

所述第一滤波器,用于对所述四频混合信号  $f_3(t)$  进行滤波处理,得到第一滤波信号  $f_4(t) = A \times (a_0 \times (\cos((w_0 - w_c) \times t)))$ ;

所述第一幅值测量模块,用于对所述第一滤波信号  $f_4(t)$  进行幅值测量处理,得到第一幅值信号  $f_6(t)$ ;

所述第二滤波器,用于对所述四频混合信号  $f_3(t)$  进行滤波处理,得到第二滤波信号  $f_5(t) = A \times (a_1 \times (\cos((w_1 - w_c) \times t)))$ ;

所述第二幅值测量模块,用于对所述第二滤波信号  $f_5(t)$  进行幅值测量处理,得到第二幅值信号  $f_7(t)$ ;

所述转换模块,用于对所述第一幅值信号  $f_6(t)$  和所述第二幅值信号  $f_7(t)$  进行幅值作差处理,并按照如下公式将幅值作差结果映射到所述腔盖在所述谐振腔体中的位移量  $s$  上:

$$s = k \times (a_1 - a_0) + s_m$$

式中,  $k$  表示从幅值差到位移大小的已知转换系数,  $s_m$  表示量程中心位移。

[0009] 在一个可能的设计中,还包括有调制信号输入端子和第一乘法器,其中,所述第一乘法器的两输入端分别一一对应地电连接所述调制信号输入端子和所述载波信号输入端子,所述第一乘法器的输出端电连接所述位移调频谐振腔的输入端;

所述第一乘法器,用于对经由所述调制信号输入端子输入的单频调制信号  $\cos(w_d \times t)$  与经由所述载波信号输入端子输入的单频载波信号  $\cos(w_c \times t)$  进行相乘处理,得到用于输入所述位移调频谐振腔的双频参考信号  $f_1(t) = A \times (\cos(w_0 \times t) + \cos(w_1 \times t))$ ,其中,  $w_d = |w_0 - w_1| \div 2$ ,  $w_c = w_0 - |w_0 - w_1| \div 2$ ,  $A = 0.5$ 。

[0010] 在一个可能的设计中,所述位移变化范围为通过在所述位移调频谐振腔的某个  $Q$  值下调节所述单频调制信号与所述单频载波信号的频率间距来预先选定的线性区间范围。

[0011] 在一个可能的设计中,所述第一滤波器和/或所述第二滤波器采用带通滤波器。

[0012] 在一个可能的设计中,所述第一幅值测量模块和/或所述第二幅值测量模块采用基于压控振荡器和计数器的幅值测量方案,以便得到为模拟信号形式的所述第一幅值信号  $f_6(t)$  和/或所述第二幅值信号  $f_7(t)$ 。

[0013] 在一个可能的设计中,所述第一幅值测量模块和/或所述第二幅值测量模块采用基于模数转换器的幅值测量方案,以便得到为数字信号形式的所述第一幅值信号  $f_6(t)$  和/或所述第二幅值信号  $f_7(t)$ 。

[0014] 在一个可能的设计中,当所述第一幅值信号  $f_6(t)$  和所述第二幅值信号  $f_7(t)$  均为模拟信号时,所述转换模块包括有依次电连接的幅值差分模拟电路单元、模数转换电路单元和数字处理电路单元;

所述幅值差分模拟电路单元,用于对所述第一幅值信号  $f_6(t)$  和所述第二幅值信号  $f_7(t)$  进行幅值作差处理,得到幅值差分模拟信号;

所述模数转换电路单元,用于将所述幅值差分模拟信号转换为幅值差分数字信号;

所述数字处理电路单元,用于根据所述幅值差分数字信号,按照如下公式计算得到所述腔盖在所述谐振腔体中的位移量  $s$ :

$$s=k \times (a_1 - a_0) + s_m$$

式中,  $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数,  $s_m$ 表示量程中心位移。

[0015] 在一个可能的设计中, 所述转换模块还包括有用于串联在所述幅值差分模拟电路单元与所述模数转换电路单元之间的比例放大电路单元;

所述比例放大电路单元, 用于对来自所述幅值差分模拟电路单元的幅值差分模拟信号进行比例放大处理, 得到比例放大的且用于输入所述模数转换电路的幅值差分模拟信号。

[0016] 在一个可能的设计中, 所述位移变化范围为通过调节所述位移调频谐振腔的 $Q$ 值来预先确定的线性区间范围。

[0017] 在一个可能的设计中, 当定义所述位移变化范围的中点为位移量零点时, 所述转换模块用于对所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 进行幅值作差处理, 并按照如下公式将幅值作差结果映射到所述腔盖在所述谐振腔体中的位移量 $s$ 上:

$$s=k \times (a_1 - a_0)$$

式中,  $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数。

[0018] 上述方案的有益效果:

(1) 本发明创造性提供了一种基于谐振腔原理和双频参考信号来差分测量腔盖位移的新方案, 即包括有位移调频谐振腔和幅差位移映射装置, 其中, 所述位移调频谐振腔用于对输入的双频参考信号进行谐振腔幅度调制处理, 得到双频调制信号, 而所述幅差位移映射装置用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果, 并基于所述谐振腔幅度调制结果得到与幅差线性相关的所求位移量, 如此可使整个位移传感系统工作在相当好的线性区间内, 仅需要一个已知转换系数即可, 进而可以利于现实使用, 并相比较于现有单失谐位移传感器, 大幅提升线性度, 确保测量结果的精准性, 便于实际应用和推广。

## 附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案, 下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍, 显而易见地, 下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1为本申请实施例提供的差分式谐振腔位移传感系统的结构示意图。

[0021] 图2为本申请实施例提供的位移调频谐振腔的原理结构示意图。

[0022] 图3为本申请实施例提供的谐振频率与腔盖在谐振腔体中的位移变化量的关系示例图。

[0023] 图4为本申请实施例提供的双频输入信号的输出幅值差与腔盖在谐振腔体中的位移变化量的关系示例图。

[0024] 图5为本申请实施例提供的转换模块的电路结构示意图。

[0025] 上述附图中: 11-第一乘法器; 12-第二乘法器; 2-位移调频谐振腔; 20-谐振腔体; 21-腔盖; 31-第一滤波器; 32-第二滤波器; 41-第一幅值测量模块; 42-第二幅值测量模块; 5-转换模块; 100-载波信号输入端子; 200-调制信号输入端子; 300-位移量输出端子。

## 具体实施方式

[0026] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将结合附图和实施例或现有技术的描述对本发明作简单地介绍,显而易见地,下面关于附图结构的描述仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。在此需要说明的是,对于这些实施例方式的说明用于帮助理解本发明,但并不构成对本发明的限定。

[0027] 应当理解,尽管本文可能使用术语第一和第二等等来描述各种对象,但是这些对象不应当受到这些术语的限制。这些术语仅用于区分一个对象和另一个对象。例如可以将第一对象称作第二对象,并且类似地可以将第二对象称作第一对象,同时不脱离本发明的示例实施例的范围。

[0028] 应当理解,对于本文中可能出现的术语“和/或”,其仅仅是一种描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,A和/或B,可以表示:单独存在A、单独存在B或者同时存在A和B等三种情况;又例如,A、B和/或C,可以表示存在A、B和C中的任意一种或他们的任意组合;对于本文中可能出现的术语“/和”,其是描述另一种关联对象关系,表示可以存在两种关系,例如,A/和B,可以表示:单独存在A或者同时存在A和B等两种情况;另外,对于本文中可能出现的字符“/”,一般表示前后关联对象是一种“或”关系。

[0029] 实施例:

如图1所示,本实施例第一方面提供的所述差分式谐振腔位移传感系统,包括但不限于有位移调频谐振腔2和幅差位移映射装置,其中,所述位移调频谐振腔2的谐振频率会随着腔盖21在谐振腔体20中的位移变化而变化,所述幅差位移映射装置的输入端电连接所述位移调频谐振腔2的输出端。

[0030] 所述位移调频谐振腔2,用于对输入的双频参考信号进行使输出信号幅值随着所述谐振频率的变化而变化的谐振腔幅度调制处理,得到双频调制信号。所述位移调频谐振腔2具体可采用现有单失谐位移传感器中的谐振腔结构实现,如图2和3所示,所述位移调频谐振腔2包括但不限于有谐振腔体20和可在所述谐振腔体20内自由移动的腔盖21,由此所述腔盖21的位置改变,会直接影响所述位移调频谐振腔2的谐振频率,即假设所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位移变化范围为 $(s_0, s_1)$ ,所述谐振频率的且与所述位移变化范围对应的变化范围为 $(w_0, w_1)$ , $s_0$ 、 $s_1$ 、 $w_0$ 和 $w_1$ 分别为已知实数,当所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位置为 $s_0$ 时,对应的谐振频率为 $w_0$ ,而当所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位置为 $s_1$ 时,对应的谐振频率为 $w_1$ 。此外,在整个位移测量过程中,所述双频参考信号的幅值以及所述双频参考信号中的两单频参考信号的频率均需保持不变。

[0031] 所述幅差位移映射装置,用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并按照如下公式将基于所述谐振腔幅度调制结果所得的幅值作差结果映射到所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位移量 $s$ 上:

$$s = k \times (a_1 - a_0) + s_m$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数, $a_0$ 和 $a_1$ 分别表示对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果, $s_m$ 表示量程中心位移。

[0032] 由于在所述谐振频率从小于 $w_0$ 变化到大于 $w_1$ 的过程中,双频输入信号的输出幅度差会如图4所示进行变化,其中,图4右侧为左侧选取范围 $[-1, 1]$ 内的具体单调变化情况,可

以理解为:横坐标-1处对应 $w=w_0 \rightarrow s_0$ ,横坐标1处对应 $w=w_1 \rightarrow s_1$ ,因此可以通过对所述双频参考信号的两频率间隔设计,使整个位移传感系统工作在相当好的线性区间内,仅需要一个已知转换系数 $k$ 即可,进而可以利于现实使用,并相比较于现有单失谐位移传感器,大幅提升线性度,确保测量结果的精准性。此外,所述位移量 $s$ 可通过图1中的位移量输出端子300进行有线输出,以便将位移测量结果传送给上位机。

[0033] 由此基于前述的差分式谐振腔位移传感系统,提供了一种基于谐振腔原理和双频参考信号来差分测量腔盖位移的新方案,即包括有位移调频谐振腔和幅差位移映射装置,其中,所述位移调频谐振腔用于对输入的双频参考信号进行谐振腔幅度调制处理,得到双频调制信号,而所述幅差位移映射装置用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并基于所述谐振腔幅度调制结果得到与幅差线性相关的所求位移量,如此可使整个位移传感系统工作在相当好的线性区间内,仅需要一个已知转换系数即可,进而可以利于现实使用,并相比较于现有单失谐位移传感器,大幅提升线性度,确保测量结果的精准性,便于实际应用和推广。

[0034] 优选的,所述幅差位移映射装置包括但不限于有载波信号输入端子100、第二乘法器12、第一滤波器31、第一幅值测量模块41、第二滤波器32、第二幅值测量模块42和转换模块5,其中,所述第二乘法器12的第一输入端作为所述幅差位移映射装置的输入端电连接所述位移调频谐振腔2的输出端,所述第二乘法器12的第二输入端电连接所述载波信号输入端子100,所述第一滤波器31的输入端和所述第二滤波器32的输入端分别电连接所述第二乘法器12的输出端,所述第一幅值测量模块41的输入端电连接所述第一滤波器31的输出端,所述第二幅值测量模块42的输入端电连接所述第二滤波器32的输出端,所述转换模块5的两输入端分别一一对应地电连接所述第一幅值测量模块41的输出端和所述第二幅值测量模块42的输出端,所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位移变化范围为 $(s_0, s_1)$ ,所述谐振频率的且与所述位移变化范围对应的变化范围为 $(w_0, w_1)$ , $s_0$ 、 $s_1$ 、 $w_0$ 和 $w_1$ 分别为已知实数。

[0035] 所述第二乘法器12,用于对所述双频调制信号 $f_2(t) = A \times (a_0 \times \cos(w_0 \times t) + a_1 \times \cos(w_1 \times t))$ (即所述双频参考信号为 $f_1(t) = A \times (\cos(w_0 \times t) + \cos(w_1 \times t))$ )与经由所述载波信号输入端子100输入的单频载波信号 $\cos(w_c \times t)$ 进行相乘处理,得到如下的四频混合信号 $f_3(t)$ :

$$f_3(t) = A \times (a_0 \times \cos(w_0 \times t) + a_1 \times \cos(w_1 \times t)) \times \cos(w_c \times t) = A \times (a_0 \times (\cos((w_0 - w_c) \times t) + \cos((w_0 + w_c) \times t)) + a_1 \times (\cos((w_1 - w_c) \times t) + \cos((w_1 + w_c) \times t)))$$

式中, $t$ 表示时间变量, $A$ 表示所述双频参考信号的已知幅值, $a_0$ 和 $a_1$ 分别表示对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果, $w_c = w_0 - |w_0 - w_1| \div 2$ 。通过前述公式可知,所述四频混合信号 $f_3(t)$ 的四个频率即分别为 $w_0 - w_c$ 、 $w_0 + w_c$ 、 $w_1 - w_c$ 和 $w_1 + w_c$ 。此外,所述第二乘法器12可以具体采用现有乘法电路实现。

[0036] 所述第一滤波器31,用于对所述四频混合信号 $f_3(t)$ 进行滤波处理,得到第一滤波信号 $f_4(t) = A \times (a_0 \times (\cos((w_0 - w_c) \times t)))$ 。具体的,所述第一滤波器31可以采用低目标频率的带通滤波器,以便对所述四频混合信号 $f_3(t)$ 进行滤波处理,保留第一目标频率 $w_0 - w_c$ 。

[0037] 所述第一幅值测量模块41,用于对所述第一滤波信号 $f_4(t)$ 进行幅值测量处理,得到第一幅值信号 $f_6(t)$ 。具体的,所述第一幅值测量模块41可以采用基于压控振荡器和计数器的幅值测量方案,以便得到为模拟信号形式的所述第一幅值信号 $f_6(t) = A \times a_0$ (即为一稳

定电平信号)。前述基于压控振荡器和计数器的幅值测量方案为现有电路。此外,所述第一幅值测量模块41也可以采用基于模数转换器的幅值测量方案,以便得到为数字信号形式的所述第一幅值信号 $f_6(t)$ (此时后续的转换模块5可采用诸如可编程逻辑器件或中央处理器等数字电路实现对应的转换功能)。

[0038] 所述第二滤波器32,用于对所述四频混合信号 $f_3(t)$ 进行滤波处理,得到第二滤波信号 $f_5(t)=A \times (a_1 \times \cos((w_1-w_c) \times t))$ 。具体的,所述第二滤波器32也可以采用低目标频率的带通滤波器,以便对所述四频混合信号 $f_3(t)$ 进行滤波处理,保留第二目标频率 $w_1-w_c$ 。

[0039] 所述第二幅值测量模块42,用于对所述第二滤波信号 $f_5(t)$ 进行幅值测量处理,得到第二幅值信号 $f_7(t)$ 。具体的,所述第二幅值测量模块42也可以采用基于压控振荡器和计数器的幅值测量方案,以便得到为模拟信号形式的所述第二幅值信号 $f_7(t)=A \times a_1$ (即为另一稳定电平信号)。此外,所述第二幅值测量模块42也可以采用基于模数转换器的幅值测量方案,以便得到为数字信号形式的所述第二幅值信号 $f_7(t)$ (此时后续的转换模块5可采用诸如可编程逻辑器件或中央处理器等数字电路实现对应的转换功能)。

[0040] 所述转换模块5,用于对所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 进行幅值作差处理,并按照如下公式将幅值作差结果映射到所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位移量 $s$ 上:

$$s=k \times (a_1 - a_0) + s_m$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数, $s_m$ 表示量程中心位移。

[0041] 由此基于前述幅差位移映射装置的具体结构设计,可以实现从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并基于所述谐振腔幅度调制结果得到与幅差线性相关的所求位移量的目的。

[0042] 进一步优选的,还包括有调制信号输入端子200和第一乘法器11,其中,所述第一乘法器11的两输入端分别一一对应地电连接所述调制信号输入端子200和所述载波信号输入端子100,所述第一乘法器11的输出端电连接所述位移调频谐振腔2的输入端;所述第一乘法器11,用于对经由所述调制信号输入端子200输入的单频调制信号 $\cos(w_d \times t)$ 与经由所述载波信号输入端子100输入的单频载波信号 $\cos(w_c \times t)$ 进行相乘处理,得到用于输入所述位移调频谐振腔2的双频参考信号 $f_1(t)=\cos(w_d \times t) \times \cos(w_c \times t)=0.5 \times (\cos((w_c-w_d) \times t) + \cos((w_c+w_d) \times t))=A \times (\cos(w_0 \times t) + \cos(w_1 \times t))$ ,其中, $w_d=|w_0-w_1| \div 2$ , $w_c=w_0-|w_0-w_1| \div 2$ , $A=0.5$ 。即所述第一乘法器11用于生成所述双频参考信号 $f_1(t)$ ,也可以具体采用现有乘法电路实现。

[0043] 进一步优选的,所述位移变化范围为通过调节所述位移调频谐振腔2的Q值来预先确定的线性区间范围。所述Q值即指品质因子,是物理及工程中的无量纲参数,也是谐振腔的重要性能参数,因此可以通过改变所述位移调频谐振腔2的Q值来调整确定整个位移传感系统的可用量程,进一步提升实用性。另一方面,所述位移变化范围也可为通过在所述位移调频谐振腔2的某个Q值下调节所述单频调制信号与所述单频载波信号的频率间距来预先选定的线性区间范围,进而也可以通过改变频率间距来调整确定整个位移传感系统的可用量程,进一步提升实用性。

[0044] 前述的差分式谐振腔位移传感系统可以采用纯模拟电路的方式实现(即所述第一幅值测量模块41和所述第二幅值测量模块42均采用基于压控振荡器和计数器的幅值测量

方案,所述转换模块5也采用模拟电路来实现幅值作差处理和映射转换处理),也可以采用模数结合电路的方式实现,即具体的,当所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 均为模拟信号时(例如所述第一幅值测量模块41和所述第二幅值测量模块42均采用基于压控振荡器和计数器的幅值测量方案),所述转换模块5包括但不限于有依次电连接的幅值差分模拟电路单元、模数转换电路单元和数字处理电路单元;所述幅值差分模拟电路单元,用于对所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 进行幅值作差处理,得到幅值差分模拟信号;所述模数转换电路单元,用于将所述幅值差分模拟信号转换为幅值差分数字信号;所述数字处理电路单元,用于根据所述幅值差分数字信号,按照如下公式计算得到所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位移量 $s$ :

$$s=k \times (a_1 - a_0) + s_m$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数, $s_m$ 表示量程中心位移。如图5所示,所述幅值差分模拟电路单元可以具体采用基于运算放大器的减法电路来实现,所述模数转换电路单元可以具体采用模数转换器来实现,所述数字处理电路单元可具体采用诸如可编程逻辑器件或中央处理器等数字电路来实现。

[0045] 进一步优选的,为了提升测量精度,如图5所示,所述转换模块5还包括但不限于有用于串联在所述幅值差分模拟电路单元与所述模数转换电路单元之间的比例放大电路单元;所述比例放大电路单元,用于对来自所述幅值差分模拟电路单元的幅值差分模拟信号进行比例放大处理,得到比例放大的且用于输入所述模数转换电路的幅值差分模拟信号。所述比例放大电路单元同样可以具体采用基于运算放大器的放大电路来实现。

[0046] 进一步具体的,当定义所述位移变化范围的中点为位移量零点时,所述转换模块5用于对所述第一幅值信号 $f_6(t)$ 和所述第二幅值信号 $f_7(t)$ 进行幅值作差处理,并按照如下公式将幅值作差结果映射到所述腔盖21在所述谐振腔体20中的位移量 $s$ 上:

$$s=k \times (a_1 - a_0)$$

式中, $k$ 表示从幅值差到位移大小的已知转换系数。

[0047] 综上,采用本实施例所提供的差分式谐振腔位移传感系统,具有如下技术效果:

(1) 本实施例提供了一种基于谐振腔原理和双频参考信号来差分测量腔盖位移的新方案,即包括有位移调频谐振腔和幅差位移映射装置,其中,所述位移调频谐振腔用于对输入的双频参考信号进行谐振腔幅度调制处理,得到双频调制信号,而所述幅差位移映射装置用于从所述双频调制信号中获取对所述双频参考信号中的两单频参考信号的谐振腔幅度调制结果,并基于所述谐振腔幅度调制结果得到与幅差线性相关的所求位移量,如此可使整个位移传感系统工作在相当好的线性区间内,仅需要一个已知转换系数即可,进而可以利于现实使用,并相比较于现有单失谐位移传感器,大幅提升线性度,确保测量结果的精准性,便于实际应用和推广。

[0048] 最后应说明的是:以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

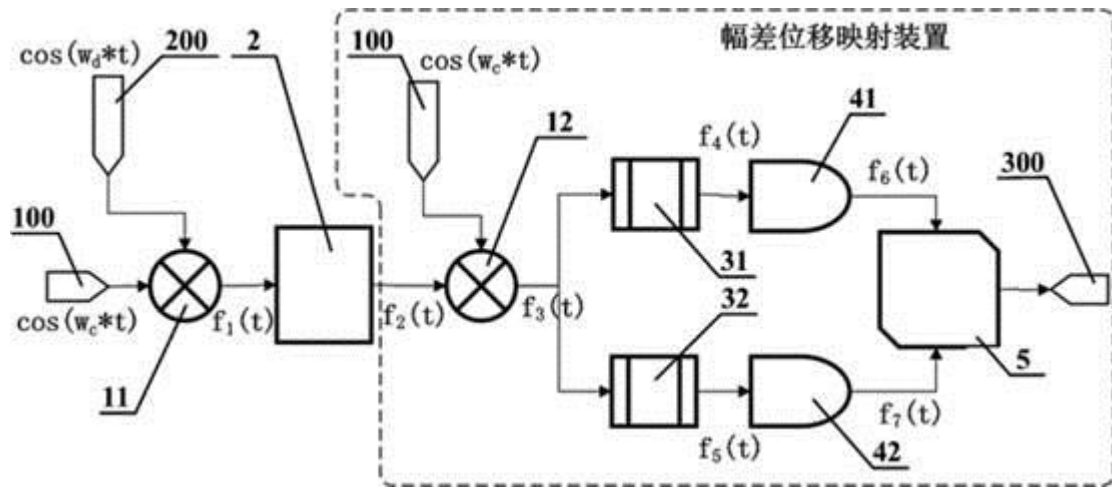


图1

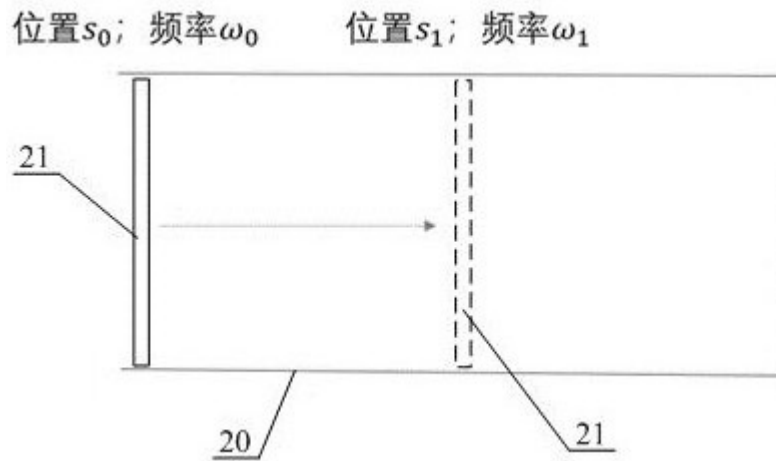


图2

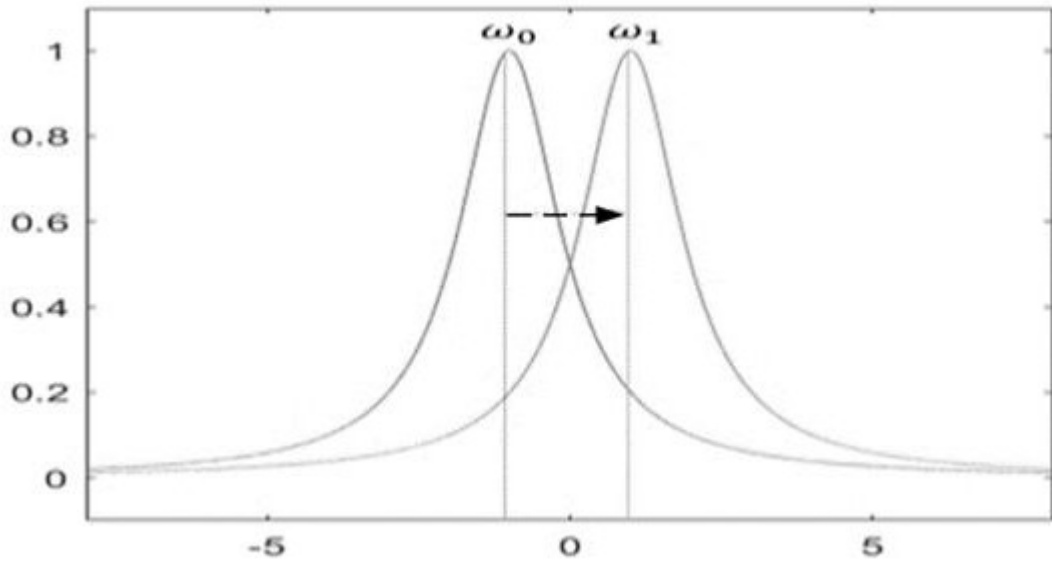


图3

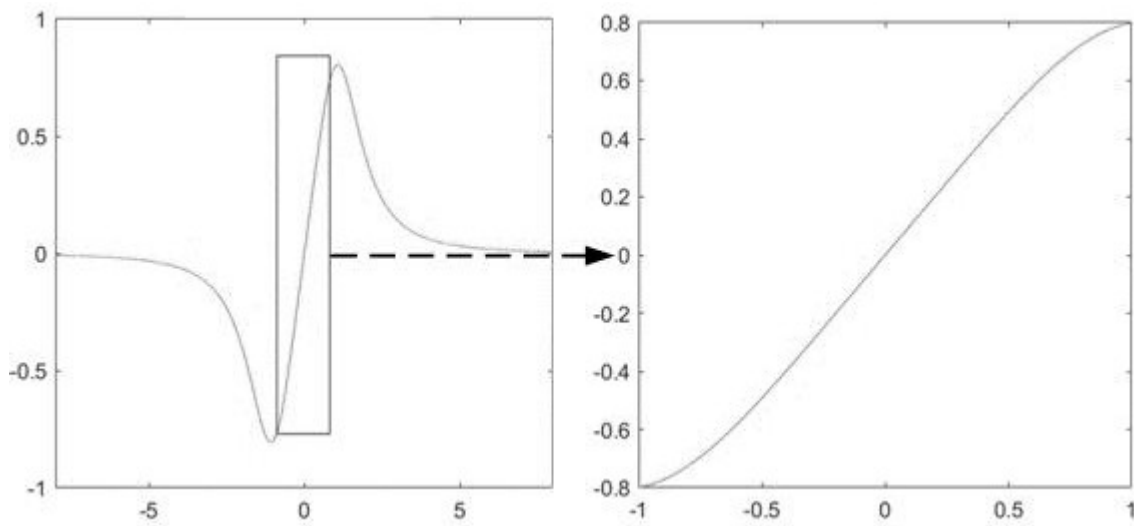


图4

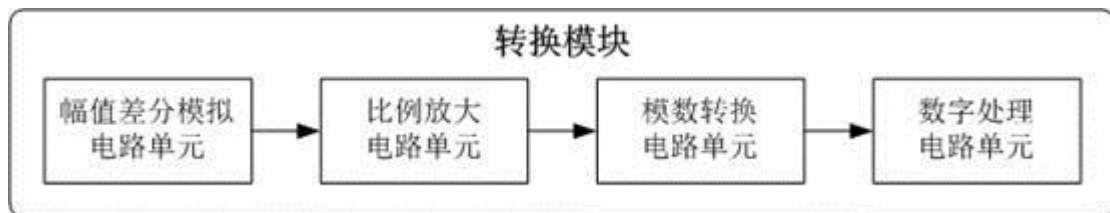


图5