



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112166329 B

(45) 授权公告日 2023.04.14

(21) 申请号 201980027132.4

(22) 申请日 2019.04.19

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112166329 A

(43) 申请公布日 2021.01.01

(30) 优先权数据  
1853483 2018.04.20 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.10.20

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2019/060218 2019.04.19

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/202139 FR 2019.10.24

(73) 专利权人 勒芒大学  
地址 法国勒芒  
专利权人 勒芒转让技术协会  
国家科学研究中心

(72) 发明人 雅克·爱默里

穆罕默德·塔贝鲁特

查菲丁·马什里

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理  
有限责任公司 11204  
专利代理师 王达佐 王艳春

(51) Int. Cl.  
G01P 5/24 (2006.01)  
G01F 1/667 (2022.01)  
B64D 43/02 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 103808379 A, 2014.05.21  
WO 2009003764 A1, 2009.01.08  
US 4333353 A, 1982.06.08  
US 4308754 A, 1982.01.05  
US 6487916 B1, 2002.12.03  
DE 2936909 A1, 1980.03.27  
JP S57108625 A, 1982.07.06

审查员 王宁

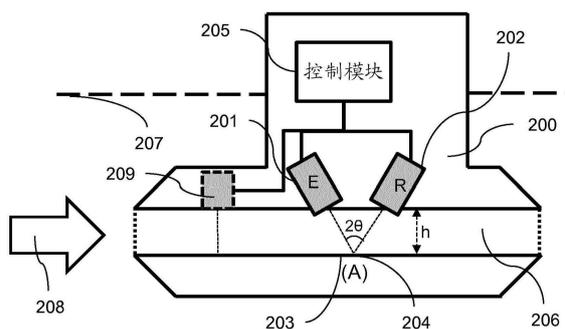
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

超音空速指示器

(57) 摘要

本发明涉及用于测量流体的流速的电子装置,包括:至少两个电声换能器,适于发射声信号穿过流动流体和/或穿过流动流体接收声信号,该电子装置适于根据发射的声信号的特性以及接收到的一个或多个声信号的特性来确定流体的流速的测量值,这些所接收的声信号与所发射的声信号的反射相对应。



1. 用于测量流体的流速V的电子装置(200),所述电子装置包括:
  - 第一电声换能器(E),适于在第一中心轴上发射和/或接收声信号,
  - 第二电声换能器(R),适于在第二中心轴上发射和/或接收声信号,所述第一中心轴和所述第二中心轴唯一地限定与待测量的所述流体的流动方向平行的平面,
  - 适于反射声信号的表面(203),所述表面布置在所述第一中心轴和所述第二中心轴的交点(A)处,每个轴与穿过所述交点正交于所述表面的直线形成相同的角度 $\theta$ ,每个电声换能器位于距离所述表面相同的距离h处,
  - 用于控制所述电声换能器的模块(205),
  - 所述电子装置适于允许流体在所述表面与两个电声换能器之间自由流动,以及
  - 所述电子装置适于:
    - 经由所述第一电声换能器发射第一声信号,
    - 经由所述第一电声换能器或所述第二电声换能器接收与所述第一声信号的一个或多个反射相对应的第二声信号,
    - 根据所述距离h以及发射的所述第一声信号和接收的所述第二声信号的所述角度 $\theta$ ,确定所述流体的流速,
    - 所述电子装置适于确定所述流体中的声速,所述第二声信号是线性调频类型的信号,所述电子装置适于:
      - 根据所述声速的初始值确定所述流速的第一值,
      - 根据所述流速的所述第一值校正所述第二声信号的频带,
      - 根据对发射的声信号的第一向外行进时间 $T^+$ 和声信号的第二返回行进时间 $T^-$ 的确定来确定所述流速的新值,所述发射的声信号在所述第一电声换能器与所述第二电声换能器之间经由所述表面上反射,所述声信号在所述第二电声换能器与所述第一电声换能器之间经由所述表面上反射,
      - 根据所述流速的所述新值确定所述声速的新值,
      - 当新的声速与先前确定的声速之间的差超过预定阈值时,重复校正以及确定所述流速和所述声速的其他新值。
2. 根据权利要求1所述的电子装置,每个电声换能器是在250kHz至650kHz的频率范围内操作的非接触超声传感器。
3. 根据权利要求2所述的电子装置,所述电子装置适于:
  - 根据以下公式确定所述流体的流速V:
 
$$V = \frac{2h}{\sin(2\theta)} \left( \frac{1}{T^+} - \frac{1}{T^-} \right).$$
4. 根据权利要求3所述的电子装置,所述电子装置适于根据以下公式确定所述流体中的声音的运动速度C:
 
$$C = \frac{h}{\cos\theta} \left( \frac{1}{T^-} + \frac{1}{T^+} \right).$$
5. 用于确定流体的流速的方法,所述方法由电子装置(200)来执行,所述电子装置包括:
  - 第一电声换能器(E),适于在第一中心轴上发射和/或接收声信号,

第二电声换能器(R),适于在第二中心轴上发射和/或接收声信号,所述第一中心轴和所述第二中心轴唯一地限定与待测量的所述流体的流动方向平行的平面,

适于反射声信号的表面(203),所述表面布置在所述第一中心轴和所述第二中心轴的交点(A)处,每个轴与穿过所述交点正交于所述表面的直线形成相同的角度 $\theta$ ,每个电声换能器位于距离所述表面相同的距离h处,

用于控制所述电声换能器的模块(205),

所述电子装置适于允许流体在所述表面与两个电声换能器之间自由流动,以及

所述电子装置适于:

经由所述第一电声换能器发射第一声信号,

经由所述第一电声换能器或所述第二电声换能器接收与所述第一声信号的一个或多个反射相对应的第二声信号,

根据所述距离h以及发射的所述第一声信号和接收的所述第二声信号的所述角度 $\theta$ ,确定所述流体的流速,

以及所述方法包括以下步骤:

经由所述第一电声换能器发射第一声信号,

经由所述第一电声换能器或第二电声换能器接收与所述第一声信号的一个或多个反射相对应的第二声信号,

根据所述距离h以及发射的所述第一声信号和接收的所述第二声信号的所述角度 $\theta$ 来确定所述流体的流速,

所述电子装置适于确定所述流体中的声速,所述第二声信号是线性调频类型的信号,所述方法包括:

根据所述声速的初始值确定所述流速的第一值,

根据所述流速的所述第一值校正所述第二声信号的频带,

根据对发射的声信号的第一向外行进时间 $T^+$ 和声信号的第二返回行进时间 $T^-$ 的确定来确定所述流速的新值,所述发射的声信号在所述第一电声换能器与所述第二电声换能器之间经由所述表面上反射,所述声信号在所述第二电声换能器与所述第一电声换能器之间经由所述表面上反射,

根据所述流速的所述新值确定所述声速的新值,

当新的声速与先前确定的声速之间的差超过预定阈值时,重复校正以及确定所述流速和所述声速的其他新值。

6. 记录介质,能够被电子装置(200)读取,所述记录介质上存储有计算机程序,所述计算机程序包括指令,当由所述电子装置的处理程序执行所述计算机程序时,所述指令用于通过所述处理器实现根据权利要求5所述的用于确定流体的流速的方法。

## 超音空速指示器

[0001] 本发明涉及计量领域。更具体地,本发明涉及有利地适于航空领域的空速指示器。

[0002] 在航空领域中,使用被称为皮托管或普朗特天线空速指示器是公知的。

[0003] 在图1中示出了这种空速指示器100,在下文中称为皮托管。皮托管的工作原理是例如借助于差压计103来测量所谓的静压力 $P_s$ 和所谓的总压力 $P_t$ 之间的压力差。静压力 $P_s$ 是通过管连接到位于皮托管100的主体中的进气口101A的腔室101B的压力。进气口101A布置为垂直于流体的流动方向,即,图1中的由左至右的箭头所表示的流动方向。该静压力 $P_s$ 不会根据待测流体的流速而变化。总压力 $P_t$ 是通过管连接到位于皮托管100的主体中的进气口102A的腔室102B中的压力。进气口102A布置为面对流体的流动方向。总压力 $P_t$ 是静态压力 $P_s$ 和所谓的动态压力之和。动态压力是由流体的流动引起的压力。因此,总压力 $P_t$ 和静压力 $P_s$ 之间的差仅是取决于流体的流速的动态压力。通常将皮托管100固定在飞机的机身104上适于飞机的运动方向的位置,以便确定飞机周围的空气的流速,所述速度通常称为相对风。对于飞机而言,了解该相对风速是至关重要的,飞机的上升是由机翼产生的空气动力、升力提供的。这是因为,在低于一定速度(称为失速速度)时,飞机发生升力损失,这可能会导致事故。

[0004] 如果进气口101A或102A中的一个或另一个被阻塞,皮托管将无法再正常工作。因此,水的存在、冰的形成或与异物(例如,昆虫或鸟类)的碰撞可能会阻塞进气口之一。然后皮托管将给出错误的相对风测量结果,而不会指示测量结果是错误的。例如,进气口102A的阻塞将给出错误的测量结果,指示当飞机仅增加高度时得以增大的相对风速。在恶劣的天气条件下,特别是在能见度低的情况下,飞行员可能无法察觉到皮托管所提供的相对风测量值是不一致的,这有可能导致潜在危险情况。

[0005] 因此,有必要提出提供对流体的流速进行可靠测量的解决方案。

[0006] 本发明涉及用于测量流体的流速的电子装置,该电子装置包括:

[0007] 第一电声换能器,适于在第一中心轴上发射和/或接收声信号,

[0008] 第二电声换能器,适于在第二中心轴上发射和/或接收声信号,该第一中心轴和该第二中心轴唯一地限定与待测量的流体的流动方向平行的平面,

[0009] 适于反射声信号的表面,该表面布置在第一中心轴和第二中心轴的交点处,每个轴与穿过该交点正交于该表面的直线形成相同的角度。每个电声换能器位于距离表面相同的距离处,

[0010] 控制电声换能器的模块,

[0011] 电子装置适于允许流体在表面与两个电声换能器之间自由流动,以及

[0012] 电子装置适于:

[0013] 经由第一电声换能器发射第一声信号,

[0014] 经由第一或第二电声换能器接收与第一声信号的一个或多个反射相对应的第二声信号,

[0015] 根据所发射的第一声信号和所接收的第二声信号的距离( $h$ )和角度( $\theta$ ),确定流体的流速。

[0016] 根据本发明的补充实施方式,每个电声换能器是在250kHz至650kHz的频率范围内操作的非接触超声传感器。

[0017] 根据本发明的补充实施方式,该电子装置适于:

[0018] 经由表面上的反射来确定第一电声换能器与第二电声换能器之间的声信号的第一所谓的向外行进时间( $T^+$ ),

[0019] 经由表面上的反射来确定第二电声换能器与第一电声换能器之间的声信号的第二所谓的返回行进时间( $T^-$ ),

[0020] 根据以下公式确定流体的流速( $V$ ):

$$[0021] \quad V = \frac{2h}{\sin(2\theta)} \left( \frac{1}{T^+} - \frac{1}{T^-} \right)$$

[0022] 根据本发明的补充实施方式,该电子装置适于根据以下公式确定流体中的声音的运动速度( $C$ ):

$$[0023] \quad C = \frac{h}{\cos\theta} \left( \frac{1}{T^-} + \frac{1}{T^+} \right)$$

[0024] 根据本发明的补充实施方式,电子装置包括:垂直于流体的流动方向布置的第三电声换能器,该电子装置适于借助于该第三电声换能器确定流体中的声音的运动速度( $C$ )。

[0025] 根据本发明的补充实施方式,所发射的第一声信号是与第一频率( $f_e$ )相关联的具有高斯包络的单频谐波声信号,与反射的第一声信号相对应的第二声信号被第二电声换能器接收,并与第二频率( $f_d$ )相关联,所述电子装置适于根据以下公式确定流体的流速( $V$ ):

$$[0026] \quad V = \frac{C}{\sin(\theta)} \cdot \frac{(fd - fe)}{fd}$$

[0027] 根据本发明的补充实施方式,由第一电声换能器发射的第一声信号是由一串正弦脉冲组成的间歇性的声学所谓的突发信号,该电子装置适于:

[0028] 执行第一声信号和与由第二电声换能器接收的声信号相对应的第二声信号的相加,该相加确定所谓的拍信号,

[0029] 确定拍信号的调制频率的测量值,

[0030] 根据拍信号的调制频率的测量值确定流体的流速。

[0031] 本发明还涉及用于测量流体的流速的电子装置,该电子装置适于以与本文件中描述的一个或多个电子装置相似的方式确定流体的流速。

[0032] 本发明还涉及用于确定流体的流速的方法,该方法由如本文件中描述的电子装置执行,该方法包括以下步骤:

[0033] 经由第一电声换能器发射第一声信号,

[0034] 经由第一电声换能器或第二电声换能器接收与第一声信号的一个或多个反射相对应的第二声信号,

[0035] 根据距离( $h$ )和所发射的第一声信号和所接收的第二声信号的角度( $\theta$ )来确定速度。

[0036] 本发明还涉及可存储在介质上和/或从通信网络下载以便由电子装置的处理程序读取的计算机程序。该计算机程序包括:指令,当所述程序由处理器执行时,该指令用于实现

用于测量流体的流速的方法的全部或一些步骤。

[0037] 本发明还涉及可由电子装置读取的信息存储介质或记录介质,所述信息存储介质或记录介质包括如上的计算机程序。

[0038] 通过阅读下面对示例实施方式的说明,上述的本发明的特征以及其他本发明的特征将变得更加清楚,所述说明是结合附图给出的,其中:

[0039] 图1示意性地示出了本领域技术人员已知的皮托管,

[0040] 图2示意性地示出了根据本发明的一个实施方式的适于测量流体的流速的电子装置,

[0041] 图3示意性地示出了根据本发明的一个实施方式的适于测量流体的流速的电子装置的硬件架构,

[0042] 图4示意性地示出了根据本发明的可选实施方式的适于测量流体的流速的电子装置的硬件架构。

[0043] 图1示意性地示出了如上面所描述的本领域技术人员已知的皮托管。目前,大多数飞机配备了根据这种皮托管的原理运行的空速指示器,其缺点是在特定天气条件下很脆弱。

[0044] 图2示意性地示出了根据本发明的一个实施方式的适于测量流体的流速的电子装置200。

[0045] 电子装置200包括:第一电声换能器E 201,适于在第一中心轴上发射或接收声信号;第二电声换能器R 202,适于在第二中心轴上发射或接收声信号。第一中心轴和第二中心轴唯一地限定了与待测量的流体的流动方向平行的平面(即,在图2的情况下的薄片的平面)。电子装置200包括:适于反射声信号的表面203。该表面布置在第一中心轴和第二中心轴的交点A 204处,每个轴与穿过交点正交于该表面的直线形成相同的角度 $\theta$ ,每个电声换能器位于距表面203相同的距离“h”处。

[0046] 电子装置200可以进行非侵入式测量。换句话说,将在不干扰该流体的流动的情况下进行流体的流速的测量。传感器的入射角(即角度 $\theta$ )被选择为使得与流体流动的相互作用最大化,该相互作用与 $\sin(\theta)$ 成比例,并使得空气声干扰最小化,这些干扰是由高入射角的电声换能器的溢出产生的。电子装置200是依据被选择作为满足这两个相反的约束的折中的角度(例如,角度 $\theta=24^\circ$ )设计的。

[0047] 电声换能器是适于将电信号转换为声信号并且将声信号转换为电信号的装置。根据本文下文中的约定,当电声换能器将电信号转换为声信号时,将其称为发射,该发射的信号为声信号。同样地,当电声换能器将声信号转换成电信号时,将其称为接收,所接收的信号是声信号,所述声信号随后被转换,以便以电信号的形式传输到控制模块205。

[0048] 换句话说,如图2所示,电子装置200包括:两个电声换能器E和R,其布置成使得由两个电声换能器E或R中的一个发射的任何声信号在表面203反射之后被另一个电声换能器E或R接收。为此,表面204可能至少在适于最佳反射两个电声换能器E和R之间的声信号的表面区域上是平面的。表面204包括:电声换能器的两个中心发射轴的交点,每个换能器E和R关于穿过交点A正交于表面203的直线以相同的角度 $\theta$ 面对该表面。

[0049] 电子装置200包括:用于控制声换能器E和R的模块205。控制模块205适于实现用于测量流体的流速的方法。

[0050] 控制模块205适于朝向电声换能器E或R发射电信号,所述电信号被电声换能器E或R转换成声信号。控制模块205适于从电声换能器E或R接收与通过所述电声换能器E或R接收并转换的声信号相对应的电信号。

[0051] 在图2中,所测量的流体的流动方向对应于从左到右的箭头。应当注意,电子装置200还适于测量相反的流动方向,即,从右向左流动,而无需修改电子装置。在流体在不同方向上流动的情况下,电子装置200适于在图2由箭头指示的测量方向上测量流速的分量。

[0052] 距离“h”将两个电声换能器E和R与反射表面203分开。电子装置(特别是通过选择距离h)适于允许流体自由流动,其流速将在表面与两个换能器E和R之间测量。自由流动是指流体的流速不会受到电子装置的存在干扰或可能不会受到显著干扰。

[0053] 根据图2所示的本发明的实施方式,两个电声换能器E和R被放置成使得其端部恰好在直径为h的中空管206的表面上方,点A位于该中空管的表面的内部。表面203可以是局部平坦的,以改善声信号的反射。

[0054] 根据可选实施方式,面向电声换能器E和R通过任何方式来安置表面203,以便包括点A,并将由电声换能器中的一个发射的任何声信号朝向另一个电声换能器最佳地反射。

[0055] 表面203可能是受益于表面处理(例如,抛光)的金属元件的表面。表面203适于将由两个电声换能器E或R中的一个发射的任何声信号朝向另一电声换能器R或E最佳地反射。表面203可能是平坦的表面,但也可以被适配以使得从两个电声换能器E或R中的一个朝向另一个电声换能器R或E的声信号反射最大化。

[0056] 电子装置200适于经由第一电声换能器E 201发射第一声信号。控制模块205适于控制第一声信号的这种发射。接下来,电子装置200适于经由相同的第一电声换能器E 201接收经由表面203上两次反射的与第一声信号相对于第二电声换能器R 202的反射相对应的声信号,并且用于确定在第一声信号的接收时刻与第一声信号的发射时刻之间的所谓参考时间。换句话说,电子装置200适于测量由电声换能器发射,在表面203上反射,由电声换能器R 202反射,再次由表面203反射,并随后被电声换能器E 201接收的声信号的行进的时间(称为参考时间)。换句话说,电子装置200适用于测量在电声换能器E和电声换能器R之间往返的声信号的传播时间。

[0057] 将电声换能器E与交点A之间的声信号的传播表示为E-A,将交点A与电声换能器R之间的声路径表示为A-R,因此,电子装置200适于测量进行向外的行程E-A-R的声信号的声学传播时间 $T^+$ 。电子装置200还适于测量进行返回的行程R-A-E的声信号的声学传播时间 $T^-$ 。

[0058] 假设流体的流动方向是从左到右,即,由图2中的箭头203表示的方向,则从电声换能器E到点A的声信号的速度以及从点A到电声换能器R的声信号的速度,大于在没有流体流动的情况下相同声信号的速度。换句话说,与没有流体流动的情况相比,在存在流体流动(在箭头208的方向上)的情况下,行程E-A-R的行进时段或时间 $T^+$ 减小。更一般地,从电声换能器E到达点A并且从点A到电声转换器R的声信号的速度越大,流体的流速越大。

[0059] 同样,在相同的假设下,从电声换能器R到点A以及从点A到电声换能器E的声信号的速度小于在没有流体流动的情况下相同声信号的速度。换句话说,与没有流体流动的情况相比,在存在流体流动(在箭头208的方向上)时行程R-A-E的行进时段或时间 $T^-$ 增加。更一般地,从电声换能器R到点A并且从点A到电声转换器E的声信号的速度越低,流体的流速越大。

[0060] 因此,在对应于 $T^+$ 的方向E-A-R上以及对应于 $T^-$ 的R-A-E上传播的声信号的行进时间表示为:

$$[0061] \quad T^+ = \left( \frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left( \frac{1}{C + V \sin \theta} \right)$$

$$[0062] \quad T^- = \left( \frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left( \frac{1}{C - V \sin \theta} \right)$$

[0063] 其中:

[0064] C:声信号的运动速度(或在温度、压力和密度条件下流体中声音的速度),

[0065] V:流体的流速,

[0066] h:电声换能器与表面之间的距离,

[0067]  $\cos(\theta)$ :“角度 $\theta$ 的余弦”函数,

[0068]  $\sin(\theta)$ :“角度 $\theta$ 的正弦”函数。

[0069] “h”和“ $\theta$ ”是预先确定的,“V”是由空气速度指示器最终确定的流体的流速。

[0070] 由于声信号的运动速度C会根据温度、流体压力或流体密度而变化,并且由于往返行程距离R-A-E-A-R(角度“ $\theta$ ”的函数和距离“h”的函数),因此,可通过简单测量往返行程时间R-A-E-A-R( $T^+ + T^-$ )(或参考时间)来确定声信号的运动速度。换句话说,可通过对往返行程时间(或参考时间)的测量(称为校准测量)来校准电子装置200。

[0071] 有利地,电子装置200因此可免去用于测量流体的温度、压力或密度的元件。这减小了电子装置200的尺寸、重量和复杂性。因此,这增加了电子装置200的可靠性。这是因为校准操作由于不依赖于温度、压力或密度的一个或多个测量(所述测量结果可能是错误的)而是可靠的。因此,电子装置200适于根据距离h、参考时间(或往返行程时间R-A-E-A-R)以及角度 $\theta$ 确定流体中所谓的参考声信号(换句话说,声音)“C”的速度。流体中声音的速度称为运动速度“C”。

[0072] 应当注意,往返行程时间R-A-E-A-R等于往返行程时间E-A-R-A-E,在两种情况下,流体的流动的影响最终都是均衡的。

[0073] 因此,运动速度C可表示为:

$$[0074] \quad c = \frac{h}{\cos \theta} \left( \frac{1}{T^-} + \frac{1}{T^+} \right)$$

[0075] 其中:

[0076] C:在温度、压力和密度条件下,流体中声信号的运动速度(或声音的速度),

[0077] h:电声换能器与表面之间的距离,

[0078]  $T^+$ :往返行程时间E-A-R,

[0079]  $T^-$ :往返行程时间R-A-E,

[0080]  $\cos(\theta)$ :“角度 $\theta$ 的余弦”函数。

[0081] h和 $\theta$ 是预先确定的。

[0082] 有利地,距离h是预先确定的,以便减小电子装置200的整体尺寸。

[0083] 有利地,可快速且容易地确定声信号的运动速度C,并因此,在温度、压力和/或密度条件改变时进行更新。

[0084] 根据本发明的实施方式,电子装置200周期性地(例如,每10毫秒)执行校准测量,并因此,在存储器中记录定期更新的C的值。

[0085] 根据本发明的可选实施方式,可选安装的、与流体流动的轴正入射的第三电声换能器209允许在实际温度、湿度和压力条件的环境中瞬时确定运动速度C。由第三电声换能器209发射的声波的路径与流动方向正交,因此所测量的速度独立于运动流体的速度。

[0086] 电子装置200适于经由声换能器E发射声信号。该信号在表面203(点A)上的第一反射之后由电声换能器R接收。到达电声换能器R后,该声信号被电声换能器R的表面反射,并经由表面203上的反射朝向电子声换能器E进行反向行程R-A-E。该行程的持续时间为先前定义的持续时间 $T^-$ 。一旦到达电声换能器E,该信号就被电声换能器E的表面反射,并再次经由表面203上的反射朝向电声换能器R进行反向行程E-A-R。该行程的持续时间为先前定义的持续时间 $T^+$ 。换句话说,在由电声换能器E发射声信号并由电声换能器R接收该声信号之后,采集系统观察往返行程R-A-E-A-R并监控声信号到达电声换能器R处、以及随后到达电声换能器E处和再次到达电声换能器R处的时间。换句话说,在从电声换能器E发射声信号之后,一旦声信号到达电声换能器R上(瞬时“ $t_1$ ”),电子装置200就确定测量结果,然后电子装置200确定反射声信号到达电声换能器E的时间(时刻“ $t_2$ ”),以及最后电子装置200确定再次反射的声信号到达电声换能器R上时间(瞬时“ $t_3$ ”)。行程R-A-E的持续时间为“ $T^- = t_2 - t_1$ ”,并且行程E-A-R的持续时间为“ $T^+ = t_3 - t_2$ ”。因此,电子装置200适于根据行程时间 $T^+$ 和 $T^-$ 确定参考声音的速度C以及流体的流速。

[0087] 为此,电子装置200可实现以下一种或多种方法:

[0088] (A) 通过测量声信号的行进时间来测量流体的流速,

[0089] (B) 通过测量多普勒效应来测量流体的流速,

[0090] (C) 通过测量拍频来测量流体的流速。

[0091] 方法(A)情况:行进时间的测量

[0092] 对应于行程E-A-R的行进时间 $T^+$ 和对应于行程R-A-E的行进时间 $T^-$ 可这样表示:

$$[0093] \quad T^+ = \left( \frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left( \frac{1}{C + V \sin \theta} \right)$$

$$[0094] \quad T^- = \left( \frac{2h}{\cos \theta} \right) \cdot \left( \frac{1}{C - V \sin \theta} \right)$$

[0095] 其中:

[0096]  $T^+/T^-$ :向外行程E-A-R/R-A-E的行进时间,这些行进时间由电子装置200测量,

[0097] h:电声换能器(E和R)与表面203之间的距离,

[0098]  $\cos(\theta)$ :“角度 $\theta$ 的余弦”函数,

[0099]  $\sin(\theta)$ :“角度 $\theta$ 的正弦”函数,

[0100] C:流体中声音的运动速度,如前所述,在校准测量期间确定了运动速度,

[0101] V:流体的流速(或至少在由图2中的箭头208所限定的测量方向上的流速分量)。因此,确定的速度“V”根据流动方向是正代数量或负代数量。

[0102] 由于除了“V”(即,流体的流速)外,所有参数都是已知的,因此可根据行进时间 $T^+$ 和 $T^-$ 的测量来确定流体的速度“V”。

[0103] 然后推导出流速“V”，如下所示：

$$[0104] \quad V = \frac{2h}{\sin(2\theta)} \left( \frac{1}{T^+} - \frac{1}{T^-} \right)$$

[0105] 有利地，第二声信号是依据脉冲压缩方法发射的所谓的“线性调频”类型的信号。

[0106] 脉冲压缩方法基于线性频率调制原理。通过建立对声信号随时间变化的频率模式的识别，可在回声测量期间改善信噪比 (SNR)。但是，在影响该频率含量的传播 (散射，多普勒效应) 的情况下，该技术的性能会明显下降。在这种情况下，由电声换能器E 201发送的脉冲可以从250kHz到650kHz的频带中的线性调频脉冲。受到由流体流动引起的多普勒效应的影响，这些线性调频脉冲在传播后具有经修改的频率含量。因此，例如，在流速为0.8马赫 (即，空气中声速的0.8倍) 的流体流动中，频率模式从250kHz到650kHz的频率含量被修改并被转移至从180kHz至460kHz的频带。另外，仍然在流体流动的影响下，频率模式的持续时间发生变化。因此，发射的声信号和接收的声信号之间的互相关函数的最大值下降了40dB，这使得当流体以高速流动时检测反射脉冲变得更加复杂。

[0107] 为了纠正这种可能的精度不足，以及根据本发明的补充实施方式，可实现首先考虑声速的初始值“ $C_0$ ”在介质中等于“ $C_0 = 340\text{m/s}$ ”的算法，该声速的初始值与通过多普勒效应测量的频移相结合，然后使得可以确定流速的第一值 $V_0$ 。随后使用这两个数据 ( $C_0$ 和 $V_0$ ) 校正通过脉冲压缩方法接收的频带。后者使得可以提取 $T^+$ 和 $T^-$ ，从而得出更精确的估计。因此可以根据 $C_0$ 和 $V_0$ 确定第二组值 $C_1$ 和 $V_1$ 。如果初始值 $C_0$ 与精确值 $C_1$ 之差超过预先确定的阈值 (例如，1%)，则将值 $C_1$ 作为新的速度初始值重新注入，并重复该过程n次，直到达到速度 $C_n$ 和 $C_{n-1}$ 之差低于预先确定的阈值。换句话说，从介质中声速的近似值开始，迭代循环将通过首先估计流速来改进该速度测量：

$$[0108] \quad V_0 = (C_0 / \sin(\theta)) \cdot (f_d - f_e) / fd,$$

[0109] 下面在情况B的描述中描述 $f_d$ 和 $f_e$ 。

[0110] 接下来，该流速将用于估计线性调频脉冲的频率间隔及其持续时间的变化，从而改善其分辨率。在第n次迭代中，线性调频脉冲提供了流速V (表示为 $V_n$ ) 和介质C中的声速 (表示为 $C_n$ ) 的新的更可靠的估计。如果 $C_n$ 的值与 $C_{n-1}$ 的值相差很大 (也就是说，相差超过某个预先确定的百分比，例如，大于1%)，则根据 $C_n$ 和 $V_n$ 的新值重新开始循环。

[0111] 从而，声信号有利地是线性调频类型的信号，其在250kHz至650kHz的频率范围内是线性的。电子装置200然后可确定由电声换能器E发射的声信号与由电声换能器E和R接收的反射信号之间的相互关系，以便获得相应的向外E-A-R行程时间 $T^+$ 和相应的向外R-A-E行程时间 $T^-$ 的精确测量。

[0112] 方法(B)：通过测量多普勒效应来测量流体的流速

[0113] 对于该方法(B)，由声换能器E发射的声信号有利地是具有高斯包络的单频谐波信号。根据所用的电声换能器的类型，最佳频率可为380kHz。

[0114] 方法(B)在其向外行程E-A-R期间使用影响声信号的多普勒效应。这是因为，流体的流速越大，电声换能器E发射的声信号与电声换能器R接收的声信号之间就存在越多的频率偏移 (从左向右朝向低频流动)。

[0115] 因此，电子装置200适于根据先前确定的参考声速 (运动速度C)，根据声信号 (由电声换能器E发射) 以及根据反射的声信号 (在表面203上反射后由电声换能器R接收)，根据下

式确定流体的流速V:

$$[0116] \quad V = \frac{C}{\sin(\theta)} \cdot \frac{(fd - fe)}{fd}$$

[0117] 其中:

[0118]  $f_e$ :由电声换能器E发射的单频声信号的频率,可能通过对发射的声信号进行快速傅立叶变换(FFT)而确定,

[0119]  $f_d$ :由电声换能器R接收的单频信号的频率,可能通过对接收到的声信号进行快速傅立叶变换(FFT)而确定,

[0120]  $\sin(\theta)$ :“角度 $\theta$ 的正弦”函数,

[0121] C:流体中声音的运动速度,如前所述,在校准测量期间确定运动速度,

[0122] V:流体的流速(或至少在图2中的箭头所定义的测量方向上的流速分量)。

[0123] 根据本发明的实施方式,在该方法B中使用的运动速度C可使用如前所述的方法A,或者借助于垂直于流体流动方向布置的第三电声换能器209来确定。

[0124] 方法(C)情况:通过测量拍频来测量流体的流速

[0125] 对于该方法(C),声信号有利地是单频谐波声信号。这是由一串正弦脉冲(通常为700个脉冲)组成的间歇性的声学所谓的突发信号。根据使用的电声换能器的类型,最佳频率可为380kHz。

[0126] 因此,电子装置200适于根据先前确定的声音的参考速度(运动速度C),根据第二声信号(由电声换能器E发射)以及根据反射的声信号(在表面203上反射后由电声换能器R接收),通过使第二声信号和接收到的声信号相加来确定流体的流速。将这两个声信号(至少,控制模块205使用的这两个声信号的电表示)相加显示调幅信号(或拍频)。测量调制频率使得可以由此推断出频率差,从而推断出流体的流速。

[0127] 根据本发明的实施方式,该方法C中使用的运动速度C可使用前述方法A,或者借助于垂直于流体的流动方向布置的第三电声换能器209来确定。

[0128] 有利地,电子装置200适于执行方法(A)、(B)或(C)中的一种或另一种,以便确定流体的流速。有利地,电子装置200可周期性地执行每一种方法(A)、(B)或(C),以便通过不同的方法获得流体的流速的测量值。有利地,电子装置200的可靠性因此得以增强。这是因为可能发生的情况是,根据电子装置200的使用条件,方法(A)、(B)或(C)中的一种或另一种给出错误的结果。因此,具有来自三种不同方法的测量值可消除相对于其他两个测量值不一致的测量值。

[0129] 有利地,对于允许测量高达84m/s的速度的本发明的实施方式,电声换能器E和电声换能器R是在250kHz至650kHz的频率范围内运作的非接触超声传感器(NCU),例如,约400kHz。

[0130] 有利地,这些超声波传感器具有宽的频率范围,其允许有效地实施测量方法(A)、(B)和(C)。

[0131] 有利地,电声换能器E和/或电声换能器R被称为空气耦合型的。然后,电声换能器E和/或电声换能器R包括在换能器前面的表面处理(例如,聚合物层),所述表面处理允许电声换能器和流体之间进行声阻抗匹配。

[0132] 所讨论的流体可以是所谓的“轻”流体,即,气体,或者所谓的“重”流体,即,液体。

在将电子装置用作飞机的空速指示器的情况下,所讨论的流体是空气。

[0133] 图3示意性地示出了在本发明的实施方式中适于测量流体的流速的电子装置300的硬件架构。电子装置300通常是图2中的电子装置200。

[0134] 模块301是工作频率为400kHz的NCU类型的换能器。模块301允许将输入的声信号(未示出)转换为电信号,所述电信号被传输到模块302以及下面等等进行处理。

[0135] 模块302是电荷放大器,允许在换能器(模块301)和模块303之间进行阻抗匹配。

[0136] 模块303是高通滤波器。模块303通常是截止频率约为10kHz的四阶无源高通滤波器。该模块303使得可以过滤由流体的流动产生的低频干扰频率。这是因为流动产生低频声压。

[0137] 模块304是低通滤波器。模块304通常是2.5MHz的抗混叠滤波器。

[0138] 模块305是放大器。通常放大电信号以使得电信号的幅度适于随后的模数转换模块306。放大通常为20dB。

[0139] 模块306是采集模块,其允许将模拟电信号转换为数字信号。采集模块通常允许以5MS/s进行16位采样。

[0140] 图4示意性地示出了根据本发明的可选实施方式的适于测量流体的流速的电子装置400的硬件架构。

[0141] 电子装置400对应于例如图2中的电子装置200。

[0142] 电子装置400包括通过通信总线连接的:处理器或CPU(中央处理单元)401、RAM(随机存取存储器)和/或ROM(只读存储器)类型的存储器MEM 402、网络模块NET 403,以及内部存储类型的存储模块STCK 404。存储模块STCK 404可以是硬盘类型的HDD(硬盘驱动器)或SSD(固态驱动器),或者是外部存储介质读取器类型,例如,SD(安全数字)卡读取器。处理器CPU 401可将数据或信息记录在存储器MEM 402中或存储模块STCK 404中。处理器CPU 401可读取记录在存储器MEM 402中的、在存储模块STCK 404中的或在数据库中的数据。这些数据可对应于配置参数。网络模块NET 303允许将电子装置400连接到通信网络,例如,连接到飞机的机载系统的网络。网络模块NET 403使电子装置400能够发送和分别接收针对航空电子系统的一项或多项设备并分别来自航空电子系统的一项或多项设备的消息。

[0143] 处理器CPU 401能够执行加载存储器MEM 402中的指令,例如,来自存储模块STCK 404或来自经由网络模块NET 403的通信网络。当电子装置400通电时,处理器CPU 401能够从存储器MEM 402读取指令并执行它们。这些指令形成计算机程序,引起处理器CPU 401实施上述所有或一些方法和步骤,特别是在图2的描述中。这些指令可对应于校准方法和/或前述方法(A)、(B)和/或(C)。因此,可通过由诸如DSP(数字信号处理器)或微控制器的可编程机器执行一组指令来以软件形式实现上述所有或一些方法和步骤。本文描述的所有或一些方法和步骤也可通过机器或专用组件(例如,FPGA(现场可编程门阵列)或ASIC(专用集成电路))以硬件形式实现。

[0144] 有利地,电子装置200、电子装置300、电子装置400包括:用于将所述电子装置附接至飞机的机身的附接系统。

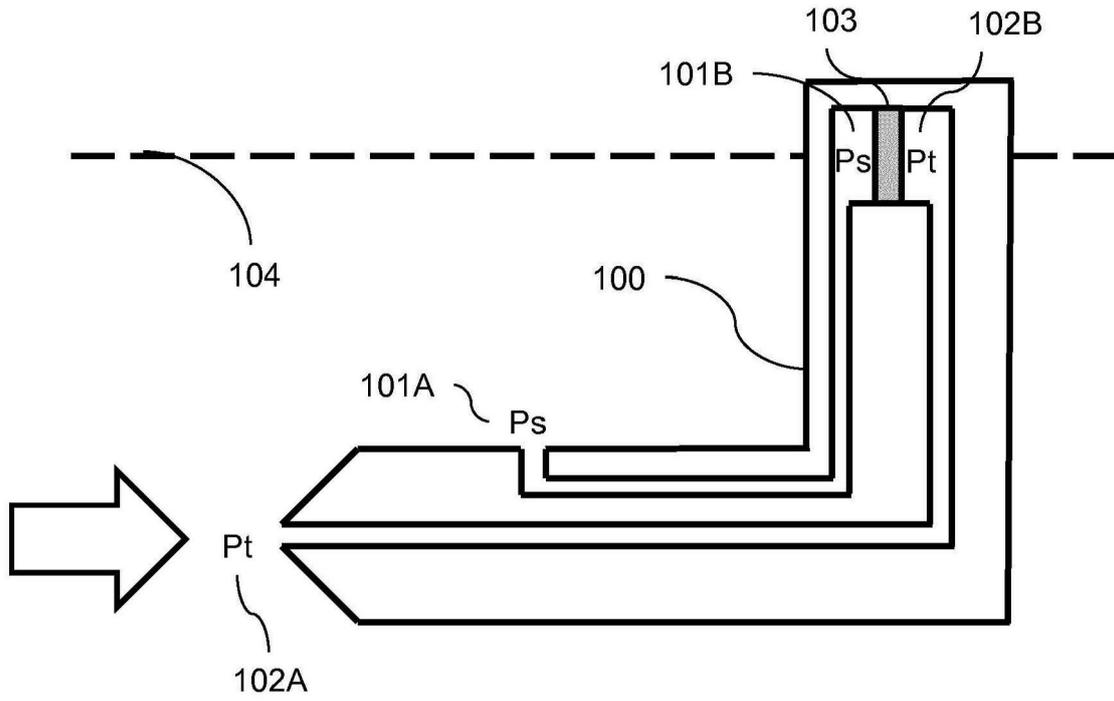


图1 (现有技术)

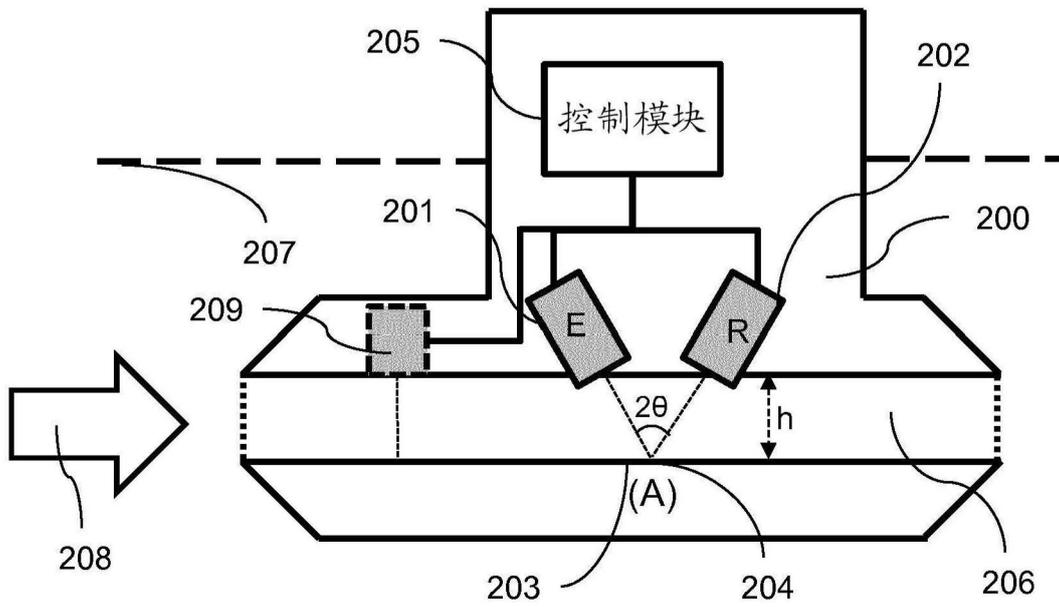


图2

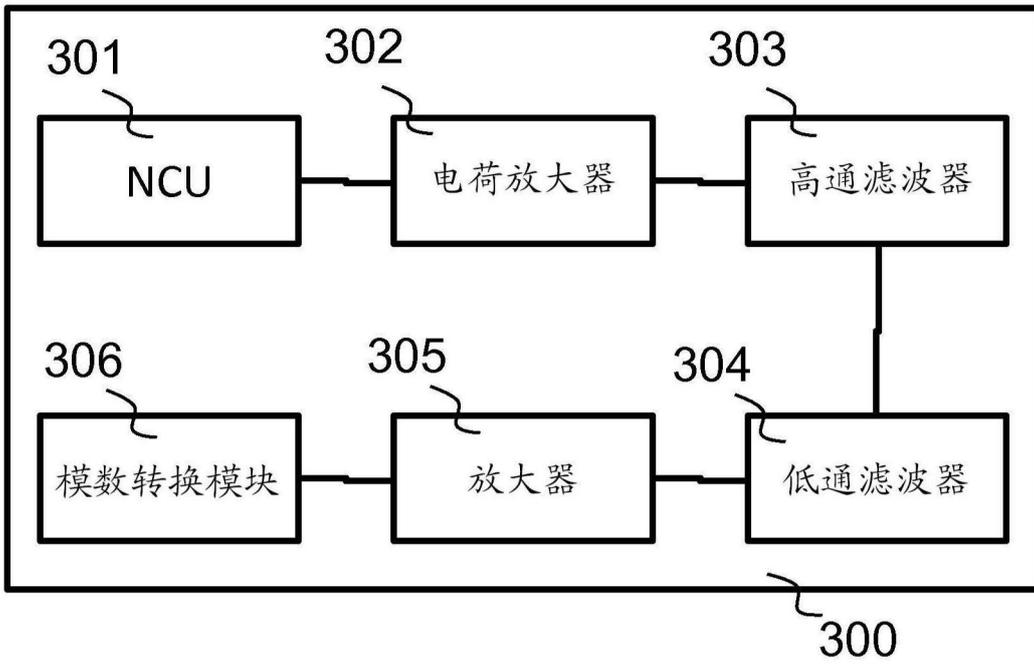


图3

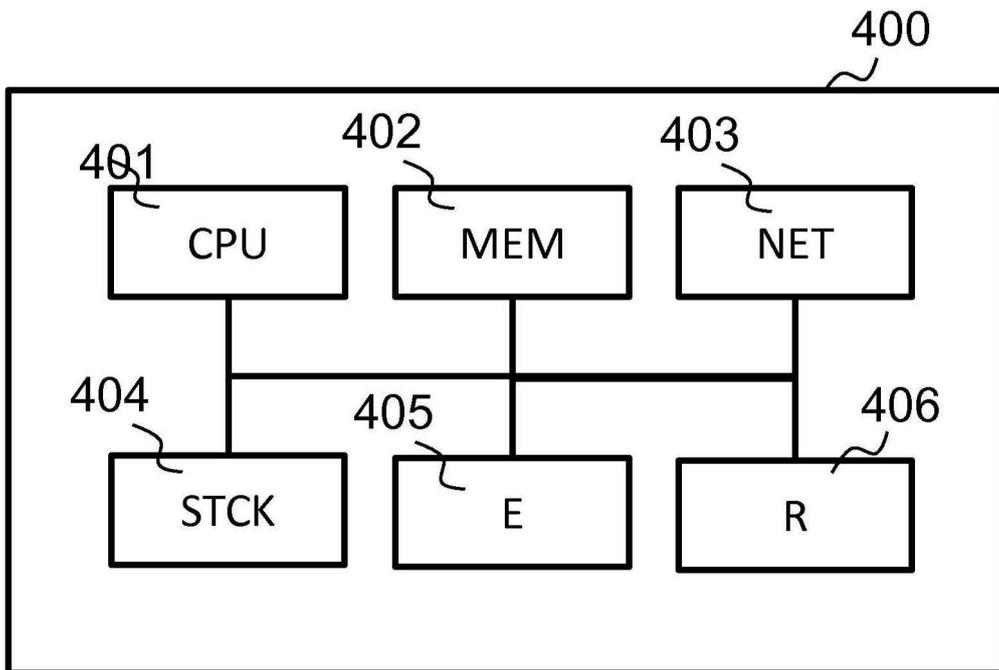


图4