(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103229025 B
(45)授权公告日 2016.06.29

(21)申请号 201180056926.7
(22)申请日 2011.10.14
(30)优先权数据
10189024.2 2010.10.27 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.05.27
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/DK2011/050386 2011.10.14
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2012/055413 EN 2012.05.03
(73)专利权人 卡姆鲁普股份有限公司
地址 丹麦斯坎讷堡
(72)发明人 J·L·瑟恩森 J·奥诺雷
(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
代理人 陈松涛 王英
(51)Int.Cl.
G01F 1/66(2006.01)

(56)对比文件
FR 920543 A,1964.03.20,
WO 95/04258 A1,1995.02.09,
DE 19810798 A1,1998.09.24,
GB 2423363 A,2006.08.23,
DE 10048959 A1,2001.05.03,
EP 1361417 A2,2003.11.12,

审查员 刘婉姬

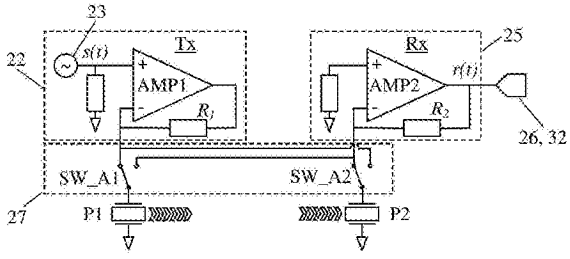
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

具有零阻抗测量电子装置的超声波流量计

(57)摘要

本发明公开了一种超声波流量计，包括发生器电路以及与发生器电路电隔离的接收器电路。流量计进一步包括换能器切换模块，用于将超声波换能器受控地连接到发生器电路或接收器电路。发生器电路的输出阻抗和接收器电路的输入阻抗被控制为基本上为零。



CN 103229025 B

1.一种超声波流量计，布置为测量流体的流速，所述超声波流量计包括：

-至少两个超声波换能器，布置为跨越测量距离、在相反方向上发送和接收超声波信号，所述至少两个超声波换能器包括设置在所述测量距离的一端的至少第一超声波换能器以及设置在所述测量距离的另一端的至少第二超声波换能器；

-换能器切换模块，电连接到所述至少两个超声波换能器；

-发生器电路，用于受控地产生电信号以发送到所述至少两个超声波换能器，所述发生器电路包括信号源或者连接至信号源；

-接收器电路，用于接收来自所述至少两个超声波换能器的电信号，所述接收器电路与所述发生器电路分隔开，所述接收器电路还包括用于连接至检测模块的接收器输出端；

其中，所述换能器切换模块布置为用于：

-将所述第一超声波换能器受控地功能性连接至所述发生器电路或所述接收器电路，以及

-将所述第二超声波换能器受控地功能性连接至所述发生器电路或所述接收器电路；

从而使得所述第一超声波换能器被电连接至所述发生器电路且所述第二超声波换能器被电连接至所述接收器电路，反之亦然，

其中，从所述至少两个超声波换能器观察到的所述发生器电路的输出阻抗基本上为零，并且其中，从所述至少两个超声波换能器观察到的所述接收器电路的输入阻抗基本上为零，

其中，所述发生器电路包括运算放大器，所述运算放大器具有连接至所述信号源的第一输入端、第二输入端以及经由反馈连接而连接至所述第二输入端的输出端，并且其中，所述第二输入端进一步连接到所述换能器切换模块，以使得所述第二输入端被经由所述切换模块可操作地连接至所述至少两个换能器，并且

其中，所述接收器电路包括运算放大器，所述运算放大器具有连接至地或参考电势的第一输入端、第二输入端以及经由反馈连接而连接至所述第二输入端的输出端，并且其中，所述第二输入端进一步连接到所述换能器切换模块，以使得所述第二输入端经由所述切换模块可操作地连接至所述至少两个换能器。

2.根据权利要求1所述的超声波流量计，其中，所述检测模块包括用于将接收到的信号数字化的模数转换器(ADC)。

3.根据权利要求1所述的超声波流量计，进一步包括检测器切换模块，以用于在所述接收器输出端与所述发生器输出端之间切换与所述检测模块的连接。

4.根据权利要求3所述的超声波流量计，进一步包括信号源切换模块，以用于在所述发生器电路与所述接收器电路的输入端之间切换所述信号源的输出端。

5.一种操作根据权利要求1所述的超声波流量计的方法，其中：

-在第一开关配置中，所述换能器切换模块将所述第一超声波换能器连接至所述发生器电路，并且将所述第二超声波换能器连接至所述接收器电路；

-在第二开关配置中，所述换能器切换模块将所述第二超声波换能器连接至所述发生器电路，并且将所述第一超声波换能器连接至所述接收器电路；

并且其中，所述方法包括以下步骤：

a)应用所述第一开关配置；

b)操作所述发生器电路以产生用于在所连接的换能器处发送的信号；

c)在不改变所述换能器切换模块的情况下，检测在另一个换能器处接收到的信号；

d)从所述接收到的信号中导出信号特征；

e)应用所述第二开关配置；

f)执行步骤b)至d)；以及

h)根据在步骤d)获得的导出的信号特征来确定流速。

6.根据权利要求5所述的操作超声波流量计的方法，其中：

-所述超声波流量计进一步包括检测器切换模块，以用于在所述接收器电路与所述发生器电路之间切换与所述检测模块的连接；以及信号源切换模块，以用于在所述发生器电路与所述接收器电路之间切换与所述信号源的连接；

-在所述第一开关配置中，所述换能器切换模块将所述第一超声波换能器连接至所述发生器电路并将所述第二超声波换能器连接至所述接收器电路，并且所述检测器切换模块将所述检测模块连接至所述接收器电路，并且所述信号源切换模块将所述信号源连接至所述发生器电路；

-在所述第二开关配置中，所述换能器切换模块将所述第二超声波换能器连接至所述发生器电路并将所述第一超声波换能器连接至所述接收器电路，并且所述检测器切换模块将所述检测模块连接至所述接收器电路，并且所述信号源切换模块将所述信号源连接至所述发生器电路；

-在第三开关配置中，所述换能器切换模块将所述第一超声波换能器连接至所述发生器电路并将所述第二超声波换能器连接至所述接收器电路，并且所述检测器切换模块将所述检测模块连接至所述发生器电路，并且所述信号源切换模块将所述信号源连接至所述接收器电路。

具有零阻抗测量电子装置的超声波流量计

技术领域

[0001] 本发明涉及一种超声波流量计以及操作超声波流量计的方法。

背景技术

[0002] 在过渡时间(transit time)类型的消耗超声波流量计中,消耗的确定是基于对消耗的介质的流速测量进行的。所述流速测量是基于测量介质流中的相对传播的超声波之间的过渡时间的差异进行的。超声波是由压电超声波换能器产生的。典型的超声波信号通过介质的过渡时间是非常短的,并且因此,所述过渡时间或者至少时间的差异需要以非常高的精度进行测量。与测量的精度有关的一个重要因素是当换能器充当超声波信号的发送器和接收器时由换能器观察到的电子布置的阻抗。在这两种情况下的阻抗中的任意差异将转化为测量不确定性。

[0003] EP0846936公开了一种超声波流量计。它公开了用于控制超声波换能器的电子布置包括通过直接的电连接而彼此连接的单独的发生器电路和单独的接收器电路,其中,超声波换能器经由开关连接至该直接连接。在该设置中,每个换能器观察到发生器电路的相同的低输出阻抗以及接收器电路的相同的高输入阻抗,而与它充当发送器还是接收器无关。

[0004] DE10048959C2公开了一种具有用于控制超声波换能器的电子布置的超声波流量计,其中,发生器电路和接收器电路组合为单个电路,并且每个换能器观察到由输入/输出电阻器限定的相同的阻抗,而与它充当发送器还是接收器无关。

[0005] FR1.355.584公开了一种具有用于控制超声波换能器的电子布置的超声波流量计,其中,电子布置保证在换能器前面的阻抗在发送模式和接收模式两者中都极其小,并且每个换能器因此观察到非常小的阻抗,而与它充当发送器或接收器无关,并且由此,阻抗之间的任意差异也是非常小的。

[0006] 在这些系统中,在超声波信号传播通过介质的同时在发送换能器与接收换能器之间切换开关。虽然切换本身可以实际上是瞬时的,但是在可以进行精确的测量之前需要使由切换引起的任意电子瞬变逐渐消失。因此,流量计内的超声波必须覆盖一定的距离,从而妨碍了小流量计的制造等等。

[0007] WO94/17371公开了一种具有电子布置的超声波流量计,其中,以如下方式应用开关:在超声波信号传播通过介质的同时不需要切换,并且流管的长度因此不受使与开关相关的电子瞬变逐渐消失所花费的时间的限制。然而,在WO94/17371的公开内容中,电子布置需要每个流量计电路必须是阻抗匹配的以用于所谓的相互操作。对每个流量计电路执行操作是耗时且昂贵的。

发明内容

[0008] 实现不受超声波信号的最小传播时间限制的超声波流量计将是有利的,然而其能够在不单独调整电子电路的情况下以高精度测量传播时间。此外,实现对换能器的机电特

性较不敏感的超声波流量计将是有利的。一般地，本发明优选地旨在单独地或以任意组合的方式缓和、减轻或消除现有技术中的流量计的一个或多个缺点。

[0009] 在本发明的第一方案中，提供了一种超声波流量计，包括：

[0010] -至少两个超声波换能器，布置为跨越测量距离在相反方向上发送和接收超声波信号，所述至少两个超声波换能器包括设置在所述测量距离的一端的至少第一换能器以及设置在所述测量距离的另一端的至少第二超声波换能器；

[0011] -换能器切换模块，电连接到所述至少两个超声波换能器；

[0012] -发生器电路，用于受控地产生电信号以发送到所述至少两个超声波换能器，所述发生器电路包括信号源或者连接至信号源；

[0013] -接收器电路，用于接收来自所述至少两个超声波换能器的电信号，所述接收器电路与所述发生器电路分隔开，所述接收器电路还包括用于连接至检测模块的接收器输出端；

[0014] 其中，所述换能器切换模块布置为用于：

[0015] -将所述第一超声波换能器受控地功能性连接至所述发生器电路或所述接收器电路，以及

[0016] -将所述第二超声波换能器受控地功能性连接至所述发生器电路或所述接收器电路；

[0017] 从而使得所述第一超声波换能器被电连接至所述发生器电路且所述第二超声波换能器被电连接至所述接收器电路，反之亦然，并且

[0018] 其中，从所述至少两个超声波换能器观察到的所述发生器电路的输出阻抗基本上为零，并且其中，从所述至少两个超声波换能器观察到的所述接收器电路的输入阻抗基本上为零。

[0019] 因此，提供了一种超声波流量计，其包括用于产生电信号以驱动超声波换能器的单独的电子电路以及用于接收由超声波换能器接收的信号的单独的电子电路。通过将发生器电路的输出阻抗以及接收器电路的输入阻抗限制为零，或者至少基本上为零，每个换能器将总是观察到相同的阻抗，即零或基本上为零，而与它充当发送器还是接收器无关。具有零或基本上为零的阻抗的效果是电子布置的电子Q值也可以变得非常低，其使得电子布置对换能器的机电特性较不敏感，并且尤其是对在换能器的电子特性的缺陷，或者对换能器的电子特性之间的变化较不敏感。零或基本上为零的阻抗应当理解为发生器电路的输出阻抗和接收器电路的输入阻抗至少与换能器的机电阻抗相比非常小，例如在百分之几以下，例如在2%以下或在1%以下，或者甚至更低，例如在千分之一的范围内，例如千分之一或甚至更低。理想地，所述阻抗是零欧姆。

[0020] 因为换能器切换模块布置为用于将每个超声波换能器受控地功能性连接(即切换)至发生器电路或接收器电路，使得第一超声波换能器被电连接至发生器电路且第二超声波换能器被电连接至接收器电路，反之亦然，在超声波信号传播通过介质的同时，在不需要改变切换状态的情况下在测量之前可以对切换模块进行设置，并且不存在对在流量计内将由超声波覆盖的最小距离的要求。

[0021] 因此，在流量检测之前设定的用于与开关配置一起产生和接收至或来自超声波换能器的电信号的单独的电子电路，以及将输出阻抗和输入阻抗限制为基本上为零，提供了

使得能够提供短的高精度超声波流量计的协同作用。然而，本发明也可以有利地结合其它类型的流量计使用，因为所述方案使流量确定对换能器特性较不敏感，并且因为消除了由在信号穿过介质的同时需要切换开关而带来的任意限制，所述方案是在其它类型的流量计中也可以是有益的方案。

[0022] 在重要的实施例中，发生器电路和接收器电路基于具有经由换能器切换模块与换能器连接的反相输入端以及与参考源连接的非反相输入端的运算放大器。在这样的配置中，运算放大器将换能器加载的阻抗固定为差不多零欧姆。这种类型的设置因此保证超声波换能器总是观察到相同的阻抗，即零或基本上为零，而与它们充当发送器还是接收器无关。这些实施例的优点在于在制造期间不需要独立电路的阻抗匹配来补偿在电子部件(以相同的原理)之间的阻抗变化，因为，由于适当配置的运算放大器的电特性确保反相输入端保持在零欧姆的阻抗，不需要这样的补偿。

[0023] 在有利的实施例中，将额外的开关添加至电子电路中以进一步改进电路的特性。通过适当设置的额外的开关，可以通过除了在相对于流动方向的同向和反向传播超声波之间的切换之外切换两个放大器的角色来去除在流量计算中来自电路部件(尤其是所述开关)的寄生贡献。为此，流量计算可以基于四个测量而不是在一些常规的流量计(例如在本发明的背景中提及的流量计)中使用的两个测量。在这些流量计中，可能引入(例如来自所应用的两个开关的不同开关-导通阻抗的)寄生相移。

[0024] 在本发明的第二方案中，提供了一种操作根据第一方案的实施例提供的超声波流量计的方法。所述方法包括两个开关配置，其中：

[0025] -在第一开关配置中，所述换能器切换模块将所述第一超声波换能器连接至所述发生器电路，并且将所述第二超声波换能器连接至所述接收器电路；

[0026] -在第二开关配置中，所述换能器切换模块将所述第二超声波换能器连接至所述发生器电路，并且将所述第一超声波换能器连接至所述接收器电路；

[0027] 并且其中，所述方法包括以下步骤：

[0028] a)应用所述第一开关配置；

[0029] b)操作所述发生器电路以产生用于在所连接的换能器处发送的信号；

[0030] c)在不改变所述换能器切换模块的情况下，检测在另一个换能器处接收到的信号；

[0031] d)从所述接收到的信号中导出信号特征；

[0032] e)应用所述第二开关配置；

[0033] f)执行步骤b)至d)；以及

[0034] h)根据在步骤d)获得的导出的信号特征来确定流速。

[0035] 在实施例中所述方法可以适于包括四个开关，并且其中，在实施例中，所述方法利用四个开关配置，其中：

[0036] -在所述第一开关配置中，所述换能器切换模块将所述第一超声波换能器连接至所述发生器电路并将所述第二超声波换能器连接至所述接收器电路，并且所述检测器切换模块将所述检测模块连接至所述接收器电路，并且所述信号源切换模块将所述信号源连接至所述发生器电路；

[0037] -在所述第二开关配置中，所述换能器切换模块将所述第二超声波换能器连接至

所述发生器电路并将所述第一超声波换能器连接至所述接收器电路，并且所述检测器切换模块将所述检测模块连接至所述接收器电路，并且所述信号源切换模块将所述信号源连接至所述发生器电路；

[0038] -在第三开关配置中，所述换能器切换模块将所述第一超声波换能器连接至所述发生器电路并将所述第二超声波换能器连接至所述接收器电路，并且所述检测器切换模块将所述检测模块连接至所述发生器电路，并且所述信号源切换模块将所述信号源连接至所述接收器电路；

[0039] -在第四开关配置中，所述换能器切换模块将所述第二超声波换能器连接至所述发生器电路并将所述第一超声波换能器连接至所述接收器电路，并且所述检测器切换模块将所述检测模块连接至所述发生器电路，并且所述信号源切换模块将所述信号源连接至所述接收器电路；

[0040] 并且其中，所述方法包括执行以上限定的步骤a)至h)，然而步骤f)改为：

[0041] f)执行步骤b)至d)直至已经应用了全部的四个开关配置。

[0042] 在实施例中，超声波流量计可以是诸如水量计、气量计、热量计或冷却计之类的充入式消耗流量计，或者是其一部分。消耗流量计可以结合区域供热或区域供冷使用。所述消耗流量计可以是合法的流量计，即其符合规定的要求，这样的规定要求可以是对测量精确度的要求。

[0043] 一般地，在本发明的范围内，可以以任意可能的方式组合和耦合本发明的各种方案。从下文描述的实施例中，本发明的这些和其它方案、特征和/或优点将是显而易见的，并且将参考下文描述的实施例介绍本发明的这些和其它方案、特征和/或优点。

附图说明

[0044] 将通过参考附图而仅仅举例描述本发明的实施例，在所述附图中：

[0045] 图1示出了超声波流量计的实施例的示意性截面图；

[0046] 图2是示出了根据本发明的实施例的流量计的电子电路的元件的示意性框图；

[0047] 图3示出了发生器电路、接收器电路和换能器切换模块的有利的实施方式；

[0048] 图4示出了驱动信号和接收到的信号的示例；以及

[0049] 图5示出了具有利用两个额外的开关的耦合方案的实施例。

具体实施方式

[0050] 图1示出了消耗流量计形式的超声波流量计的实施例的示意性截面图。所述流量计包括具有入口2和出口3的壳体1。流量计进一步包括电子单元4，所述电子单元4包括超声波换能器5或连接至超声波换能器5。流量计包括测量距离6，此处由贯通通道示意性地示出。将用于产生和检测超声波信号的超声波换能器5设置成使得所产生的信号可以被引入测量距离。将反射器7设置成使得从每个换能器中发出的信号8被沿着流动通道引导到相对的换能器上以用于检测。向上游传播的信号比向下游传播的信号传播得更快，并且可以通过测量所发出的信号在另外的换能器处的到达时间的差异来确定流速。流速的确定以及流速的输出由电子单元4完成。电子单元至少包括测量电路，所述测量电路可操作地连接至超声波换能器并布置为确定代表流速的值。超声波换能器和测量电路在实施例中可以提供为

适于安装在壳体上的单元。此外，消耗流量计通常装备有计算器单元，其适于基于代表流速的值来计算消耗的量以及可选地计算额外的量。计算器单元可以是单独的单元或者与用于操作换能器的测量电路组合的单元。电子单元可以额外地包括如下元件：例如无线电发送器形式的发送器，以及例如电池或有线连接形式的电源，以及与其它部件。

[0051] 所示出的超声波流量计包括在测量距离的一端设置的第一超声波换能器以及在测量距离的另一端设置的第二超声波换能器。一般地，在每一端可以设置更多的换能器。此外，可以采用三个或更多的反射器单元来引导超声波信号通过所述测量距离。

[0052] 本发明的实施例涉及基于渡越时间(time-of-flight)原理的超声波流量计。在这样的流量计中，对流体流速v的估计可以从以下的表达式获得：

[0053] $$v = \frac{L\Delta t}{2t_0^2}$$ 等式(1)

[0054] 其中L是脉冲经过的物理距离，Δt是渡越时间的差异，并且t_0是在不存在任何流速的情况下的渡越的时间，也被称为无流动渡越时间(FFTOF)。精确估计流速要求在L是已知的情况下精确地测量Δt和t_0两者。

[0055] 图2是示出根据本发明的实施例的一般方案的示意图。该图示出了超声波流量计的电子电路的元件的框图。该图示出了连接至超声波换能器21(此处示出为第一换能器21A和第二换能器21B)的测量电子装置20的元件。

[0056] 测量电子装置包括发生器电路22，该发生器电路22用于受控产生电信号，以发送到超声波换能器。在示出的实施例中，发生器电路包括信号源23以及用于控制或修改从信号源输出的信号的电子部件24。

[0057] 此外，测量电子装置包括用于接收来自至少两个超声波换能器的电信号的接收器电路25以及检测模块26。接收器电路连接至检测模块。检测模块是(或包括)用于基于接收到的信号计算流相关数据的计算单元。接收器电路与发生器电路分开。

[0058] 此外，测量电子装置包括换能器切换模块27，其布置为用于将第一超声波换能器21A和第二超声波换能器21B受控功能连接到发生器电路22或接收器电路25。

[0059] 只要从至少两个超声波换能器观察到的发生器电路的输出阻抗28和接收器电路的输入阻抗29两者皆为零，或至少基本上为零，则可以以任意合适的方式制作测量电子装置的具体电子布图。

[0060] 在进一步的实施例中，可以存在额外的部件，并且尤其是可以存在进一步的切换模块。在实施例中，存在允许在接收器电路25的输出端与发生器电路22的输出端之间切换检测模块26的输入端的切换模块200。为此，提供了电连接201。在另一个实施例中，存在允许将信号源23的输出端直接切换至接收器电路25的输入端的附加切换模块202。为此，提供了电连接203。

[0061] 结合图3和5公开了发生器电路和接收器电路的具体实施例。

[0062] 图3示出了发生器电路22、接收器电路25和换能器切换模块27的有利实施方式的实施例。

[0063] 换能器切换模块通过两个开关SW_A1和SW_A2来实现，如图所示，所述两个开关SW_A1和SW_A2如图所示的那样电耦合，并且协同地操作以将第一超声波换能器电连接至发生

器电路，并且将第二超声波换能器电连接至接收器电路，反之亦然。这两个开关布置对应于第一开关配置和第二开关配置。信号源23产生驱动信号电压s(t)，所述驱动信号电压s(t)被注入放大器电路(表示为Tx)，并且被经由压电换能器P1转换为超声波。所述波行进通过介质，直至到达结构类似于P1的接收换能器P2。通过改变开关SW_A1和SW_A2的设定(即通过从第一开关配置变为第二开关配置)，可以切换超声波相对于流动方向的方向。通过压电方式将声压波转换为电流，并且通过电阻R_2将所述电流转换为接收器电压信号r(t)，并且最终在检测模块26处接收到所述电压信号r(t)，所述检测模块26包括用于将接收到的信号数字化以用于进一步处理的模数转换器(ADC)32。因此，除了信号源23之外，发生器电路22还包括运算放大器AMP1，所述运算放大器AMP1具有连接至信号源的第一输入端、第二输入端以及经由反馈连接与第二输入端连接的输出端。此外，发生器电路的第二输入端经由开关SW_A1和SW_A2可操作地连接至两个换能器P1和P2。类似地，接收器电路25(也表示为R_x)包括运算放大器AMP2，所述运算放大器AMP2具有连接至地(也可以连接至给定的参考电势)的第一输入端、第二输入端以及经由反馈连接与第二输入端连接的输出端。接收器电路的第二输入端也经由开关SW_A1和SW_A2可操作地连接至两个换能器P1和P2。该实施方式将换能器P1和P2电加载的阻抗固定为差不多零欧姆。结果，由换能器执行的振荡将紧紧跟随信号s，并且在结束信号发送时可以实现强阻尼。在发生器电路和接收器电路的该实施方式中，自动地补偿了具体的电子部件的阻抗差异。

[0064] 图4示出了驱动信号s(t)和接收到的信号r(t)的示例。所示的信号是与低Q值换能器相关联的强阻尼信号。当确定FFTOF t_0时，强阻尼是重要的，因为这使得接收到的信号的扩展相对较小，这提供了对t_0的更好的确定。

[0065] 图5示出了具有利用两个额外的开关SW_B1和SW_B2的耦合方案的实施例。两个额外的开关使在两个电路Tx和Rx作为发送器或接收器的角色之间的切换成为可能。结果，得到4种开关设定组合，当适当地组合相关联的信号时，所述4种开关设定组合提供流速的信息，并且同时消除来自开关的不期望的电子缺陷。假定电路的部件相对于电压和电流线性地工作。如前所述，电路进一步包括检测器切换模块SW_B2，以用于在接收器输出端(SW_B2在位置x处)与发生器输出端(SW_B2在位置y处)之间切换与检测模块的连接。此外，电路进一步包括信号源切换模块SW_B1，以用于在发生器模块(SW_B1在位置x处)与接收器的输入端(SW_B1在位置y处)之间切换信号源的输出端。因此，可以有四种开关配置。

[0066] 为了进一步理解四个开关的角色以及四种开关配置，在更坚实的数学基础上介绍前述事项。与4种开关配置相关联的所述接收到的信号表示为$\{r_{xx}(t), r_{yx}(t), r_{xy}(t), r_{yy}(t)\}$，其中第一和第二下标分别指的是根据在图5中示出的开关SW_A1至SW_B2的开关组A和开关组B的设定。4个所述接收到的信号可以用复杂的频谱传递函数来表达，并且所述接收到的信号可以表达为以下的傅里叶变换：

[0067] $$r_{xx}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)T_{AMP1}(\omega)T_{P1}(\omega)T_{流动}(\omega)R_{P2}(\omega)R_{AMP2}(\omega)e^{i\omega t}d\omega$$

[0068] $$r_{yx}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)T_{AMP1}(\omega)T_{P2}(\omega)T_{流动}(\omega)R_{P1}(\omega)R_{AMP2}(\omega)e^{i\omega t}d\omega$$

[0069] 等式(2)

[0070] $$r_{xy}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)T_{AMP2}(\omega)T_{P2}(\omega)T_{流动}(\omega)R_{P1}(\omega)R_{AMP1}(\omega)e^{i\omega t}d\omega$$

[0071] $$r_{yy}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)T_{AMP2}(\omega)T_{P1}(\omega)T_{流动}(\omega)R_{P2}(\omega)R_{AMP1}(\omega)e^{i\omega t}d\omega$$

[0072] 所有的电路部件都假定为线性的。函数$T_{AMPk}(\omega)$和$T_{Pk}(\omega)$，k={1,2}是在流量计的

发送侧上的放大器和压电换能器的频谱传递函数，而函数$R_{AMPk}(\omega)$和$R_{Pk}(\omega)$，k={1,2}是在流量计的接收器侧上的放大器和压电换能器的频谱传递函数；并且函数$T_{流动}(\omega)=\exp[-\alpha-i(\omega t_0\Upsilon\varphi/2)]$是与超声波通过流体介质而分别与流动同向和反向传播的发送相关联的频谱传递函数。相移$\varphi=\omega\Delta t$形成流速计算的基础，并且超声波发送通过流量计的衰减由(实部)参数α来描述。嵌入在放大器传递函数中的是开关组B的传递特性，所述传递特性在独立的开关的两个位置处可以是不相同的。因为开关组A的情况相同，所以将这些部件的特性合并到换能器的频谱响应函数中，并且(在不存在流动的情况下)利用电路的相互作用以便在开关组A的开关在'x'位置时写入$T_{P1}R_{P2}=T_{P2}R_{P1}=\exp[-\beta_x-i\psi_x]$并在选择'y'位置时写入$T_{P1}R_{P2}=T_{P2}R_{P1}=\exp[-\beta_y-i\psi_y]$。取决于开关组B的开关的位置的函数$T_{AMPk}(\omega)$和$R_{AMPk}(\omega)$类似地参数化为：$T_{AMP1}R_{AMP2}=\exp[-\gamma_x-i\theta_x]$和$T_{AMP2}R_{AMP1}=\exp[-\gamma_y-i\theta_y]$。

[0073] 综上所述，用于所述接收到的信号的以下表达式的结果是：

[0074]
$$r_{xx}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)\exp\left[-(\alpha+\beta_x+\gamma_x)-i(\omega t_0+\psi_x+\theta_x-\varphi/2)\right]e^{i\omega t}d\omega$$
$$r_{yx}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)\exp\left[-(\alpha+\beta_y+\gamma_x)-i(\omega t_0+\psi_y+\theta_x+\varphi/2)\right]e^{i\omega t}d\omega$$
$$r_{xy}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)\exp\left[-(\alpha+\beta_x+\gamma_y)-i(\omega t_0+\psi_x+\theta_y+\varphi/2)\right]e^{i\omega t}d\omega$$
$$r_{yy}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)\exp\left[-(\alpha+\beta_y+\gamma_y)-i(\omega t_0+\psi_y+\theta_y-\varphi/2)\right]e^{i\omega t}d\omega.$$
等式(3)

[0075] 参数α、$\beta_{x/y}$、$\gamma_{x/y}$、$\theta_{x/y}$、$\psi_{x/y}$和φ都是频率ω的函数，但是，随后的围绕中心频率ω_0的滤波及其后的相位检测将揭示在通过电路期间由信号拾取的四个整体相位延迟：

[0076]
$$\Phi_{xx}=\omega_0 t_0+\psi_x+\theta_x-\varphi/2$$
$$\Phi_{yx}=\omega_0 t_0+\psi_y+\theta_x+\varphi/2$$
$$\Phi_{xy}=\omega_0 t_0+\psi_x+\theta_y+\varphi/2$$
$$\Phi_{yy}=\omega_0 t_0+\psi_y+\theta_y-\varphi/2,$$
等式(4)

[0077] 并且可以通过建立以下的等式来获取流速：

[0078]
$$v=\frac{L\Delta t}{2t_0^2}=\frac{L\left(\Phi_{yx}-\Phi_{xx}+\Phi_{xy}-\Phi_{yy}\right)}{4\omega_0 t_0^2}.$$
等式(5)

[0079] 通过组合等式(4)和等式(5)，可以看出寄生相移ψ_x，ψ_y，θ_x，θ_y被抵消掉，并且仅留下流动相关的相位延迟φ。

[0080] 值得注意的是，仍需确定FFTOF t_0。该量可以以多种方式确定。在简单的实施方式中，可以利用的是，它主要是流体介质的温度的函数，并且温度的简单测量以及查找表的使用可以用来推断出t_0的值。在另一个实施例中，数字信号处理可以用来从可以与模板信号相比较的所述接收到的信号中导出信号特征以确定信号特征的到达时间。美国专利6305233B1公开了一种基于与模板信号的比较导出传送时间的方法。

[0081] 本发明的实施例使得可以精确地确定接收到的信号的包络形状，从而可以精确地确定FFTOF，而不必考虑当(例如)温度改变或出现老化时的包络形状的变化。然后，包络形状可以用作适应性的模板信号以用于与所述接收到的信号进行精确比较。

[0082] 在图5的实施例中，所描绘的开关耦合可以用来独立于流量测量推断出信号包络

的形状。将开关SW_B1设定在‘x’位置，同时将SW_B2设定在‘y’位置。开关SW_A1在‘x’位置将得出由以下等式给出的记录信号：

[0083] $$r_{P1}(t)=(2\pi)^{-1/2}\int s(\omega)\left[1+\frac{R_1}{Z_{P1}(\omega)}\right]e^{i\omega t}d\omega,$$ 等式(6)

[0084] 其中$Z_{P1}(\omega)$是换能器P1的电阻抗。因为注入的信号$s(\omega)$是已知的，我们可以将以上的表达式反转以恢复$Z_{P1}(\omega)$：

[0085] $$Z_{P1}(\omega)=R_1\frac{s(\omega)}{r_{P1}(\omega)-s(\omega)},$$ 等式(7)

[0086] 其中$r_{P1}(\omega)=(2\pi)^{-1/2}\int r_{P1}(t)\exp(-i\omega t)dt$。$Z_{P1}$是重要的量，因为它与P2的等式$Z_{P2}(\omega)=R_2S/(r_{P2}-s)$一起基本上描述了包络形状。后者可以通过在SW_A2处于‘x’的同时切换SW_B1和SW_B2来推断出。假定换能器具有低的机械Q值，并且因为它们电加载有小阻抗，所以我们可以将$Z_{P1}(\omega)$和$Z_{P2}(\omega)$解释为与它们的相应的换能器的频谱传递函数成比例。假定理想的放大器具有充足的带宽且(为此)忽略由开关引入的不相干的小延迟，我们设定$T_{AMP1}R_{AMP2}=T_{AMP2}R_{AMP1}=g$，其中g是常数。类似地，我们设定$T_{P1}R_{P2}=T_{P2}R_{P1}=h$ $Z_{P1}(\omega)Z_{P2}(\omega)$，其中h是常数。现在将其引入上文的傅里叶变换中以提供以下的用于流量测量的接收到的信号的两个表达式：

[0087] $r_+(t)=(2\pi)^{-1/2}gh\int s(\omega)Z_{P1}(\omega)T_{流动+}(\omega)Z_{P2}(\omega)e^{i\omega t}d\omega$ 等式(8)

[0088] $r_-(t)=(2\pi)^{-1/2}gh\int s(\omega)Z_{P1}(\omega)T_{流动-}(\omega)Z_{P2}(\omega)e^{i\omega t}d\omega$，

[0089] 其中r_+对应于同向传播的流动和声音，而r_-是反向传播的情况。通过将以上的等式反转，我们可以针对$T_{流动\pm}$求解得出：

[0090] $$T_{流动\pm}(\omega)=\frac{r_\pm(\omega)}{ghZ_{P1}(\omega)Z_{P2}(\omega)s(\omega)}=\exp[-\alpha-i(\omega t_0\mp\varphi/2)],$$ 等式(9)

[0091] 从中我们可以得出如下的t_0：

[0092] $$t_0=-\frac{1}{2\omega}\arctan\left[\frac{\mathrm{Im}\{T_{流动+}(\omega)T_{流动-}(\omega)\}}{\mathrm{Re}\{T_{流动+}(\omega)T_{流动-}(\omega)\}}\right].$$ 等式(10)

[0093] 在实践中，常数g和h是不相干的。因为我们仅仅探究自变量(argument)$T_{流动+}T_{流动-}$。

[0094] 如早先提及的，对FFTOF的这种确定具有对诸如换能器谐振频率、Q-值、声阻抗和电阻抗等物理参数的变化非常鲁棒的优点。结果，在流量计的生产中可以维持相对宽的容差。

[0095] 对FFTOF的这种确定就其本身而言是有利的。如上文公开的，仅包括检测器切换模块SW_B2以及电连接201，并且不包括信号切换模块SW_B1以及电连接203的流量计可以从改进的FFTOF确定中获益。可以通过将SW_B2设定至y位置并且切换开关SW_A1和SW_A2来推断出阻抗Z_{P1}和Z_{P2}。

[0096] 一般地，通过控制换能器切换模块以确定信号方向来操作根据本发明的实施例的超声波流量计。这是通过如下方式完成的：将开关SW_A1和SW_A2设定在合适的位置，使得一个超声波换能器(或一组超声波换能器)连接至发生器电路且另一超声波换能器(或另一组

换能器)连接至接收器电路。以期望的信号方向,操作发生器电路以产生由第一换能器发送并在第二换能器处作为接收到的信号进行检测的信号。在实施例中,将所述接收到的信号数字化,以便从所述接收到的信号中导出信号特征。将导出的信号特征与模板信号的对应的特征相比较,以便确定信号在第二换能器处的到达时间。

[0097] 该操作方案可以通过如下方式来扩展:添加操作信号源切换模块和/或检测器切换模块的切换以便操作结合图5公开的流量计。

[0098] 图3和图5包括多个电阻器。这些电阻器的具体选择以及不改变如上文公开的整体功能的等同部件或其它部件的存在在本领域技术人员的能力范围内。

[0099] 虽然在附图和之前的描述中已经详细地示出并描述了本发明,但是这样的图示和描述被认为是例证性的或示例性的,而不是限制性的;本发明不限于所公开的实施例。本发明的范围应按照所附权利要求组加以解读。

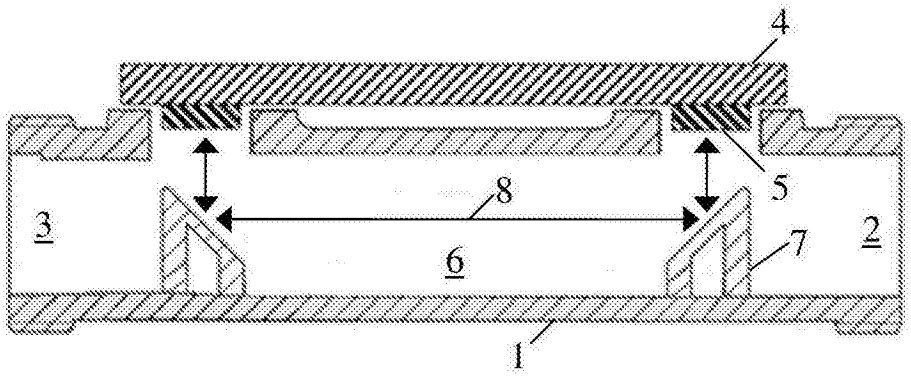


图1

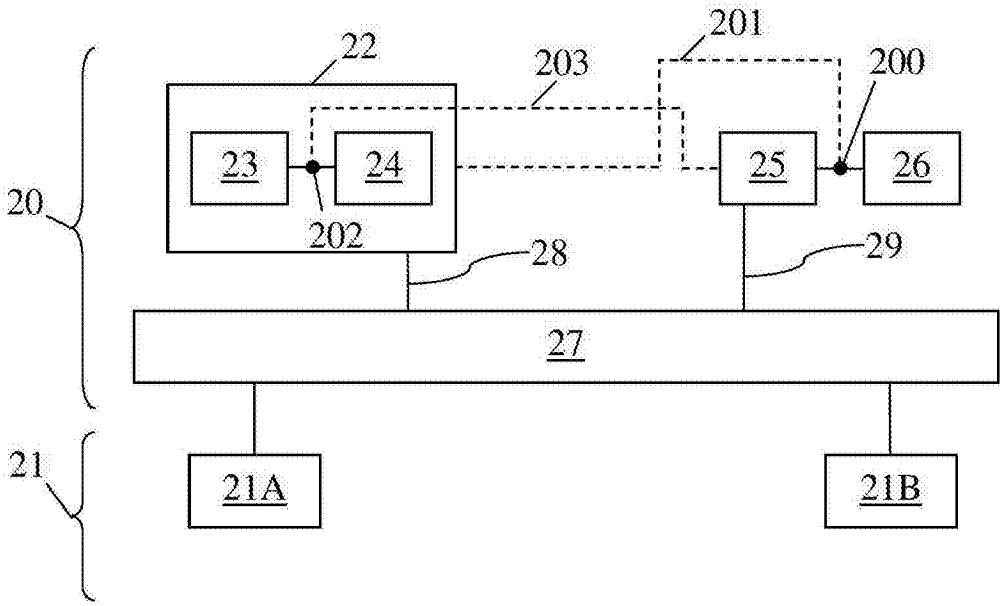


图2

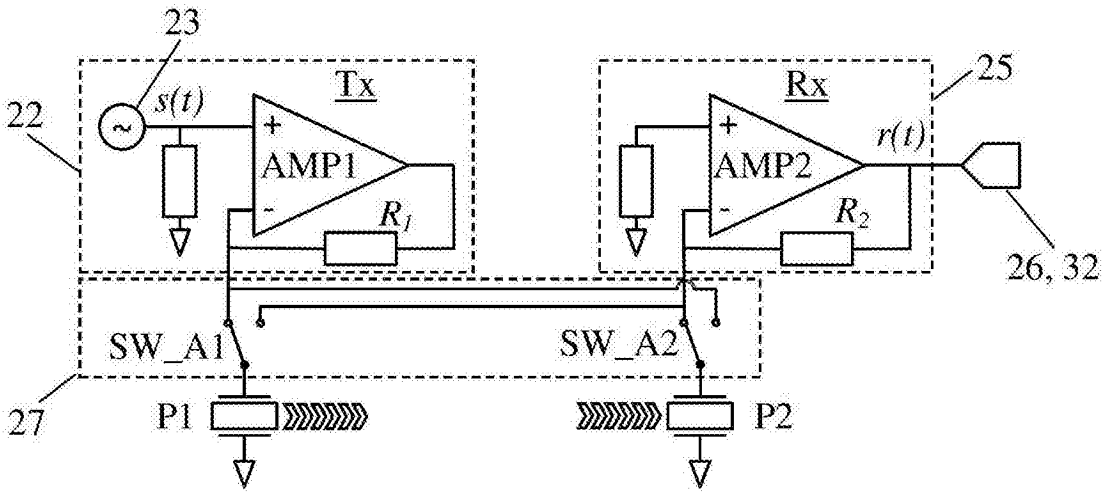

23
22
s(t)
Tx
AMP1
R_1
25
Rx
AMP2
r(t)
R_2
26, 32
SW_A1
SW_A2
27
P1
P2

图3

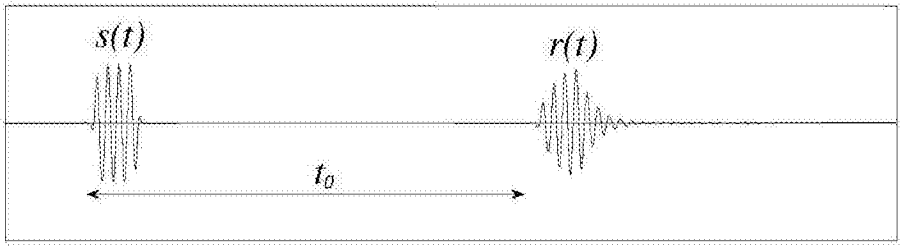

s(t)
r(t)
t_0

图4

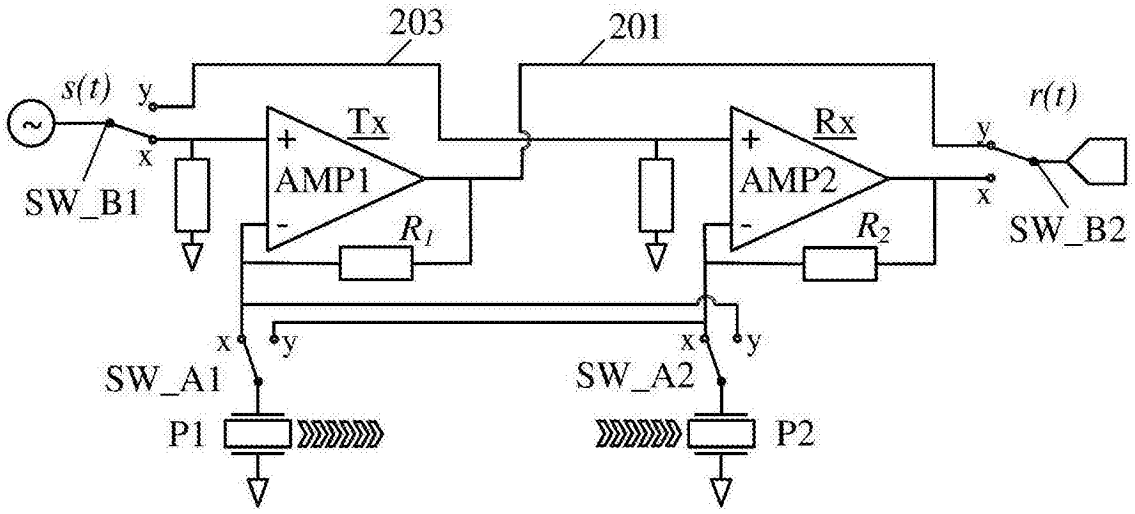

203
201
s(t)
y
x
SW_B1
Tx
AMP1
R_1
Rx
AMP2
R_2
r(t)
y
x
SW_B2
x
y
SW_A1
P1
x
y
SW_A2
P2

图5