(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 105891326 B
(45)授权公告日 2020.11.06

(21)申请号 201610087772.2

(22)申请日 2016.02.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105891326 A

(43)申请公布日 2016.08.24

(30)优先权数据
102015102200.1 2015.02.16 DE

(73)专利权人 森萨克申公司
地址 德国科伯

(72)发明人 延斯·劳滕贝格 鲁道夫·布劳恩 阿希姆·施塔克 斯特凡·吕格尔

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 丁永凡 张春水

(51)Int.Cl.
G01N 29/02(2006.01)

(56)对比文件
JP H09311126 A,1997.12.02
EP 2336732 A1,2011.06.22
US 7270015 B1,2007.09.18
US 2005132784 A1,2005.06.23
US 2010259362 A1,2010.10.14
US 2002062681 A1,2002.05.30
CN 103189719 A,2013.07.03
LIU Zheng-gang et al.The direct numerical simulation of pipe flow.《Journal of Hydrodynamics》.2013,第125-130页.
Jian-Nan Liu et al.Ultrasonic tomographic velocimeter for visualization of axial flow fields in pipes.《Flow Measurement and Instrumentation》.2014,第57-66页.
Lu Wang et al.Effect of temperature gradient on ultrasonic Doppler velocimetry measurement during pipe flow.《Food Research International》.2004,第663-642页.
刘园珍.相关法超声流量计的研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技Ⅱ辑》.1212,页码:C030-33.

审查员 杨培

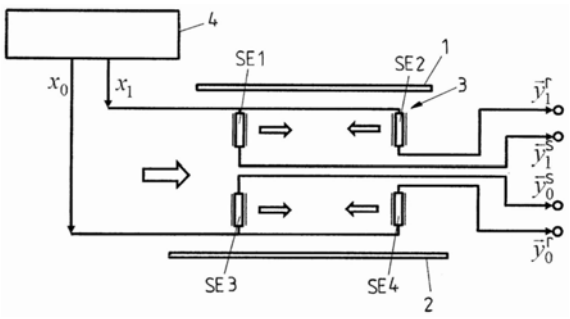
权利要求书6页 说明书15页 附图4页

(54)发明名称

用于确定介质的特性的方法和用于确定介质的特性的设备

(57)摘要

本发明涉及用于基于第一和第二声波确定介质的物理的和/或化学的特性的方法,声波至少部分地由至少一个发送器通过介质传播到至少一个接收器,从在至少两个接收器上产生的接收信号中求得声波的运行时间差和/或绝对运行时间并且借助于求得的运行时间差和/或求得的绝对运行时间确定介质的物理的和/或化学的特性。使用基本上相同频率的至少两个发送信号,其彼此间具有预设的相位偏移并且通过发送信号分别产生声波,使得对于每个传播方向产生两个接收信号,接收信号源于不同的发送信号,并且通过四个接收信号求得运行时间差和/或绝对运行时间。此外,提供一种用于确定介质的物理的和/或化学的特性的设备,设备构成并且设计为用于执行该方法。



CN 105891326 B

1.一种用于基于至少一个第一声波和至少一个第二声波确定介质的物理的和/或化学的特性的方法,所述第一声波和第二声波已经分别至少部分地从至少一个发送器通过所述介质传播到至少一个接收器,其中

-分别通过发送信号(x_0,x_1)产生所述声波;

-所述第一声波通过所述介质(M)沿着第一传播方向传播并且所述第二声波通过所述介质(M)沿着不同于所述第一传播方向的第二传播方向传播;以及

-在第一声波通过所述介质(M)沿着所述第一传播方向传播之后对于所接收的第一声波产生第一接收信号(y_0^r,y_1^r)并且在第二声波通过所述介质(M)沿着所述第二传播方向传播之后对于所接收的第二声波产生第二接收信号(y_0^s,y_1^s),

其中从所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)中求得所述声波的运行时间差(Δt)并且借助于所求得的运行时间差(Δt)确定所述介质(M)的物理的和/或化学的特性,

其特征在于,

-使用基本上相同的基本频率(f)的至少两个不同的发送信号(x_0,x_1),所述发送信号彼此间具有预设的相位偏移并且通过所述发送信号分别产生第一声波和第二声波,使得对于每个传播方向而言产生两个接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s),所述接收信号源于不同的发送信号(x_0,x_1),以及

-通过四个所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)求得沿着两个不同的传播方向传播的所述声波的运行时间差(Δt),

其中为了求得运行时间差(Δt)利用下述形式的公式:

$$\frac{Z(t)}{N(t)}=\left\{\frac{y_0^s(t)\cdot y_1^r(t)-y_0^r(t)\cdot y_1^s(t)}{y_0^r(t)\cdot y_0^s(t)+y_1^r(t)\cdot y_1^s(t)}\right\}$$

其中t是时间并且

y_0^s是对于通过第一发送信号(x_0)产生的声波的第一接收信号,

y_1^s是对于通过第二发送信号(x_1)产生的声波的第一接收信号,

y_0^r是对于通过第一发送信号(x_0)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号,以及

y_1^r是对于通过第二发送信号(x_1)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号,以及

根据下述公式求得运行时间差Δt:

$$\Delta t=\frac{\arctan\left\{\frac{Z(t)}{N(t)}\right\}}{4\pi f}$$

其中f在此是两个发送信号(x_0,x_1)的基本频率。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,将四个所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)直接引入到计算中,以便计算运行时间差(Δt),并且在存在所有四个接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)的情况下才计算运行时间差(Δt)。

3.根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,为了求得运行时间差(Δt)将对于由不同的发送信号(x_0,x_1)产生的声波的接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)彼此相乘。

4.根据权利要求3所述的方法,其特征在于,设置模拟的接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)的相乘,连同接着由数字化的信号计算运行时间差(Δt);或者为了计算运行时间差(Δt)而设置有数字化的接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)的相乘。

5.根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，两个不同的所述发送信号(x_0,x_1)都具有彼此略微偏差的基本频率(f_0,f_1)并且确定基本频率f用以由两个所述基本频率(f_0,f_1)的算术平均值求得运行时间差Δt。

6.根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，所述发送信号(x_0,x_1)分别包括振荡脉冲并且对彼此相位偏移的所述发送信号(x_0,x_1)的各个振荡脉冲的包络曲线是基本上彼此相同的。

7.根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，通过所述发送信号(x_0,x_1)同时或相继地产生声波。

8.根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，借助于运行时间差(Δt)确定流动的介质(M)的流动速度(v_m)并且通过所述发送信号(x_0,x_1)产生所述声波，使得第一声波通过所述介质(M)沿着在所述介质(M)的流动方向上的第一传播方向传播并且第二声波通过所述介质(M)沿着与所述介质(M)的所述流动方向相反的第二传播方向传播。

9.根据权利要求8所述的方法，其特征在于，通过所述运行时间差(Δt)和已知的比例系数($1/(c_0)^2$)计算流动速度。

10.根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，在求得多个声波的运行时间差(Δt)和/或绝对运行时间(t_0)的多个值时，执行对所求得的所述运行时间差(Δt)和/或运行时间(t_0)的求平均和/或求积分。

11.根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，在相应的方法中借助于求得的运行时间差(Δt)和/或借助于求得的绝对运行时间(t_0)来确定在内腔中的所述介质的声速、浓度、密度、温度、料位，邻接于所述介质的壁的厚度和/或两个邻接于所述介质的壁部段的间距。

12.一种用于基于至少一个第一声波和至少一个第二声波确定介质的物理的和/或化学的特性的方法，所述第一声波和第二声波已经分别至少部分地从至少一个发送器通过所述介质传播到至少一个接收器，其中

-分别通过发送信号(x_0,x_1)产生所述声波；

-所述第一声波通过所述介质(M)沿着第一传播方向传播并且所述第二声波通过所述介质(M)沿着与所述第一传播方向相同的或不同的第二传播方向传播；以及

-在第一声波通过所述介质(M)沿着所述第一传播方向传播之后对于所接收的第一声波产生第一接收信号(y_0^r,y_1^r)并且在第二声波通过所述介质(M)沿着所述第二传播方向传播之后对于所接收的第二声波产生第二接收信号(y_0^s,y_1^s)，

其中从所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)中求得声波从发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)到接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)的绝对运行时间(t_0)并且借助于所求得的绝对运行时间(t_0)确定所述介质(M)的物理的和/或化学的特性，

其特征在于，

-使用基本上相同的基本频率(f)的至少两个不同的发送信号(x_0,x_1)，所述发送信号彼此间具有预设的相位偏移并且利用所述发送信号分别产生第一声波和第二声波，使得对于每个传播方向而言产生两个接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)，所述接收信号源于不同的发送信号(x_0,x_1)，以及

-通过四个所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)求得声波在发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)和接

收器(SE2,SE1;SE4,SE3)之间的绝对运行时间(t_0),

其中从估计的起始值$(\hat{t}_0)$和由四个所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)计算的差值(Δt')中求得绝对运行时间(t_0),和下述项中的至少一个用于计算差值(Δt'):

$$\alpha = \operatorname{atan2}\left(y_1^r(t+\hat{t}_0), y_0^r(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k)$$

$$\beta = \operatorname{atan2}\left(y_1^s(t+\hat{t}_0), y_0^s(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k)$$

其中在此$\hat{f}$是所述接收信号(y_0^r,y_1^r,y_0^s,y_1^s)的中间频率的估计值并且t_k是预设的时间常数,其中$t_k \geq 0$并且

y_0^s是对于通过第一发送信号(x_0)产生的声波的第一接收信号,

y_1^s是对于通过第二发送信号(x_1)产生的声波的第一接收信号,

y_0^r是对于通过第一发送信号(x_0)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号,以及

y_1^r是对于通过第二发送信号(x_1)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号。

13.根据权利要求12所述的方法,其特征在于,借助于接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)的对的至少一个信号包络预设起始值$(\hat{t}_0)$用于运行时间计算,其中该接收信号对的所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)源于不同的发送信号(x_0,x_1),然而沿相同的传播方向传播的声波。

14.根据权利要求13所述的方法,其特征在于,信号包络y_{huel}给出下述公式:

$$y_{huel} = \sqrt{y_0^2 + y_1^2}$$

其中

y_0是对于通过第一发送信号(x_0)产生的声波的第一接收信号,以及

y_1是对于通过第二发送信号(x_1)产生的声波的第二接收信号。

15.根据权利要求12或13所述的方法,其特征在于,借助于求得的绝对运行时间(t_0)来确定流动的介质(M)的流动速度(v_m)并且通过所述发送信号(x_0,x_1)产生所述声波,使得第一声波通过所述介质(M)沿着第一传播方向在所述介质(M)的流动方向上传播并且第二声波通过所述介质(M)沿着第二传播方向与所述介质(M)的流动方向相反地传播,其中借助于求得的所述绝对运行时间(t_0)计算比例系数($l/(c_0)^2$)并且借助于所述比例系数($l/(c_0)^2$)并且借助于求得的所述运行时间差(Δt),尤其借助于根据权利要求1至11的方法来求得的在至少一个第一声波和至少一个第二声波之间的运行时间差(Δt)确定流动速度(v_m),其中所述第一声波和第二声波沿着不同的传播方向至少部分地通过流动的所述介质(M)传播。

16.根据权利要求12或13所述的方法,其特征在于,在求得多个声波的运行时间差(Δt)和/或绝对运行时间(t_0)的多个值时,执行对所求得的所述运行时间差(Δt)和/或运行时间(t_0)的求平均和/或求积分。

17.根据权利要求12或13所述的方法,其特征在于,在相应的方法中借助于求得的运行时间差(Δt)和/或借助于求得的绝对运行时间(t_0)来确定在内腔中的所述介质的声速、浓度、密度、温度、料位,邻接于所述介质的壁的厚度和/或两个邻接于所述介质的壁部段的间距。

18.一种用于确定介质的物理的和/或化学的特性的设备,所述设备具有:

-声学的波导体,所述波导体具有要用所述介质(M)填充的内腔(3);

-至少两个发送器(SE1,SE2;SE3,SE4),所述发送器分别构成并且设计为用于通过所述发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)的发射信号在所述波导体中产生声波,使得所产生的声波沿着所述波导体并且至少部分地通过所述介质(M)传播;

-至少两个接收器(SE2,SE1;SE4,SE3),所述接收器在空间上沿着所述波导体彼此隔开并且分别构成并且设计为对于到达相应的所述接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)的第一声波或第二声波产生第一接收信号或第二接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s),其中第一声波分别沿着第一传播方向传播并且为此在接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)上产生第一接收信号(y_0^r,y_1^r)并且第二声波分别沿着与所述第一传播方向相同的或不同的第二传播方向传播并且为此在接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)上产生第二接收信号(y_0^s,y_1^s),和

信号处理装置(SV_A,SV_B),当所述第二传播方向与所述第一传播方向不同时,借助于所述信号处理装置从所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)中求得在所接收的第一声波和第二声波之间的运行时间差(Δt),并且

所述信号处理装置构成和设计为,借助于求得的运行时间差(Δt)来确定所述介质(M)的物理的和/或化学的特性,

其特征在于,

-所述设备的所述发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)构成并且设计为,借助于基本上相同的基本频率(f)和彼此间有预设的相位偏移的两个不同的发送信号(x_0,x_1)分别产生第一声波和第二声波,使得由所述设备的所述接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)产生在所述第一传播方向上的两个能区分的第一接收信号和在所述第二传播方向上的两个能区分的第二接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s),并且

-所述信号处理装置(SV_A,SV_B)构成并且设计为,通过四个所述接收信号(y_0^r,y_1^r,y_0^s,y_1^s)求得运行时间差(Δt),其中为了求得运行时间差(Δt)在所述信号处理装置(SV_A,SV_B)中利用下述形式的公式:

$$\frac{Z(t)}{N(t)}=\left\{\frac{y_0^s(t)\cdot y_1^r(t)-y_0^r(t)\cdot y_1^s(t)}{y_0^r(t)\cdot y_0^s(t)+y_1^r(t)\cdot y_1^s(t)}\right\}$$

其中t是时间并且

y_0^s是对于通过第一发送信号(x_0)产生的声波的第一接收信号,

y_1^s是对于通过第二发送信号(x_1)产生的声波的第一接收信号,

y_0^r是对于通过第一发送信号(x_0)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号,以及

y_1^r是对于通过第二发送信号(x_1)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号,以及

根据下述公式求得运行时间差Δt:

$$\Delta t=\frac{\arctan\left\{\frac{Z(t)}{N(t)}\right\}}{4\pi f}$$

其中f在此是两个发送信号(x_0,x_1)的基本频率。

19.根据权利要求18所述的设备,其特征在于,所述发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)构成并且设计为,在所述波导体中产生表面声波(OW1,OW2)。

20.根据权利要求18或19所述的设备,其特征在于,所述设备构成并且设计为用于确定

流过所述波导体的所述内腔(3)的介质(M)的流动速度(v_m)。

21.根据权利要求18所述的设备,其特征在于,所述信号处理装置(SV_A,SV_B)具有用于将模拟的接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)相乘的机构(5.1,5.2,5.3,5.4)和用于接着从数字化的信号中计算运行时间差(Δt)的机构(9),或者用于将所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)数字化的机构(8)和用于接着将数字化的接收信号相乘以计算运行时间差(Δt)的机构(9)。

22.根据权利要求18或19所述的设备,其特征在于,两个所述发送信号(x_0,x_1)的所述基本频率(f)是能够变化的。

23.根据权利要求18或19所述的设备,其特征在于,两个所述发送信号(x_0,x_1)的相位偏移能够在45°和135°之间变化。

24.一种用于确定介质的物理的和/或化学的特性的设备,所述设备具有:

-声学的波导体,所述波导体具有要用所述介质(M)填充的内腔(3);

-至少两个发送器(SE1,SE2;SE3,SE4),所述发送器分别构成并且设计为用于通过所述发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)的发射信号在所述波导体中产生声波,使得所产生的声波沿着所述波导体并且至少部分地通过所述介质(M)传播;

-至少两个接收器(SE2,SE1;SE4,SE3),所述接收器在空间上沿着所述波导体彼此隔开并且分别构成并且设计为对于到达相应的所述接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)的第一声波或第二声波产生第一接收信号或第二接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s),其中第一声波分别沿着第一传播方向传播并且为此在接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)上产生第一接收信号(y_0^r,y_1^r)并且第二声波分别沿着与所述第一传播方向相同的或不同的第二传播方向传播并且为此在接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)上产生第二接收信号(y_0^s,y_1^s),和

-信号处理装置(SV_A,SV_B),当所述第二传播方向与所述第一传播方向不同或相同时,借助于所述信号处理装置从所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)中求得声波从发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)到接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)的绝对运行时间(t_0),并且

-所述信号处理装置构成和设计为,借助于求得的绝对运行时间(t_0)来确定所述介质(M)的物理的和/或化学的特性,

其特征在于,

-所述设备的所述发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)构成并且设计为,借助于基本上相同的基本频率(f)和彼此间有预设的相位偏移的两个不同的发送信号(x_0,x_1)分别产生第一声波和第二声波,使得由所述设备的所述接收器(SE2,SE1;SE4,SE3)产生在所述第一传播方向上的两个能区分的第一接收信号和在所述第二传播方向上的两个能区分的第二接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s),并且

-所述信号处理装置(SV_A,SV_B)构成并且设计为,通过四个所述接收信号(y_0^r,y_1^r,y_0^s,y_1^s)求得绝对运行时间(t_0),其中从估计的起始值($\hat{t}_0$)和由四个所述接收信号(y_0^r,y_1^r;y_0^s,y_1^s)计算的差值(Δt')中求得绝对运行时间(t_0),和下述项中的至少一个用于计算差值(Δt'):

$$\alpha = \operatorname{atan2}\left(y_1^r(t+\hat{t}_0), y_0^r(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k)$$

$$\beta = \operatorname{atan2}\left(y_1^s(t+\hat{t}_0), y_0^s(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k)$$

其中在此$\hat{f}$是所述接收信号(y_0^r,y_1^r,y_0^s,y_1^s)的中间频率的估计值并且t_k是预设的时间常数,其中$t_k \geq 0$并且

y_0^s是对于通过第一发送信号(x_0)产生的声波的第一接收信号,

y_1^s是对于通过第二发送信号(x_1)产生的声波的第一接收信号,

y_0^r是对于通过第一发送信号(x_0)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号,以及

y_1^r是对于通过第二发送信号(x_1)沿其他传播方向产生的声波的第二接收信号。

25.根据权利要求24所述的设备,其特征在于,所述发送器(SE1,SE2;SE3,SE4)构成并且设计为,在所述波导体中产生表面声波(OW1,OW2)。

26.根据权利要求24或25所述的设备,其特征在于,所述设备构成并且设计为用于确定流过所述波导体的所述内腔(3)的介质(M)的流动速度(v_m)。

27.根据权利要求24或25所述的设备,其特征在于,两个所述发送信号(x_0,x_1)的所述基本频率(f)是能够变化的。

28.根据权利要求24或25所述的设备,其特征在于,两个所述发送信号(x_0,x_1)的相位偏移能够在45°和135°之间变化。

用于确定介质的特性的方法和用于确定介质的特性的设备

技术领域

[0001] 本发明涉及用于借助于至少一个第一和至少一个第二声波确定介质的物理的和/或化学的特性的方法，所述第一和第二声波已经分别至少部分地从发送器通过介质朝向接收器传播，以及涉及用于确定介质的物理的和/或化学的特性的设备。

背景技术

[0002] 通过此类方法来确定其物理的和/或化学的特性的介质优选是液体或软的材料、尤其高粘性的、膏状的或糊状的介质。用于确定特性所利用的声波例如是由相应的发送器通过发送信号产生的超声波。

[0003] 在此类属的方法中，通常通过发送信号产生至少两个声波，在所述声波分别在位于相应的传播方向上的接收器上被接收之前，所述声波至少部分地通过介质沿着相同的或不同的传播方向传播。例如，在流动的介质中一方面在沿介质的流动方向的第一传播方向上产生声波并且另一方面在与介质的流动方向相反的第二传播方向上产生声波。然后，从在相应的接收器上产生的接收信号中可以求得运行时间差并且由此例如推断出介质的(平均)流动速度。如果替选地或附加地还借助于接收信号求得声波从发送器到接收器的绝对运行时间，那么可以得到关于介质的物理的和/或化学的特性例如其密度、温度或成分的其他结论。

[0004] 从WO 2008/034878 A2中已知此类属的设备，其中产生表面声波，所述表面声波在波导体中将体积声波耦合输入到相应的介质中。通过将表面波重复地耦合输出到体积声波碰到包围介质的壁上的部位上，在接收器上又接收表面声波，所述表面声波的运行时间和运行时间差表征介质及其物理的和/或化学的特性。

[0005] 由此，在由WO 2008/034878 A2描述的设备以及借助于其实施的方法中，对在相应的接收器上产生的用于所接收的声波(在此表面声波)的接收信号的处理具有决定性的重要性。这样，从在接收器上产生的接收信号求得运行时间差或绝对运行时间绝对不是无意义的并且可能与极大的计算上的耗费相联系。根据从接收信号中要提取的信息，使用用于信号处理的各种不同的方法。例如已知的是，利用调制的发送信号，以便可以根据得到的接收信号更可靠地推断出介质的特性。例如，为此使用正交幅度调制，简称IQ调制，与未被调制的发送信号相比利用正交幅度调制也可以有规律实现能达到的分辨率的明显改善。

[0006] 其他已知的方法通常基于采样的和模拟转换为数字的接收信号，其中形成相关函数以及希尔伯特和小波变换。

[0007] 在DE 102 06 134 A1中还公开一种用于借助于超声波确定介质的流动速度的方法，所述方法对在信号处理中的干扰例如噪声应有抵抗力。为此，将所产生的模拟的接收信号数字化，实现互相关并且进行希尔伯特变换，以便计算在所接收的声波之间的相位关系并且由此计算时间差。然而由此，对此适合的用于处理接收信号的装置(信号处理装置)是相对复杂的并进而与并非不显著的成本相关联。

发明内容

[0008] 据此，本发明基于的目的是，提供一种改进的用于借助于声波确定介质的物理的和/或化学的特性的方法，所述方法在接收信号的信号处理中的计算耗费方面得以改进并且尤其能够实现借助于声波特别可靠地并且鲁棒地以及低耗费地确定介质的流动速度。此外，要提供一种用于执行所述方法的设备。

[0009] 所述目的不仅借助本发明的方法而且借助于本发明的设备实现。

[0010] 在此，在求得在所接收的和沿着相同的和/或不同的传播方向传播的声波之间的运行时间差时和在求得声波从至少一个发送器到至少一个接收器的绝对运行时间时执行本发明的方法，其中声波总是至少部分地通过介质传播到接收器。在此，两个根据本发明的方法当然也能够无问题地彼此组合，使得例如在求得绝对运行时间和发送器和接收器的间距已知之后推断出声波在介质中的声速并进而提供比例系数

(Proportionlitätsfaktor),所述比例系数可以与求得的运行时间差共同地用于计算流动的介质的(平均)流动速度。

[0011] 在此，两个方法分别以如下为基础，

[0012] -至少一个第一和至少一个第二声波至少部分地从发送器通过介质传播到接收器；以及

[0013] -声波分别通过发送信号产生；

[0014] -第一声波通过介质沿着第一传播方向传播并且第二声波通过介质沿着与第一传播方向优选不同的、例如相反的第二传播方向传播；以及

[0015] -对于所接收的第一声波在其通过介质沿着第一传播方向传播之后产生第一接收信号并且对于所接收的第二声波在其通过介质沿着第二传播方向传播之后产生第二接收信号。

[0016] 现在根据本发明提出，为了求得声波的运行时间差和/或声波从发送器到接收器的绝对运行时间总共利用至少四个接收信号(两个第一接收信号和两个第二接收信号)，所述接收信号源于至少两个不同的发送信号。所述发送信号具有基本上相同的基本频率和预设的彼此间的相位偏移。由此，通过使用相同的发送信号(在一个变型中也使用同一个发送信号)在每个传播方向上分别产生第一和第二声波，使得对于每个传播方向存在两个接收信号。

[0017] 这样，例如发送信号用于同时地或相继地产生两个在介质中沿着第一和第二传播方向传播的声波，其中对于沿着第一传播方向(例如在流动的介质的流动方向的下游)传播的声波产生第一接收信号并且对于沿着第二传播方向(在上游)传播的声波产生第二接收信号。因此，根据本发明，相同基本频率的其他的相位偏移的发送信号用于产生两个另外的在介质中沿着第一和第二传播方向传播的声波，其中在此同样对于沿着第一传播方向(在下游)传播的声波产生与此偏差的其他的第一接收信号，并且对于沿着第二传播方向(在上游)传播的声波产生与此偏差的其他的第二接收信号。

[0018] 在此，为了产生两个声波可以由不同的、在空间上彼此隔开的发送器来发送发送信号。替选地，基本上也可考虑的是，在两个接收器之间安置的唯一的发送器首先用一个发送信号或用两个相同的发送信号触发沿朝向两个接收器的方向的两个声波，并且接着以相同基本频率的与之前发送的发送信号相位偏移的一个发送信号或与之前发送的发送信号

相位偏移的两个发送信号触发两个其他的朝接收器的方向的声波。本质的仅是，在每个传播方向上产生一对接收信号，所述接收信号源于相同基本频率的彼此相位偏移的两个不同的发送信号。

[0019] 在此，基本上相同的基本频率的发送信号理解为在其基本频率方面相对于中间频率彼此间偏差最大1/1000的这种发送信号。

[0020] 在此，本发明基本思想是，从源于相同基本频率和彼此间有预设的相位偏移的两个不同的发送信号的总共四个接收信号中通过在信号处理时的少量的硬件投入快速地并且以相对较小的测量不确定性来求得运行时间差和/或绝对运行时间，并且由此确定介质的物理的和/或化学的特性。这样，在本发明中通过根据本发明地使用两个不同的发送信号，不需要发送和接收信号的耗费的信号差产生或同步。也不必设有耗费的数字的信号处理装置，因为尤其对于接收信号的可能的数字化或由此得出的信号的可能的数字化可以弃用其他通常有利的傅里叶变换。

[0021] 优选地，在此，四个模拟的或数字化的接收信号直接引入到计算中，即尤其作为参数引入到通过信号处理装置实现的计算等式中，以便计算运行时间差和/或绝对运行时间。因此，这例如不执行对已经借助于接收信号对计算出的运行时间差的简单求平均。在分别优选的实施方案变型中，更确切地说，将接收信号中的每个直接引入到用于运行时间差的计算准则中和/或用于绝对运行时间的计算准则中，使得在存在所有四个接收信号的情况下才可以进行计算。

[0022] 例如，对于运行时间差的计算提出，将用于由不同的发送信号产生的所接收的声波的接收信号彼此(优选交叉地)相乘。

[0023] 在此，例如可以根据所使用的信号处理装置的设计方案提出模拟的接收信号的相乘，接着从数字化的、即通过采样(英语：sampling)形成的信号中计算运行时间差。相反，用于计算运行时间差的一个替选的变型首先可能提出已经数字化的接收信号的相乘。

[0024] 与此无关地，为了从接收信号$y_0^r(t)$、$y_1^r(t)$；$y_0^s(t)$和$y_1^s(t)$中求得运行时间差Δt利用下述形式的公式：

[0025] $$\frac{Z(t)}{N(t)}=\left\{\frac{y_0^s(t)\cdot y_1^r(t)-y_0^r(t)\cdot y_1^s(t)}{y_0^r(t)\cdot y_0^s(t)+y_1^r(t)\cdot y_1^s(t)}\right\}$$

[0026] 【等式1】

[0027] 在等式1中，设有脚标“0”的变量是源于第一发送信号x_0的信号，而用脚标“1”表示的信号源于与其相位偏移的相同基本频率的第二发送信号x_1。此外，上标“r”表示源于在第一传播方向上例如朝流动的介质的下游所接收的第一声波的信号。用上标“s”表示的信号还源于在优选相反的第二传播方向上例如朝上游所接收的第二声波。

[0028] 然后，借助于分子Z(t)和分母N(t)的值在一个优选的实施方案变型中根据下述公式直接求得运行时间差Δt：

[0029] $$\Delta t=\frac{\arctan\left\{\frac{Z(t)}{N(t)}\right\}}{4\pi f}$$

[0030] 【等式2】

[0031] 在此，f是两个发送信号的基本频率。

[0032] 所述基本频率f在不同的发送信号x_0、x_1的基本频率f_0和f_1彼此略微偏差的情况下例如也可以从两个基本频率f_0和f_1的算术平均中确定：

[0033] $$f = \frac{f_0 + f_1}{2}$$

[0034] 【等式2.1】

[0035] 由此，各个接收信号$y_0^r(t)$、$y_1^r(t)$；$y_0^s(t)$、$y_1^s(t)$不必通过耗费的再处理转化为分析的信号，而是已经在发送器方面或也作为参照设置具有相同基本频率f和预设的优选90°的相位偏移的至少两个不同的信号$x_0(t)$和$x_1(t)$。

[0036] 在此所使用的发送信号优选具有下述形式：

[0037] $$x_0(t) = -w(t) \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

[0038] $$x_1(t) = w(t) \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

[0039] 【等式3】

[0040] 其中φ表示可自由选择的起始角并且w(t)表示窗函数，所述窗函数优选使发送信号x_0和x_1的优选90°相位偏移的载波信号渐强并且在一定的时长之后再渐弱。这种窗函数例如也可以包括编码的调制序列。在此，在选择布莱克曼-纳托尔窗的情况下形成相对于构成为发送脉冲的发送信号的整个时长特别大的范围用以评估要计算的相位或运行时间差。

[0041] 因此，发送信号x_0、x_1分别优选包括振荡脉冲或冲击脉冲(Pulsburst)，其中对于彼此相位偏移的发送信号的各个振荡脉冲的包络曲线是基本上彼此相同的。这样，可以将从发送信号中得到的对于通过介质至少部分地传播的声波的接收信号特别简单地基于共同的(也限定地偏移的)时间基准直接换算为幅度和相位信号以及运行时间和运行时间差，而不需要例如在IQ调制中的附加的参照并且不需要除以近似0的值，如在下文中再详细示出的那样。

[0042] 对不同的第一和第二声波的相位差或运行时间差的求得在确定流动的介质的(平均)流动速度v_m时基于在介质中的与方向有关的不同的运行时间。

[0043] 在此充分利用的是，在不同的传播方向，例如一方面朝下游并进而在流动方向上而另一方面朝上游并进而与流动方向相反地出现与流动速度有关的不同的声速。这样，在流动方向上的声速是$c_r = c_0 + v_m$而与流动方向相反的声速是$c_s = c_0 - v_m$，，其中c_0分别是在静止的介质中的声速。

[0044] 如果现在发送器和接收器彼此间绝对地相距路程l_0并且在到介质的流动方向上的投影中彼此间相距路程l，那么沿着各个声波的所述路程造成相应的声音运行时间

[0045] $$t^r = t_0 - \Delta t = \frac{l_0 c_0}{(c_0^2 - v_m^2)} - \frac{l v_m}{(c_0^2 - v_m^2)}$$

[0046] 【等式4.1】

[0047] 沿流动方向，或者

[0048] $$t^s = t_0 + \Delta t = \frac{l_0 c_0}{\left(c_0^2 - v_m^2\right)} + \frac{l v_m}{\left(c_0^2 - v_m^2\right)}$$

[0049] 【等式4.2】

[0050] 与流动方向相反。

[0051] 之后，对于第一和第二声波的运行时间差得出

[0052] $$2\,\Delta t = t^s - t^r = \frac{2 l v_m}{\left(c_0^2 - v_m^2\right)} \approx 2 v_m \frac{l}{c_0^2}$$

[0053] 【等式5】

[0054] 因此，运行时间差Δt近似与平均流动速度v_m成比例。

[0055] 例如可以通过(一次性地)求得声波从发送器到接收器的绝对运行时间来预设相应的比例系数$I/(c_0)^2$。为此，根据本发明的方法可以用于求得绝对运行时间。在特定的发送器-接收器装置的发送器和接收器之间的间距已知并且在特定的介质中的声速已知时，要测量和/或监控其流动速度，比例系数也可以固定地在信号处理装置中设定。

[0056] 因此，借助于两个相位偏移的发送信号x_0、x_1产生接收信号

[0057] $$y_0^s(t) = x_0\left(t - (t_0 + \Delta t)\right),\ y_1^s(t) = x_1\left(t - (t_0 + \Delta t)\right)$$

[0058] $$y_0^r(t) = x_0\left(t - (t_0 - \Delta t)\right),\ y_1^r(t) = x_1\left(t - (t_0 - \Delta t)\right)$$

[0059] 【等式6】

[0060] 在此，在此视作为有利的是，同时发送所有四个发送信号，即沿流动方向并且与流动方向相反地发送发送信号x_0以及沿流动方向并且与流动方向相反地发送发送信号x_1，以便例如将模拟的接收信号$y_0^r(t)$、$y_1^r(t)$；$y_0^s(t)$、$y_1^s(t)$根据等式1交叉地彼此相乘并且接着以小的采样率进行采样以将由此得出的值Z(t)和N(t)数字化。

[0061] 替选地，也可以相继地发送各个发送信号并进而相继产生声波。因此，即各个发送信号顺序地通过相应的一个或多个发送器产生并且接收信号也顺序地在一个或多个接收器上产生。在此，优选以高的采样率工作。

[0062] 借助于四个彼此能区分的源于两个彼此相位偏移的发送信号的接收信号，如开头时已经阐述的那样，不仅可以求得运行时间差而且还可以求得绝对运行时间。此外在此也并非一定的是，声波通过介质沿着至少两个彼此不同的第一和第二传播方向传播。即使在传播方向相同时，基于根据本发明的解决方案也可以借助于四个彼此能区分的接收信号确定绝对运行时间。

[0063] 在此，优选以估算的起始值和由四个接收信号计算出的差值工作。在此，将精确地由四个接收信号计算出的差值相加到(粗略)估算的起始值。在此重要的是鲁棒的运行时间标准的定义，例如偏移时间范围中的互相关最大值的位置。总的来说争取的是，在所估算的运行时间的起始值中的测量不确定性小于所使用的针对发送信号(例如根据上述等式3的x_0和x_1)的载波信号的周期时长1/f的一半。

[0064] 在此，通常以根据起始值$\hat{t}_0$和差值Δt'对绝对运行时间t_0的通用计算为前提，适用的是：

[0065] $$t_0 = \hat{t}_0 - \Delta t' = \hat{t}_0 - \frac{\Delta\varphi'}{2\pi f}$$

[0066] 【等式7】

[0067] 在此，例如已证实为有利的是，为了计算差值Δt'利用下述项中的至少一个：

[0068] $$\alpha = \operatorname{atan2}\left(y_1^r(t+\hat{t}_0), y_0^r(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k)$$

[0069] $$\beta = \operatorname{atan2}\left(y_1^s(t+\hat{t}_0), y_0^s(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k)$$

[0070] 【等式8】

[0071] 其中$\hat{f}$是接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s和y_1^s的中间频率的所估算的值并且t_k是预设的时间常数，其中$t_k \geq 0$。

[0072] 在此，函数“atan2”是在编程中还为已知的并且可用少量的计算耗费确定的反正切函数，所述反正切函数例如可以经由下述特性限定：

[0073] $$\operatorname{atan2}(y,x) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & x > 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & x < 0,\ y \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & x < 0,\ y < 0 \\ +\frac{\pi}{2} & x = 0,\ y > 0 \\ -\frac{\pi}{2} & x = 0,\ y < 0 \\ NaN & x = y = 0 \end{cases}$$

[0074] 【等式9】

[0075] 因此，例如可以根据上述等式7和8从下述公式合并中在计算上相对简单地通过信号处理装置在无傅里叶变换的情况下来确定差值Δt'并且由此确定绝对运行时间t_0：

[0076] $$\Delta\varphi' = \frac{1}{2}\left(\alpha \bmod 2\pi + \beta \bmod 2\pi\right) - \pi$$

[0077] 【等式10】

[0078] 一个替选的可能性是下述类型的公式：

[0079] $$\Delta\varphi' = \frac{1}{2}\left\{\begin{array}{l}\operatorname{atan2}(-\sin\alpha, 1-\cos\alpha) - a\tan 2(\sin\alpha, 1-\cos\beta) \\ +\operatorname{atan2}(-\sin\beta, 1-\cos\beta) - \operatorname{atan2}(\sin\beta, 1-\cos\beta)\end{array}\right\}$$

[0080] 【等式11】

[0081] 其他的替选方案是根据下述方法的计算：

[0082] $$\Delta\varphi' = \gamma\cdot\pi - \arctan\left(\cot\frac{\alpha}{2}\right) - \arctan\left(\cot\frac{\beta}{2}\right)$$

[0083] 其中 $\gamma = 0{,}5 \cdot \mathrm{sign}(\sin\alpha) \cdot (\mathrm{sign}(1-\cos\alpha)+\mathrm{sign}(1-\cos\beta)-2)$

[0084] 【等式12】

[0085] 此外，下述形式的计算准则也已证实为是有利的：

[0086] $$\Delta\varphi' = \frac{1}{2}\left(\alpha' \bmod 2\pi + (\beta' \bmod 2\pi) - \pi\right.$$

[0087] 【等式13.1】

[0088] 其中

[0089] $$\alpha' = \mathrm{atan2}\left(y_0^r(t+\hat{t}_0), -y_1^r(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k) - \frac{\pi}{2}$$

[0090] $$\beta' = \mathrm{atan2}\left(y_0^s(t+\hat{t}_0), -y_1^s(t+\hat{t}_0)\right) - 2\pi\hat{f}\cdot(t+t_k) - \frac{\pi}{2}$$

[0091] 【等式13.2】

[0092] 在估算中间频率 $\hat{f}$ 时的错误通过下述方式修正，即所观察的信号组的运行时间通过直线来近似。因此，在估算的起始值 $\hat{t}_0$ 的情况下所述直线的函数值是用于绝对运行时间 t_0 的最佳近似，更确切地说尽可能与用于计算的中间频率 $\hat{f}$ 无关。

[0093] 调整(也称作零点校正)例如可以通过设定发送信号 x_0 和 x_1 的起始角 **φ** 或将时间常数相加到与时间成比例的补偿项来实现。

[0094] 在计算绝对运行时间 t_0 时的起始值 $\hat{t}_0$ 的估算同样可以根据在接收声波时产生的四个接收信号 $y_0^r(t)$、$y_1^r(t)$；$y_0^s(t)$、$y_1^s(t)$ 进行。在此，用于运行时间计算的起始值例如借助于至少一个信号包络 y_{huel} 预设，所述信号包络通过下述式给出：

[0095] $$y_{huel} = \sqrt{y_0^2 + y_1^2}$$

[0096] 【等式14.1】

[0097] 或更准确而言

[0098] $$y_{huel}^s = \sqrt{\left(y_0^s\right)^2 + \left(y_1^s\right)^2} \text{ 或 } y_{huel}^r = \sqrt{\left(y_0^r\right)^2 + \left(y_1^r\right)^2}$$

[0099] 【等式14.2】

[0100] 因此，例如可以通过信号包络首先估算起始值 $\hat{t}_0$ 并且接着经由(随后计算出的)差值 $\Delta t'$ 求得绝对运行时间 t_0。借助于绝对运行时间 t_0 例如可以计算比例系数 $1/(c_0)^2$ 并且在求得运行时间差 Δt 之后确定流动的介质的流动速度。

[0101] 在一个实施方案变型中还可以提出，在求得多个声波的运行时间差和/或绝对运行时间的多个值时执行对求得的运行时间差和/或运行时间的求平均和/或求积分，以便将可能的测量不确定性最小化。

[0102] 当然，以本身已知的方式可能的是，借助于所产生的第一和第二声波的所求得的

运行时间差和/或借助于所求得的绝对运行时间同样确定相应的介质的声速、浓度、密度和/或温度，如在内腔中的介质的料位，邻接于介质的壁的厚度和/或邻接于介质的两个壁部段的间距，如也在WO 2008/034878 A2中结合表面声波予以阐述的那样。

[0103] 本发明的另一方面是提供根据权利要求20的设备，所述设备尤其构成和设计为用于执行根据本发明的方法。

[0104] 这种用于确定介质的物理的和/或化学的特性的设备至少具有：

[0105] -声学的波导体，所述波导体具有要用介质填充的内腔；

[0106] -至少两个发送器，所述发送器分别构成并且设计为用于通过发送器的发射信号在波导体中产生声波，使得所产生的声波沿着波导体并且至少部分地通过介质传播；

[0107] -至少两个接收器，所述接收器在空间上沿着波导体彼此隔开并且分别构成并且设计为用于产生针对到达相应的接收器的第一或第二声波的第一或第二接收信号，其中第一声波分别沿着第一传播方向传播并且为此在接收器上产生第一接收信号并且第二声波分别沿着与第一传播方向相同的或不同的第二传播方向传播并且为此在接收器上产生第二接收信号，和

[0108] -信号处理装置，借助于所述信号处理装置从接收信号中

[0109] -当第二传播方向与第一传播方向不同时，求得在接收的第一和第二声波之间的运行时间差，和/或；

[0110] -当第二传播方向与第一传播方向不同或相同时，求得声波从发送器到接收器的绝对运行时间

[0111] 并且信号处理装置构成并且设计为，借助于所求得的运行时间差和/或所求得的绝对运行时间来确定介质的物理的和/或化学的特性，

[0112] 与根据本发明的方法类似地，在此该设备的发送器还构成并且设计为，借助于相同基本频率和彼此间有预设的相位偏移的两个不同的发送信号分别产生第一和第二声波，使得由该设备的接收器产生在第一传播方向上的两个能彼此区分的第一接收信号和在第二传播方向上的两个能彼此区分的第二接收信号。信号处理装置构成并且设计为，通过所产生的四个接收信号求得运行时间差和/或绝对运行时间，其中优选为此分别利用前述的和存储到信号处理装置中的等式。

[0113] 已证实为特别有利的是将超声波转换器用作发送器或接收器，所述超声波转换器构成并且设计为用于在设备的波导体中产生表面声波。因此，与在WO 2008/034878 A2中公开的设备类似地，这种设备的特征还在于声学的波导体，所述波导体包括至少两个相对置的传导元件，所述传导元件限定用介质填充的内腔并且在内腔用介质填充时所述传导元件分别借助于内表面构成具有与介质的边界面。因此，在相应的内表面上，通过发送器产生的表面声波的至少一部分转换为介质的体积声波并且体积声波的至少一部分又转换为波导体的表面声波，然后可以在相应的接收器上接收所述表面声波。

[0114] 刚好在这种设备中可以特别有效地实现根据本发明的方法，因为在此对于相对非常小的系统边界(Bilanzraum)产生四个能区分的接收信号并且在信号处理的耗费明显减小的情况下得到突出的结果，所述结果如可通过相应的仿真和实验所确认的那样具有极其小的测量不确定性。这样，在计算耗费明显降低的情况下，可能甚至实现在确定流动的介质的流动速度时的更高的测量精度。

[0115] 在根据本发明的设备的一个可能的实施方案变型中，信号处理装置具有用于将模拟的接收信号相乘的机构和用于接着从数字化的、即通过采样(英语“sampling”)形成的信号计算运行时间差的机构。在此，用于将模拟的接收信号相乘的机构例如包括乘法器、加法器和/或倒相器。为了数字化，例如使用设备的至少一个模拟数字转换器。

[0116] 替选地，信号处理装置可以具有用于将接收信号数字化的机构和用于接着将数字化的接收信号相乘以计算运行时间差的机构。在此，实施变型方案示例地提出，接收信号经由复用器输送到模拟数字转换器并且首先根据例如上述等式进一步处理数字化的来自模拟数字转换器的信号，以便由此计算运行时间差Δt和/或绝对运行时间t_0。

[0117] 此外，原则上可以提出，两个不同的彼此相位偏移的发送信号的基本频率同样如其相位偏移那样是可变的并进而是可设定的。根据上述等式3优选的是，两个发送信号(x_0，x_1)的相位偏移在45°和145°之间并且例如基本上为90°或为$\pi/2$。

[0118] 当然，为了通过两个不同的发送信号产生四个声波并且接收所属的四个接收信号，可以在测量设备中设置单独的发送器或接收器。然而优选的是，该设备具有至少一个发送器-接收器单元，所述发送器-接收器单元能选择性地作为发送器或作为接收器运行，使得经由发送器-接收器单元在发送器模式中不仅可以产生沿一个传播方向的声波的发送信号，而且还可以在接收器模式中接收沿朝向发送器-接收器单元的其他传播方向传播的声波并且可以产生相对应的接收信号。

[0119] 在一个可能的改进方案中，发送器-接收器单元是超声波转换器，所述超声波转换器优选也适合于脉冲-回声法，以便产生发送信号并且接收声波，超声波转换器基于所述声波产生接收信号。

[0120] 本发明的其他可能的变型方案也通过从属权利要求给出。

[0121] 此外，本发明的其他优点和特征在如下参照附图对实施例的描述中变得清楚。

附图说明

[0122] 在此示出：

[0123] 图1A示意地示出根据本发明的设备的一个实施变型方案，所述实施变型方案构成并且设计为用于执行根据本发明的方法并且尤其用于确定流动的介质的流动速度；

[0124] 图1B示意地示出图1A的设备的信号处理装置，借助于所述信号处理装置将模拟的接收信号在其数字化并且进一步处理之前尤其彼此相乘并且相加，以便计算运行时间差；

[0125] 图2A示出图表，所述图表显示了当由根据图1A和1B的设备根据上述等式3利用发送信号产生声波时，在该设备中的接收信号的归一化的幅度曲线；

[0126] 图2B示出图表，所述图表显示了从图2A的接收信号中根据上述等式1得到的信号Z(t)和N(t)的曲线；

[0127] 图2C示出在1000个仿真的、不同受噪声干扰的并且漂移的信号曲线中由图2A和2B的信号构成的叠加的运行时间差，其中实际的运行时间差为10ns；

[0128] 图3示出根据本发明的设备的其他实施变型方案，其中信号处理装置具有解复用器和复用器以及模拟数字转换器，以便将所产生的接收信号在其进一步处理之前并且尤其在其相乘和相加之前数字化；

[0129] 图4示出从现有技术中已知的用于借助于表面声波确定流动的介质的流动速度的

设备。

具体实施方式

[0130] 在图4的剖视图中部分地示出本身已经已知的(测量)设备,所述设备构成并且设计为用于确定介质M的物理的和/或化学的特性,尤其用于确定或测量流动的介质M的流动速度。具有两个作为波导体的传导元件的基板1、2的声学波导体是测量设备的部分,其中介质M流过波导体。彼此对置的并且其朝向彼此的(内)表面11、21彼此平行地沿着波导体的主延伸方向伸展的基板1、2由非压电的材料制造。

[0131] 所述基板1、2以间距a相对置并且在此通过两个以所述间距a相对置的板或管的相对置的壁部段包围,所述壁部段形成波导体(通道状的)内腔3。在内腔3中填入通过波形线示意地示出的要测量的介质M,其中介质M可以穿流内腔3。液态的或能流动的介质M穿过内腔3的流动方向基本上是任意的。在此,沿着波导体的主延伸方向并且平行于内表面11、21从入口穿流到出口。在图4中,流动方向通过在出口或入口处的箭头示出。

[0132] 该设备的波导体的两个(第一和第二)基板1和2配设有(第一)发送器-接收器单元SE1或(第二)发送器-接收器单元SE2。在此,每个发送器-接收器单元SE1、SE2以至少两个不同的运行模式一方面能作为发送器运行而另一方面作为接收器运行,以便激励或接收声波。由此,第二基板2的第一发送器-接收器单元SE1(首先)可以作为发送器运行,而第一基板1的第二发送器-接收器单元SE2可以作为接收器运行。

[0133] 发送器-接收器单元SE1、SE2分别设置在相应的基板2或1的外表面22或12上,所述外表面与分别朝向具有介质M的内腔5的内表面21或11相对置。两个发送器-接收器单元SE1、SE2优选是具有叉指电极的压电转换器。优选地,发送器-接收器单元SE1、SE2在相应的基板2、1上的固定通过粘结进行,使得可简单地且顺利地安装所述发送器-接收器单元。替选地,也可以设有其他的固定类型。

[0134] 在此,图4的第一发送器-接收器单元SE1位于波导体的第一端部的区域中,而第二发送器-接收器单元SE2位于波导体的其他的第二端部的区域中并且波导体在示出的横截面视图中沿着主延伸方向在所述两个端部之间延伸。

[0135] 经由作为发送器工作的发送器-接收器单元例如SE1,借助于预设的优选脉冲式发送信号在基板2中产生表面声波OW2。所产生的表面声波OW2的能量的一部分在内表面21的边界面上作为体积声波VW1耦合输入到介质M中。在此,体积声波VW1的传播和体积声波VW1的传播方向在图4中示意地通过虚线并且通过在所述虚线旁边的箭头示出。通过在虚线旁边各两个相反的箭头表示,体积声波沿着通过虚线代表的路径部段PA1至PA7在设备的一个运行模式中沿一个方向传播而在设备的另一运行模式中沿另一方向传播。

[0136] 形成内表面12、21的两个基板1、2优选由非压电的材料构成并且具有厚度d,所述厚度限定为相应的所配设的外表面12或22的内表面11、21的间距。在此,厚度d小于或等于分别产生的表面声波的波长。由此,在基板1、2之内传播的表面声波可以具有波特性,使得其不仅沿着板状的基板1、2的内表面11、21而且沿着外表面12、22传播。由此,激励兰姆波或在兰姆波和瑞利波的过渡范围中的波。在此,根据基板1、2的板的厚度d,表面声波基本上以兰姆波的形式(d小于表面声波的波长)或以在兰姆波和瑞利波之间的过度范围中的波的形式(d等于表面声波的波长)存在。在任意情况下,表面声波都沿着基板1和2的两个表面11、

12或21、22传播。

[0137] 由此，如在图4中说明的那样，表面声波OW2例如以作为发送器-接收器单元SE1为出发点沿着第二基板2的延伸方向并且尤其沿着所述基板2的内表面21伸展。沿着基板2的内表面21行进的表面声波OW2的声波能量的一部分耦合输入到位于内腔3之内的介质M中，使得在介质M之内产生体积声波VW1。在此，所述耦合输入的体积声波VW1的传播方向相对于平面的表面21上的法线倾斜了特征角Δ，其并未绘出。

[0138] 体积声波VW1在介质M中分别沿着路径P1传播。所述路径可以分为不同的通过虚线示出的部段PA1、PA2、PA3、PA4、PA5、PA6、PA7。所述路径部段中的每个在(第二)基板2和其他的(第一)基板1之间伸展。一旦体积声波VW1到达在相对置的基板1的内表面11上的相互作用部位，所述体积声波的能量的一部分就耦合输入到基板1中，使得其中产生例如呈兰姆波或在兰姆波和瑞利波的过渡范围中的表面波的形式的表面声波OW1，所述表面声波沿着所述基板1传播。

[0139] 此外，在体积声波VW1到达基板1、2中的一个的内表面11或21上的每个时间点出现所述声波与相应的基板1、2的相互作用。在此，通常在基板1、2、尤其相应的基板1、2的表面波OW1、OW2和体积声波VW1之间出现声能的能量交换。体积声波VW1至少部分地被反射并且在此改变其传播方向。如果在来自体积声波VW1的能量到相关的表面波OW1的耦合输入中存在相互作用，那么通过所述耦合输入提高表面波OW1的幅度并且降低体积声波VW1的幅度。替选地，也可以根据基板的和介质M的以及波的特性进行表面波OW1的能量到体积波VW1中的耦合输入。

[0140] 由此，通过体积声波VW1与基板1、2沿着其路径P1的相互作用限定多个互相作用部位。在所述互相作用部位上，体积声波VW1分别与基板1、2和在基板1、2中出现的表面波OW1、OW2相互作用。因此，总的来说，包括体积声波VW1的(第一)波列沿着波导体的主延伸方向在第一发送器-接收器单元SE1和第二发送器-接收器单元SE2之间的介质中在基本上锯齿状的传播路径P1上传播。由于体积声波VW1与同第二基板2相对置的第一基板1在其内表面11上的相互作用，造成表面波OW1的激励，所述表面波在基板1上传播并且最终可以在作为接收器工作的发送器-接收器单元SE2上被接收。在第二基板2的互相作用部位即体积声波VW1与第二基板2相互作用的部位之间，表面波OW1在不增强的情况下传播，然而在随后的互相作用部位上(可能)经受进一步的增强。通过测量在接收器E上射入的波列、尤其通过与体积声波VW1的相互作用而激励的表面波OW1，可以求得波列在第一和第二发送器-接收器单元SE1、SE2之间的运行时间。

[0141] 这样，尤其当波列在发送器-接收器单元SE1、SE2之间的运行时间被确定时，可以从相继在作为接收器工作的发送器-接收器单元SE2上射入的表面声波OW1(或表面波OW1的组)推断出在介质M之内的声速。因为经由体积声波VW1在相应的互相作用部位上耦合输入的表面声波OW1的所测量的运行时间受介质M的特性影响，所以可以通过电子评估单元确定要测量的介质M的物理和/或化学的特性，发送器-接收器单元SE2的信号被转发给该评估单元。在此，分别从在发送器-接收器单元SE2或SE1上所接收的作为体积声波VW1(或VW2)至少部分地通过介质M从其他的发送器-接收器单元SE1、SE2传播到发送器-接收器单元SE2、SE1的声波中产生接收信号。

[0142] 在此要注意的是，在接收器上或在接收器模式中运行的发送器-接收器单元SE2上

通常只接收表面波OW1，其中所述表面波OW1源于碰到第一基板1的体积声波VW1。所求得的在一个或多个表面波的接收之间的时间差相对应地也用作用于确定流动速度的基础，如这随后还将予以详细阐述的那样。

[0143] 为此，图4的设备可以经由复用以两种不同的运行模式运行，即之前在接收器模式中运行的第二发送器-接收器单元SE2也在发送器模式中运行并且之前在发送器模式中运行的第一发送器-接收器单元SE1也在接收器模式中运行。在此，现在通过在发送器模式中运行的第二发送器-接收器单元SE2在第一基板1中激励表面声波OW1。所述表面声波OW1的能量的至少一部分如之前那样转换为在介质M中传播的体积声波VW2的能量，所述体积声波现在在传播路径P2上从第二发送器-接收器单元SE2通过介质M传播到第一发送器-接收器单元SE1。因此，第二声波的由第二发送器-接收器单元SE2激励的表面波OW1以所述发送器-接收器单元SE2为出发点，使得由此激励的体积声波VW2基本上与之前的体积声波VW1相反地伸展并且锯齿状地通过介质M沿朝第一发送器-接收器单元SE1的方向伸展。

[0144] 因此，经由在发送器-接收器单元SE1、SE2的发送器模式和接收器模式之间的切换，体积声波VW1、VW2在介质M之内沿着波导体的主传播方向的运行方向被颠倒。由此得出，根据运行模式(第一或第二)，波列或第一或第二声波在两个发送器-接收器单元SE1和SE2之间一方面如下传播，使得其具有在介质中伸展的路径部段PA1至PA7，所述波列或第一或第二声波沿着所述路径部段具有带有沿介质M的流动的方向的矢量的传播速度分量的传播速度矢量(第一波列)，并且另一方面如下传播，使得所述波列或第一或第二声波具有在介质中伸展的路径部段PA7至PA1，所述波列或第一或第二声波沿着所述路径部段具有带有沿介质M的流动的相反方向的矢量的传播速度分量的传播速度矢量(第二波列)。因此，由于介质M的流动，第二波列的在第一发送器-接收器单元SE1上接收的表面波的运行时间与第一波列的在第二发送器-接收器单元SE2上接收的表面波的运行时间彼此偏差。由此，通过测量两个波列的(绝对)运行时间和/或求得彼此相反的波列的运行时间的差原则上可以确定介质M的流动速度。此外，可以经由波列沿着波导体的传播推导出关于在介质M中的物质的浓度或密度的信息。

[0145] 然而，根据对射入的声波所接收的信号(接收信号)推断出声波在发送器-接收器单元SE1、SE2之间的运行时间差或甚至绝对运行时间绝对不是无意义的，而可能需要极大的计算耗费。此外，这也适用于其他测量设备，其中借助声波确定介质的物理的和/或化学的特征。

[0146] 在此，现在执行根据本发明的方法，所述方法还提出：发出两个彼此相位偏移的发送信号以产生声波，并且借助于所述方法可以尤其在根据图4的具有波导体的设备中将对所接收的信号进行评估设计得更有效，并且此外根据所接收的信号明显更容易求得沿着不同方向传播的声波的运行时间差。

[0147] 这样，改进现有技术中已知的根据图4的测量设备，使得设备的发送器利用相同基本频率的和彼此间有预设的相位偏移的两个不同的发送信号分别产生沿着不同的传播方向、优选沿流动方向和与流动方向相反的第一和第二声波，使得由设备的接收器在每个传播方向上分别产生两个不同的接收信号y_0^r、y_1^r和y_0^s、y_1^s。此外，设有信号处理装置，例如SV_A或SV_B，借助于其通过四个所产生的接收信号y_0^r、y_1^r、y_0^s和y_1^s求得运行时间差Δt和/或绝对时间t_0。

[0148] 在此，在图1A的一个实施变型方案中，设有与多个发送器-接收器单元SE1、SE2、SE3和SE4耦合的或集成在其中的信号发生器4，使得经由沿着波导体的纵向延伸在空间上彼此隔开的两个发送器-接收器单元SE1和SE2以及SE3和SE4可以分别使用相同基本频率的发送信号x_1或与其相位偏移的发送信号x_0来产生(表面)声波。

[0149] 在此，各个发送信号x_0、x_1根据上文已经提到的等式3优选具有下述形式：

[0150] $$x_0(t) = -w(t) \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

[0151] $$x_1(t) = w(t) \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \varphi)$$

[0152] 各个发送器-接收器单元SE1至SE4在此也分别构成为，使得其不仅可以产生声波而且也可以接收声波。这样，发送器-接收器单元SE1例如产生沿流动方向(第一传播方向)传播的声波，该声波在位于下游的发送器-接收器单元SE2上被接收并且在此产生接收信号y_1^r。所述发送器-接收器单元SE2又产生朝上游(沿相反的第二传播方向)传播的第二声波，该第二声波在位于上游的发送器-接收器单元SE1上被接收并且使得产生其他接收信号y_1^s。在此，两个接收信号y_1^r和y_1^s源于发送信号x_1。

[0153] 以同样方式，经由第二发送器-接收器单元装置SE3-SE4利用发送信号x_0产生接收信号y_0^r和y_0^s。

[0154] 经由根据图1B的信号处理装置SV_A进一步处理各个模拟的接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s、y_1^s。在此，对于各个接收信号相应地适用上述等式6：

[0155] $$y_0^s(t) = x_0\left(t-(t_0+\Delta t)\right),\ y_1^s(t) = x_1\left(t-(t_0+\Delta t)\right)$$

[0156] $$y_0^r(t) = x_0\left(t-(t_0-\Delta t)\right),\ y_1^r(t) = x_1\left(t-(t_0-\Delta t)\right)$$

[0157] 通过信号处理装置SV_A的在图1B中示出的在此总共包括四个乘法器5.1、5.2、5.3和5.4以及两个加法器7.1和7.2和两个模拟数字转换器8.1和8.2的实现形式，将模拟的接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s、y_1^s根据上述等式1进一步处理并且数字化为包络的信号Z(t)和N(t)。

[0158] 然后，经由在此示作为信号处理机构9的计算单元，从所述数字化的包络的信号Z(t)和N(t)中根据等式2得到在朝下游和朝上游传播的声波之间的运行时间差Δt的值。

[0159] 由此还可以在各个发送器-接收器单元SE1和SE2或SE3和SE4之间的间距I_0已知或在位于内腔3中的介质M中的声速c_0已知的情况下，根据上述等式4.1、4.2和5推断出介质M的(平均)流动速度。

[0160] 而此外当然也可能的是，借助于根据图1A的设备根据四个接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s、y_1^s从绝对运行时间t_0中得到比例系数$(1/(c_0)^2)$，其中信号处理装置SV_A例如具有用于执行上文阐述的等式7的机构。

[0161] 借助于信号处理装置SV_A求得运行时间差Δt由于其简单性而是有利的，因为其通过使用简单的电路的部件允许可靠地推断出声波沿不同的传播方向的运行时间差，尤其不必为此在信号处理中使用傅里叶变换。

[0162] 根据图2A、2B和2C要示出通过仿真求得的信号曲线并且尤其根据图2C说明在求得运行时间差Δt时实现的测量精度。

[0163] 在此，图2A示出用于各个接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s、y_1^s的归一化的幅度曲线。在图2B中，又绘制了由此得出的信号Z(t)和N(t)(比照等式1)。

[0164] 现在，在图2C中根据在经由信号处理装置SV_A采样时的采样时间T_{Abt}.示出由此推

导出的和求得的运行时间差Δt。在此，仿真总共1000个不同受噪声干扰的并且漂移的信号曲线并且将结果在图2C中叠加。在此示出的是，借助于根据本发明的方法实施方案在信号重心中总是清楚地找到10ns的预设的运行时间差，和在信号处理装置SV_A保持相对简单并且进而成本低的构造的情况下。

[0165] 在根据图1A的实施方案变型中设置利用两个不同的发送信号x_0和x_1同时发送所有四个发送信号或同时操纵四个不同的呈超声波转换器形式的发送器-接收器单元SE1至SE4(优选嵌入到根据本发明的(测量)设备的唯一的超声波传感器中)，而当然也可以设置时间错开地发送发送信号x_0和x_1。在此，一个可能的实施变型方案示意地由图3示出。

[0166] 在此，根据本发明的尤其用于确定位于内腔3中的介质M的(平均)流动速度v_m的测量设备的一个实施变型方案设有一个替选的信号处理装置SV_B，所述信号处理装置还包括复用器40和解复用器90。在此还为具有两个发送器-接收器单元SE1和SE2的装置的部分的预设发送信号x_0和x_1的信号发生器4与复用器40耦合，以便为发送器-接收器单元SE1和SE2时间错开地输送各个发送信号x_0和x_1。由此，每个发送器-接收器单元SE1或SE2能够利用不同的发送信号x_0、x_1产生沿流动方向或与流动方向相反的第一和第二声波。

[0167] 然后，由发送器-接收器单元SE1和SE2相继将接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s、y_1^s以模拟形式输送给解复用器90，并且然后所述接收信号经由连接在下游的模拟数字转换器8来数字化。然后，在此数字化的信号用于例如根据上面所示的等式7、8和10在信号处理机构9中计算运行时间差Δt和/或绝对运行时间t_0。

[0168] 借助于根据本发明的设备和能由此执行的根据本发明的方法，被发射的或被反射的超声波信号和由此推导出的信号运行时间或运行时间差的数值和相位的与时间有关的曲线能够以特别简单且有效的方式确定。此外，硬件投入还可以限制为最小。在此，如果如示出的那样，源于四个不同的源于相同频率f和彼此间有预设的相位偏移的两个不同的发送信号x_0、x_1的接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s、y_1^s，那么用于确定运行时间差Δt的所实施的方法和用于确定绝对运行时间t_0的方法是极其鲁棒的并且与低的测量不确定性相联系。

[0169] 在此，还补充指出的是，发送信号x_0、x_1的频率曲线或频率序列尽管优选对于每次执行的测量是相同的，但对于不同的测量、即尤其不同的测量装置和/或介质可以改变频率曲线或频率序列。

[0170] 此外，尽管原则上优选脉冲式发送信号，所述发送信号根据图2A引起脉冲式的接收信号y_0^r、y_1^r；y_0^s、y_1^s。然而，原则上也可考虑在相应的发送器或发送器-接收器单元SE1至SE4上持续激励声波。

[0171] 此外，明显的是，借助于所示的设备和由此实施的方法不仅能够确定流动的介质M的(平均)流动速度v_m，而且也(替选地或补充地)能够执行浓度、厚度、间距、温度和/或料位测量，如这在利用声波、尤其超声波工作的类似设备中已经在很大程度上是已知的。同样的适用于确定所接收的声波的瞬时幅度或瞬时相位的与时间有关的曲线和用于由此推导出的介质M的密度和粘稠度的值。

[0172] 附图标记列表

[0173]	1	(第一)基板
[0174]	11	内表面
[0175]	12	外表面

[0176]	2	(第二)基板
[0177]	21	内表面
[0178]	22	外表面
[0179]	3	内腔
[0180]	4	信号发生器
[0181]	40	复用器
[0182]	5.1-5.4	乘法器
[0183]	6	倒相器
[0184]	7.1,7.2	加法器
[0185]	8	模拟数字转换器(A/D转换器)
[0186]	8.1,8.2	模拟数字转换器(A/D转换器)
[0187]	9	信号处理机构
[0188]	90	解复用器
[0189]	a	间距
[0190]	d	厚度
[0191]	f	基本频率
[0192]	M	介质
[0193]	OW1,OW2	表面声波
[0194]	P1,P2	路径
[0195]	PA1-PA7	路径部段
[0196]	SE1,SE2,SE3,SE4	发送器-接收器单元
[0197]	SV_A,SV_B	信号处理装置
[0198]	t_0	运行时间
[0199]	v_m	平均流动速度
[0200]	VW1,VW2	体积声波
[0201]	w	窗函数
[0202]	x	发送信号
[0203]	y^r	第一接收信号(下游)
[0204]	y^s	第二接收信号(上游)
[0205]	φ	起始角
[0206]	Δt	运行时间差

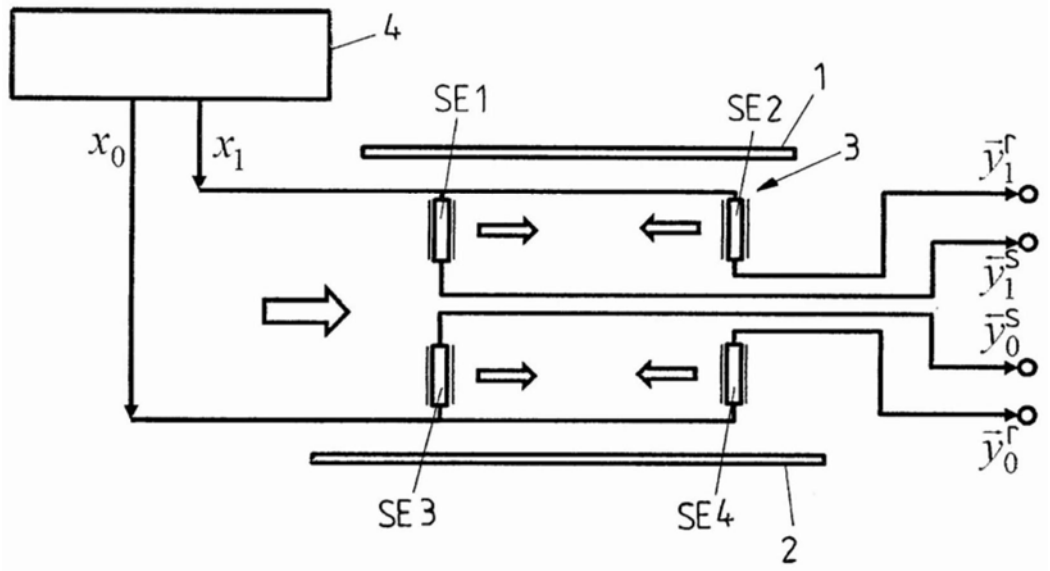

4
SE1
SE2
1
3
x_0
x_1
$\vec{y}_1^r$
$\vec{y}_1^s$
$\vec{y}_0^s$
$\vec{y}_0^r$
SE3
SE4
2

图1A

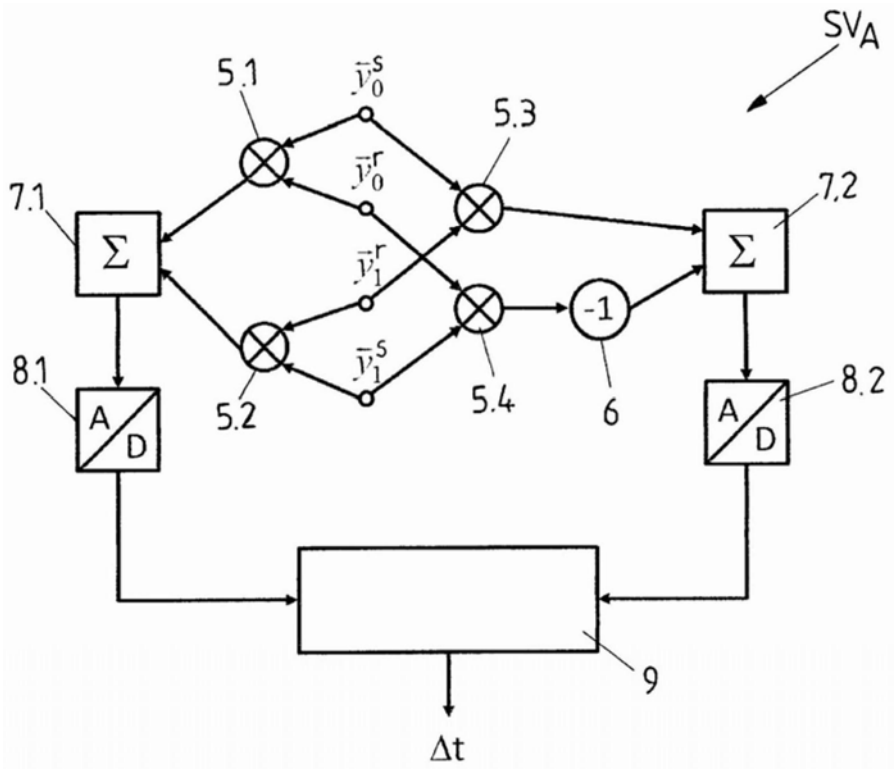

SVA
5.1
$\vec{y}_0^s$
5.3
$\vec{y}_0^r$
7.1
7.2
Σ
Σ
$\vec{y}_1^r$
-1
$\vec{y}_1^s$
8.1
8.2
A/D
A/D
5.2
5.4
6
9
Δt

图1B

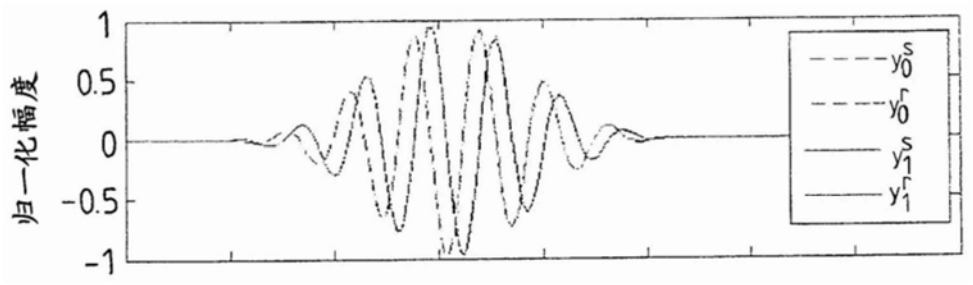

归一化幅度
1
0.5
0
-0.5
-1
y_0^s
y_0^r
y_1^s
y_1^r

图2A

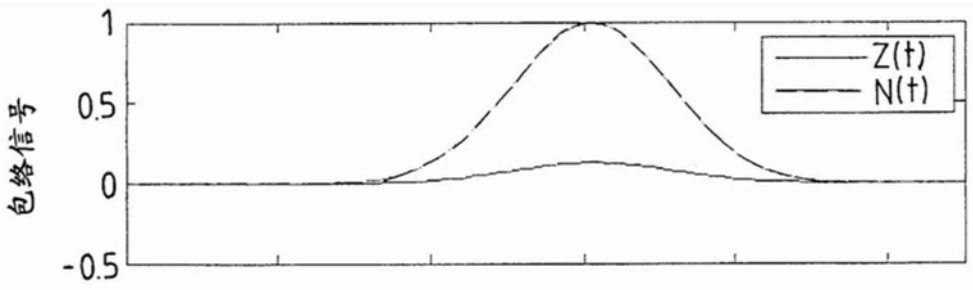

包络信号
1
0.5
0
-0.5
Z(t)
N(t)

图2B

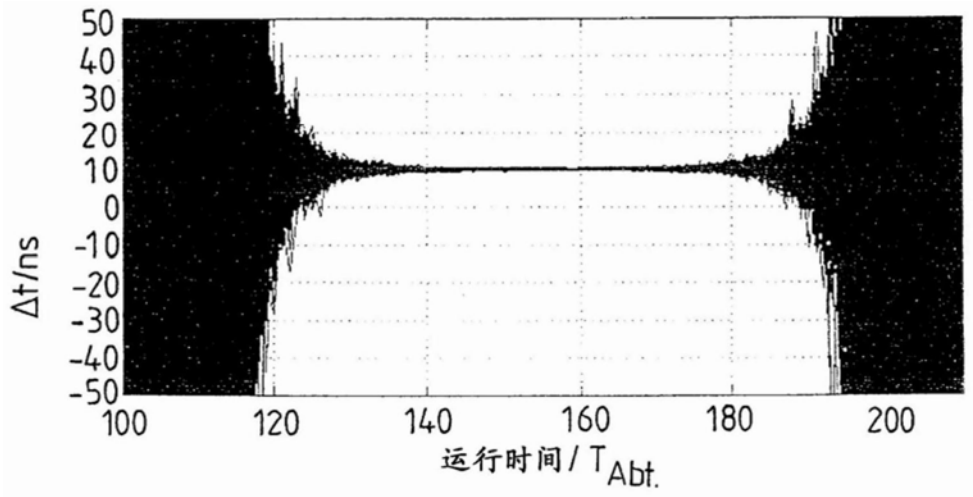

Δt/ns
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
100
120
140
160
180
200
运行时间 / $T_{Abt.}$

图2C

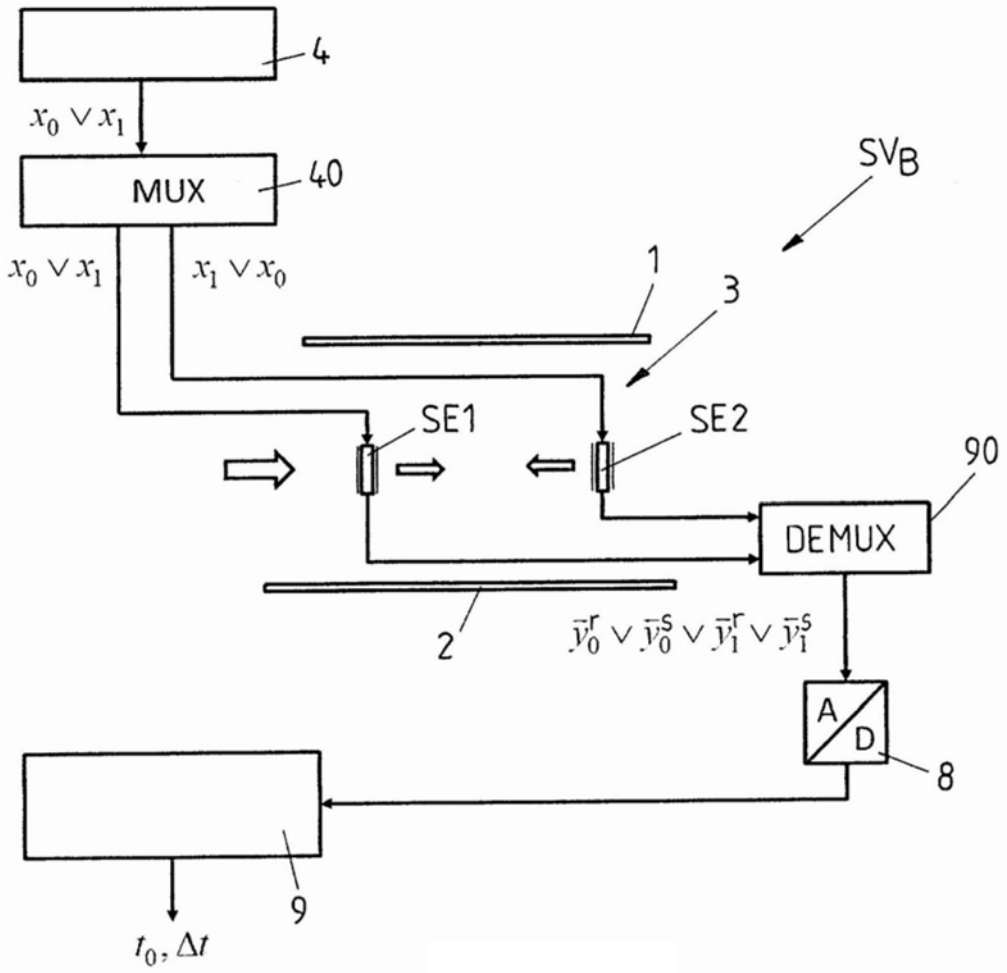

4
$x_0 \vee x_1$
MUX
40
SV_B
$x_0 \vee x_1$
$x_1 \vee x_0$
1
3
SE1
SE2
90
DEMUX
2
$\bar{y}_0^r \vee \bar{y}_0^s \vee \bar{y}_1^r \vee \bar{y}_1^s$
A
D
8
9
$t_0, \Delta t$

图3

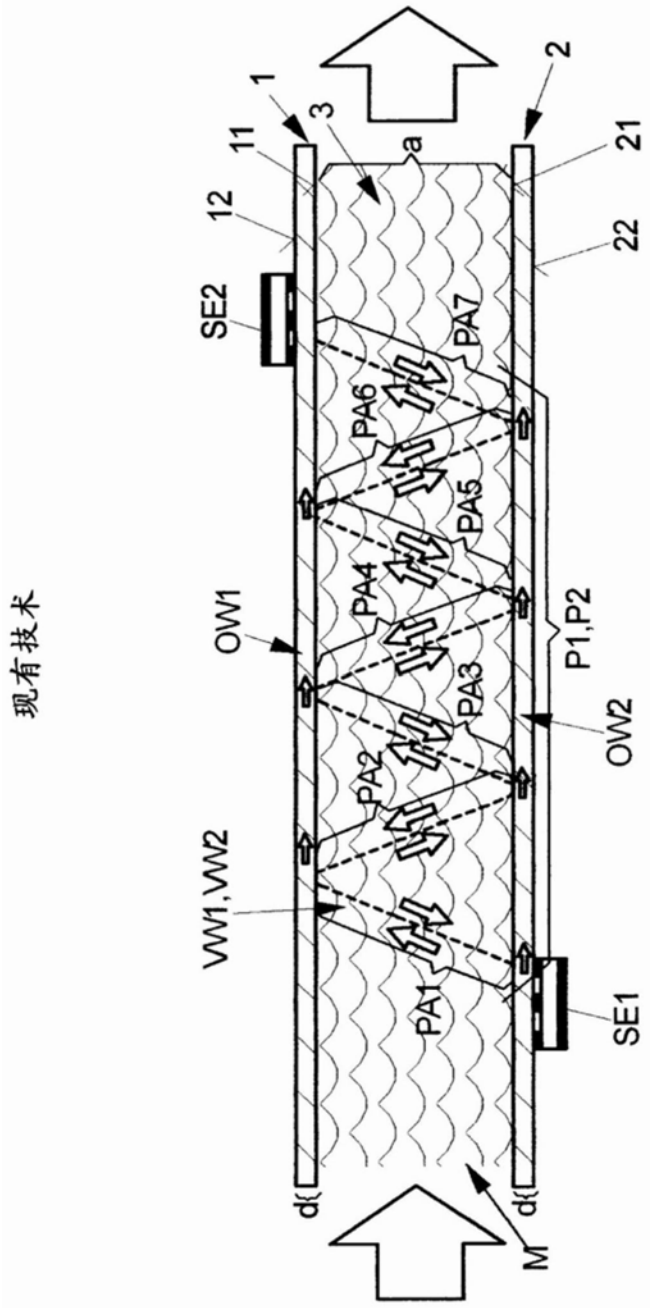

现有技术
1
2
3
11
12
21
22
a
SE2
SE1
PA1
PA2
PA3
PA4
PA5
PA6
PA7
OW1
OW2
P1,P2
VW1,VW2
d
M

图4