(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 103328960 B
(45)授权公告日 2016.07.06

(21)申请号 201180059025.3
(22)申请日 2011.10.12
(30)优先权数据
20101411 2010.10.12 NO
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.06.07
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/NO2011/000291 2011.10.12
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2012/050460 EN 2012.04.19
(73)专利权人 海贸科技联合股份有限公司
地址 挪威卑尔根
(72)发明人 E·A·汉默
(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 钱慰民
(51)Int.Cl.
G01N 27/02(2006.01)
(56)对比文件
US 5585729 A,1993.12.17,
WO 2004025288 A1,2004.03.25,
US 3946308 A,1976.03.23,
WO 03050529 A1,2003.06.19,
US 2007224692 A1,2007.09.27,
审查员 李保安

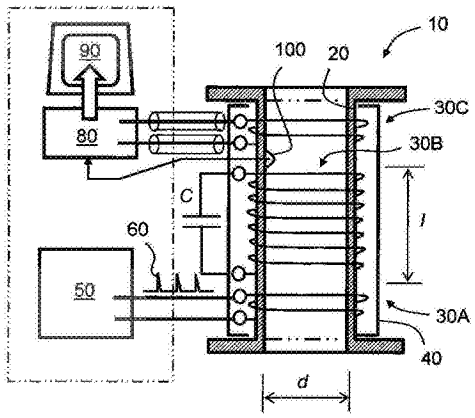
权利要求书2页 说明书9页 附图10页

(54)发明名称

水含量测量装置

(57)摘要

一种水含量测量装置(10),用于测量通过管道(20)的流体流中存在的水含量,包括:用于在操作中产生一时间系列激励信号(60)的脉冲发生器(50);设置在管道(20)周围的线圈配置(30A、30B、30C),其被适配成通过这一系列的激励信号(60)激励成谐振并与通过管道(20)的流体流相互作用;以及信号处理器(80),其被适配成从线圈配置(30A、30B、30C)接收谐振信号以确定管道(20)中存在的水含量。线圈配置(30A、30B、30C)包括谐振线圈(30B),该谐振线圈(30B)具有至少3:1的长径比,并且该谐振线圈(30B)包括至少10匝。



CN 103328960 B

1.一种用于测量通过管道(20)的流体流中存在的水含量的水含量测量装置(10),其中所述装置(10)包括:用于在操作中产生激励信号(60)的发生器(50);设置在所述管道(20)周围的线圈配置(30A、30B、30C),所述线圈配置被适配成通过激励信号(60)激励成谐振并与通过所述管道(20)的流体流相互作用;以及信号处理器(80),所述信号处理器被适配成从所述线圈配置(30A、30B、30C)接收谐振信号以确定所述管道(20)中出现的水含量,其中所述线圈配置(30A、30B、30C)包括谐振线圈(30B),所述谐振线圈(30B)具有至少3:1的长径比,并且所述谐振线圈(30B)包括至少10匝,

其特征在于,所述发生器(50)产生脉冲,所述脉冲具有远短于脉冲(60)之间的时段的脉冲的脉冲持续时间,该远短于达至少一个数量级,

所述装置(10)被适配成监测所述管道(20)内的潜在水合物形成的状态,

其中存在于所述管道中的微量水的检测指示可能的早期水合物形成。

2.如权利要求1所述的水含量测量装置(10),其特征在于,所述发生器(50)被配置成将所述激励信号产生为一时间系列的激励脉冲。

3.如权利要求1或2所述的水含量测量装置(10),其特征在于,所述管道(20)及其相关的线圈配置(30A、30B、30C)由静电屏蔽物(40)围绕以在工作时遮蔽所述线圈配置(30A、30B、30C)。

4.如权利要求3所述的水含量测量装置(10),其特征在于,还包括传感器配置(100),用于感测所述管道(20)内壁上的低频导电率和温度并将相应的传感器信号提供给数据处理器(80)以使所述信号处理器(80)能计算所述管道(20)内的水含量而不管水含量的盐度如何。

5.如权利要求4所述的水含量测量装置(10),其特征在于,所述线圈配置(30)包括激励、谐振和拾波线圈(30A、30B、30C),其中所述激励线圈(30A)耦合至所述发生器(50),所述拾波线圈(30C)耦合至所述信号处理器(80)而所述谐振线圈(30B)耦合至调谐电容器(C)以提供对所述管道(20)内的水含量敏感的谐振特性。

6.如权利要求5所述的水含量测量装置(10),其特征在于,所述线圈(30A、30B、30C)是从下列之一制成的:个体绝缘的多股漆包线,绝缘的金属带。

7.如权利要求6所述的水含量测量装置(10),其特征在于,所述发生器(50)和所述信号处理器(80)中的至少一者被适配成在工作中空间上远离所述管道(20)及其线圈配置(30A、30B、30C)。

8.如权利要求7所述的水含量测量装置(10),其特征在于,所述管道(20)是由下列至少一者制成的:聚碳酸酯聚合物、丙烯酸聚合物、PEEK。

9.一种测量通过管道(20)的流体流中存在的水含量的方法,其中所述方法包括:

(a)使用发生器(50)在操作中产生激励信号(60),用于激励设置在所述管道(20)周围的线圈配置(30A、30B、30C)以与通过所述管道(20)的流体流相互作用;以及

(b)在信号处理器(80)处从所述线圈配置(30A、30B、30C)接收谐振信号,用于确定所述管道(20)中存在的水含量,其中所述线圈配置(30A、30B、30C)包括长径比至少3:1的谐振线圈(30B),并且所述谐振线圈(30B)包括至少10匝;

其特征在于,所述发生器产生脉冲,所述脉冲具有远短于脉冲之间的时段的脉冲的脉冲持续时间,所述远短于达至少一个数量级,

所述方法还包括监测所述管道(20)内的潜在水合物形成的状态，

其中存在于所述管道中的微量水的检测指示可能的早期水合物形成。

水含量测量装置

发明领域

[0001] 本发明涉及水含量测量装置，例如涉及用于监测流体流中的水含量的水含量测量装置，例如用于监测其中可能出现水合物沉积形成(formation)状态的流体流中的水含量。此外，本发明涉及测量流体流中的水含量的方法，例如涉及测量其中可能出现水合物沉积形成状态的流体流中的水含量的方法。此外，本发明涉及记录在机器可读介质上的软件产品，其中这些软件产品可在计算硬件上执行以实现前述方法。

背景技术

[0002] 已知利用表现出相互不同响应的一对线圈并通过交流信号激励以确定这对线圈在被激励时由其产生的磁场和电场所横贯的流体区的相位特征。这些线圈传统地具有相对少的匝数，例如每个小于10匝，并可借助其谐振特性的测量(例如谐振Q因数)将流体成份确定在几个百分比的精度内。这对线圈是灵敏的，例如用于监测当水、油、沙微粒和浮渣可能同时存在于流体中时从作业井眼抽取的流体。用于确定流体区的相位特征的装置在发明人为Erling Hammer的题为“Method and arrangement for measuring conductive component current of a multiphase fluid flow and uses thereof(用于测量多相流体流的导电成份电流的方法和配置及其使用)”的公开国际PCT申请No.WO2004/025288A1中有描述。

[0003] 当代的议题是地质油储备正变得快速衰竭，需要石油公司回归到困难和昂贵的离岸钻探和作业以满足全世界对油的需求；全世界的需求目前估计是八千五百万桶油等价物/每天。许多新探索出的油田和气田，例如位于挪威北部的Barrent海，发现比早前探索出的油田和气田预期更高的气油比。结果，发现需要对北纬地区中不断增长程度的气生产进行监测，这经常经受严酷的工作状态，例如低的周围环境工作温度，例如低于0℃。

[0004] 气生产所遇到的一个当代问题是水合物沉积的同时形成，它们可能完全阻塞管道并因此以相关的经济损失威胁到气生产。水合物形成发生在当气体烃分子，例如由于其氢原子的强极化吸引水分子中的氧原子以使烃分子变得包封在水分子中从而形成微型的水合物冰晶，该水合物冰晶可沉淀以造成前面提到的水合物沉积在管道中的阻塞。阻塞最初在管道的内壁生长，并最终堵塞住管道的中央区域。一旦水合物冰晶沉积在内壁上开始，水合物晶体成核(hydrate crystal nucleation)被增强以使水合物阻塞可能快速地形成，例如在几分钟内。此外，这些阻塞当形成时也经常相当难以去除，有时需要执行高成本的“清管”或热处理。妨碍水合物形成的传统方法是在气体流中加入添加物。然而，使用添加物是昂贵的并也可能潜在地造成气体流中的污染程度。

[0005] 当代用于感测管道中的水合物形成的传感器和相关的测量仪器是复杂和高成本的，由此限制了它们可被安装在气体生产系统中的位置。结果，沿气体管道和管段可能有利地设置能检测水合物沉积潜在形成的测量仪器的许多位置由于传统水合物测量仪器的成本受到妨碍而无法相应地配置。

发明内容

[0006] 本发明尝试提供一种更节约成本和更强健的水含量测量装置，例如用于检测在此之下水合物沉积可能易于发生的状态。

[0007] 根据本发明的第一方面，这里提供一种如所附权利要求1所述的水含量测量装置。这里提供一种用于测量通过管道的流体流中存在的水含量的水含量测量装置，其特征在于，该装置包括用于在操作中产生激励信号的发生器，设置在管道周围的线圈配置，该线圈配置被适配成通过激励信号激励成谐振并与通过管道的流体流相互作用，以及信号处理器，该信号处理器适配成从线圈配置接收谐振信号以确定管道中出现的水含量，其中线圈配置包括谐振线圈，它具有至少3:1的长径比，并且谐振线圈包括至少10匝。

[0008] 本发明的优势在于，该装置能测量管道中存在的微量水，例如指示可能的早期水合物形成。

[0009] 可选择地，发生器可工作以产生激励信号以包括出一时间系列的激励脉冲。

[0010] 可选择地，谐振线圈采用至少15匝，更较为有利地采用至少20匝，更有利地采用至少25匝。

[0011] 可选择地，实现水含量测量装置以使管道及其相关的线圈配置由静电屏蔽物围绕，用于在工作时掩蔽住线圈配置。

[0012] 可选择地，水含量测量装置进一步包括传感器配置，用于感测管道内壁上的低频导电率和温度并将相应的传感器信号提供给信号处理器以使信号处理器计算管道内的水含量而不管水含量的盐度如何。

[0013] 可选择地，实现水含量测量装置以使线圈配置包括激励、谐振和拾波线圈，其中激励线圈耦合至发生器，拾波线圈耦合至信号处理器而谐振线圈耦合至调谐电容器(C)以提供对管道内的水含量敏感的谐振特性。更任选地，线圈是由下列之一制成的单独绝缘的多股漆包线，绝缘的金属带。更任选地，线圈在其外缘表面上被镀银以减小其表面电阻。

[0014] 可选择地，实现水含量测量装置以使发生器和信号处理器中的至少一者被适配成在工作中空间上远离管道及其线圈配置。

[0015] 可选择地，水含量测量装置被适配成监视其中管道内的潜在水合物形成可能发生的状态。

[0016] 可选择地，实现水含量测量装置以使管道由下列元素之一制成：聚碳酸酯聚合物、丙烯酸聚合物、PEEK聚合物。PEEK聚合物是通过双酚基盐的二烃基化合物通过阶梯式生长聚合获得的。典型地，PEEK是借助4-4'-二氟二苯甲酮与对苯二酚的二钠盐反应产生的，它是通过与碳酸钠的去质子化就地产生的。PEEK制造采用在例如二苯砜的极性非质子溶液中300℃左右的温度下执行的反应。PEEK是具有极佳机械和化学抗性的半晶质热塑材料，它可保持在高温下。PEEK表现出3.6GPa的杨氏模量，并且其抗拉强度在90-100MPa的范围内。此外，PEEK具有在143℃温度左右的玻璃转变温度并在343℃左右的温度下熔化。此外，PEEK对热降解以及有机环境和含水环境两者的侵袭具有高度抗性。然而，PEEK在高温下受卤素和强布朗斯台德酸和路易斯酸以及一些卤化化合物和芳烃侵袭。

[0017] 根据本发明的第二方面，这里提供一种测量出现在通过管道的流体流中的水含量的方法，其特征在于，该方法包括：

[0018] (a)使用发生器在操作中产生激励信号，用于激励设置在管道周围的线圈配置以与通过管道的流体流相互作用；以及

[0019] (b)在信号处理器处从线圈配置接收谐振信号，用于确定管道中出现的水含量，其中该线圈配置包括长径比至少3:1的谐振线圈，并且该谐振线圈包括至少10匝。

[0020] 根据本发明的第三方面，这里提供一种记录在机器可读介质上的软件产品，其中该软件产品可在计算硬件上执行以实现根据本发明第二方面的方法。

[0021] 附图描述

[0022] 现在参照下列附图仅借助示例地描述本发明的实施例，在附图中：

[0023] 图1是根据本发明的水含量测量装置的实施例的示图；

[0024] 图2是图1装置中待分析的信号的示图；

[0025] 图3A是当装置的流体流管道无水时从图1的装置的拾波线圈接收的信号的示图；

[0026] 图3B是当装置的流体流管道含泉水时从图1的装置的拾波线圈接收的信号的示图；

[0027] 图4是以图1装置的流体流管道的水含量为函数的Q因数参数(tau，τ)表征的变化的示图；

[0028] 图5是示出图1的装置对盐溶液的敏感性的曲线图；

[0029] 图6是示出图1的装置对存在于装置的感测管道内的盐溶液中的盐重量的敏感性的曲线图；

[0030] 图7是根据本发明的水含量测量装置的噪声源的示意图；

[0031] 图8是当实现根据本发明的水含量测量装置时使用的电子电路的示意图；

[0032] 图9是与图7和图8相关的感测谐振线圈配置的谐振特性的示图，其示出被驱动谐振ω_0和无驱动固有谐振ω_n；

[0033] 图10是与图7和图8相关的装置的感测线圈配置的测得Q因数的样本的示图；以及

[0034] 图11是与图7和图8相关的装置的感测线圈配置的谐振特性的示图。

[0035] 在附图中，带下划线的标号被用来表示下划线所在位置之上的项或在下划线附近的项。非下划线标号涉及由将非下划线标号联系至项的直线所标识的项。当一个标号非下划线并由相关箭头伴随时，带下划线的标号被用来标识箭头指向的一般项。

具体实施方式

[0036] 众所周知，圆柱导体线圈由于与该导体线圈关联的电感和分布式电容表现出电气谐振，根据本发明，该“分布式电容”有益于调谐电容器的谐振电路。分布式电容对应于绕组内电容。此外，由于通过线圈产生的磁通，电感产生。然而，如前所述，传统上认识到这些线圈仅能够提供至几个百分比的误差偏移的多相混合物测量。为了测量潜在水合物形成的状态，需要测量至每一百万分之几(p.p.m)的浓度的水含量。因此，传统实践将电气谐振线圈视为是相当不适合用于作出精确水合物相关的测量。

[0037] 与构思本发明相关的实验性研究已令人惊讶地表明，具有充分匝数并相对其直径具有充足长度的线圈的适当激励允许对每一百万分之几(p.p.m)那样低的浓度的水含量测量。利用图1所示的水含量测量装置，这样的高精度测量是可行的；该水含量测量装置总地由10表示。装置10包括聚合物材料管道20，例如由聚碳酸酯、丙烯酸类或PEEK塑料制成；这

些聚合物材料被选择以在几MHz的频率下表现出相对低的介电损耗。管道20有利地具有在70-90mm范围内的内径d，以及在280mm-320mm范围内的设有绕组的长度；然而，装置10在大于90mm的较大直径下容易适应。管道20在其第一端设有包含单匝的激励线圈30A。在管道20的中段部，提供包含范围在30-50匝之内的谐振线圈30B，该谐振线圈30B有选择地与32pF值的电容器C终接；例如对于线圈30B，发现34匝在实践中表现良好。电容器C有利地是在几MHz的工作频率下表现出低介电损耗的高质量电容器，例如高质量陶瓷电容器、云母介电电容器或密封的空气铁心电容器。耦合至其相关电容器C的谐振线圈30B可工作以表现出在几MHz数量级内的谐振频率，例如在1MHz-5MHz范围内的谐振频率，尽管也可采用其它工作频率，如果需要的话。谐振线圈30B有利地沿长度1均匀地缠绕，例如线圈30B具有在1:3至1:5范围内的直径:长度比。可选择地采用超出1:5的比例。有利地，线圈30B由多股漆包线(即各自绝缘的股线)或由具有相关绝缘性的薄铜带缠绕，以减小线圈30B中的导体皮肤深度效应以使其不会不利地影响其Q因数进而损害装置10对管道20中存在的微量水的敏感性。可选择地，线圈30B的绕组的外导电表面被镀银以增加线圈30B的谐振Q因数。此外，管道20也包括包含单匝的拾波线圈30C。电容器C有利地如图所示在空间上紧靠线圈30B地设置，用于获得最精确的水含量测量，例如在预期水合物沉积将出现的状态下在工作中流过管道20的气体中的水含量。管道20及其线圈30A、30B、30C设有外缘遮掩屏蔽物40，它是由铝板、不锈钢或类似物制成的。有利地，屏蔽物被设计成能忍受可能在管道20内遇到的压强。可选择地，用于制造屏蔽物40的铝板具有小于1mm、优选地地小于0.5mm的厚度。作为替代或附加，用于管道20及其线圈30A、30B、30C的外层玻璃纤维或碳复合物屏蔽被采用。

[0038] 激励线圈30A被耦合至发生器50，该发生器50工作例如用以输出具有脉冲持续时间τ_p和脉冲重复频率f_p的时间序列脉冲60。有利地，脉冲持续时间τ_p远短于脉冲60之间的周期$\left(即\frac{1}{f_p}\right)$达至少一个数量级。

[0039] 拾波线圈30C经由两个良好遮掩的同轴电缆70连接至信号处理单元80，该信号处理单元80利用计算硬件，该计算硬件执行用于分析拾波线圈30C在操作中感应出的信号的软件产品以产生相应的分析结果。处理单元80可工作以在显示器90上呈现分析结果，其指示管道20内存在的水含量的浓度，例如可追踪存在于管道20内如每一百万分之几(p.p.m)那样低程度的水含量。可选择地，处理单元80被适配成监测管道20内表面上的水浓度、温度和导电率以识别其中可能出现水合物沉积的状态。

[0040] 线圈30B的谐振特性依赖于管道20内存在的水是否天然含盐而强烈地受到影响。盐溶液中的盐含量影响溶液的冻结温度，并因此影响当溶液与烃(例如甲烷或丙烷)一起出现时可能出现水合物沉积的温度。由于盐溶液的高导电性质，装置10需要在管道20的内表面上额外地包括传感器配置100，其中传感器配置100包括：温度传感器，用于测量管道20内表面的温度T；以及表面导电率传感器，用于测量在工作中在管道20内表面形成的薄膜的导电率σ。被传递至处理单元80的与传感器配置100相关的信号示出于图2中。处理单元80被编程以执行由等式1(式1)表示的计算：

[0041] $w=F(Q,f_r,T,\sigma,P)$ 式1

[0042] 其中

[0043] w=水浓度；

[0044] P=管道20内的压力；

[0045] Q=受激励的线圈30B的谐振的Q因数；

[0046] T=管道20的内表面的温度；

[0047] σ=管道20的内表面上形成的水膜的电低频或d.c导电率；以及

[0048] F=从实验校正测量确定的转换函数。

[0049] 函数F有利地实现为在处理单元80的计算机存储器中实现的查找表。可选择地，通过执行一系列实验测试来经验式地确定函数F以得到测量数据，然后通过数学外推法合成中间测量以提供作为连续可变函数的函数F。替代地，函数F可从传感器配置100的理论考量分析地得到。Q因数Q是从如图3A和图3B所示的时间信号衰减特性的包络确定的，其中该信号本质上由等式2(式2)描述：

[0050] $$s = v_0 e^{\frac{t}{\tau}} \sin \omega t$$ 式2

[0051] 其中

[0052] s=拾波线圈30C中感应出的信号；

[0053] v_0=信号s的振幅系数；

[0054] τ=由线圈30B的电气谐振引起的相应信号的指数衰减时间常数；

[0055] ω=线圈30B的谐振频率；以及

[0056] t=时间。

[0057] 传感器配置100能以多种不同方式来实现。例如，用于测量导电率的传感器配置100的电极可实现为在管道20内周表面周围的环圈电极并沿管道20的长轴方向设置。作为替代或附加，用于测量导电率的传感器配置100的电极可实现为有限角范围的扇区，用于感测管道20内表面上的水合物的非均质沉积。有利地，导电率感测电极被选择或加工以具有与管道20的其它部分相同的湿润特性，以使由装置10提供的水合物形成测量对于连接至该管道20的其它管道尽可能地具有代表性。类似地，传感器配置100的温度传感器可实现为一个或多个单独的温度传感器，它们在空间上布置以感测管道20内的温度梯度。为了计算等式1(式1)，可使用来自感测配置100的多个温度传感器的若干温度测量的总计或平均。管道20的内表面有益地是光滑的，以避免在内表面上的水合物沉积的非代表性沉积。

[0058] 图3A和图3B是如使用拾波线圈30C感测到的由线圈30B表现出的谐振特性的示图。在本发明的优选实施例中，线圈30B较为有利地具有34匝并可选择地通过具有32pF电容值的电容器C进行调谐。替代地，线圈30B具有15匝并可选择地通过具有100pF电容值的电容器C进行调谐。激励线圈30B的正确阻抗匹配非常有利于获得如图3A和图3B中展示的整齐波形；该阻抗匹配对应于一滤波器，该滤波器减小线圈30B中的较高次谐振的激励，例如在大约比其主谐振频率高出一数量级的频率下，例如当线圈30B具有3.5MHz左右的基频谐振时，它在35MHz左右。如图2所示包括T配置的匹配组件，其包括50Ω、33Ω电阻器与1000pF电容器对电阻之间的中点处的信号地的串联连接，已从实验研究发现对装置10表现良好。图3A的相对高Q因数谐振对应于无水的管道20；作为对照，图3B对应于当管道20包含一定量的淡水时引起的较低Q因数响应。通过当处理来自拾波线圈30C的拾波信号时由处理单元80执行的Q因数的精确测量，装置10能检测管道20内极小浓度的水，例如每一百万分之几(p.p.m)的浓度。图4中也示出装置10非常高的敏感性，图4是一曲线图，其横轴代表管道20内存在的

水分数β，而纵轴给出指示经由拾波线圈30C感测到的线圈30B谐振的Q因数的测得参数(tau,τ)。

[0059] 如后面更详细阐述的那样，通过激励线圈30B以使其谐振，由此藉由根据本发明的Q因数测量提供一种指示，用以确立水合物形成是否可能出现在由线圈30B环绕的区域内。Q因数测量有利地从线圈30B的自然无驱动的Q因数确定，即没有源自激励线圈30A的有限驱动阻抗的干扰。拾取线圈30C有利地配置以对线圈30B表现出高阻抗，并由此对线圈30B的谐振具有可忽略的影响。有利地，激励线圈30A被瞬间地驱动以将线圈30B激励至谐振，然后通过激励线圈30A“开路”允许线圈30B的谐振自然衰减，以使激励线圈30A不影响线圈30B的Q因数，即允许线圈30B表现出其具有固有谐振频率的固有谐振。通过监测线圈30B的固有谐振，可从装置10取得改善的测量精度。在装置10中，线圈30B的Q因数测量可以连续驱动方式执行或者以脉冲谐振激励方式执行，或者通过采用这些测量技术的混合来执行。

[0060] 装置10提供一种优势，即其脉冲激励工作方式使发生器50和数据处理器80空间上远离管道20及其相关线圈30A、30B、30C和可选择的传感器配置100地定位。当管道20需要工作在对与数据处理器80和发生器50相关的电子组件不友好的温度下时，这种灵活性是非常有利的。装置10容易在大范围的场合下被利用。例如，装置10可用于洋底水合物处理设备、隔油罐、下方井眼和与气候改变碳税基金设施相关的二氧化碳捕捉和隔离系统、化学工业、空间探测和类似物。下面将更详细地描述装置10中应用的测量方法。

[0061] 要理解，装置10不作用以直接地测量水合物沉积的存在，而是能够基于导电率、温度和压力的测得状态结合确定管道20中存在的水浓度提供水合物沉积形成(水合物冰晶)的可能性的指示。可选择地，发生器50工作以借助作为周期性单脉冲的替代的重复突发的多个脉冲激励线圈30A；结合在线圈30B中激励较高次谐振的下降趋势，该突发激励允许相对于装置10中出现的电子产生的噪声取得更好的信噪比(S/N)。

[0062] 在图1中，外缘遮掩屏蔽物40在上文中描述为由铝制成。替代地，遮蔽物40由可辨类型的钢制成，这种钢能够忍受装置10在运输和操作期间可能遇到的气体和液体。管道20的外表面和遮蔽物40之间的区域有利地用机械强健的绝缘材料来填充，这种绝缘材料表现出大约为1的相对磁导率，例如线圈30A、30B和30C有利地被适当封装(即密封)在烃聚合物材料树脂中，例如环氧树脂或聚氨酯材料。可选择地，遮蔽物40包括玻璃纤维、碳纤维或例如由不锈钢制成的其它强聚合物结构成份，它们能忍受管道20内的压力并由此使仪器10结构性地在管道20在工作中断裂的不太可能的事件中生存。

[0063] 再次参见等式1(式1)，装置10工作以测量其性质一般不为人所知的微妙特性。例如，图4曲线中的结500不是测量不精确，而是由于极化水分子组的自发瞬时对准产生的真实松弛效应，从而形成比单独水分子的偶极矩大许多量级阶次的较大瞬时偶极矩。这种较大的偶极矩是在冰晶形成中观察到的。在图5中示出随着管道20内的盐溶液的比例变化与由线圈30表现出的Q因数相关的曲线图。横轴400表示管道20内存在的盐溶液的百分比而纵轴410表示线圈30B谐振的时间常数tau,τ；线圈30B的Q因数Q直接易于从时间常数tau,τ计算出。在图5中观察到，最小Q因数出现在0.5%左右的盐比例β下，它在0.5%以下(即低于5000ppm)具有高敏感性，其中使用装置10可获得几十p.p.m以内的盐溶液存在分辨力。

[0064] 在图6中示出装置10对管道20内盐溶液的响应，其中横轴500表示存在于管道20内的盐溶液中的盐的百分比重量，而纵轴510表示时间常数tau,τ。线圈30B的谐振特性在存在

于与最大Q因数对应的溶液中的3％左右盐(氯化钠,NaCl)重量处表现出独特的峰520;随着盐百分比高过3％而减小,这是由于溶液的导电率增加;并由于由水分子的自发瞬时极化对准以形成大的有效偶极矩造成的前述松弛效应在低于3％的浓度下也下降。在0%盐重量含量和3％盐重量含量之间增加盐含量妨碍了水分子借助氯原子遮蔽高度极化的氢原子(质子)形成大的瞬时有效偶极矩的自发联合,由此导致Q因数相应地逐渐增大。图5和图6均示出在零附近快速改变的测量特性,它赋予装置10用以追踪淡水或盐溶液量的极好测量特性。这种测量特性很适于识别在那里存在形成可能阻塞管道的水合物沉积的潜在危险的状态,例如在离岸气生产和加工设施中。

[0065] 在图7中,示意地示出装置10中出现的噪声源。这些噪声源影响到可测量线圈30B的Q因数的精度。当其包围区被干燥的气填满时,线圈30B中的Q因数是最大的;这合宜地被表示为Q_{dry}($Q_{干}$)。当微量的净水或盐水被引入到环绕区内时,线圈30B的Q因数减小;这合宜地被表示为Q_{wet}($Q_{湿}$)。Q因数Q_{dry}受温度T影响,例如由于线圈30B随温度T改变的绕组电阻。因此,等式1(式1)中固有的是如等式3(式3)中描述的减函数。

[0066] $w=F((Q_{dry}(T)-Q_{set}(T)),f_r,T,\sigma,P)$ 式3

[0067] $Q_{dry}(T)$可通过精确的测量来确定。$Q_{wet}(T)$在将装置10用于实践时予以确定。要理解,Q_{dry}和Q_{wet}可以是相对大的数,例如在100或更大的数量级,并因此需要被测量至高精度以检测水的存在直至p.p.m数量级下的敏感性。这种精度受当使用时在装置10中出现的噪声和漂移效应的影响。

[0068] 在图7中,出现在装置10中的噪声源包括第一噪声源600,该第一噪声源600影响Q因数,这起因于由线圈30B包围的管道20所围绕的空间区内的流体紊乱。这种流体紊乱在图3A和图3B中示出的信号衰减的时间周期内是拟常数的(quasi-constant),但它在例如几秒或几分钟的监测周期内从线圈30B的Q因数的一次测量至其另一次测量将会改变。出现在从拾波线圈30C接收信号的电子放大器610中的电子噪声E1出现,但却是相对恒定的;然而,电子噪声E1受放大器610的工作温度影响。有利地,放大器610通过珀耳帖元件或低温引擎冷却以减小其电子噪声E1。从放大器610接收输出信号的数字电子电路620造成电子噪声E2,例如量化噪声,这种噪声有利地通过组件的适宜设计选择来减小,例如通过利用高分辨力ADC组件以将来自放大器610的经放大模拟信号转换成相应的数字采样数据。噪声源630、640、650各自关联于导电率测量、温度测量和压强测量并可源自侵蚀(即漂移效应)、电化学效应以及电子组件的老化。在实践中,噪声源600占主导地位并有利地需要针对根据本发明的测量技术的新方法以当检测到管道20内存在水时获得p.p.m测量精度结果。

[0069] 线圈30B的谐振Q因数的测量有利地使用如图8所示的电路来执行。该电路由700一般地表示并包括:门控锁相环(PLL),该门控锁相环包括前述放大器610,用于从拾波线圈30C接收信号;检相器710,用于接收放大器610的输出信号S_1;相位积分器720,用于接收检相器710的相位误差输出信号S_2,其中相位积分器720设有关联的门控开关730,用于在需要时锁存积分器720的输出信号S_3;压控振荡器(VCO)740,其受相位积分器720的输出信号S_3控制;驱动放大器750,用于从振荡器(VCO)接收输出信号S_4;以及开关760,用于接收驱动放大器750的输出信号S_5并耦合至激励线圈30A。还包括微处理器800,用于将相位基准信号Φ_k提供给检相器710,用于将门控信号G提供给开关730、760,并用于接收信号S_1。微处理器800工作以执行记录在机器可读数据存储介质上的软件产品,从而产生指示由装置10测得的水含

量的输出。

[0070] 相位积分器720或者通过模拟组件或者数字地实现，并设有开关730以暂时地保持积分器720的输出信号S_3恒定，由此暂时地保持信号S_4的输出频率恒定。可选择地，振荡器740合成信号S_4的正弦波且其输出是从稳定高频基准取得的，例如从构成振荡器720一部分的高稳定性石英晶振取得。

[0071] 在工作中，电路700以两种模式下发挥作用，即第一激励模式和第二测量模式。在第一激励模式下，振荡器730被扫描以寻找线圈30B的驱动谐振频率ω_0，然后通过微处理器800调节相位信号Φ_K以使信号S_1的振幅被调节至其最大振幅；这发生在开关760闭合时以将信号S_5耦合至激励线圈30A。当取得信号S1的最大振幅时，线圈30B在其驱动谐振频率ω_0下谐振。

[0072] 此后，电路700工作在其第二模式，其中振荡器730通过使用由微处理器800控制的开关730被锁定在频率ω_0；可选择地，振荡器740的频率略微向下地调整至其自然的无驱动谐振频率ω_n的估值，即当线圈30A、30C效果上开路时。微处理器800然后使用优选地在频率ω_n下的一个或多个脉冲、经由开关760向激励线圈30A提供脉冲激励，并因此激励线圈30B，随后断开开关760，以使线圈30B在频率ω_n下表现出固有谐振，其衰减包络类似于图3A和图3B中所示的情形，可使用微处理器800从中得出Q因数的测量以在例如图3A和图3B所示的衰减包络期间数字化和分析信号S_1。跟随以第二模式的第一模式有利地在一时间段内实现，在这段时间内图7上的噪声源600是拟常数的。

[0073] 图9示出线圈30B的驱动谐振频率ω_0相比固有谐振频率ω_n之间的差。沿纵轴830表示信号S_1的振幅而沿横轴820表示信号S_5的驱动频率。

[0074] 通过多次地重复第一模式立即紧随第二模式，在测量时间段期间获得一系列Q因数测量Q_1,...Q_m。由于在管道20内出现的紊乱噪声和前述的电子噪声，这一系列Q因数一般落在由微处理器800计算出的如图10所示的高斯钟形出现频率分布内。横轴900表示从信号S_5近似确定的谐振频率，而纵轴910表示在由g(Q)表示的Q参数Q_1,...Q_m的样本中的给定Q因数的出现频率。在所示结果中，微处理器800通过对一系列测得的Q因数执行分析处理来确定应用于等式1(式1)的最具代表性Q因数，如现在将要描述的那样。

[0075] 在由微处理器800执行的信号处理中，由920、930表示的较低和较高的结果有利地被忽略，即截去，并利用处于区域940内的更中央Q因数结果来得到应用于等式1(式1)的Q因数的可靠测量。例如，较高和较低的结果920、930对应于图10的Q因数分布的较高和较低四分位数。在第一处理方法中，将区域940内的结果求平均以得到Q因数在线圈30B的固有谐振频率ω_n下的代表值。在替代的第二处理方法中，区域940中的Q因数结果经历一次或多次自相关，这些自相关非常精确地定义在自相关峰值下的Q因数的最佳测量。通过这一方法，仪器10的微处理器800能够将线圈30B的Q因数的代表值确定至极端的精度，这在随后允许使用等式1(式1)将线圈30B附近的管道20中存在的水分数测量至可能的p.p.m精度。

[0076] 总地来看，电路700有利地工作以测量线圈30B在固有谐振ω_n下的Q因数，并随后处理对应的Q因数测量以去除随机误差，这进而使等式1(式1)利用在高精度下以确定管道20中存在的水分数，例如可能达到p.p.m精度。

[0077] 作为一种替代，能以其它方式利用电路700以测量线圈30B的Q因数。例如，可调节电路700以寻找线圈30B在频率ω_0下的驱动峰值谐振，然后通过微处理器800施加藉由相位

控制Φ_k提供的相位调整以在低于和/或高于线圈30B的谐振的相位间隔之间切换，例如对应于-3dB点和所获得的对应Q因数测量Q_1,...Q_m，它们随后如前述地被选择地处理以校正随机影响以得到在等式1(式1)中利用的Q因数的最终测量，用以计算管道20中存在的水分数w。这种连续的非脉冲测量示出于图11，其中横轴950表示相位而纵轴960表示信号S_1的振幅，例如分别与-45°、0°、+45°的工作控制相位对应的-3dB、0dB、-3dB点，其中-45°、0°、+45°的工作控制相位分别与激励频率ω_1、ω_0、ω_u对应；线圈30B的Q因数的测量可从频率ω_1、ω_0、ω_u容易地计算出。

[0078] 根据前面的内容，将理解仪器10测量水含量直至p.p.m精度的操作需要正确地设计线圈30B连同采用先进的信号处理技术来减小误差源，由此能得到高度可靠和精确的Q因数测量，从中能精确地和可靠地计算出存在的水分数w。

[0079] 对前述本发明的实施例的修正是可行的，而不脱离如所附权利要求书定义的本发明的范围。用来描述本发明和要求其保护范围的诸如“包括”、“包含”、“含有”、“由……构成”、“具有”、“是”的表达旨在以非排他方式解释，即允许未明确描述的项、组件或要素也存在。对单数的引述也可解释成复数的。包含在所附权利要求书的括号中的数字旨在帮助理解权利要求书并且在任何情况下不应当解释成对这些权利要求书要求保护的主题事项构成限制。

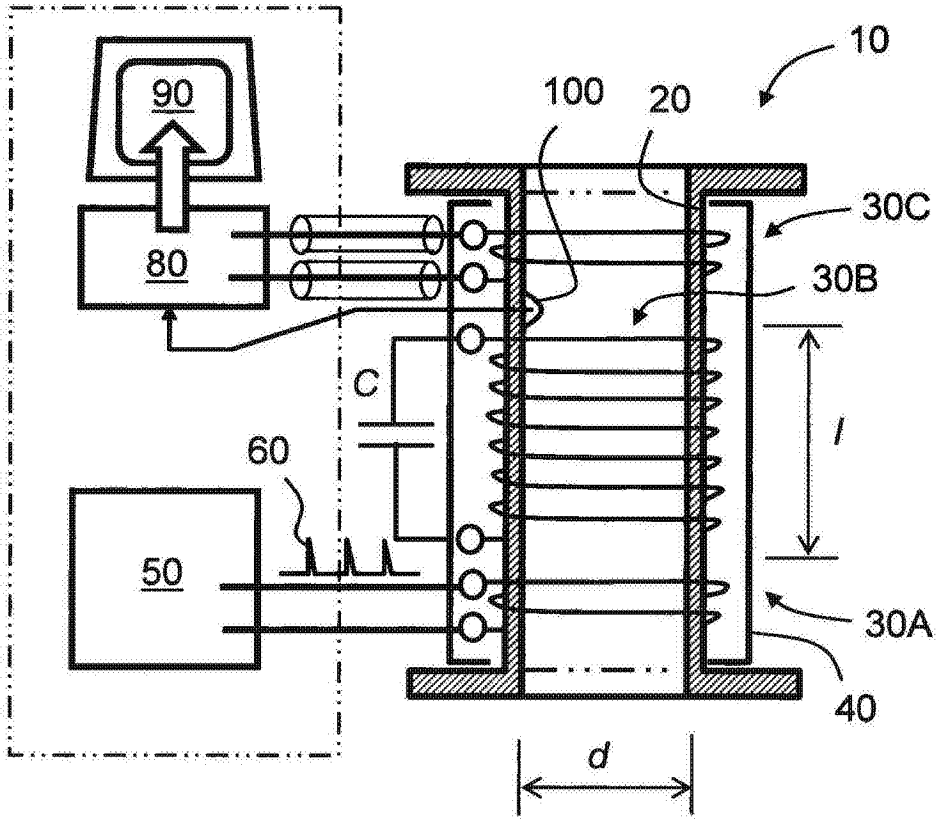


图1

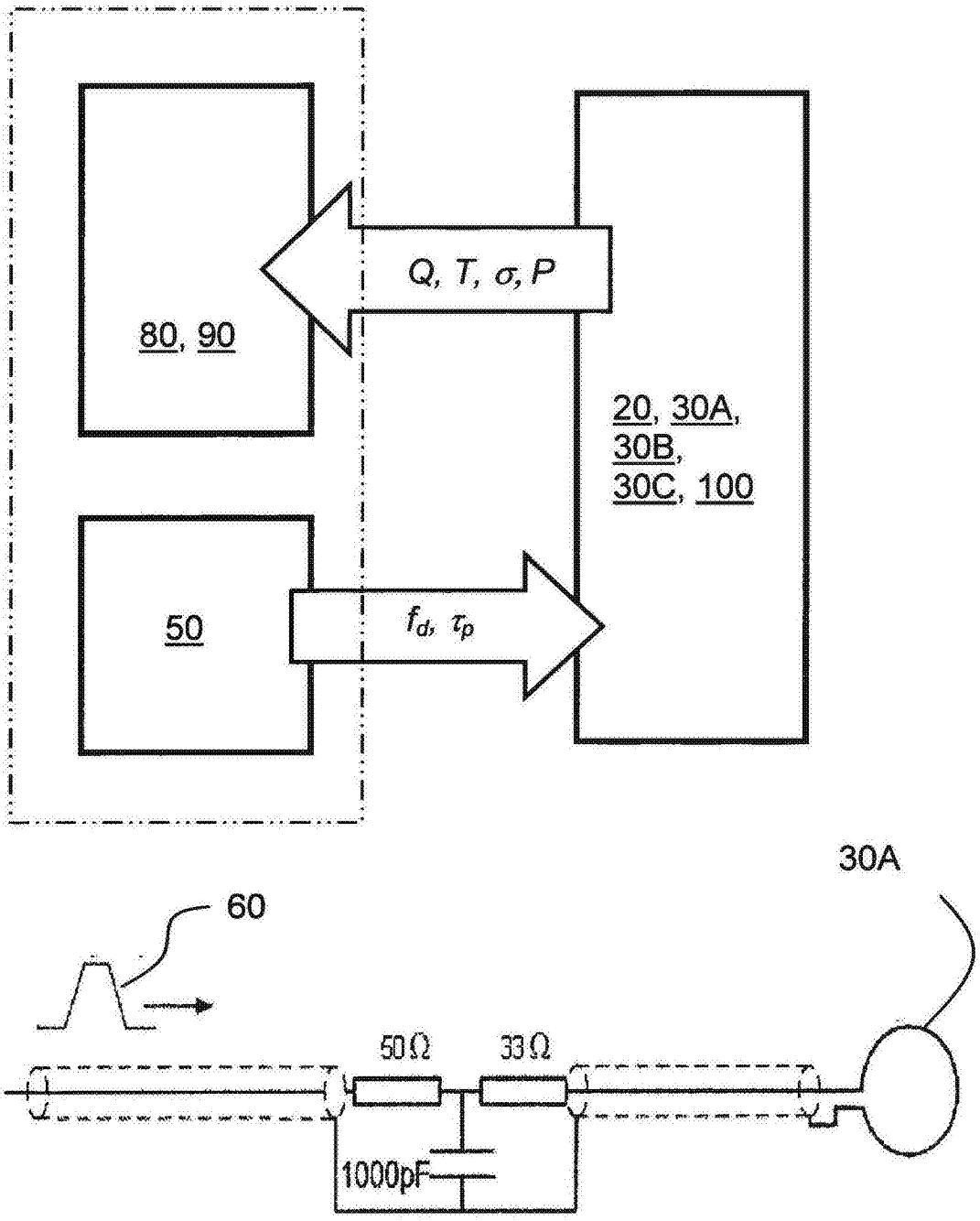


图2

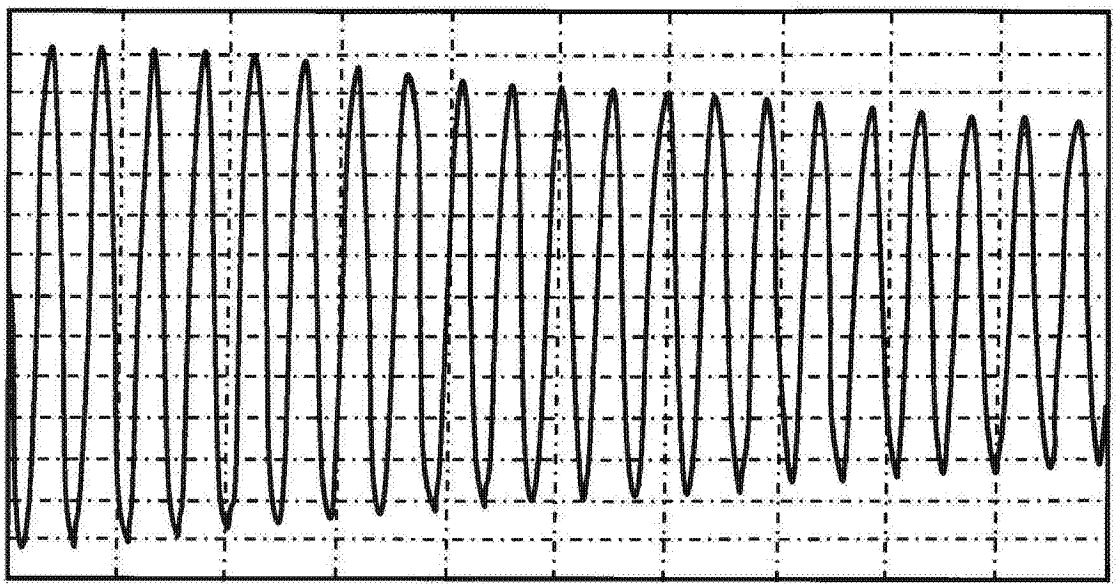


图3A

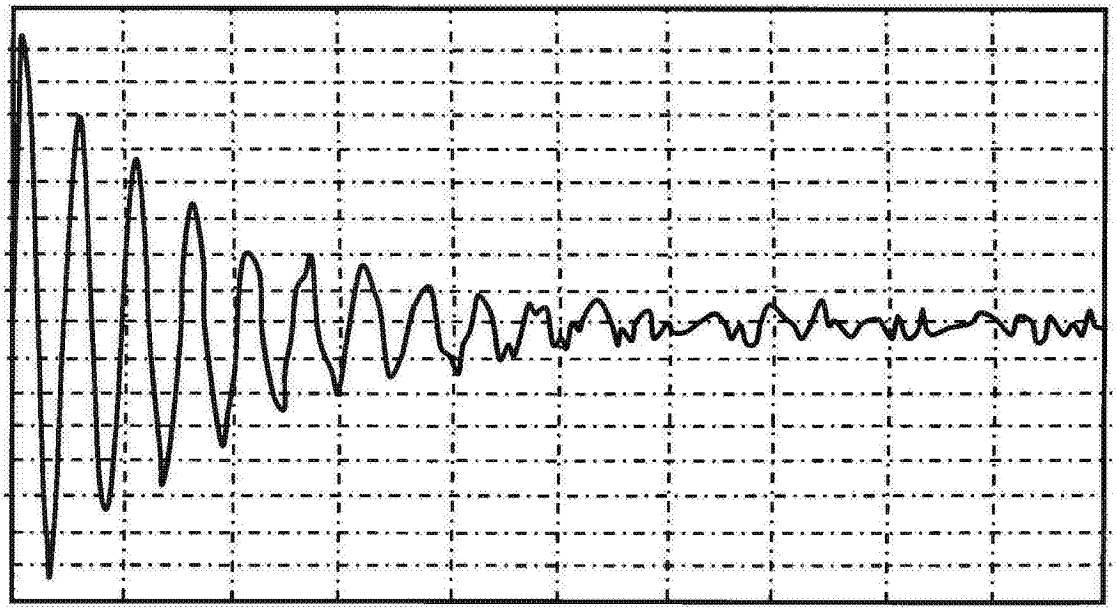


图3B

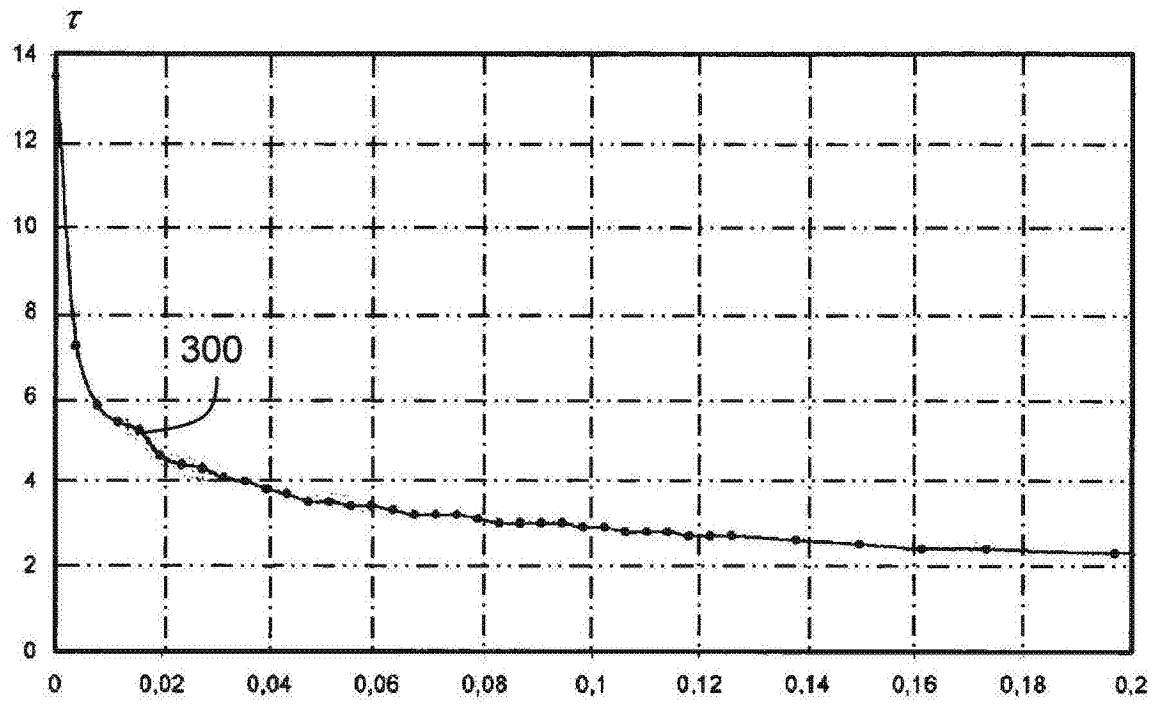

τ
14
12
10
8
6
4
2
0
300
0
0,02
0,04
0,06
0,08
0,1
0,12
0,14
0,16
0,18
0,2

图4

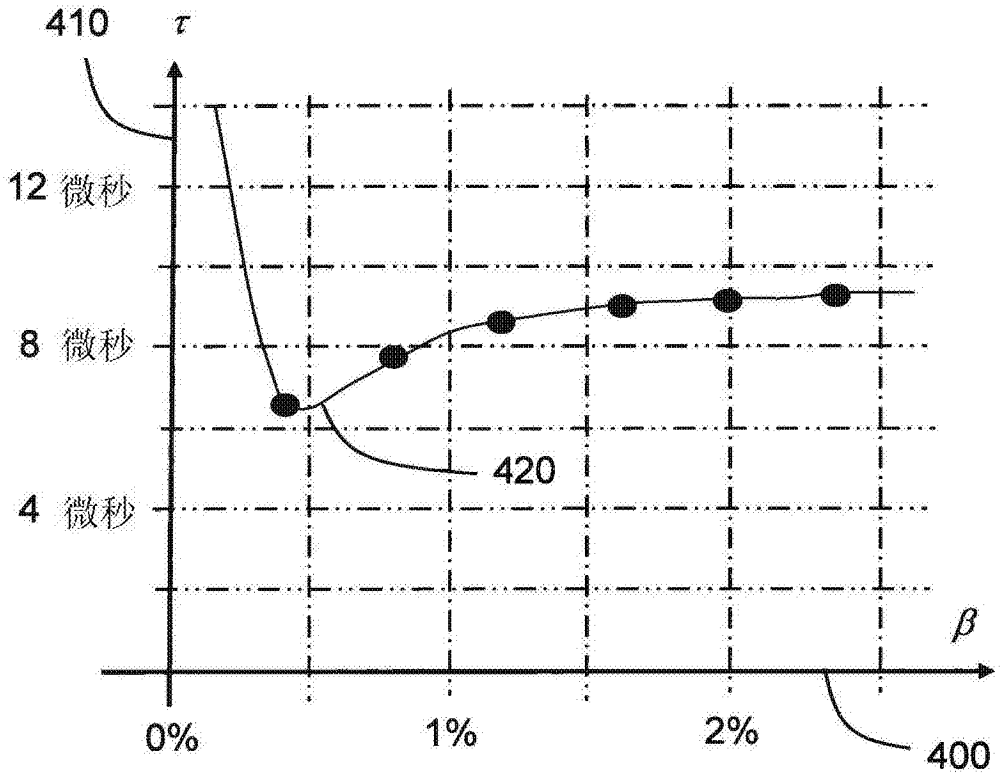

410
τ
12 微秒
8 微秒
4 微秒
420
β
0%
1%
2%
400

图5

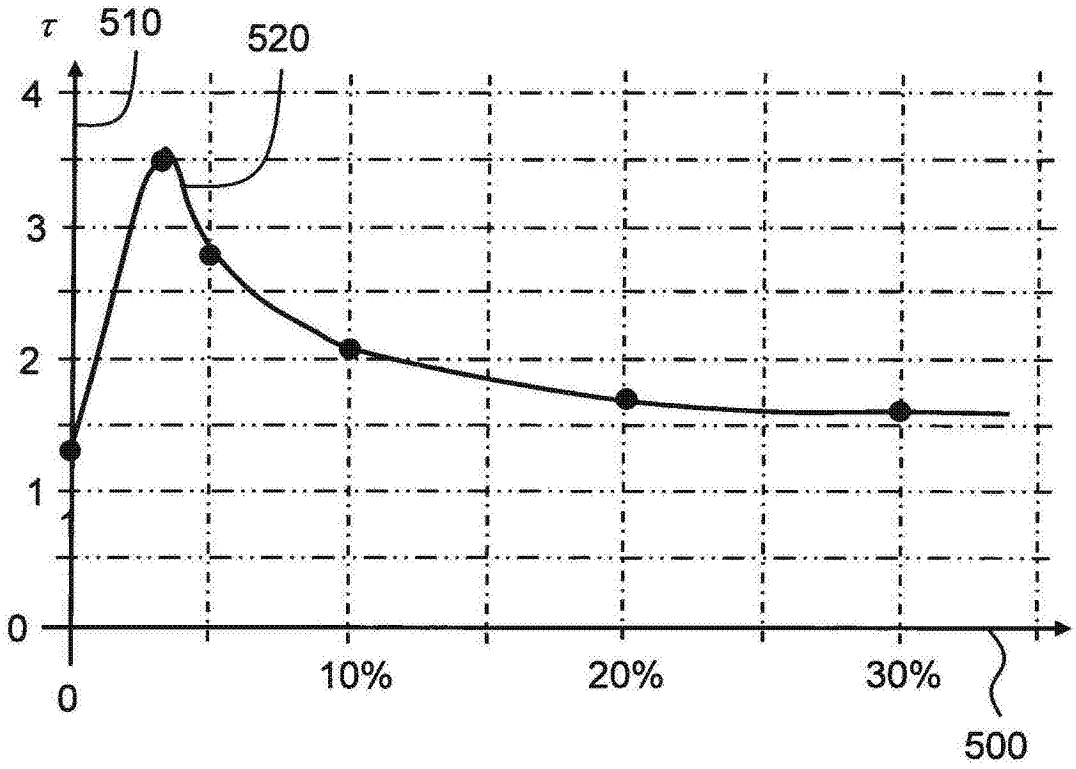


图6

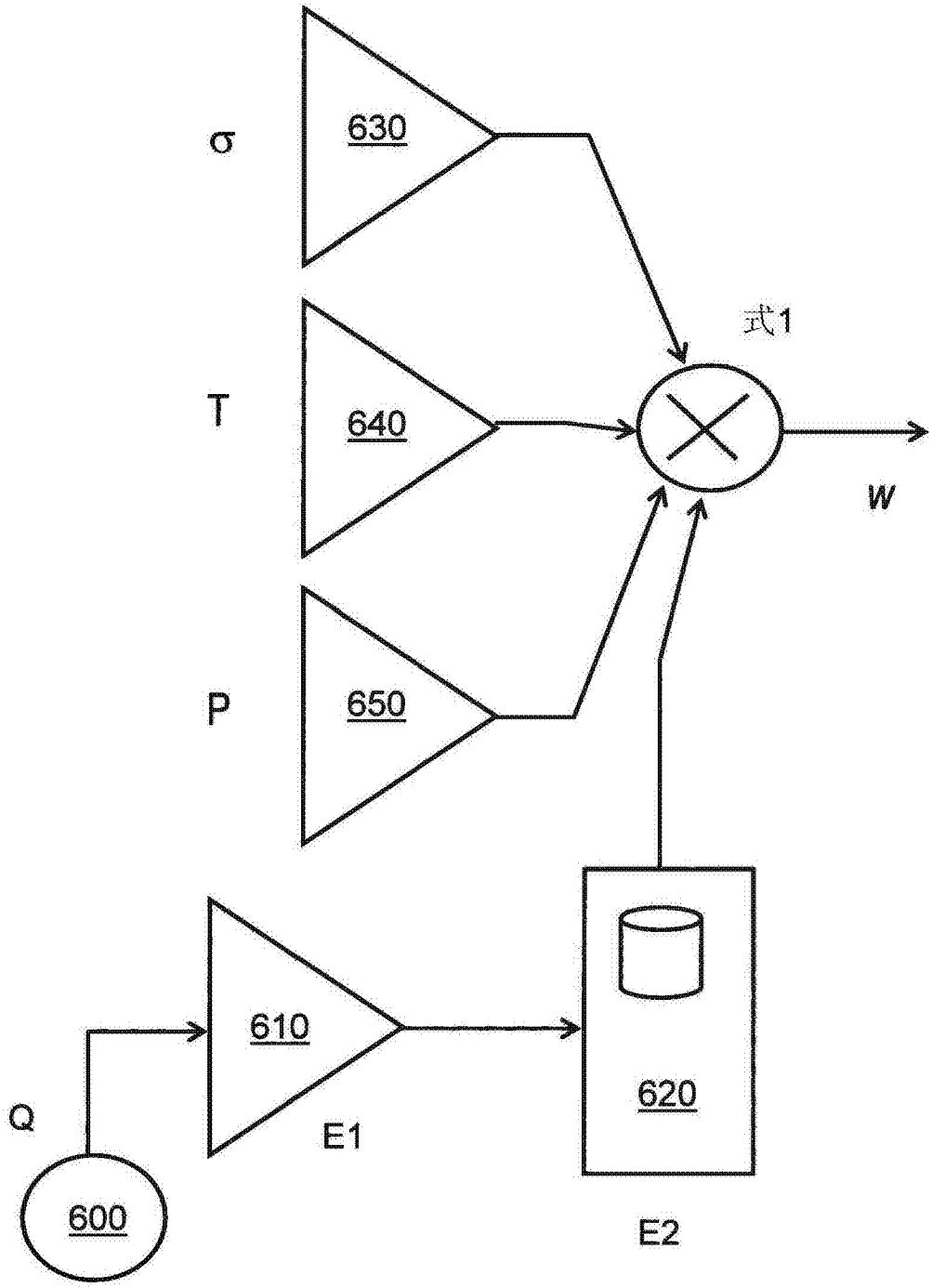


图7

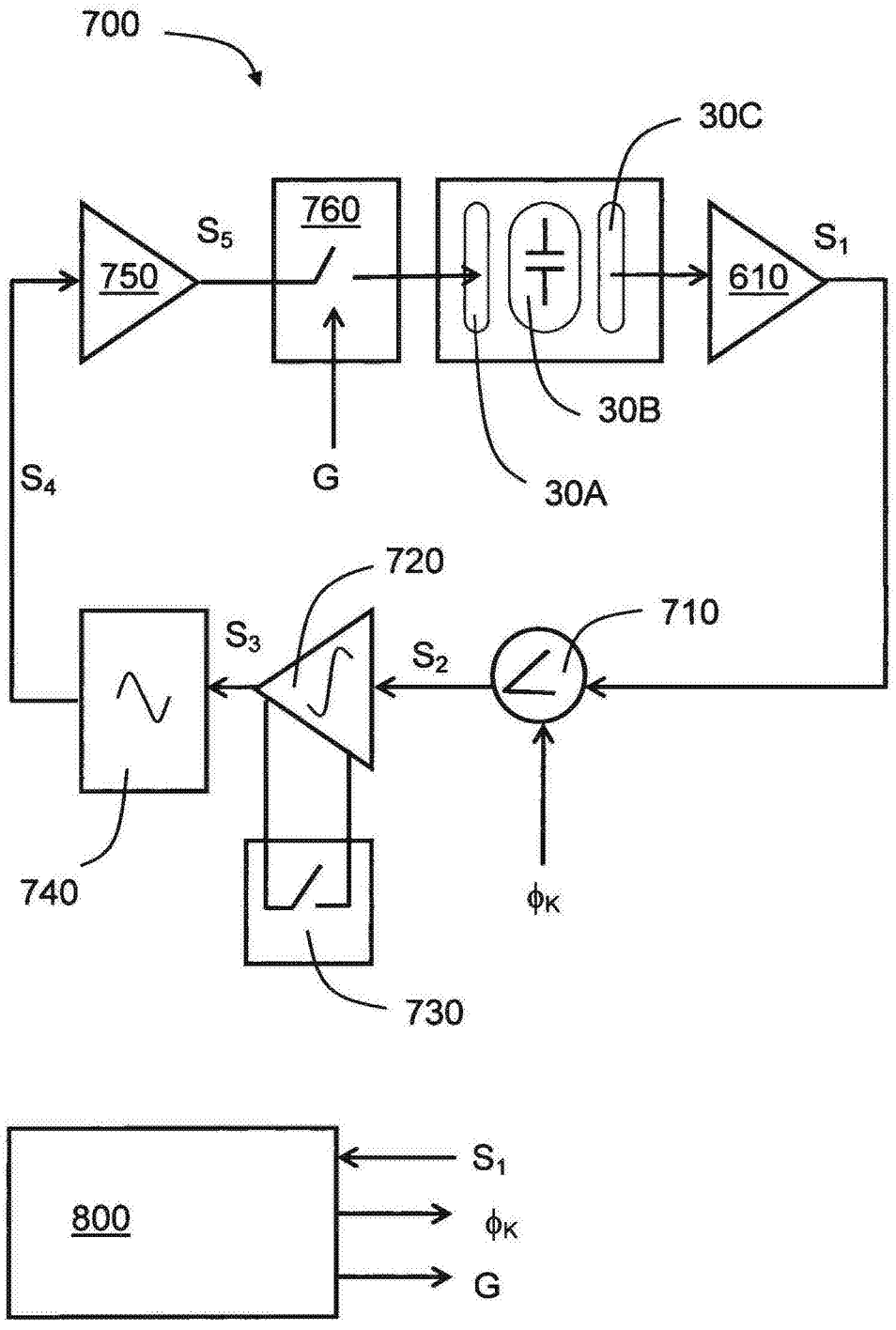

700
30C
760
S5
750
610
S1
30B
G
30A
S4
720
710
S3
S2
740
ϕK
730
800
S1
ϕK
G

图8

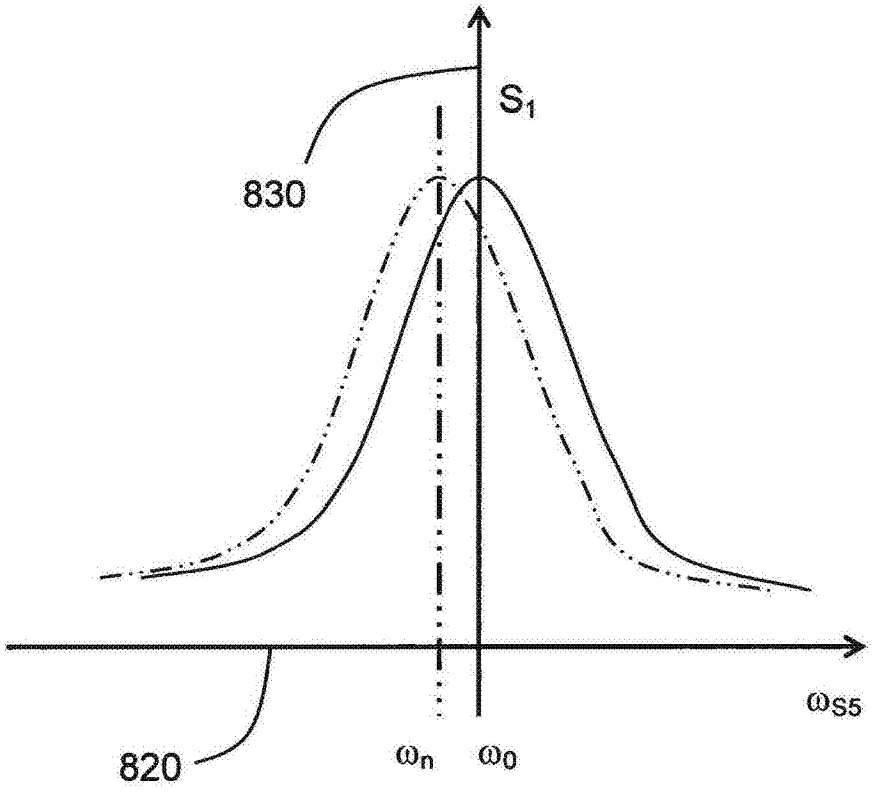


图9

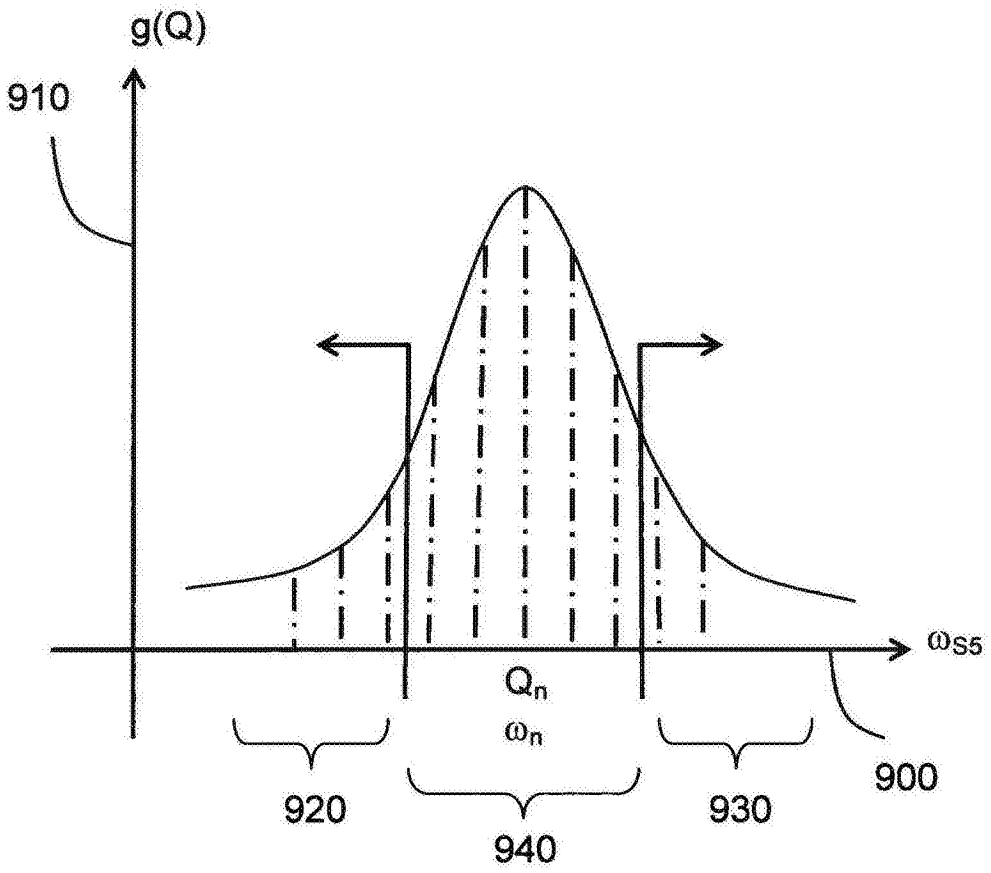


图10

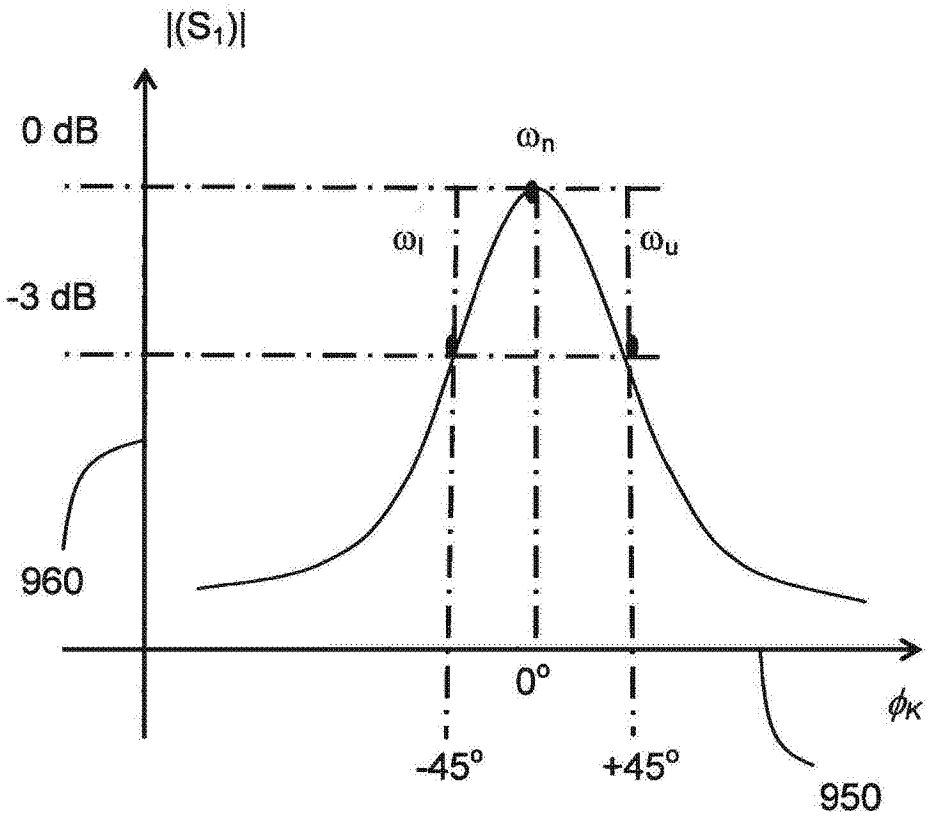


图11