(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 102421664 B
(45)授权公告日 2014.05.28

(21)申请号 201080021361.4
(22)申请日 2010.05.07
(30)优先权数据
0953202 2009.05.14 FR
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2011.11.14
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2010/050881 2010.05.07
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2010/130925 FR 2010.11.18
(73)专利权人 塞佩姆股份公司
地址 法国蒙蒂尼勒布雷顿纽克斯
(72)发明人 阿兰·盖里耶
(74)专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司 72003
代理人 姜燕 郑特强
(51)Int.Cl.
B63B 25/14(2006.01)
B63B 25/16(2006.01)
B63B 39/00(2006.01)

(56)对比文件
JP 3209272 B2,2001.09.17, 全文.
CN 201060026 Y,2008.05.14, 全文.
CN 1906080 A,2007.01.31, 全文.
王德禹. 三自由度晃荡模拟装置及其模态分析. 《海洋工程》.2000, 第18卷(第4期), 第94-96页.
Na Ri-sa et. al..Simulation of Sloshing and Structural Response in VLCC Tanks. 《船舶力学》.2007, 第11卷(第6期), 第879-887页.
甘辉兵等. 基于PLC的船舶阀门遥控及液位遥测系统的设计与实现. 《大连海事大学学报》.2007, 第33卷(第S2期), 第149-151页.
刘喜元等. 船舶液体舱液位遥测方法及数据分析. 《船海工程》.2005,(第4期), 第10-12页.
马坤等. 舰船自由液面对稳性曲线修正的实时计算. 《中国舰船研究》.2006, 第1卷(第1期), 第54-57、80页.

审查员 兰放

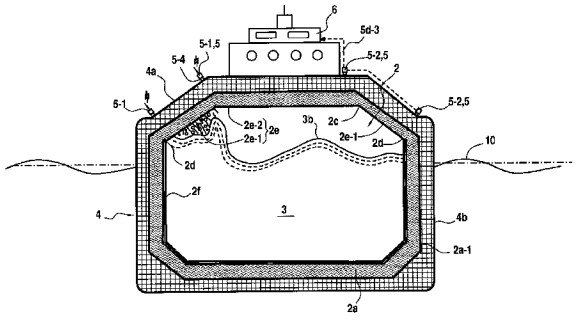
权利要求书3页 说明书15页 附图9页

(54)发明名称

配备有用于检测液体自由表面运动的装置的浮式支撑物或船

(57)摘要

本发明涉及用于运输或储存由液化气组成的液体(3)的船或浮式支撑物(1),液化气优选选自甲烷、乙烯、丙烷和丁烷,并被冷却在至少一个大型罐(2)中,优选是具有多边形截面的圆筒罐,罐(2)优选是绝热(2a)的并具有大尺寸,至少其最小尺寸在水平方向,特别地其宽度大于20m并优选在25m至50m的范围内,体积大于10000m^3,所述大型罐2由承载构造(11)支撑在船的壳体(4)内,船的特征在于,其包括多个用于检测所述大型罐内液体晃动的装置,这些装置在下文中被称为"信标"(5.5-1.5-T),其包括:a)振动加速度计型振动传感器,能够测量所述大型罐的壁或固定所述大型罐的船的所述壳体的壁(4a,4b)的作为时间(t)的函数的振动运动的加速度(g)的振幅;以及b)电子处理器单元,包括能够处理所述振动传感器(5a)测量的所述信号的微处理器和集成存储器,以便至少消除船特有的背景噪声;以及c)传输所述信号的设备,优选在信号经由所述电子处理器单元处理后,将信号传输到优选在船的架桥上的中央处理器或监控器单元(6)。



CN 102421664 B

1. 一种用于运输或储存由液化气组成的液体(3)的船或浮式支撑物(1),液化气被冷却在至少一个大型罐(2)中,所述大型罐(2)是绝热系统(2a)并具有大尺寸,至少其最小尺寸在水平方向,特别地其宽度大于 20m,其体积大于 10,000m^3,所述大型罐(2)由承载结构(11)支撑在船的壳体(4)内,所述船的特征在于,其包括多个用于检测所述大型罐内液体不平度的装置,所述装置以下被称为“信标”(5、5-1、5-2),并且所述装置包括 :

a)振动加速度计型振动传感器(5a),适用于测量所述大型罐的壁或所述船不接触海水的壁的振动运动的作为时间(t)的函数的加速度(g)的振幅,所述船的所述壁包括所述船的甲板(4a)或者所述船的内部结构的壁(2a-1),所述传感器紧固在所述大型罐外侧的所述壁上 ;以及

b)电子计算单元(5b),具有微处理器和集成存储器,适用于处理所述振动传感器(5a)测量的信号,以便至少从中消除所述船特有的背景噪声,并且以便于通过将以这种方式处理的所述信号的值与预先确定的阈值比较来检测所述大型罐内液体的运动,超过所述预先确定的阈值则液体自由表面(3)的不平度就被认为构成了有害地使得所述壁变形并损坏所述壁的风险 ;以及

c)数据传输设备(5d),用于在所述信号已经被所述电子计算单元处理后将所述信号传输到监控器或中央单元(6)。

2. 根据权利要求 1 所述的船或浮式支撑物,其特征在于,每个所述信标包括 :

适用于执行由以下步骤组成的信号处理步骤的所述电子计算单元 :

1.1)实时使用傅里叶变换来处理由所述振动加速度计型振动传感器(5a)在步骤 a)中测量的所述壁的作为时间(t)的函数的加速度(g)的振幅的变化的信号,以便计算给定时间周期 Δt 上步骤 a)中获得信号的振动波的作为频率(F)的函数的加速度(g)振幅的变化,然后计算能量谱密度和 / 或功率谱密度 ;

1.2)对信号滤波以从中消除缘于所述船特有的振动的背景噪声 ;然后

1.3)计算通过对步骤 1.1)测量并经过步骤 1.2)滤波后的作为频率(F)的函数的加速度(g)的振幅的变化进行反向傅里叶变换而获得的最大时间加速度值,并计算最大能量谱密度(e_1、e_2)的值和 / 或最大功率谱密度(P_0)的值,并计算在步骤 1.2)的滤波之后分别是在步骤 1.1)执行的能量谱密度测量和 / 或功率谱密度测量的谱能量值和谱功率值 ;以及

1.4)将所述步骤 1.3)的最大时间加速度值与所述最大能量谱密度值(e_1、e_2)和 / 或所述最大功率谱密度值(P_0)以及所述谱能量值和谱功率值分别与各自的预先确定的阈值(S1、e_{max}、p_{max})比较,从所述预先确定的阈值起所述液体自由表面的不平度被认为构成了使所述壁损害变形或恶化的风险 ;以及

适用于被所述电子计算单元(5b)激活的所述传输设备(5d),并且所述传输设备(5d)适用于传输所述最大时间加速度值,并且如果至少一个所述信标达到所述步骤 1.4)的所述阈值,则步骤 1.3)的所述最大能量谱密度值(e_1、e_2)和 / 或最大功率谱密度值(P_0)以及所述谱能量值和谱功率值分别被传输到中央单元(6),所述中央单元(6)用于收集所有所述信标(5)传输的数据,所述值被传输到用于收集所有信标传输的数据的所述中央单元。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的船或浮式支撑物(1),其特征在于,所述振动加速度计型振动传感器(5a)是压阻式加速度计型振动传感器(5a)。

4. 根据权利要求 1 所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述传输设备包括天线

(5d-1)和适用于将所述计算单元(5b)提供的电信号转换成无线电波的收发机(5d-2),所述无线电波从天线(5d-1)传输。

5. 根据权利要求 1 或 4 所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述传输设备(5d)包括有线传输设备,所述有线传输设备包括电缆(5d-3),所述电缆(5d-3)连接适用于使信号适合经由所述电缆(5d-3)传输的信号处理接口(5d-4),所述电缆(5d-3)与将来自所述电子计算单元(5b)提供的电信号的所述数据转换为光信号的接口(5d-4)相结合。

6. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一项所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述振动传感器由三轴振动加速度计构成。

7. 根据权利要求 2 或 4 中任一项所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述信标(5、5-1)还包括附加装置(5c),所述附加装置(5c)适用于检测所述船(1)特有的运动并适用于触发所述电子计算单元(5b)的激活以由所述信标和船或浮式支撑物的相同罐或其它罐的其它信标的其它电子计算单元(5b)执行所述步骤 1.1)至 1.3)和 2)的处理,触发所述电子计算单元的激活是从所述船的运动振幅的预先确定的阈值起发生。

8. 根据权利要求 7 所述的船或浮式支撑物,其特征在于,用于检测所述船的运动的所述装置(5c)是摆动式倾斜计或惯性单元,适用于确定所述船或浮式支撑物的所述壳体的侧壁(4b)的倾侧角,所述阈值是相对于垂直方向至少 5° 的倾侧角。

9. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一项所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述电子计算单元(5)适用于从测量到作为时间的函数的加速度(g)的振幅阈值起被激活。

10. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一项所述的船或浮式支撑物,其特征在于,每个所述信标(5、5-1)由蓄电池或超级电容器组成的电源设备(5e)供电,或者是由锂一次电池供电,其为所述振动加速度计型振动传感器(5a)、电子计算单元(5b)和传输设备(5d)以及用于检测所述船的运动的所述装置(5c)供电。

11. 根据权利要求 10 所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述电源设备还包括塞贝克效应热电偶(9-1),其中冷接合点安装在所述罐的冷内壁(2、2f)与所述信标(5)之间,所述信标构成所述热电偶的热接合点,所述热电偶用来产生连续为所述信标供电并连续为所述蓄电池或超级电容器(5e)再充电的电流。

12. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一项所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述信标(5、5-1、5-2)固定到所述船的甲板(4a)和 / 或用于支撑并隔离所述船的壳体(4)内的所述大型罐(2)面向所述壳体的侧壁(4b)的壁的所述系统(2a)的侧壁(2a-1),所述信标位于所述大型罐纵向端的角落(2c、2d)附近。

13. 根据权利要求 12 所述的船或浮式支撑物,其特征在于,所述信标被布置为面向由垂直纵向侧壁(2f)、垂直横向壁(2g)与所述大型罐的顶壁(2e)之间的角落形成的二面角(2d),或者面向所述大型罐的顶壁(2e)的相对彼此成角度布置的两个平面(2e-1、2e-2)与所述大型罐的横向垂直侧壁(2g)形成的三面体(2c)。

14. 根据权利要求 1、2 或 4 所述的船或浮式支撑物,其特征在于,它是由老式甲烷罐式运输船改装成的抛锚在固定位置的浮式储存船,其中它的至少一个罐的装载程度是根据其中盛放液体的不平度来确定的,该不平度是由用于检测液体不平度的所述装置(5)检测和计算的。

15. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一权利要求所述的船或浮式支撑物,其中,所述液化气

是选自甲烷、乙烯、丙烷和丁烷。

16. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一权利要求所述的船或浮式支撑物，其中，所述罐是具有多边形截面的圆筒罐。

17. 根据权利要求 1、2 或 4 中任一权利要求所述的船或浮式支撑物，其中，所述船的内部结构的所述壁是支撑所述大型罐的内部结构的一部分的壁。

18. 一种用于检测根据权利要求 1 至 17 中任一项所述的船的一个或多个罐内液体自由表面不平度的方法，所述方法的特征在于，所述方法包括以下连续步骤：

1）在所述船的运动达到阈值时激活所述电子计算单元之后，执行所述信号处理；以及

2）执行在步骤 1）从所述电子计算单元（5b）获得的值到所述中央单元（6）的所述传输。

配备有用于检测液体自由表面运动的装置的浮式支撑物或船

技术领域

[0001] 本发明涉及用于运输或储存大量液体并配合一个或多个用于检测大容量储存器或运输船的罐内的液体自由表面运动的装置。

[0002] 更具体地，本发明涉及低温运输船，其用于运输液化天然气 (LNG) 或液化甲烷，或者其他维持在非常低温度的液态的气体，例如丙烷、丁烷、乙烯，或者任何其他液化态密度小于水的密度并且以液态非常大量地运输且基本上是在大气压下被运输的气体。

背景技术

[0003] 在接近大气压的气压下运输的液化气需要被冷却到较低温度，以便维持液态。然后将其储存在球形或圆筒形的非常大的罐中，优选罐的横截面为多边形，且特别地罐基本上是长方体的形式，所述罐被彻底绝热，以便限制气体蒸发，并以便维持船的结构钢在可接受的温度。一般情况下，这种船在满载 (95％ -98％) 或罐的底部有少量气体残余 (3％ -5％) 时行进，以便保持罐和隔离系统永远是冷的，由此使它们能够更迅速地再装满，并因此避免了使罐逐渐 (即缓慢) 下降到低温并因此耗费操作时间的任何需要。

[0004] 因为与气体关联的危险和关联的爆炸风险，这种船极难操作。因此，由于最微小的火花都会导致爆燃的风险，并且这样的火花可由金属制件之间的碰撞、仅仅是由开关或者实际上是由在超过给定阈值的功率级的无线电传输来生成，所以在船上出现的所有技术仪器均需要符合极其严格的标准。所有那些限制都是关于非常严格的标准，并且仪器必须符合 ATEX 标准下的条件，即本领域技术人员已知的爆炸性环境标准。

[0005] 在航行中，罐的容纳物的表现得像有自由表面的液体，在罐内能够出现被称为“晃动 (sloshing)”的破碎涌浪现象，并可能变得非常激烈，特别是在波浪拍打罐的垂直壁时，以及特别是在波浪进入两个垂直壁与所述罐的顶部之间的汇合处形成的三面体时。这种现象对有关的液体粘性非常低 (小于水) 的事实特别敏感。

[0006] 不但在海上大风大浪时，而且甚至在海上几乎平静无波时，如果液化气货物随着船受到的涌浪生成的刺激而共振，则即使是小幅度的刺激，这些现象也会有出现在甲烷罐船和已知为浮式生产储存卸货 (FPSO) 船的抛锚的储存船上的风险。如果共振，则晃动可能变得非常激烈，并当波浪拍打垂直壁或进入角落时，存在损坏用于密封液化气的系统的风险或损坏紧接所述密封系统之后呈现的隔离系统的风险。

[0007] 晃动现象甚至能够在大海相对平静的条件下发生，但是通常它们仅在非常特定的装载程度下出现，各自伴随着当罐处于一些特定装载程度时会带来变危险的风险的涌浪有效振幅 (significant amplitude of swell) 状态、周期状态、入射角状态、船的压舱状态……。

[0008] 因此，本发明的问题是通过检测在出现所述晃动之前发生的现象，预报用于运输或储存液化气 (特别是液体甲烷或“LNG”) 的船的罐内涌浪破碎的晃动式现象。在以下描述中，术语“LNG”用来指代液态甲烷，即液化天然气，而气态被称为“甲烷”或“气体甲烷”。

[0009] 揭示在出现这种晃动之前发生的这些现象的出现使得船的船长能够改变船的行为，在适当的情况下例如通过改变其方向或速度，以便衰减可导致损坏船完整性的晃动的共振效果。按相同的方式，对于配合有静态或动态衰减晃动的设备（例如外鳍片或主动压载系统）或者实际上直接并入了所述船的罐的衰减设备的船，揭示晃动前兆现象的出现使得可以精细地改变或调整所述系统的设定，以便衰减或者甚至消除不希望的现象。

[0010] 本发明人已经尝试了各种用于检测船或浮式支撑物的储罐内液体自由表面运动的装置，但是这些装置的敏感度导致信息没有用，特别是当使用基于测量包含所述液体自由表面的罐的壁内自由区域的检测器装置时，使用声纳（sonar）或超声装置时。

[0011] 这种检测问题是由于，因为极低的温度条件，因而 LNG 的自由表面难以检测，此外，为了能够合适地分析对于引起实质损害晃动发生的风险而言至关重要的区域的自由表面，将需要安装数量相当大的检测器。

发明内容

[0012] 根据本发明，发明人已经实现了适合那些环境的用于检测液体自由表面运动的装置，并特别地基于感测壁的振动（即罐壁的振动传输到的壁）的传感器直接或间接接触所述液体自由表面的原理，检测优选借助测量作为时间的函数的加速度 g 的变化的振动加速计。

[0013] 更精确地讲，用于运输或储存由液化气组成的液体的船或浮式支撑物，液化气优选选自甲烷、乙烯、丙烷和丁烷，并被冷却在至少一个大型罐中，优选是具有多边形截面的圆筒罐，所述大型罐优选是绝热的并具有大尺寸，至少其最小尺寸在水平方向，特别地其宽度大于 20 米 (m) 并优选在 25m 至 50m 的范围内，其体积大于 10,000 立方米 (m^3)，所述大型罐由承载结构支撑在船的壳体内，所述船的特征在于，其包括多个用于检测所述大型罐内液体不平度的装置，所述装置以下被称为“信标”，并且所述装置包括：

[0014] a) 振动加速度计型振动传感器，适用于测量所述大型罐的壁或所述船不接触海水的壁的振动运动的作为时间 (t) 的函数的加速度 (g) 的振幅，所述船的所述壁包括所述船的甲板或者所述船的内部结构的壁，优选是支撑所述大型罐的内部结构的一部分的壁，所述传感器紧固在所述大型罐外侧的所述壁上；以及

[0015] b) 电子计算单元，具有微处理器和集成存储器，适用于处理所述振动传感器测量的所述信号，以便至少从中消除所述船特有的背景噪声，并且以便于通过将以这种方式处理的所述信号的值与预先确定的阈值比较来检测所述大型罐内液体的运动，超过所述预先确定的阈值则液体自由表面的不平度就被认为构成了有害地使得所述壁变形并损坏所述壁的风险；以及 c) 数据传输设备，用于在所述信号已经被所述电子计算单元处理后将所述信号传输到优选位于船的架桥上的监控器或中央单元。

[0016] 术语“船的内部结构的壁”的具体意思是双壳船的船壳的内壁，或者用于支撑和 / 或隔离船壳内的所述大型罐的系统的壁。

[0017] 一旦所述中央单元已经从各信标收集了各项信号数据，则本领域技术人员能够将数据输入到数学模型中，该数学模型传送关于船的行为和 / 或罐的装载程度的建议，所述建议被设计成降低或消除晃动出现的任何风险，即使所述壁损害变形或恶化的任何风险。如以下解释的，当船为运输船时，该建议具体是关于船应当航行的速度和方向；当船为储存

船时，该建议是关于罐应 当被装载的程度。

[0018] 更精确地，每个所述信标包括：

[0019] ●适用于执行由以下步骤组成的信号处理步骤的所述电子计算单元：

[0020] 1.1) 使用优选是实时 FFT 型的傅里叶变换来处理由所述振动加速度计在步骤 a) 中测量的所述壁的作为时间 (t) 的函数的加速度 (g) 的振幅的所述变化的信号，以便计算给定时间周期 Δt 上步骤 a) 中获得信号的振动波的作为频率 (F) 的函数的加速度 (g) 振幅的变化，然后优选计算能量谱密度和 / 或功率谱密度；

[0021] 1.2) 对信号滤波以从中消除缘于所述船特有的振动的背景噪声；然后

[0022] 1.3) 计算通过对步骤 1.1) 测量并经过步骤 1.2) 滤波后的作为频率 (F) 的函数的加速度 (g) 的振幅的变化进行优选为反向快速傅里叶变换 (IFFT) 型的反向傅里叶变换而获得的最大时间加速度值，并计算最大能量谱密度的值和 / 或最大功率谱密度 P_0 的值，并优选计算在步骤 1.2) 的滤波之后分别是在步骤 1.1) 执行的能量谱密度测量和 / 或功率谱密度测量的谱能量值和谱功率值；以及

[0023] 1.4) 将所述步骤 1.3) 的最大时间加速度值与所述最大能量谱密度值和 / 或所述最大功率谱密度值 P_0 以及优选的所述谱能量值和谱功率值分别与各自的预先确定的阈值 S1、e_{max}、p_{max} 比较，从所述预先确定的阈值起所述液体自由表面的不平度被认为构成了使所述壁损害变形或恶化的风险；以及

[0024] ●适用于被所述电子计算单元激活的所述传输设备，并且所述传输设备适用于传输所述最大时间加速度值，并且优选的是，如果至少一个所述信标达到所述步骤 1.4) 的所述阈值，则步骤 1.3) 的所述最大能量谱密度值和 / 或最大功率谱密度值 P_0 且更优选的所述谱能量值和谱功率值分别被传输到优选位于船的架桥上的中央单元 6，所述中央单元 6 用于收集所有所述信标传输的数据，所述值被传输到优选位于船的架桥上、用于收集所有信标传输的数据的所述中央单元。

[0025] 在步骤 1.1) 和 1.3)，借助傅里叶变化转换时间信号的计算以及谱密度和功率计算是信号处理领域的技术人员已知的。类似地，能量谱密度和功率谱密度曲线的积分分别代表的谱能量计算和谱功率计算同样是信号处理领域的技术人员已知的。

[0026] 在步骤 1.4)，与所述阈值相关联的使侧壁变形或损坏侧壁的风险对应于液体自由表面运动中发生的共振现象的风险。

[0027] 通过这样进行，所有的实时计算均由信标内的所述计算单元执行，并且只有计算结果被传递到中央监控器，即紧凑并能够比时间信号更迅速地传输的数据，而时间信号将占用传输设备的全部时间，应当理解，传输设备代表信标能量消耗的主要部分。因此，仅当阈值被超过时才传输信号处理的结果。

[0028] 在步骤 2)，如果所述阈值被达到，则初始在备用状态的所述传输设备被由所述计算单元触发的命令激活。

[0029] 能够理解，所述计算单元包括适用于存储随时间推移从传感器接收的数据的集成存储器，由此使计算单元能够分析自由表面随时间推移的总体行为，特别是当船避难时或在平静水面航行时，即在没有造成液体自由表面移动的风险并因此没有晃动危险时，所述监视与船的摇晃和 / 或颠簸相关，并用来评估液体自由表面没有显著运动的情况下船特有的背景噪声，因此使得可以限定上述阈值。

[0030] 更具体地，所述振动加速计是压阻式加速度计。

[0031] 这种压阻检测加速度计能够获取 0 到 5-10 千赫兹 (kHz) 范围的频率，并且它们具有 3% -5% 量级的测量精度。这种压阻检测加速度计能够特征化全休息状态 (total rest state) 的特性，即零加速度的状态。

[0032] 其他类型的振动加速度计也能够实现，例如使用压电检测、电容检测、电感检测、应变仪、还有其他的加速计。

[0033] 优选地，所述振动传感器由三轴振动加速度计构成。这种三轴加速度计适用于测量壁在空间的三个方向的作为时间的函数的振动振幅。

[0034] 优选地，所述传输设备包括天线和适用于将所述计算单元提供的电信号转换为无线电波的无线电收发机，无线电波从天线传输。

[0035] 在另一实施例中，所述传输设备包括有线传输设备，所述有线传输设备包括电缆，所述电缆连接适用于使信号适合经由所述电缆传输的信号处理接口，优选的是与将来自所述电子计算单元提供的电信号的所述数据转换为光信号的接口相结合的光缆。

[0036] 在第一变型实施例中，所述信标还包括附加装置，所述附加装置适用于检测所述船特有的运动并适用于触发所述电子计算单元的激活以由所述信 标和船或浮式支撑物的相同罐或其它罐的其它信标的其它电子计算单元执行所述步骤 1.1) 至 1.3) 和 2) 的处理，触发所述电子计算单元的激活是从所述船的运动振幅的预先确定的阈值起发生，优选是所述船的壳体的壁的倾角值。

[0037] 倾斜计或惯性单元式附加装置用来检测船特有的运动，例如摇晃、颠簸、偏航、波动、摇摆等。

[0038] 在另一实施例中，所述信标不包括任何用于检测船特有运动的附加装置。

[0039] 更具体地，用于检测船的运动的所述装置是摆动式倾斜计或惯性单元，优选适用于确定所述船或浮式支撑物的壳体的侧壁的倾侧角，所述阈值为至少 5° 的倾侧角，优选在相对于垂直方向 5° 至 10° 的范围。

[0040] 在备用状态，装置消耗非常少的能量，因为在计算单元内备用单元保持非常精简。相反，潜在临界条件一出现，则计算单元就分析来自振动传感器的所有信息，并执行信号处理，然后如果至少一个预定义阈值被超过，则所述处理结果被传输到中央监控器。

[0041] 当信标被其自己的倾斜计激活时，激活另一信标是有利的，以便确保所有信标都是激活的。通过这样做，激活整个系统的信标存在高度冗余，因为不论何时进入激活，每个信标正常地被其自己的倾斜计激活，然后每一个信标再通知其他所有的信标以及中央监控器。因此，非常严格限制使信标保持在备用状态的风险。

[0042] 在如上所述的用于激活电子计算单元的两种实施中，术语“激活电子计算单元”的意思是电子计算单元之前处于备用状态，然后它自动激活自己，以便执行以上步骤 b) 和 c) 中涉及到的处理和传输，所述传输设备 5d 由所述电子计算单元 5b 激活。

[0043] 在另一实施例中，所述电子计算单元适用于从测量到作为时间的函数的加速度 (g) 的振幅阈值起被激活。

[0044] 有利地，每个所述信标由蓄电池或超级电容器组成的电源设备，或优选的是由锂一次电池供电，其为所述振动加速度计、电子计算单元和传输设备，以及优选用于检测船的运动的所述装置供电。

[0045] 还有利地，所述供电设备还包括塞贝克效应热电偶，其中冷接合点安装 在所述罐的冷内壁与所述信标之间，所述信标构成所述热电偶的热接合点，所述热电偶用来产生连续为所述信标供电并优选地连续为所述蓄电池或超级电容器再充电的电流。

[0046] 在优选实施例中，所述信标固定到船的甲板和 / 或用于支撑并隔离船壳内所述大型罐面向船壳的侧壁的壁的侧壁，所述信标位于所述大型罐的纵向端的角落附近。

[0047] 根据所述信标的其他特性 ：

[0048] ●所述信标布置为面向垂直纵向侧壁、垂直横向壁与所述大型罐的顶壁之间的角落形成的二面角，或者所述大型罐的顶壁的相对彼此成角度布置的两个平面与所述大型罐的横向垂直侧壁形成三面体 ；

[0049] ●所述信标通过焊接或粘合剂紧固到侧壁 ；以及

[0050] ●每个所述信标包括用来密封所有的所述振动传感器、电子计算单元、信号数据传输设备和优选地附加检测器装置的容器，所述容器紧固到侧壁并紧固到所述供电设备。

[0051] 由于信标安装在潜在易爆炸的环境，它们需要满足被称为 ATEX 标准的严格标准。这些标准规定了关于电子电路的精确构造排布、密封的容器、从无线电电线传输的功率级别等，以确保没有带来点燃气态环境并因此造成爆炸的风险的火花出现。

[0052] 在特别有利的实施例中，所述船是改装成抛锚在固定位置的浮式储存船的老式甲烷罐式运输船，其中它的至少一个罐的装载程度是根据其中盛放的液体的不平度来确定的，该不平度是由用于检测液体的不平度的所述装置检测和计算的。

[0053] 本发明还提供了用于检测本发明的船的一个或多个罐内液体的不平度的方法，该方法包括以下连续步骤 ：

[0054] 1) 优选在船的运动达到阈值时激活所述电子计算单元之后，执行所述信号处理 ；以及

[0055] 2) 执行在步骤 1) 从所述电子计算单元获得的值到所述中央单元的传输。

附图说明

[0056] 在阅读经由非限制性解释并参照附图做出的以下描述的基础上，本发明的其他特性和优点会更好地呈现，其中 ：

[0057] 图 1 是浮式储存再气化单元 (FSRU) 的前视截面图，浮式储存再气化单元用于储存和再气化 LNG，并配合有用于检测呈现矩形垂直截面的所述浮式支撑物的罐 2 内液体自由表面运动的装置 ；

[0058] 图 2 是配合有用于检测所述船的罐 2 内液体自由表面运动的装置的 LNG 罐船的前视截面图，该罐为八边形截面 ；

[0059] 图 3 是具有三个配合有用于检测所述罐内液体自由表面运动的装置的罐的 LNG 罐船的平面图 ；

[0060] 图 4 是右手侧配合有由塞贝克效应热电偶供电的液体自由表面检测装置的罐的底部的侧视截面图 ；

[0061] 图 4A 示出图 4 的装置的细节 ；

[0062] 图 5 是两个配合有无线电传输型液体自由表面运动检测装置的 LNG 罐的平面图 ；

[0063] 图 6 是两个配合有彼此连接并经由有线局域网络连接到船的架桥的液体自由表

面运动检测装置的 LNG 罐的平面图；

[0064] 图 7A 和图 7B 示出“晃动”检测装置分别在无线形式 (7A) 和连接到有线局域网络的形式 (7B) 的操作的细节；

[0065] 图 8A 和图 8B 示出基于与船自身运动关联的信息的液体自由表面运动或“信标”的模式；

[0066] 图 9A 和图 9B 示出基于与触发用于检测任意液体自由表面运动的所述装置关联的信息触发液体自由表面运动检测装置的模式；

[0067] 图 10A 和图 10B 示出基于与出现液体自由表面运动式现象关联的信息触发用于检测液体自由表面运动的装置的模式；

[0068] 图 11A 至图 11D 是涉及在本发明处理的不同阶段的通过快速傅里叶变换 (FFT) 获得并处理的信号的图；

[0069] 图 12A 和图 12B 是在本发明处理的不同阶段通过功率谱密度 (PSD) 处理的信号的图；以及

[0070] 图 13A 和图 13B 是在本发明处理的不同阶段通过能量谱密度 (ESD) 处理的信号的图。

[0071] 具体实施方式

[0072] 图 1 是通过连接到绞盘 1c 的绳 1b 抛锚的 FSRU 型船 1 的截面图，FSRU 型船 1 安装在油田上并经由管（未示）接收来自海下井口的气体，所述气体在船上的装置 1d 中处理，以便冷却到低于 -163℃的温度，并在被转移到用于运输所述气体（仍然以液体形式）给用户的甲烷罐之前，以液体形式 3 储存在罐 2 内。罐 2 是体积 24,000m^3、宽 20m、长 40m、高 30m 的长方体形式，最大的罐可达到或超过 60,000m^3。船配合有用于检测液体自由表面运动的装置 5，以下也被称为本发明的“信标 (beacons)”或事实上被称作本发明的“晃动检测器装置”，即四个位于靠近罐纵向端的罐的角落的无线信标 5-1，分别在左边或左舷、与甲板 4a 齐平以及下降到船壳内、与罐 2 的热隔离系统 2a 的壁 2a-1 接触，以及在右边或右舷、在船壳高处以及下降到船壳内、与罐 2 的热隔离系统 2a 的壁 2a-1 相接触。

[0073] 更准确地讲，信标 5-1 位于如下位置附近：

[0074] 纵向侧壁 2f 与横向侧壁 2e 交汇的两面形成角落 2d；以及

[0075] 底壁 2h 与纵向侧壁 2f 和罐的纵向端横向侧壁 2g 交汇的两面形成底部角落 2g。

[0076] 罐 2 经由金属梁式承载结构 11 固定到船壳 4a、4b，承载结构 11 均匀分布并且提供首先是罐 2 的罩 2a 的外壁 2a-1 的表面（其自身固定到罐 2 的壁 2f、2h）与其次是船壳体的内壁之间的连接。

[0077] 靠近顶角落 2d 的信标位于浮式支撑物的甲板 4a 上，或抵靠隔离系统面向船的船壳的侧壁 4b 的纵向侧壁 2a-1。

[0078] 位于靠近底角落 2g 的信标优选抵靠位于船壳内罐 2 的隔离系统 2a 的侧壁 2a-1 并面向其侧壁 4b。

[0079] 以下在本发明的描述中更详细描述了信标的操作。

[0080] 罐 2 内的液体甲烷 (LNG) 的自由表面 3a 通常依赖于液体自由表面被涌浪、风和当前船上的动作刺激的方式而稍微起伏不平。在恶劣海上天气条件下，该不平度可能增加，并导致大波浪在罐的壁上反射，并可能导致波浪拍打所述壁。

[0081] 当航行或抛锚时，船经历多种海上条件，即涌浪、气流和风，并且各种罐的容纳物因此受到来自所述浪涌、所述气流和所述风的连续刺激。这造成 在罐 2 内形成一种密封涌浪，该涌浪被侧壁 2f 弹回，并因此被反射同时保持其自己的能量，即其周期和振幅。结果，表面根据海上条件而达到更大或更小程度的不平度。被壁如此反射的涌浪再组合，然后当发生具有相位偏移的再组合时可趋向降低不平度的状态，或当发生同相的再组合时趋向增加不平度的状态。

[0082] 因此，当船 1 受到外部涌浪 10 时，无论来自巨浪或是由于风或是由于气流，船的摇晃、颠簸、偏航、摇摆、起伏和波动运动刺激罐 2 中盛放的液体的自由表面，然后，由于上述罐壁的多次反射相组合，在所述罐内能够发生共振现象。

[0083] 这些现象可能很激烈，并可能导致损坏用于保持并密封液化气的系统的风险。如果与船的行为、其罐的形状和所述罐装载的程度相关联的某些参数全部一起出现，则这些现象不只是会在暴风天气发生，而且还会在平和天气发生。

[0084] 例如，小幅度横向涌浪（例如具有有效高度 (significant height)Hs ＝ 1.25m，关联到特定周期，例如 T ＝ 8s 到 10s，）当罐满或罐空时或者实际上处于中间装载程度时没有危险，但是在一些精确值，例如 70％至 80％满时，在这种特定条件下将发生共振现象，导致液化气货物出现危险行为，其可能导致涌浪共振地非常强烈地拍打罐壁。然后这种拍打能够导致损坏或甚至摧毁密封或隔离系统，由此使船及全体船员陷入巨大危险中。

[0085] 最强烈的运动和湍流趋向于在罐的纵向端的垂直角落累积，且更特别地，最严重的冲击在罐的顶部与两个垂直侧壁（横向壁和侧向壁）形成的三面体生成。

[0086] 罐顶部的垂直角落 2d 构成这样的区域：当拍打发生时，由于两个垂直壁和罐顶部限定的三面体形状，存在非常激烈的冲击的风险；这也是为什么信标 5-1、5-2 有利地放在罐的所述角落附近的原因。

[0087] 图 2 是穿过另一艘船 1（这里是甲烷罐船）的截面图，其配合有本发明的液体自由表面运动或晃动检测器装置 5-1、5-2，这里晃动现象显示为 3b，其准备好拍打 LNG 罐的左舷部 2f 的顶部。

[0088] 在左边，到左舷，两个无线信标 5-1 安装在船的甲板 1a 上，这些信标通过无线电与安装在控制站（优选在船的架桥上）的中央监控器 6（优选是个人计算机 (PC) 式计算机）通信，这些信标也通过无线电与其他信标 5-1 通信，如以下所解释的那样。在右边，到右舷，两个有线信标 5-2 安装在船的甲板 1a 上，这些信标经由计算机局域网络 5d-3 与相同的中央监控器 6 通信。

[0089] 更具体地，船的罐 2 呈现八边形的截面，顶壁由水平中心壁 2e-2 与两个朝向纵向侧壁 2f 下降的倾斜侧顶壁 2e-1 组成。

[0090] 因此这些罐在它们的纵向端呈现三面体形状的角落，即：

[0091] ●由纵向侧壁 2f、端部横向壁 2g 和相邻倾斜顶壁部 2e-1 形成的第一三面体 2d；以及

[0092] ●由端部横向壁 2g 和两个相对彼此成角度排列的相邻顶壁 2e-1、2e-2 形成的三面体 2c。

[0093] 如图 7A 和图 7B 所详细示出的，信标 5-1 和 5-2 由以下元件组成：

[0094] a) 振动传感器 5a，由振动加速度计组成，更准确地由能够测量加速度计所紧固到

的壁的振动的加速度 g 根据时间的变化量的加速度计组成。它们所紧固的甲板 1a 的壁的振动与罐 2 的壁的振动相关联，因为其由船的壳体或浮式支撑物支撑，并通过承载结构 11 牢靠紧固到那里，承载结构 11 将振动从罐 2 传递到船的壳体 1a-1e ；更准确地来讲，这些加速度计是本领域技术人员已知的三轴加速度计，即它们适用于测量空间中三个方向的线性加速度，并且它们优选地是能够测量从零到最大值范围的加速度的压阻式加速度计。为了以最可靠方式获取振动，这些信标 5a 通过焊接或粘合剂紧固而紧固到壁。

[0095] b) 电子计算单元 5b，包括微处理器和集成存储器。以及

[0096] c) 数据传输设备 5d，其可以是以下两种类型 ：

[0097] ●无线信标 5-1 ；或者

[0098] ●有线信标 5-2。

[0099] 对于无线信标 5-2，所述传输设备包括天线 5d-1 和收发机 5d-2，所述收发机 5d-2 适用于将所述计算单元 5b 提供的电信号转换成无线电波，该无线电波从天线 5d-1 传输。

[0100] 对于有线信标 5-2，所述传输设备 5d 包括电缆 5d-3，电缆 5d-3 连接信号处理接口 5d-4，信号处理接口 5d-4 适用于使信号适合经由所述电缆 5d-3 传输，优选的是与将由所述电子计算单元 5b 提供的电信号的所述数据转换 为光信号的接口 5d-4 结合的光缆。

[0101] 在变型实施例中，信标 5-1、5-2 包括用于检测船 5c 的运动的装置，是倾斜计的形式，例如摆动式，或者惯性单元，优选的是适用于确定船或浮式支撑物的壳体的侧壁 4b 的倾侧角的装置。

[0102] 装置 5c 适用于触发所述电子计算单元 5b 的激活，以便执行所述信标和船或浮式支撑物的相同罐和其他罐的其他信标的其他电子计算单元 5b 的所述步骤 b.1) 至 b.3) 和 c) 的处理，触发所述电子计算单元的激活从船运动的振幅的预定阈值起，优选的是船的壳体壁的倾角值，所述阈值是至少 5％的倾侧角，并且优选的是在相对垂直方向的 5％至 10％的范围内。

[0103] 图 3 是具有八边形截面的三个罐 2-1、2-2 和 2-3 的 LNG 罐船的平面图，左边的第一罐 2-1 配合有四个本发明的无线信标 5-1，无线信标 5-1 安装在船的甲板上外侧，在所述罐的纵向端的外垂直角落 2d。

[0104] 中间罐 2-2 也配合有四个安装在船的外侧壁 1e 与 LNG 罐 2-2 的隔离罩 2a 的外壁 2-1 之间的船内位于高处的信标 5-1。最后，右侧罐 2-3 配合有八个图 2 中的装置 5-1，分别位于外部的四个角落 2d 和顶部的斜壁 2-1 连接罐顶部的中心壁 2-2 处的四个角落 2c，如图 2 的截面图所示。

[0105] 用于检测液体自由表面运动的装置或者“信标”5-1、5-2 安装为直接接触船的外壁 4a、4b，优选的是位于如图 2 所示与所述船的甲板 4a 的高度，或者安装在船的内部，例如安装在舷门，在船的侧壁 4b 与 LNG 罐的隔离罩 2a 之间的空间，如图 1 和图 4 到图 4A 所示。在任何情况下，用于检测液体自由表面运动的装置 5-1、5-2 均固定到其所安装的壁。通过焊接 5-4 或螺接，或者实际上有利地仅仅通过粘合剂机械紧固，使得所述壁的任何振动以最小衰减完整地传递到装置 5-1、5-2。因此，检测装置 5-1、5-2 可以说是“监听”LNG 储罐中发生的情况。

[0106] 晃动检测器装置 5 是无线类型 5-1，在此情况下通过无线电传输信息，如图 5 和图 7A 所示，或者晃动检测器装置 5 是有线类型 5-2，在此情况下例如借助有线计算机局域网络

5d-3 传输信息，如图 6 和图 7B 中详细示出的那样。

[0107] 在图 7A 中，晃动检测器装置或“信标”是无线类型 5-1。其由在 5a-1 连接到计算单元 5b 的三轴加速度计 5a 组成，该组件由超级电容器或电池 5e 供电，优选的是由具有非常长寿命的锂一次电池供电。计算单元 5b 内执行的计算得到的信息经由配合有天线 5d-1 的无线电收发机 5d-2 通过无线电传输。

[0108] 在有线信标形式 5-2 中，如图 7B 所示，信标由连接到计算单元 5b 的三轴加速度计 5a 组成，即被网络型有线连接 5d-3 经由 5d-6 供电。计算单元 5b 内执行的计算得到的信息传输到中央单元 6。

[0109] 图 5 是两个罐 2-1、2-2 的平面图，这两个罐的四个角落配合有无线信标 5-1，并且其中一个信标 5-1a 刚被倾斜计装置 5c 激活，因此通过无线电与中央监控器 6 通信，并与两个罐的其他所有信标 5-1 通信，以便激活它们。

[0110] 按照相同的方式，图 6 是两个罐 2-1、2-2 的平面图，这两个罐的四个角落配合有有线信标 5-2，有线信标 5-2 经由局域网络 5d-3 与中央监控器 6 和其他所有的信标通信。

[0111] 对于两种类型的信标，无论是无线信标 5-1 还是有线信标 5-2，操作模式均相同。参照图 8、图 9 和图 10 详细描述其操作模式。

[0112] 如果船不运动，则所有信标休息，处在备用状态，因此它们消耗非常少的能量，这对于由电池供电的无线信标 5-1 来说相当有利。当被激活时，每个信标与优选地位于架桥上的监控计算机 6（如图 1 所示）单独通信。此外，所述信标同步地通知其他所有信标，并激活它们，然后该信标使它们处于获取数据、处理数据并与中央监控器 6 通信的模式。

[0113] 在图 8A 中，信标的激活是由响应船自身运动的倾斜计或惯性单元的装置 5c 引起的。然后无线电信号 8a 被发送到中央监控器 6，无线电信号 8b 被发送到信标组，以便激活它们。一旦激活了信标，则三轴加速度计 5a 将它的数据发送到计算单元 5b，计算单元 5b 用以下解释的具体方式对其进行处理，然后将信号处理得到的数据经由无线电传输到监控器 6。然后所述监控器 6 处理各个信标 5-1、5-2 获得的所有数据，因此能够确定罐内液体自由表面的不平度状态，以便确定所述不平度是否处于导致损坏装置的晃动危险中。

[0114] 监控器 6 优选地将各个信标得到的数据输入数学模型，该数学模型使其能够递送船的用于减少或消除该晃动风险的速度和 / 或方向方面的领航命令建议。

[0115] 在图 9A 中，在中央监控器 6 自身已经从所述第一信标得到数据之后，信标 5 的计算单元 5b 的激活是由直接来自第一信标的无线电信号 8b 或来自中央监控器 6 的无线电信号 8c 引起的。如图 9B 所示，获取和传输处理与以上参照图 8B 描述的相同。

[0116] 最后，在图 10A 中，信标由来自其加速度计 5a 的信号激活，该信号例如可由当船自身的运动小或不显著时由 LNG 液体自由表面的共振现象引起，船的所述运动不足以达到触发倾斜计或惯性单元式装置 5c 的阈值。然后，信标向中央监控器 6 发送信号 8a，并且向其他所有信标发送信号 8b，以便激活它们。如图 11B 所示的获取和传输处理与以上参照图 9B 描述的相同。

[0117] 对于有线连接 5d-2，参照图 8、图 9 和图 10 描述的应用于无线电连接的相同信息以已知的方式在有线局域网络 5d-3 上传输，该有线局域网络 5d-3 以星形构造或环形构造串行连接所有信标和中央监控器 6。

[0118] 图 11 至图 13 示意性示出信标 5 内的信号处理。

[0119] 在正常操作模式下，即不是在以下所述的自训练调整阶段，当信标被触发时，例如被超过给定阈值的摇晃和 / 或颠簸触发，例如如同倾斜计 5c 所感知的，计算单元仅通过直接测量信号来识别所述摇晃 / 颠簸的准确周期和因此被刺激和增强的液体自由表面运动的风险程度，以便基于各个罐内的液体自由表面数学模型来衰减晃动。基于图 11A 所示的与所述刺激周期（即所述摇晃和 / 或颠簸周期）相关联的时间信号，并使用集成到计算单元 5b 中的软件，执行依赖于所述信号的配置的各种类型的处理。

[0120] 因此，总是执行用来按信号处理领域技术人员已知的方式将所述时间信号转换成频率信号 g ＝ f(Hz) 的 FFT，FFT 很适合有小共振的脉冲信号，即具有很少的谐波响应，该信号可以具有大或小的振幅，但优选的是以一频率为中心。

[0121] 在图 11B 和图 11C 中，能够看到分别对应借助 FFT 来处理信号（图 11B）和在背景噪声滤波之后处理信号（图 11C）的作为频率 (Hz) 的函数的加速度 (g) 的图。图 11D 是示出揭示了预定义阈值 S1、S2 等被超过时借助 IFFT 和信号处理之后时间加速度的图。

[0122] 基于该 FFT，按信号处理领域技术人员已知的方式计算功率谱密度 PSD ＝ g^2/Hz。该计算优选地应用于冲击型信号，这种信号刺激包括罐和罐支 撑物的子结构的船的整体结构，即局部和总体，在一频率周围激烈共振；邻近的频率和它们的谐波也受到激励。

[0123] 信号处理领域技术人员已知的能量谱密度 ESD ＝ g^2×s/Hz 类型计算优选用于瞬态信号，不论长短，因为其可能通过在为 FFT 选择的时间信号的持续时间（例如在 Δt ＝ 2s 上）使用平均类型处理来进行估计，如图 11A 所示。

[0124] 图 12A 和图 12B 是纵坐标绘制函数 g^2/Hz、沿横坐标绘制频率 Hz 的曲线图，分别示出了对应于借助 PSD 处理信号的曲线（图 12A）和在背景噪声滤除后处理信号的曲线（图 12B）。于是谱功率 g^2 由图 12B 的函数 g^2/Hz 的积分表示，即由图 12B 中在曲线、X 轴与高、低滤波极限 Fb、Fa 之间延伸的阴影区域表示。

[0125] 图 13A 和 13B 是 ESD 的曲线图，纵坐标绘制 g^2s/Hz，即加速度平方乘以时间并除以频率，沿横坐标绘制频率 Hz，绘制的曲线分别对应于借助 ESD 处理的信号（图 13A）和背景噪声滤除后的信号（图 13B）。谱能量 g^2×t 于是由图 13B 所示的函数 g^2s/Hz 的积分表示，即图 13B 中在曲线、X 轴与高、低滤波极限之间延伸的阴影区域。

[0126] 在计算单元内按上述三种模式处理信号后，仅在超过最大阈值的情况下，将结果数据传输到中央监控器 6。

[0127] PSD 给出的结果如图 12B 所示，触发数据传输到中央监控器 6 的阈值规定如下：

[0128] ●由超过极限 P_{max} 的曲线规定；传输的数据具有与对应频率 F_0 相关联的功率峰值 P_0 的值，并且具有由所示图中的阴影区域表示的全部谱功率；

[0129] ●或者由全部谱功率规定，如同图 12B 中超过给定值的曲线的积分所表示的，即当所述图 12B 的阴影区域超过预定义的阈值时，传输的数据是所述全部谱功率的值，以及在适当情况下与各自频率相关联的上述定义的峰值。

[0130] 对于结果如图 13B 所示的 ESD，触发数据传输到中央监控器 6 的阈值规定如下：

[0131] ●由超过极限 e_{max} 的所述曲线规定；于是，传输的数据是与对应频率 F_1、F_2 相关联的能量峰值 e_1、e_2 的值，以及由所述图中的阴影区域表示的全部谱能量；

[0132] ●或者由图 13B 中超过给定值的曲线的积分表示的全部谱能量规定，即 当所述图 13B 中的阴影区域超过预定义的阈值时；于是，传输的数据是所述全部谱能量的值，以及

在适当的情况下与各频率相关联的上述定义的峰值。

[0133] 图 12B 示出超过预定义阈值 P_{max} 的单个峰值 P_0。

[0134] 图 13B 示出均未超过预定义阈值 e_{max} 的两个能量峰值 e_1、e_2，因此关于该峰值的信号不触发数据传输到中央监控器 6。

[0135] 如以上参照 FFT、PSD 和 ESD 所述，如果在对图 11A 的时间信号应用各种处理期间至少一个预定义的阈值被超过，则各种处理的所有结果或一些结果（优选的是三种处理的所有同步结果）被传输到中央监控器 6，以在代表船的各种 LNG 罐中液体自由表面行为的数学模型内与来自其他传感器的数据合并 (concatenating with)。

[0136] 通过这样进行，所有实时计算由信标 5 内的计算单元 5b 执行，并且只有计算结果发送到中央监控器 6，即紧凑并能够迅速传输的数据，这种数据与时间信号不同，不论是无线电类型还是局域网络类型，时间信号都将占用传输介质的全部时间。因此，持续时间 $\delta t = 2s$ 的时间信号将占用传输介质 100％的时间，而仅当阈值被超过时并在约 0.1s 至 0.5s 量级的持续时间上，才传输 IFFT、PSD 和 ESD 的结果，由此非常迅速地释放传输介质，并极大限制信标的能耗，因为它们的大部分能耗是所述传输方式耗去的。

[0137] 计算单元 5b 从传感器 5a 连续接收数据，连续或不连续地进行处理，将其储存在内部存储器中，并随时间推移分析系统的总体行为，主要是当船在避难或在平静的海上航行时，即没有任何液体自由表面移动并因此晃动的风险时。该与船的摇晃和颠簸相关的监视用来评估液体自由表面没有任何显著运动（即没有任何晃动）的情况下船特有的背景噪声，并因此用来定义阈值，例如参照图 11D、12B 和 13B 描述的分别与 IFFT、PSD 和 ESD 相关的那些阈值。随着时间的推移，这些预定义的阈值或者在计算单元 5a 内自适应，计算单元 5a 在内部产生三种上述同步处理结果之后按自训练模式操作，或者这些预定义的阈值在长时期的总处理之后由总监控器修改，被应用于来自所有信标的信息，这种总处理与船及其液化气货物的实际行为相关。

[0138] 法语缩写 DSP、DSE 的英语翻译等于 PSD、ESD。

[0139] 信号滤波用来消除寄生频率，通常是非常低或非常高的频率。该滤波用来消除所谓的“背景”噪声，即船特有的环境生成的噪声。因此获得了罐内 液体自由表面的不平度的表示，尤其是能量谱密度的形式，因为测量的振动加速度与罐内的移动液体自由表面的质量相关联，并且所述能量谱密度是罐内液体自由表面的局部不平度的表示。然后将该能量谱密度实时地与预定阈值比较。

[0140] 一达到或超过预定阈值，计算单元 5b 就执行 IFFT，由此返回代表作为 t 的函数的加速度 g 的变化的信号，虽然如此，但是是在上述滤波阶段消除所述背景噪声之后。因此可实时获得显示作为时间的函数的液体自由表面特有加速度的变化的信号（该信号揭示了潜在的有害晃动发生的任何风险），以及对应于对罐壁实际冲击的加速度峰值，或者实际上对应于准冲击，即不断增强并可能在非常短的时间导致冲击的共振，该冲击会损坏罐及船的整体性。

[0141] 曾在计算单元 5b 内处理的该信息被传输到（可选地按规则间隔）中央监控器 6，中央监控器 6 然后处理所有数据，并明确晃动现象的位置，体现在罐的编号和不平的准确位置或实际晃动冲击方面，在适当的情况下可能还量化该现象的幅度。

[0142] 如图 11D 所示，计算单元 5b 内的计算处理有利地定义多个阈值，例如两个阈值：

[0143] 第一阈值 S1，在该阈值下则信息依照惯例按规则的大幅分隔的间隔传输，在该阈值之上则两传输之间的间隔缩短，例如减半，因为存在发生可导致有害晃动的共振现象的风险；以及

[0144] 第二阈值 S2，在该阈值之上则传输更频繁，例如更频繁五倍，并且所述信标然后被中央监控器 6 认为与其他信标相比具有优先权，只要其他信标还没有也达到所述阈值 S2。

[0145] 以上详细解释的信标的操作模式是基于计算单元随时间推移的自训练，所述自训练具有随时间推移修改计算单元 5b 中集成的软件的某些参数的作用。因此，当在船上开始安装时，预定义这些参数，并且由于自训练，这些参数随着时间推移根据总体行为以及由各信标和中央监控器 6 得到的分析结果而改变。因此，主要参数初始设定为保守值，即通常是相当低的阈值，然后随着时间推移根据与船在那时的行为相关的液体自由表面的实际行为而自动更新到更限制并且更实际的值。因此，当安装开始时，例如船在港或在 平静的海上以巡航速度航行时，对来自传感器 5a 的信号的分析使得可以非常迅速地并在各种或多或少平静的条件下特征化系统固有的背景噪声，并当执行 FFT 型处理时有效消除该背景噪声。初始设定但允许由于自训练而随时间推移（几天、然后几星期、几个月、几年）来改变的主要参数在众多其他参数中包括如下：

[0146] ●根据已知的罐的装载程度、带来增大液体自由表面大量运动的风险的船摇晃周期值的范围（最小值 - 最大值）；

[0147] ●信号滤波的频率通带范围（最小值 - 最大值），以及当执行 FFT 和 IFFT 时预定义的阈值 S1、S2 等；以及

[0148] ●为 PSD 和 ESP 定义的能量谱或功率谱级别。

[0149] 实际上这些参数一起构成液体自由表面总体行为的数学模型，并且如果系统落入一定值范围内，则可能出现导致损坏晃动的共振的风险，然而在这些值范围之外，任何共振风险均最小，或实际上几乎不可能。

[0150] 信标 5 表现重要的船上 (on board) 计算能力，由此仅使处理后的数据的结果经过无线电（无线信标 5-1）或局域网络 5d-3（有线信标 5-2），进而显著减少占用中央监控器 6，中央监控器 6 然后仅用来合并信号处理产生的数据，以便从中推导并向船的船长给出关于每个 LNG 储罐中货物行为的准确信息。

[0151] 所有的信标，不论是无线型信标 5-1 还是有线型信标 5-2 均安装在包含气体的环境中，因此它们必须是防爆燃型，即它们必须满足所谓的“ATEX”欧洲标准。为此，构成信标 5 的所有元件，即振动传感器 5a、计算单元 5b、用于检测船的运动的设备 5c 和电源 5e 被限制在满足 ATEX 标准的外壳 5-3 内。只有例如无线电天线 5d-1 和有线网络 5d-3 的一些传输设备不被限制在外壳 5-3 内，如图 7A 和图 7B 的虚线所示。

[0152] 使用有线信标 5-2 需要布设计算机局域网络，并需要电源。然而局域网络 5d-3 有利地是光纤型的，信标的电源有利地是包括集成电池 5e 的类型，就像无线信标 5-1 那样。因此，在这种 ATEX 环境中各个部件的安装相应地得以简化。

[0153] 有利地，用于信号处理的计算单元 5b 的电子部件和用于无线信标 5-1 的传输接口设备 5d-2 的部件和用于有线信标 5-2 的接口 5d-4 的部件是在操 作中具有低消耗的类型，在备用状态时消耗非常低或者甚至几乎是零消耗。因此，将供应给信标的能量能够由具有长寿命和长充电保持时间的电池 5e 来提供，并优选地由具有超过两年或三年寿命的锂一

次电池提供。因此可得到能够维持运行几年的组件，并且有利的是，所有的电源均在检查船时系统地更换。

[0154] 在图 4 和图 4A 所示的优选形式中，无线信标有利地由安装在船的壳体内侧壁 4b 与罐的隔离壁 2a-1 之间的塞贝克 (Seebeck) 效应热电偶型装置 9 供电。为此，信标 5-1 贴着罐的隔离壁 2a-1 安装（之前已经穿过罐的隔离壁 2a-1 钻了小径孔 9a，例如直径 5 毫米 (mm) 的孔），从右穿通直到初级顶壁或次级顶壁 2、2f，于是热电偶插入孔中，使得其冷接合点 9-2 接触处于用于初级顶部屏蔽的 -163℃的温度的内冷壁 2、2f。冷接合点 9-2 按传统方式通过两股电缆连接到位于单元 9-3 的高度的热接合点，其处于室温，即在 10℃到 20℃的温度。然后该温差通过所谓的“塞贝克”效应产生电流，适用于为信标连续供电，并且优选地连续为蓄电池（未示）或实际上超级电容器（即非常大电容的电容器）再充电。因此，在备用状态，由于能耗实际为零，所以电池或超级电容器再充电到最大程度，只要信标开始工作，则产生的电流全部消耗，以便处理信号并传输数据，对电的任何附加需求由储存元件提供，具体而言是由所述电池或所述超级电容器提供。该布置表现出操作极其可靠并且实际无时间限制的优点，在船的寿命期间不需要任何维护，自然设置有寿命可与船的工作寿命（船的工作寿命可超过 20 年到 30 年，或者甚至更长）相比的电子部件。

[0155] 在本发明中，信标被描述为无线型信标 5-1 和有线型信标 5-2。这两种中的每一种均具有自己的优点。因此，对现有船只而言，因为信标是 APEX 型并且每个均集成了所有所需的功能，因此无线形式的信标 5-1 有一定优点。它们可被加入到现有装备，它们可仅借助粘合剂被固定到甲板或船壳内，贴着隔离壁，因此避免了通常被认为在潜在爆炸环境中危险的任何工作种类。

[0156] 有线形式信标 5-2 需要安装所有沿船延伸到位于架桥上的中央监控器 6 的局域网络的工作。这种类型的布置尤其适合新建的船，不过即使在这种环境下无线形式信标 5-1 仍然保持非常有利，因为其完全消除了部署所述局域网络 5d-3 的任何需要，局域网络非常费钱，因为这种船壳具有几百米的长度。 在这种非常长距离的安装中，局域网络的费用构成总体安装费用的 70％至 85％并不稀奇。因此，通过使用一组无线信标，大大降低了安装成本，同时还使安装更容易并使其能够并入到需要 ATEX 标准装备的具有高爆炸风险的气体环境中。

[0157] ATEX 标准是本领域技术人员已知的，用于信标 5-1、5-2 中并且特别是传感器 5a 以及计算单元 5b 的部件可从供应商 Cegelec（法国）的参考名称为 BACC 的产品系列的 ATEX 模块 5-3 获得。执行来自无线信标 5-1 的数据的无线电传输的部件 5d-2 例如可从供应商 ASM（澳大利亚）获得，参考名称 ASCe113911。这些部件在 868 兆赫兹 (MHz)、433MHz 和 315MHz 的 ISM 标准许可频率通信，因此符合各工业国家的法律。该部件类型取决于模型和环境（限制的介质或开放介质）而处于限制在 20m 到 1000m 的范围，并在传输时呈现 2 伏 (V) 到 3.5V 下 10 毫安 (mA) 到 12mA 范围的功耗，在备用状态的消耗是在 0.5 微安（μA）量级，即几乎零消耗，这表现出了提供电力的蓄电池或锂一次电池的寿命的可观优点。这种部件并入上述 ATEX 模块 5-3。

[0158] 为了在船内连接，当信标安装在船的一侧与 LNG 罐之间时，安装具有接收消息并进一步中继消息的单一功用的中间信标是有利的。这样，消息将到达所有信标以及位于船的架桥上的中央监控器 6，消息从信标传送到信标。

[0159] 在信标的描述中，描述了借助倾斜计或惯性单元 5c 触发上述信标的模式，然而，使用主三轴加速度计 5a 来完成该任务是有利的，因为其具有适用于适当地检测船的运动的灵敏度以及触发所述信标的阈值。为此，计算单元 5b 连续扫描来自所述主加速度计的信号，并从中推导船的实际运动，特别是船的摇晃和 / 或颠簸运动，进而在合适的情况下触发上述获取、处理和传输数据的过程。

[0160] 作为示例，在由四个 LNG 罐组成的容量 135,000m^3 的甲烷罐上，无线信标安装在每个上述罐的每个角落 2c、2d，所述信标位于甲板 4a 上。

[0161] 每个信标均被预先调整，以处理来自三轴加速度计 5a 的信号，该信号是在对应于 4-5s 到 15-18s 范围涌浪的液体自由表面振荡周期范围内。如图 10A 所示，与 FFT 相关联的监视周期 δt 于是设定到 δt = 2s，基本上对应两个短周期的 FFT 循环并上升到九个长周期的循环。

[0162] 因此，每个信标 5 连续监视，即连续获取船的运动（摇晃、颠簸、…），但是就处理和传输方面来说是在备用状态，即其消耗几乎为零。只要达到预定义的触发阈值，例如 8° 摇晃，则发起在预定义的监视周期 δt = 2s 上的 FFT 计算以及关于谱能量的其他计算。此后，每条数据在按以上参照图 10C 解释的方式滤波之后，被计算单元 5b 与参考值比较。如果能量超过所示能量参考值，那么发起 IFFT 计算，以便揭示任何准冲击和冲击，并以便划分它们相对于预定义阈值 S1、S2、S3 等的振幅。所有的计算均由计算单元 5b 以比所讨论的摇晃周期短的多的时间周期非常迅速地执行，并且结果存储在计算单元 5b 内关联的存储器内。在合适的情况下，结果被同步地经由无线电模块或局域网络 5d-3 发送到监控器 6。在所述监控器内，将结果与来自安装在船上的每个其他信标的同步或准同步信息合并，由此使船长能够得到船上的每个罐内的液体自由表面不平度的可信表示。

[0163] 每个信标的数据获取是在内部实现并被处理。随着时间推移，经过几天、几星期、几个月航行的数据获取之后，仅通过计算单元 5b 内的自训练调高或调低各个预定义的阈值。然后所述调整按监控器 6 的规则间隔传输，以确保所有信标呈现总体一致性。在合适的情况下，中央监控器 6 可仅通过无线电传输，或者在合适的情况下经由局域网络 5d-3 使每个信标工作，以便修改预定义的阈值，或者实际上修改获取或自训练计算程序。类似地，所述中央监控器远程作用以修改所述定义的参考阈值。有利的是，在每个信标的维护操作期间或者在信标被新一代信标代替时执行修改。

[0164] 本发明的装置对改装为用作固定浮式储存单元的老旧甲烷罐特别有利，该固定浮式储存单元靠近生产 LNG 的地点或在沿海区域作为接收和再气化终端。这些老式设计的船由于它们的使用年限可达到并且有时超过 30 年或者甚至 40 年，往往呈现出不太好，或者甚至已损坏的罐安装方面的性能。此外，这种船的推进设备也因为老发动机的不良效率已经变得退化，并且尽管船的实际结构仍非常完好，但是船到期也要进行船破碎。因此，改装这样的船最有利，因为不使用主发动机，安装系统的不良性能不重要，并且在某些环境下可能甚至是有利的。安装系统的这种性能不足带来大量“蒸发”，即大量 LNG 通过热损失划分，这在接收终端不是缺陷，而是优点，因为这种终端的目的是特别地在发送到陆地之前再气化气体，或者在电力站当地转 换成电。此外，这种老式甲烷罐能够仅在满载或实际上为空时航行 ：不允许它们以中间的装载量航行，因为其没有足够的强度对抗晃动现象。当通过这种方式使用老式甲烷罐时，本发明用于检测液体不平度的装置的安装使得可以迅速获取海

上各种状态下液体的自由表面的行为信息，并根据关于相对于装载程度的不平度和在任意给定时刻的海上状态的信息而管理每个罐的装载程度，来定义对应高度操作安全性的操作模式。因此，在初步操作周期后，通过自训练调整数学模型，然后获知对各种海上状态的临界装载程度。这样，使 LNG 容易从一个罐转移到另一个，从而使得如果潜在临界海上条件发生，没有一个罐在对应的临界装载程度，由此避免出现不期望的晃动现象。

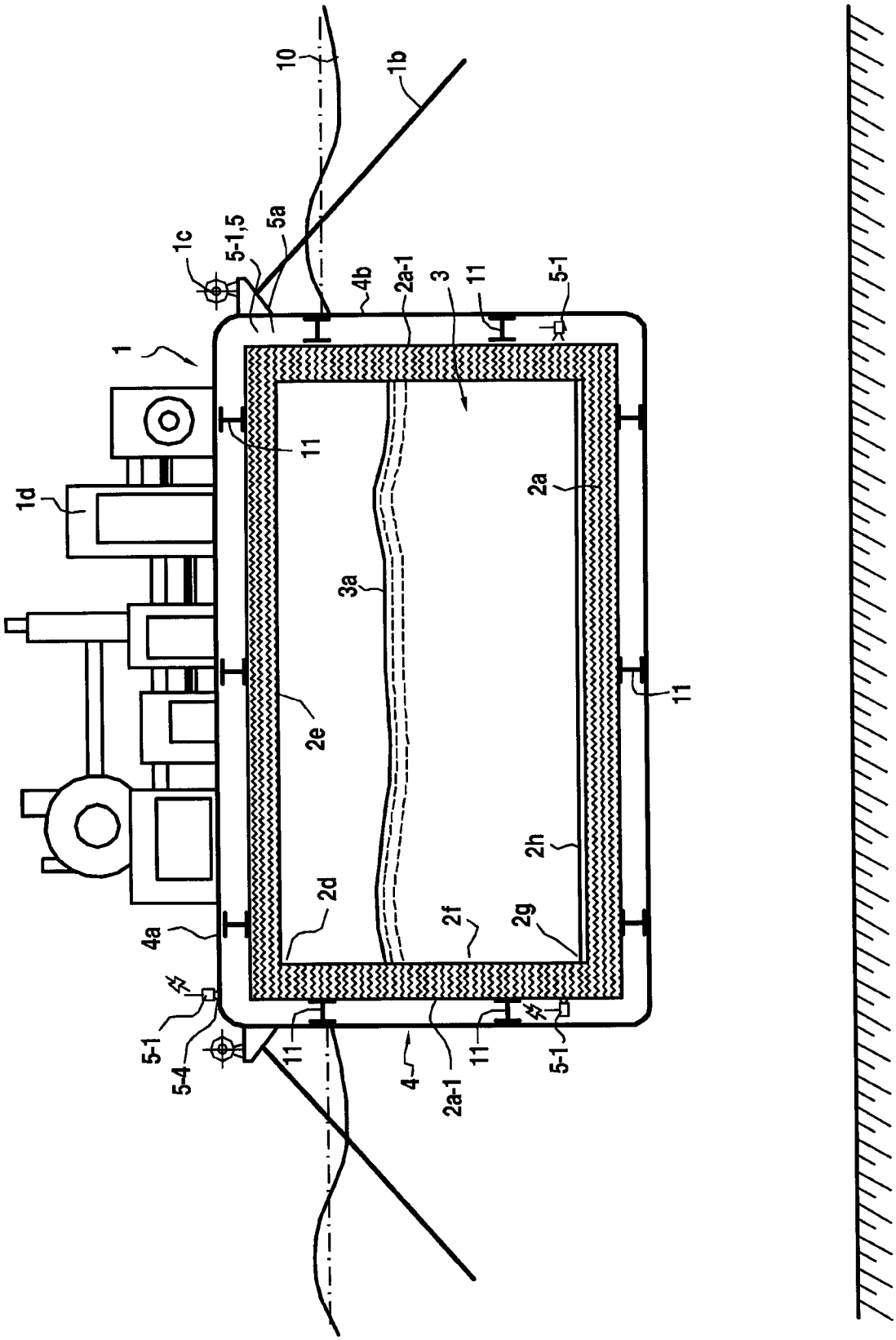

10
1b
1c
5-1,5
5a
4b
2a-1
3
11
5-1
1
11
2a
1d
3a
11
2e
2h
2d
2f
2g
4a
5-1
5-4
11
11
5-1
4
2a-1

图 1

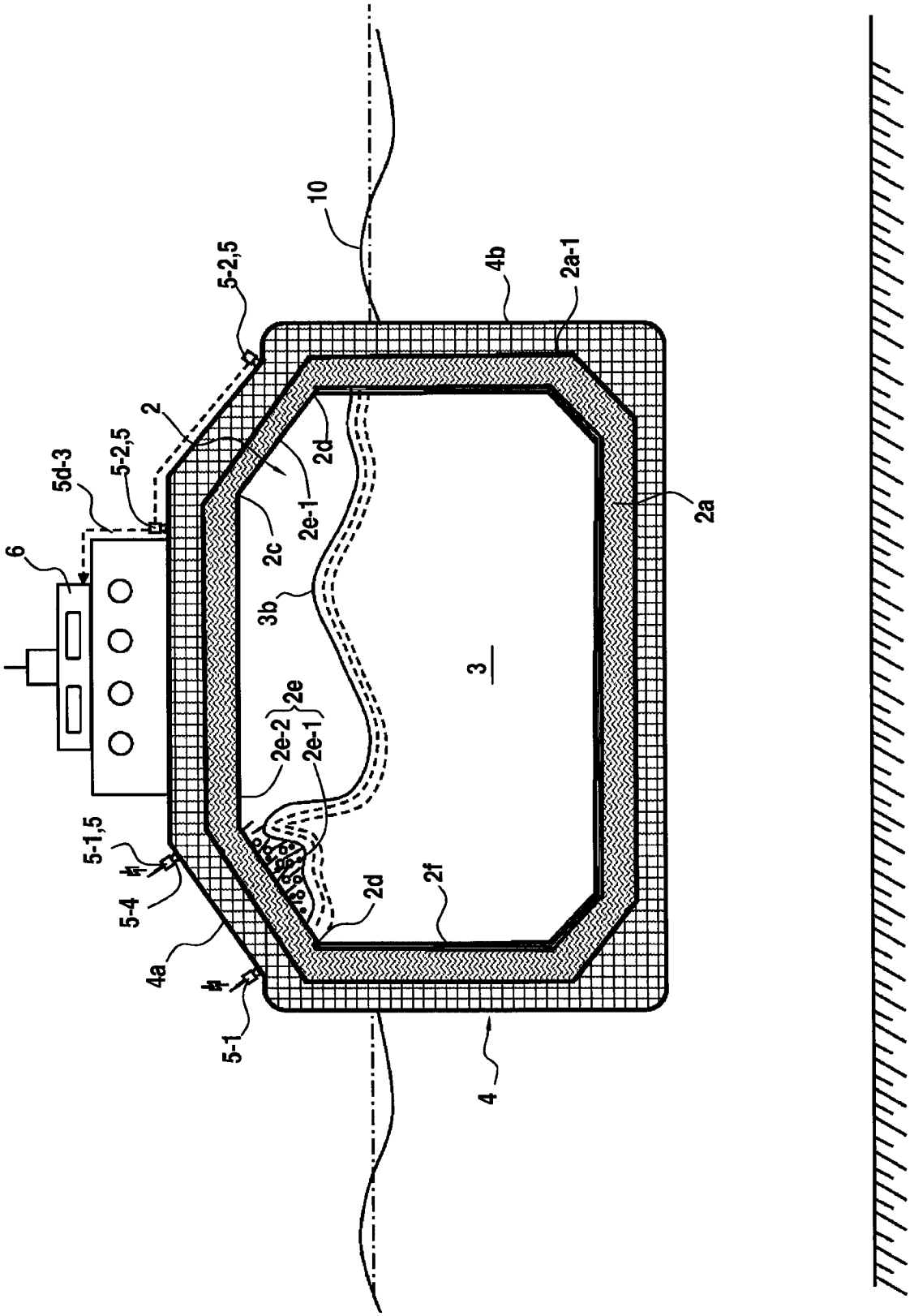

10
5-2,5
4b
2a-1
2
5d-3
5-2,5
2d
2e-1
2c
2a
6
3b
3
2e
2e-2
2e-1
5-1,5
5-4
2d
2f
4a
5-1
4

图 2

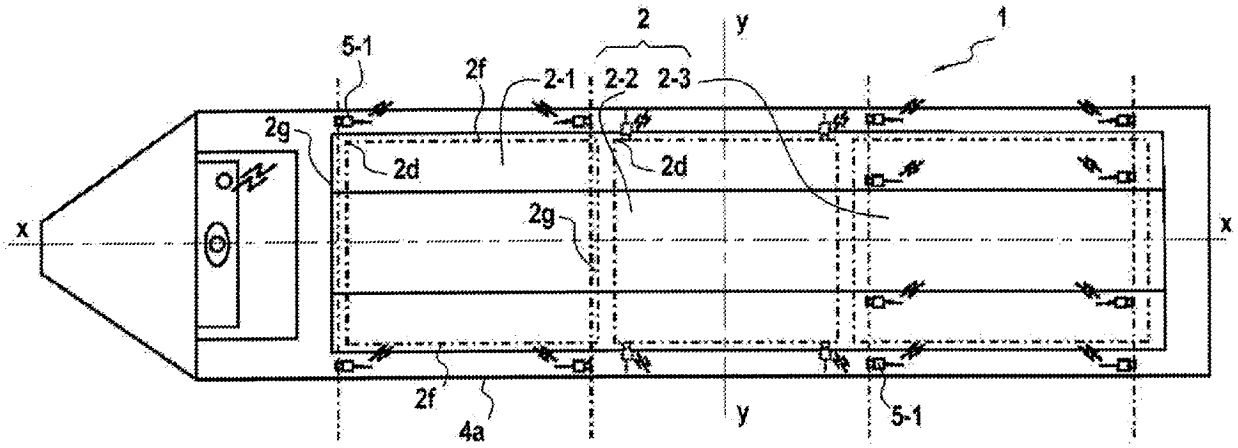


图 3

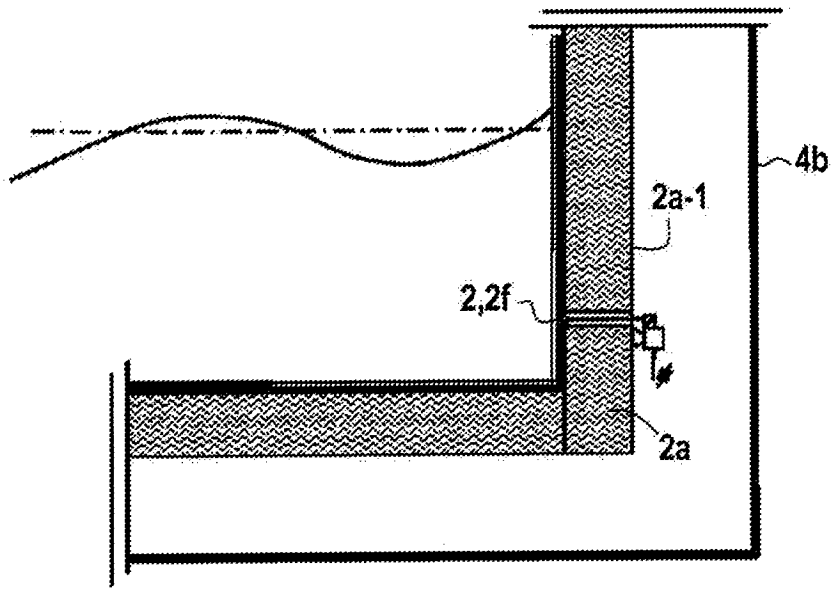


图 4

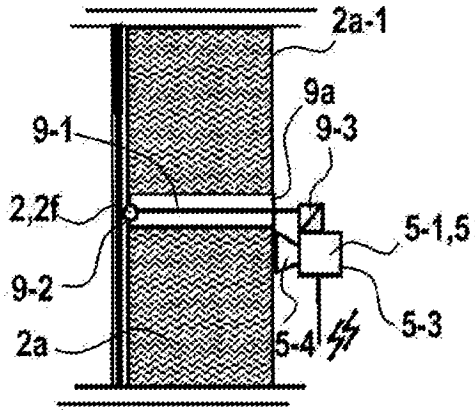


图 4A

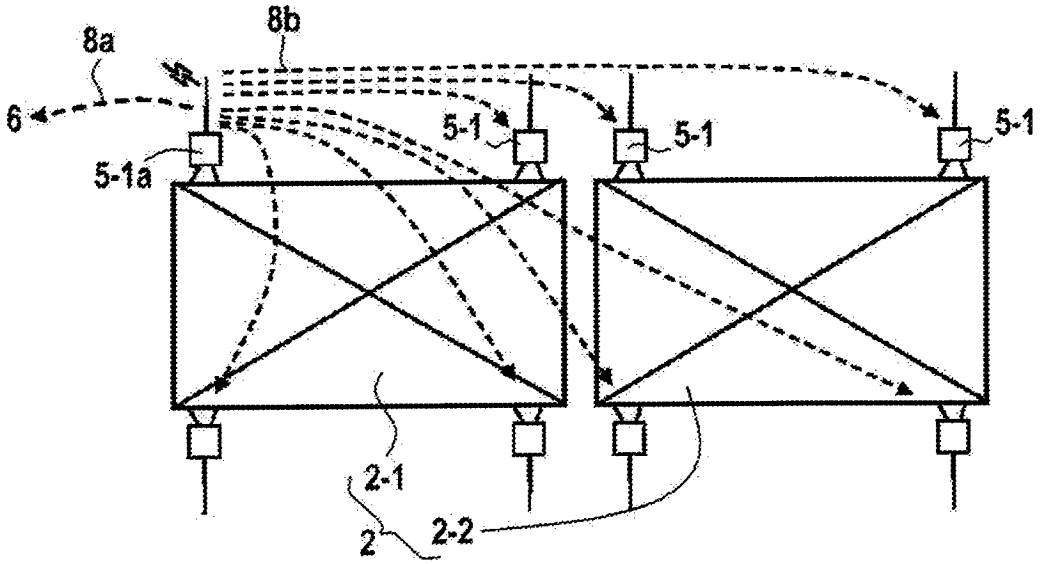


图 5

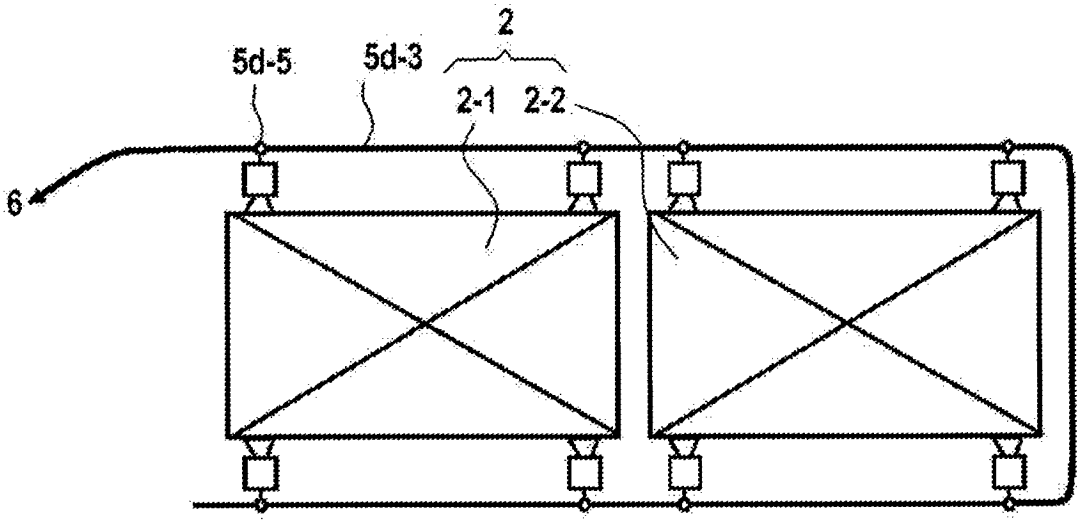


图 6

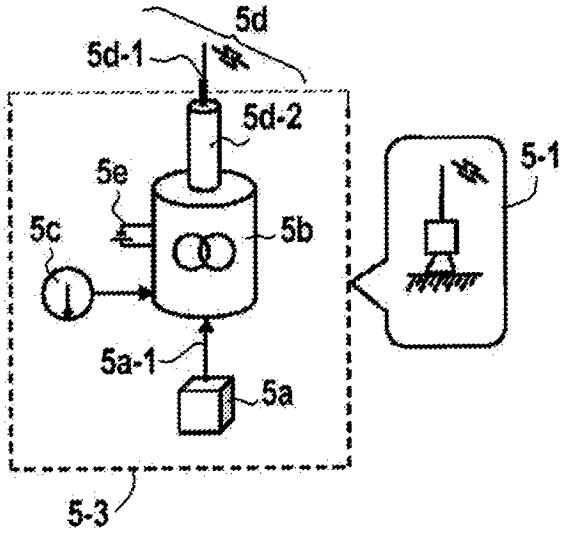


图 7A

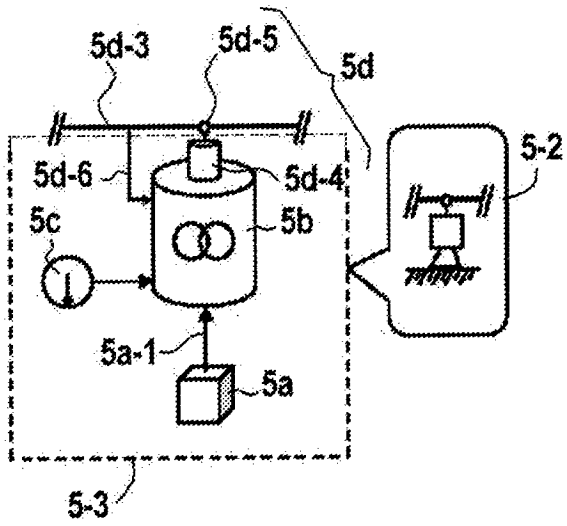


图 7B

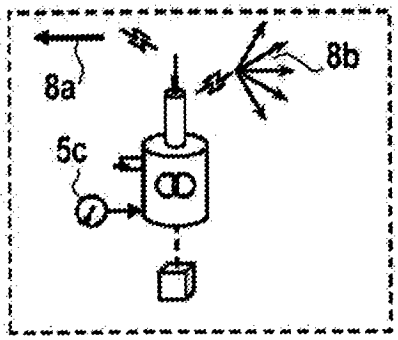


图 8A

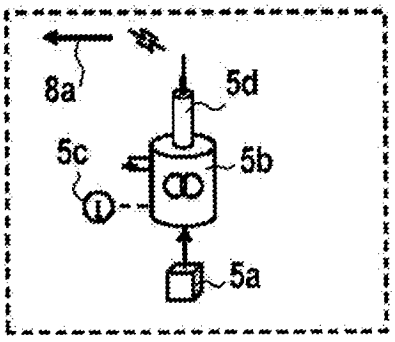


图 8B

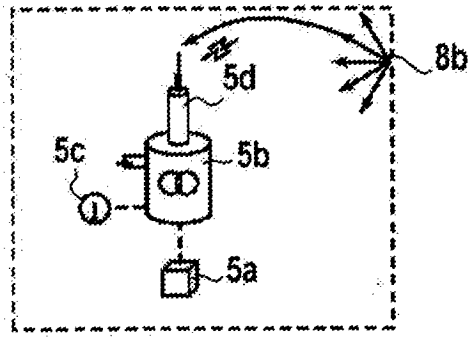


图 9A

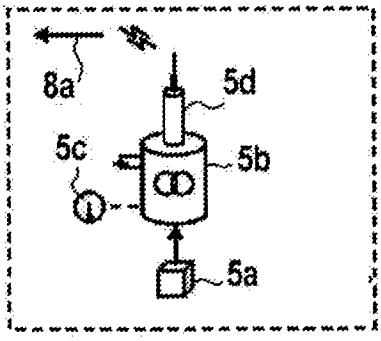


图 9B

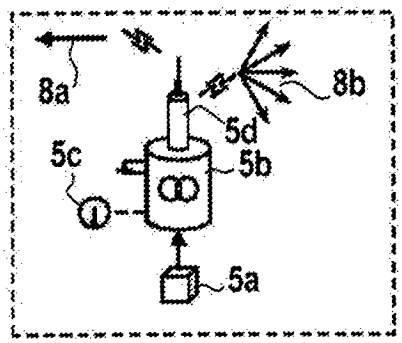


图 10A

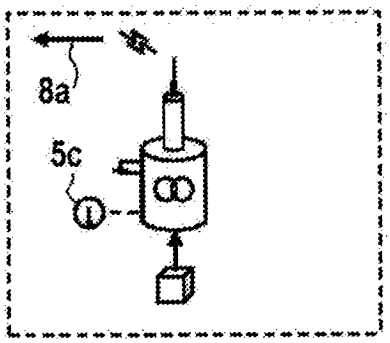


图 10B

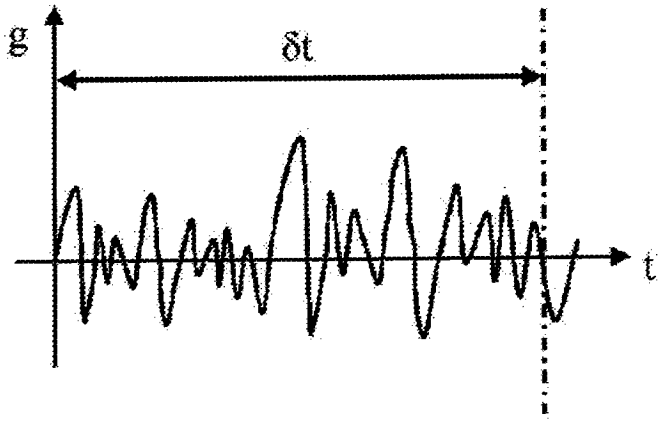


图 11A

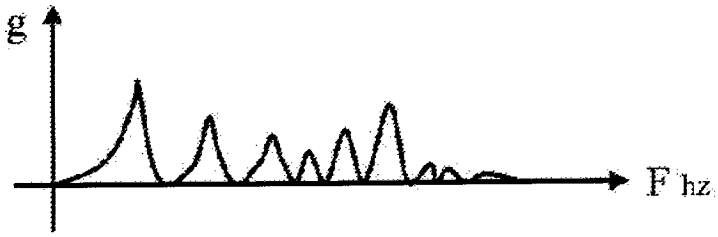


图 11B

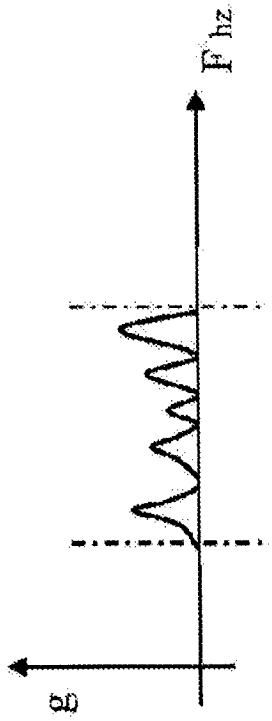


图 11C

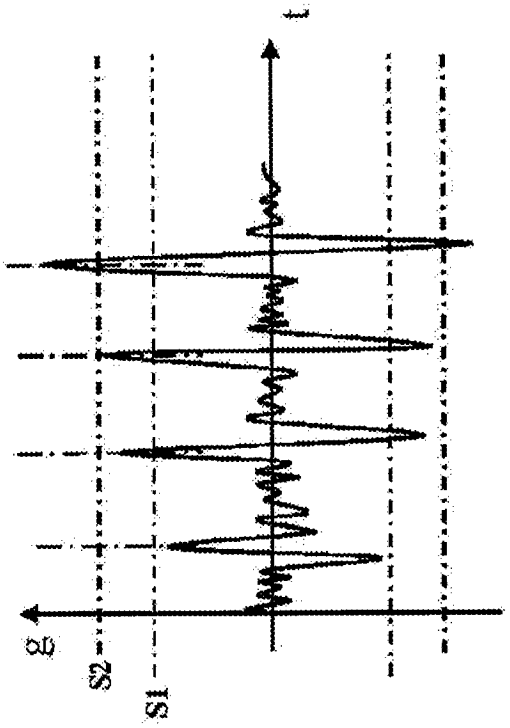


图 11D

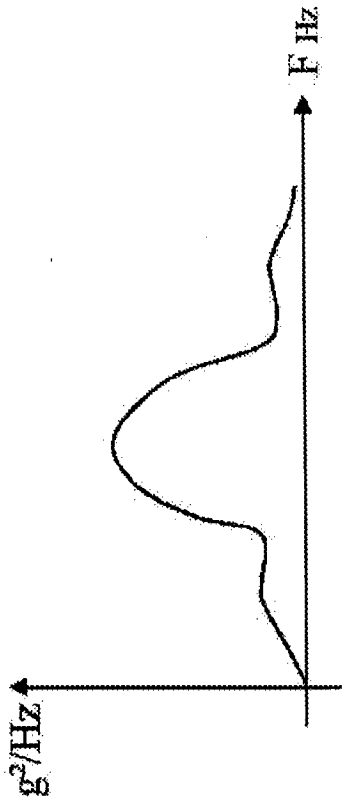


图 12A

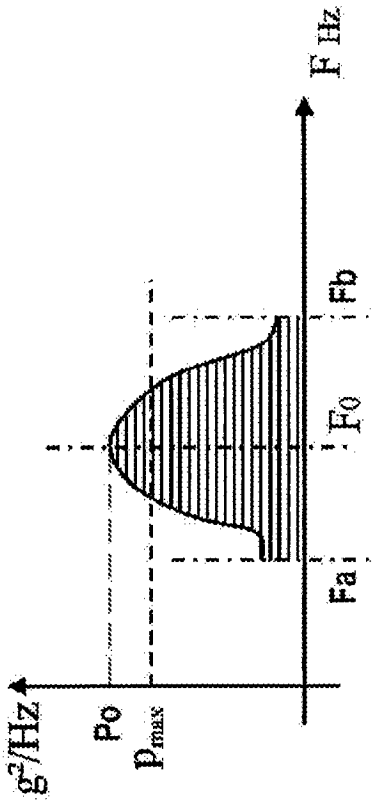


图 12B

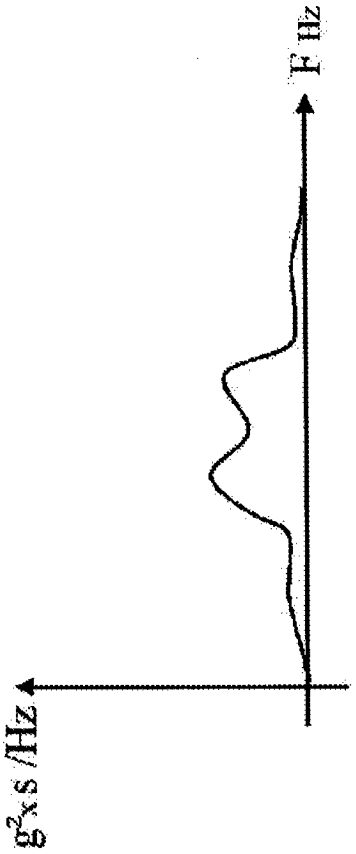


图 13A

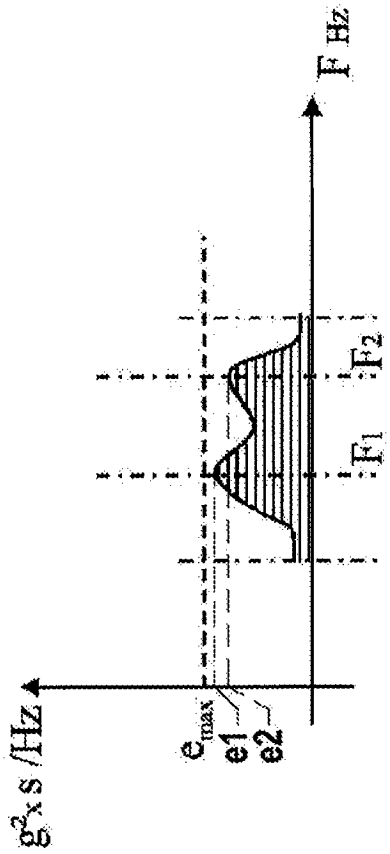


图 13B