



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107076155 B

(45)授权公告日 2020.04.21

(21)申请号 201480082745.5

扬·卡罗·奥勒斯楚普

(22)申请日 2014.10.15

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司
11332

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107076155 A

代理人 王瑞朋 胡彬

(43)申请公布日 2017.08.18

(51)Int.Cl.

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.04.17

F04D 13/06(2006.01)

F04D 15/00(2006.01)

F04D 29/046(2006.01)

F04D 29/66(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2014/072123 2014.10.15

审查员 旷玉芬

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/197141 EN 2015.12.30

(73)专利权人 格兰富控股联合股份公司
地址 丹麦比耶灵布罗市

(72)发明人 弗莱明·蒙克 C·L·莫恩森

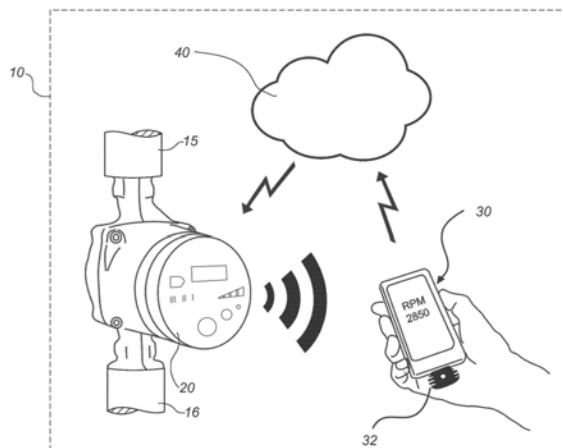
权利要求书3页 说明书14页 附图10页

(54)发明名称

用于通过手持通信装置检测泵组件中的故障的方法和系统

(57)摘要

描述了一种用于通过使用手持通信装置来检测泵组件中的故障或操作参数的方法。泵组件包括电动机和泵,其中,泵组件或电动机具有至少一个转轴。该方法包括下述步骤:a)通过使用连接至手持通信装置或实现在手持通信装置中的扩音器来非接触地测量从泵组件发出的声音信号;b)处理测量的声音信号;以及c)通过处理的声音信号识别包括任何可能的故障的一个或多个声音发出状况。



1. 一种通过使用运行应用程序的手持通信装置来检测包括电动机和泵的泵组件中的故障或操作参数的方法,其中,泵组件或电动机具有至少一个转轴,所述方法包括:

a) 通过使用连接到手持通信装置或在手持通信装置中实施的扩音器来非接触地测量从泵组件发出的声音信号,

b) 处理测量的声音信号,以及

c) 通过处理的声音信号识别包括任何可能的故障的一个或多个声音发出状况,其中,当已经找到扩音器的可接受的测量位置时,手持通信装置提供反馈。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,步骤b)的处理步骤包括下述子步骤:处理测量的声音信号以估计转轴的转速。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,步骤b)的处理步骤包括滤出处理的信号的周期信号的步骤,其中,通过使用周期信号执行步骤c)的识别。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述方法包括运行预例程的步骤,其中,使转轴处于驱动状态,其中,从泵组件发出的声音信号能够由扩音器检测到。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,步骤b)和/或步骤c)通过手持通信装置中实施的处理单元和/或安装在手持通信装置上的软件应用程序来执行。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中,步骤b)和/或步骤c)通过在外部服务器中实施的处理单元或安装在外部服务器上的软件程序来执行。

7. 根据权利要求5或6所述的方法,其中,处理单元或软件应用程序包括具有不同的泵组件类型或模型的库。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中,通过使用具有不同的泵组件类型或模型的所述库来识别步骤c)中的包括任何可能的故障的声音发出状况。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中,将泵组件类型或模型输入到手持通信装置中。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,手持通信装置上的应用程序提示外部服务器关于所输入的泵组件类型或模型的信息。

11. 根据权利要求7所述的方法,其中,所述库还包括关于如何纠正识别出的特定泵组件类型或模型的故障的信息。

12. 根据权利要求7所述的方法,其中,所述库还包括关于如何针对泵组件来匹配扩音器的信息。

13. 根据权利要求7所述的方法,其中,所述库还用于积累来自不同的泵组件的声音测量或处理的声音测量。

14. 根据权利要求7所述的方法,其中,步骤a)包括使用布置在相对于泵组件的不同位置处的扩音器的多个测量。

15. 根据权利要求1-6中的任意一项所述的方法,其中,步骤b)中的处理通过从下述的组中选出的方法来执行:

RMS水平检测;

频谱分析;

包络分析;或

倒谱分析。

16. 根据权利要求1-6中的任意一项所述的方法,其中,所述至少一个转轴在预设的时

间段内从第一转速扫描到第二转速,其中,生成并处理频谱图。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,在扫描期间记录故障状态,以识别泵组件出现故障的转速区域。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中,随后指示泵组件以避免在泵组件出现故障的转速区域处驱动泵组件。

19. 根据权利要求1-6中的任意一项所述的方法,其中,在所述至少一个转轴的多个不同的离散的转速下执行测量,以找到最佳测量条件。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中,通过频谱分析执行转速的估计。

21. 根据权利要求1-6中的任意一项所述的方法,其中,在轴承故障、空化、干运转、水锤和不平衡的组中识别故障状态。

22. 一种用于检测包括泵和电动机的泵组件(20、20'、120)中的故障或操作参数的故障检测系统(10、110),其中,泵组件(20、20'、120)或电动机具有至少一个转轴,其中,故障检测系统(10、110)还包括:

手持通信装置(30、130),其包括:扩音器(32、132),用于非接触地测量从泵组件(20、20'、120)或电动机发出的声音;以及在手持通信装置(30、130)中实现的处理单元(131)和安装在手持通信装置(30、130)上的软件应用程序,用于处理经由所述扩音器(32、132)测量的测量的声音信号,其中,故障检测系统(10、110)还包括:

识别模块,用于通过处理的声音信号识别包括任何可能的故障的声音发出状况,

其中,故障检测系统(10、110)被配置为当已经找到扩音器的可接受的测量位置时提供反馈。

23. 根据权利要求22所述的故障检测系统,其中,扩音器(32、132)实现在手持通信装置(30、130)中。

24. 根据权利要求22所述的故障检测系统,其中,扩音器(32、132)外部耦接至手持通信装置(30、130)。

25. 根据权利要求22至24中的任意一项所述的故障检测系统,其中,识别模块实现在手持通信装置(30、130)上。

26. 根据权利要求22至24中的任意一项所述的故障检测系统,其中,所述故障检测系统还包括外部服务器(40)。

27. 根据权利要求26所述的故障检测系统,其中,识别模块实现在外部服务器(40)上。

28. 根据权利要求22至24中的任意一项所述的故障检测系统,其中,所述故障检测系统(10、11)还包括滤波器模块,用于处理检测的声音信号,以消除轴的当前转速的影响并且滤出处理的信号的周期信号。

29. 根据权利要求28所述的故障检测系统,其中,处理单元和/或滤波器模块包括从下述的组中选出的分析模块:

RMS水平检测模块;

频谱分析模块;

包络分析模块;或

倒谱分析模块。

30. 根据权利要求22至24中的任何一项所述的故障检测系统,其中,识别模块包括模糊

逻辑和/或神经网络。

31. 根据权利要求22至24中的任意一项所述的故障检测系统,其中,所述故障检测系统包括库模块(136),特定操作状态的特征模式存储在库模块(136)中,其中,识别模块被设计为通过存储的模式来识别操作状态。

32. 根据权利要求22至24中的任意一项所述的故障检测系统,其中,识别模块用于估计所述至少一个转轴的转速。

用于通过手持通信装置检测泵组件中的故障的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及用于检测具有电动机和泵的泵组件中的故障或操作参数的方法。本发明还涉及用于检测包括泵和电动机的泵组件中的故障的故障检测系统,其中,泵组件或电动机具有至少一个转轴。

背景技术

[0002] 在由电动机驱动的泵组件中可能出现不同的故障状态。电动机自身可能发生故障,或者泵的部件可能发生故障。故障例如可以是轴承故障、叶轮的损坏、或泵组件的污染。此外,诸如空化的一些故障仅在泵组件的某些驱动状态下发生。

[0003] 希望能够尽可能早地检测到这样的故障,以便能够在泵组件彻底失效发生之前替换已损坏的部件或整个泵组件。

[0004] EP1972793 A1(格兰富)描述了一种用于通过适配到泵组件的振动传感器(例如加速计)来检测泵组件中的误差的方法。但是,该方法具有缺点,即传感器需要适配到泵的壳体,这在许多状况中是不便的。

[0005] 此外,需要一种方法和系统,由此,服务人员或用户可以更容易地识别泵组件中的故障而不需要在维修泵组件时携带大型设备。

发明内容

[0006] 本发明的目的是获取一种新的方法和系统,其克服或改良现有技术的至少一个缺点,或者提供有用的替代方案。

[0007] 根据本发明,这凭借一种用于通过使用手持通信装置来检测包括电动机和泵的泵组件中的故障的方法来获得,其中,泵组件或电动机具有至少一个转轴,所述方法包括:

[0008] a) 通过使用连接到手持通信装置或在手持通信装置中实现的扩音器来非接触地测量从泵组件发出的声音信号,

[0009] b) 处理测量的声音信号,以及

[0010] c) 通过处理的声音信号识别包括任何可能的故障的一种或多种声音发出状况。

[0011] 这提供了一种特定的简单方法,其中,可以使用诸如智能手机的手持通信装置来利用内部或外部扩音器来检测声音信号。此外,通过处理声音信号,可以经由非侵入式非接触法检测故障,因为不必将传感器适配到泵组件。

[0012] 处理单元或软件可以被实现在例如安装在智能手机上的应用程序(app)中。可选地或除此以外,处理单元或软件(或其一部分)可以被实现在外部服务器单元上。因而,测量的声音信号或局部处理过的信号可以上传至服务器或云,在服务器或云中处理检测到的声音信号。

[0013] 总体而言,该方法提供这样一种方法,即,需要维护泵组件的工人或用户将能够仅使用手持通信装置以及可选地使用外部耦接的扩音器来检测故障,相比于现有技术的系统和方法,其提供了一种特定的简单的故障检测系统和方法。此外,该方法优于利用加速计或

振动计的故障检测方法,因为这些加速计或振动计对泵组件上的位置敏感。

[0014] 在手持通信装置上安装应用程序以检测并识别泵的状态或故障。该应用程序用作处理和分析单元的前端,或者,处理和分析部分可以实现在该应用程序中。

[0015] 术语“手持通信装置”可以涵盖许多有限尺寸的便携式装置,并且可以例如从由智能手机、平板电脑、PDA以及可穿戴装置(例如智能手表)组成的组中选择。

[0016] 术语“应用(app)”或“软件应用(软件app)”是应用程序和软件应用程序的简称。应用程序是一块软件,并可以在互联网、计算机、智能装置或其它电子装置上运行。在本发明中,应用程序(或应用)在手持通信装置上运行。

[0017] 根据有利的实施例,步骤b)的处理步骤包括下述子步骤:处理测量的声音信号以估计转轴的转速以及可选地将测量的声音信号或已处理的声音信号标准化。因此,可以从信号或已处理的信号中消除轴的转速的影响,由此,已处理的信号不依赖于轴的转速。因此,可以独立于当前转速而检测包括任何可能的故障的声音发出状况。

[0018] 可以经由频谱分析来执行转速的估计。这可以例如通过对测量的声音信号进行采样并可选地进行下采样来执行,之后,通过快速傅里叶变换(FFT)运行采样信号,其中,分析FFT信号以定位峰。峰将与轴的转速对应。

[0019] 在另一个有利的实施例中,步骤b)的处理步骤包括滤出已处理的信号的周期信号的步骤,其中,通过使用周期信号来执行步骤c)的识别。

[0020] 在特定的有利实施例中,该方法包括运行预例程的步骤,其中,转轴处于驱动状态,此时,从泵组件发出的声音信号可以通过扩音器来检测。家庭中的小型圆形泵运行地非常安静,并且可能对于标准手持通信装置来说难以检测。通常,这可以用多种方法来执行。可以例如通过让驱动轴从低转速开始(或者从零开始)被扫描并且增加转速直至可以检测到声音信号来执行。在一些情况中,可以在比正常操作状态高的转速下驱动运行测试状态,以便确保可以测量到声音信号,并且确保从泵组件发出的声音在可听范围内,例如,在20Hz以上。

[0021] 在另一个实施例中,外部扩音器被耦接至手持通信装置。因此,可以使用例如可足以测量家庭中的小型圆形泵的高灵敏度扩音器。

[0022] 在一个实施例中,经由在手持通信装置中实施的诸如DSP或微处理器的处理单元和/或安装在手持通信装置上的软件应用程序执行步骤b)和/或步骤c)。在另一个实施例中,经由在外部服务器中实施的处理单元或安装在外部服务器上的软件程序来执行步骤b)和/或步骤c)。还可以部分地通过手持通信装置并且部分地通过外部服务器来执行步骤b)和步骤c)。

[0023] 应用程序还可以将测量存储在手持通信装置上,然后,将测量随后上传至外部服务器以进行处理和分析。还可以预期的是,测量的声音可以持续不断地被流传至外部服务器。

[0024] 根据有利的实施例,处理单元或软件应用程序包括具有不同泵组件类型或模型的库或数据库。

[0025] 在一个实施例中,使用具有不同泵组件类型或模型的所述库来识别步骤c)中的包括任何可能的故障的声音发出状况。因此,库使得可以将某些已处理的声音频谱与特定泵组件类型或模型的特定故障类型相关联。因此,可以获取更精确的故障检测方法。

[0026] 有利地,泵组件类型或模型可以输入到手持通信装置中。这可以通过向应用程序中输入或找出泵组件类型或模型,或者通过从应用程序中选择与特定泵组件类型或模型对应的图片而简单地执行。因此,可以指示安装的应用程序将已处理的声音频谱与特定泵组件类型或模型联系起来。可代替地,用户可以照泵组件的铭牌照片,然后手持通信装置中的检测软件可以识别该类型或模型。也可以使用QR码或类似的东西。

[0027] 在一个实施例中,手持通信装置上的应用程序提示外部服务器关于所输入的泵组件类型或模型的信息。例如,如果在安装在手持通信装置上的库中不存在所输入的泵组件类型或模型,则这可以被引发。在此情况下,应用程序可以提示外部服务器关于新的泵组件类型或模型的信息,并将该信息下载至智能手机或其它类型的手持通信装置。如果在外部服务器中执行处理和分析,则其也可以作为一般步骤被引发。

[0028] 库还可以包括关于如何针对特定泵组件类型或模型以改正识别的故障的信息。因此,库可以例如包括指南,该指南告知服务人员不同的待执行步骤以改正故障。该指南可以安装在手持通信装置上的应用程序中,或者,一旦检测到泵组件类型或模型以及故障,该指南就可以被上传外部服务器或从外部服务器中存取。

[0029] 另外,库还可以包括关于如何针对泵组件来匹配扩音器的信息。因此,可以指示服务人员如何最恰当地获取并测量识别泵组件的特定状况或故障所需的的声音信号。

[0030] 在一个有利的实施例中,库还可以用于积累来自不同泵组件的声音测量或已处理的声音测量。因此,可以提供具有已知的声音测量或处理过的频谱的库,由此系统可以更好地学习识别不同类型的故障,并且可选地基于特定泵组件类型或模型。学习过程可以例如通过使用神经网络来执行。声音测量可以例如与特定类型的识别的故障关联,特定类型的识别的故障还可以包括之前未曾遇到的故障类型。这还可以有助于学习过程。

[0031] 在一个实施例中,步骤a)包括使用布置在相对于泵组件的不同位置处的扩音器的多个测量。可代替地或者除此以外,步骤a)和步骤b),或者步骤a)、步骤b)和步骤c)可以使用布置在相对于泵组件的不同位置处的扩音器而重复进行。在不同的扩音器位置处,可以更容易地测量不同类型的操作状态。例如,对于某些类型的泵,在泵的端部处可以更容易地测量由于轴的转速所发出的声音,而可以更好地从泵的侧部或圆柱体部测量诸如轴承损坏的故障。

[0032] 根据有利的实施例,当已经找到扩音器的可接受的测量位置时,手持通信装置提供反馈,例如,听觉反馈、视觉反馈或振动反馈。例如,可以通过测量的声音信号的最小阈值来确定可接受的状态。

[0033] 通过从具有RMS水平检测、频谱分析、包络分析和倒谱分析的组中选出的方法可以较好地执行步骤b)中的处理。还可以通过所述分析方法的组合来执行处理,由此,可以增加分析的显著性。

[0034] 在特定的有利实施例中,在预设的时间段内从第一转速到第二转速扫描至少一个转轴,在该方法中,测量并处理频谱。因此,分析经过处理的信号,以在用两个变量(例如,转速和声音频率)绘制的图示中比较操作状态。这提供了一种具有更高显著性的方法,因为与一个转速相比在更大范围内分析状况。随轴频率成比例地增加的频谱分配与轴承相关,因而将给出轴承故障的清晰指示。此外,频谱的一些部分独立于轴频率,因而将在整个频谱上给出指示,并且可以与电动机的共振结构有关。

[0035] 除了扫过多个转速,也可以在离散的操作点处进行非接触式测量。因此,在第一操作点处执行非接触式测量。然后泵组件在其操作状态下移至第二离散点(例如,通过增加轴的转速),然后在该工作点执行测量。然后通过手持通信装置比较两个操作点的测量,然后通过装置中的应用程序选择最佳操作点。然后通过装置向泵组件给出指令,因而泵组件从现在开始必须在最佳操作点运行。利用刚刚描述的方法,在两个或更多独立的操作点执行诊断,泵组件从欠佳的工作点(例如,在组件中具有不可接受的共振频率,或者在管道或泵中具有空化)转移到具有较少共振频率或不具有空化的操作点。从一个工作点到另一个工作点的移动可以基于两个工作点中每一个工作点中的单一参数的测量(例如,测量管道中的流动噪声),或者,可以基于多个参数的测量。因此,可以在至少一个转轴的多个不同的离散转速状态下执行测量,例如以便找到最佳测量条件。

[0036] 在非常有利的实施例中,在扫描期间记录故障状态,以便识别泵组件出现故障的转速区域。这可能例如是故障状态特别明显(例如,共振效果增强了故障的区域)的区域。它可能例如是针对特定转速而出现的空化状态。如果测量的显著水平大约是设定的阈值水平,那么例如可以记录故障状态。

[0037] 根据另一个有利实施例,随后指示泵组件以避免在泵组件出现故障的转速区域或者故障特别明显的状态下驱动泵组件。因此,可以通过确保不在泵组件可能被进一步损害的转速下驱动泵组件延长泵组件的寿命。这对于可能在特定驱动状态下发生的空化尤其相关。

[0038] 可以从手持通信装置以无线的方式发送指令,例如通过蓝牙或红外线。可代替地,泵组件可以经由外部服务器来接收指令。

[0039] 可以例如在轴承故障、空化、干运转、水锤(water hammering)和不平衡的组之中识别故障状态。

[0040] 本发明还提供一种用于检测包括泵和电动机的泵组件中的故障或操作参数的故障检测系统,其中,泵组件或电动机具有至少一个转轴,其中,所述故障检测系统还包括:

[0041] -手持通信装置,其包括:扩音器,用于非接触地测量从泵组件或电动机发出的声音;以及在手持通信装置中实施的处理单元和/或安装在手持通信装置上的软件应用程序,用于处理经由所述扩音器测量的测量的声音信号,其中,所述故障检测系统还包括:

[0042] -识别模块,用于通过已处理的声音信号识别包括任何可能的故障的声音发出状况。

[0043] 这提供了特定的简单系统,在该系统中,服务人员仅需要携带诸如智能手机的手持通信设备以及可能需要携带用于识别泵组件中的故障的外接扩音器。该系统允许通过使用外部或内部扩音器来测量声音信号。此外,通过处理声音信号,使得可以经由非侵入式非接触法检测故障,因为无需将传感器适配到泵组件(否则会影响测量)。

[0044] 在一个实施例中,扩音器实现在手持通信装置中。在另一个实施例中,手持通信装置可以例如是智能手机,并且扩音器是智能手机的内部扩音器。在另一个实施例中,扩音器外部耦接至手持通信装置。

[0045] 识别模块可以有利地实现在手持通信装置上。

[0046] 根据特定的有利实施例,该系统还包括外部服务器,在这样的设置中,识别模块可以实现在外部服务器上,此外,处理单元的一部分也可以实现在外部服务器(例如,信号处

理器或软件应用程序)上。

[0047] 该系统还可以包括适于处理检测的声音信号的滤波器模块以消除轴的当前转速的影响,并且滤出已处理的信号的周期信号。滤波器模块可以实现在手持通信装置或外部服务器中。

[0048] 处理单元和/或滤波器模块可以包括从由RMS水平检测模块、频谱分析模块、包络分析模块和倒谱分析模块组成的组中选出的分析模块。

[0049] 识别模块可以有利地包括模糊逻辑和/或神经网络。

[0050] 在一个有利实施例中,该系统包括库模块,在该库模块中,对于特定操作状态存储特征模式,其中,识别模块被设计为通过所存储的模式来识别操作状态。所述模式可以基于前述分析方法和模块(即,RMS水平模式、频谱模式、包络模式或倒谱模式)中的任意一个。

[0051] 扩音器可以是方向性扩音器(例如,具有方向属性(directional profile)),其中,该扩音器对特定方向尤其敏感,并且可抑制来自特定方向的声音。

[0052] 识别模块也可以有利地用于估计至少一个转轴的转速。从而,该系统能够将测量的声音频谱标准化为轴的转速,由此,可以在宽泛的驱动状态下比较频谱。

[0053] 应当意识到,一些实施例在本质上是更普遍的。因此,大多数实施例还可以利用其它类型的传感器来实施。因此,涉及各种算法并使用外部传感器的实施例还可以经由例如手持通信装置和辅助的传感器(例如加速计)来执行。这可以进一步用作基于声音的测量的检验。

附图说明

[0054] 以下参照附图所示的实施例来详细解释本发明,其中:

[0055] 图1示出了根据本发明的故障检测系统的实施例;

[0056] 图2示出了具有第一类型的泵组件的故障检测系统的实施例;

[0057] 图3示出了具有第二类型的泵组件的故障检测系统的实施例;

[0058] 图4示出了故障检测系统的手持通信装置部件的组件以及泵组件的声源的组件;

[0059] 图5示出了具有图形用户界面的手持通信装置;

[0060] 图6示出了在通过使用测量的声音信号来估计泵组件中的轴的转速中涉及的步骤;

[0061] 图7示出了状态监控系统中的步骤;

[0062] 图8示出了泵组件的轴承中的故障以及由于所述故障所发出的相关声音;

[0063] 图9用透视图示出了轴承;

[0064] 图10示出了包络分析法中的步骤;

[0065] 图11示出了从光谱分析和倒谱分析获得的示图;

[0066] 图12示出了在倒谱分析中使用的标准化预处理;以及

[0067] 图13示出了检测泵组件中的故障的方法中的步骤。

具体实施方式

[0068] 图1示出了根据本发明的用于检测泵组件20中的故障的故障检测系统10,其包括泵和电动机(未示出)。泵组件20安装在具有管道15、16的管道系统中。该系统包括手持通信

装置30,其形式例如为所示的智能手机或平板电脑等。手持通信装置30包括外部耦接的扩音器32,后者可以用于非接触地测量从泵组件20发出的声音信号。该系统还包括外部服务器40或云。泵组件20是通常在加热系统中用于循环水的循环泵。

[0069] 在第一实施例中,泵组件20具有图2所示的类型,其中,泵和电动机被实现到普通壳体21中。在图3所示的第二实施例中,泵组件20'具有这样的类型,即,泵和电动机分别独立在泵壳体22'和电动机壳体24'中。

[0070] 因此,与图1和图2的泵组件不同,泵组件20'具有不同的且分开的声噪源。来自球状轴承、定子、转子和其它部件的噪声将来自壳体24',电噪声将从终端盒(或接线盒)25'发出,终端盒并入了泵组件的控制电子器件。来自管道中的流体的噪声(即,流动噪声)从泵壳体22'发出或者从连接至该泵壳体的管道(未示出)发出。由空化产生的噪声、由泵的叶轮产生的噪声、或由水锤现象产生的噪声也将来自泵组件的该区域发出。

[0071] 手持通信装置30可以包括诸如微型计算机或数字声音处理器的处理单元和/或安装在手持通信装置30上的软件应用程序,以用于处理经由扩音器32测量的声音信号。测量的声音信号或已处理的声音信号可以与已知的声音发出状况进行比较,已知的声音发出状况通过使用识别模块来指示泵组件中的故障。

[0072] 在图1至图3中,扩音器32已经被描绘成外部耦接的扩音器。但是,本发明还考虑使用内部扩音器。如果手持通信装置30的内部扩音器对可测量的音频带宽具有特定限制或者具有方向性限制,那么外部扩音器可以例如是必要的。

[0073] 图4示出了在根据本发明的故障检测系统110中使用的泵组件120和手持装置130的一个实施例。

[0074] 手持通信装置130包括用于辅助并解读数据的微型计算机131。故障检测系统可以包括专用系统,例如为检测故障状态所特别设计的微型计算机或数字信号处理器,但是在优选的实施例中,故障检测系统包括安装在手持通信装置130上的专用软件应用程序。

[0075] 如上所述,手持通信装置130包括用于非接触地测量从泵组件120发出的声音(用手持通信装置与泵组件之间的波形表示)并可以指示泵组件120的特定故障状态的扩音器132。手持通信设备130还包括使用手持通信装置130向服务人员提供视觉反馈的显示器133。手持通信装置130还包括输入模块134,由此服务人员可以将信息输入到手持通信装置130中或输入到安装在通信装置130上的软件应用程序中。输入模块134可以是经由诸如触摸屏显示器(其现在是大多数智能手机和平板电脑的一部分)的显示器的一部分。但是,原则上,输入模块也可以是通信装置130的键盘。

[0076] 手持通信装置130还包括通信模块135,其允许手持通信设备135与泵组件120和/或外部服务器进行通信。通信装置可以包括多种不同的通信类型,例如但不限于GSM、CDMA、3G、4G、红外线和蓝牙。

[0077] 手持通信装置130还可以包括存储在软件应用程序中的库136。库可以包括:与已知的泵组件类型和模型、已知的故障以及相关的声音发出状况(例如,与特定的泵组件类型或模型相关的声音发出状况)有关的数据库;关于如何从特定的泵组件类型或模型获取测量的指令指南;以及关于如何改正识别的故障的指令指南。

[0078] 除了扩音器132外,手持通信装置130还可以包括多种其它传感器,例如加速计137。传感器有利地集成在手持通信装置130中,但是,与扩音器一样,也可以使用外部耦接

的传感器。附加的传感器可以例如是用于获取声音测量的次级检验。内部加速计137可以例如用于二次测量,其中,手持通信装置130物理地接触泵组件120的壳体,以获取振动测量。

[0079] 如进一步在图4中所示,泵组件120包括多个不同的特征,其可能引起故障和噪声源。泵组件120包括用于驱动泵的马达和转子123,其可能是发出的声音和故障的源。此外,泵组件120可以包括连同机械密封件一起的轴承126,它们通常是泵组件中出现故障的源。泵还可以包括具有叶轮刀片或叶片的叶轮125,叶轮刀片或叶片引起泵中的液体移动。泵组件120还包括电子部件129,用于控制泵组件120并用作服务人员或外部服务器与泵组件120之间的接口。

[0080] 此外,来自管道中的水的噪声127可以是来自泵组件附近或从泵组件发出的声音的源,并且可以根据湍流或层流而变化。此外,泵组件120在某些驱动状态下可能易于空化128。空化是由于强制施加在液体上而导致在液体中形成气腔,例如水中的小气泡或空泡。当压力相对低时,在流体遭受导致形成空腔的快速压力变化时通常出现空化。当遭受相对高的压力时,空泡破裂并可以产生强烈的冲击波,这会对例如泵组件120的叶轮125引起磨损。来自空化的噪声通常表现为小的“啪啪(pops)”,例如是在kHz带宽(例如,10kHz至20kHz)中。此外,可能出现水锤现象124。

[0081] 每种噪声源具有其特定的频率范围。来自泵中的叶轮的噪声通常与轴的转速相同,即大约3000RPM。除此以外,叶轮上的刀片也产生噪声,刀片频率是转速的倍数。流动噪声(即,来自在管道中流动的液体的噪声)通常是白噪声,也称为1/f噪声,并且在1Hz至25kHz的范围内。由于使用开关电子器件,泵组件的电子器件常产生宽频带噪声频谱。标准的范围是50kHz至200kHz。上述的空化噪声在10kHz至20kHz的范围内。球状轴承产生在1kHz至15kHz范围内的噪声,而电动机和机械转子在轴的转速范围内产生噪声。在极端情况下会破坏泵的水锤现象在1Hz至300Hz的范围内是可检测的。

[0082] 总体来说,本系统提供一种特别简单的故障检测系统10、110,其中,服务人员仅需要携带手持通信装置30、130(例如智能手机),并且也可能需要携带用于识别泵组件20、120中的故障的外接扩音器。通过使用内部或外部扩音器,本系统允许进行声音信号的测量。此外,通过处理声音信号,也可以经由非侵入式非接触法检测故障和/或识别故障原因,因为无需将传感器适配到泵组件,否则,传感器会影响测量并且对泵组件上的位置敏感。

[0083] 分析工具可以被实现在安装在手持通信装置上的处理单元或软件应用程序中。可代替地或除此以外,处理单元或软件(或其一部分)可以被实现在外部服务器单元上。因而,测量的声音信号或部分地处理的信号可以上传至服务器或云,在服务器或云中处理检测到的声音信号。

[0084] 该系统可以配置为识别许多不同的故障状态,例如在轴承故障、空化、干运转(dry running)、水锤和不平衡的组之中识别。

[0085] 安装在例如具有显示器34的移动电话30上的软件应用程序可以配置图形用户界面(GUI),例如如图5所示,该GUI可以示出上述故障状态的状况。此外,该系统可以用于检测泵组件的轴的转速,并且还可以在GUI上对此进行显示。此外,GUI可以示出测量的声音频率频谱。可以根据检测的转速将测量的声音信号标准化,由此更容易地将故障频谱与已知的声音发出状况进行比较。

[0086] 基于频谱分析来估计转速

[0087] 当如在本发明中与泵组件一起运转时,获知轴的物理转速或RPM通常是重要的。知道电动机的电子频率是不够的,因为在异步马达的电子速度和物理速度之间存在滑差。

[0088] 可以使用转速计测量轴的物理速度。原理是将激光照射到轴上的反射带,从而在时间间隔期间对反射数进行计数。但是,这将需要在每个轴上安装反射带,并且同时不实用或甚至可能与转轴产生接触。这也不符合本发明的原则,本发明旨在为服务人员提供一种简单的工具,优选地提供一种检测转速和可能的故障的非侵入式非接触法。

[0089] 因此,故障检测系统包括基于利用根据本发明的系统测量的声音信号来估计轴的转速的算法。该算法的概要如图6中示出。

[0090] 声音信号通过手持通信装置的扩音器来测量(在步骤210中),并且被转换成数字采样信号(在步骤220中),该数字采样信号提供具有在给定采样频率下产生的多个样本的样本阵列,给定采样频率由手持通信装置设置。为了处理采样信号,可能需要将矢量样本重新采样成二的幂(在步骤230中)。

[0091] 将包含与RPM有关的信号分量的频带通常将在10Hz至60Hz的范围内。为了将频率分析限制到该频带,将信号下采样为例如128Hz(在步骤240中)并且保持频率在奈奎斯特速率以上。对于一些手持通信装置,仅可以检测在20Hz以上的可听见的频率。在这样的情况下,可能需要将RPM增加至可以检测的速度。

[0092] 在程序的每个循环中,下采样提供了有限数量的样本。为了获取充足的频率分辨率,将样本收集到具有例如512个样本的大小的循环缓冲区(circular buffer)中(在步骤250中)。

[0093] 如果对缓冲区矢量执行频率分析,那么相应的RPM分辨率将是 $\Delta\text{RPM} = 60 (128\text{Hz} / 512\text{个点}) = 15\text{rpm}$ 。该分辨率在一些情况下可能过低。为了增加分辨率,必须增加信号矢量的长度。但是,增加信号矢量将使估计器减慢。另一种解决方案将是保持频率分辨,但使用补零在频谱中内插点的数量(步骤260)。新的信号矢量将包含缓冲区矢量的窗口版本,即补零至例如8192个点,这提供了大约1rpm的分辨率。

[0094] 对内插信号进行傅里叶变换(在步骤270中),并且所得的傅里叶频谱将示出对应于RPM的清晰的峰。因此,可以通过发现傅里叶频谱的最大值或峰来获得RPM(在步骤280中)。

[0095] 来自运转的电动机的振动或声音频谱将总是产生与转动频率对应的小信号分量,因为转子不能被制成完全平衡。但是,可以从马达的其它部分、泵或流体产生其它信号分量。为了更稳健地估计RPM,可以引入小搜索窗口。根据已知的马达参数来控制搜索窗口的位置,或者如果操作员已经对期望的RPM有一些了解,则将控制搜索窗口的位置。窗口的尺寸可以例如被固定为200rpm的宽度,窗口的高度设置成1。

[0096] 应当指出,用于检测RPM的算法本质上是通用的,并且不仅限于通过手持通信装置的声音测量。估计还可以例如基于例如如在EP1972793中所描述的振动测量。

[0097] 因此,本发明还提供估计泵组件的轴的转速的方法,其中,对振动或声音进行测量并采样、重新采样、下采样、缓冲、补零、傅里叶变换以及峰检测。

[0098] 故障检测

[0099] 在下文中,参照轴承故障检测来解释故障检测系统和识别故障的方法。但是,该系统还可用于检测其它类型的故障。

[0100] 状态检测 (CM) 的概念是使用先进的技术,以便确定设备状态,并且潜在地预测故障。该早期预测的观点是改变负载条件,以便延缓潜在的故障直到定期维护。这通常将改善设备可靠性,最小化故障停机时间并最大化部件寿命。

[0101] 在目前的应用中,目的是研发一种通过手持通信装置基于测量的声音信号310来检测轴承故障的CM系统。用于CM系统的典型检测器可以由图7所示的两个元件构成,即故障的特征提取320和分类330。

[0102] 特征提取是根据声音测量结果生成一组描述符或特征属性的过程。分类是解读特征并将其与具有已知缘由的一组预分析特征进行比较的过程,以便估计适当的诊断。该划分是有利的,因为其强调了如下事实,如果特征提取算法进行地较差,那么基于大神经网络的最佳分类算法将作出错误的诊断。

[0103] 如图8和图9所示的轴承426是具有双滚道和有限数量的滚珠440的高精度机械结构。因为内滚道455和外滚道460以相对速度旋转,所以使用扩音器获取的相应发出的声音信号将是低功率的类白噪声信号。但是,在任何异常的情况下,例如,外滚道460中的裂缝450,每当滚珠440撞击该缺陷450时将通过扩音器来测量瞬态响应。这将使相应的声音信号470显著地具有周期结构480,以反映每次撞击之间的时间间隔。

[0104] 声音信号数据的信号分析目前带来四种不同的方法以确定损坏程度,即,RMS水平检测、频谱分析、包络分析和倒谱分析。

[0105] RMS水平检测

[0106] 轴承的整体声音水平与该轴承的预期使用寿命之间存在强的负相关性。通过评估声音水平 (RMS) 并将它们与一些警告水平或阈值水平进行比较,可以确定轴承的损坏。因此,RMS水平检测提供一种基于信号水平来确定故障级的特定的简单方法。但是,该方法具有“频率盲 (frequency blind)”的缺点,因而不能辨别不同的噪声源。此外,该方法不能辨别例如基本信号与一次谐波。因此,难以提供基于RMS水平检测的稳健的系统和方法,因为该方法不具有强的选择性。

[0107] 频谱分析

[0108] 振动信号的频谱分析可以区分具有不同频率的信号分量,因为它们通常与不同的振动源有关。通常使用信号的功率谱来执行分析,以计算信号能量如何在频域中分布。

[0109] 基于轴承的几何结构,可以计算四个基本频率,它们代表了最常出现的轴承故障,即,轴承的外环460的故障、轴承的内环455的故障、轴承的保持器465的故障或轴承的滚珠440的故障,也参见图9。

[0110] 测量的频率将取决于轴承滚珠的数量、轴频率 $f_{\text{轴}}$ 、滚珠直径、保持器直径以及滚珠接触角。对于给定的轴承几何结构,例如NSK6305轴承,外环460的故障、内环455的故障、保持器465的故障或滚珠440的故障可以例如是轴频率 $f_{\text{轴}}$ 的3.06倍、4.93倍、0.38倍和2.03倍。这意味着故障将位于声音频谱的不同部分中,因而可以用识别故障的类型。

[0111] 因此,基于已知的泵组件模型的轴承类型,故障检测系统的库可以包括预期频谱的数据库。

[0112] 包络分析

[0113] 这是一种立足于通信技术的初始的模拟方法。声音信号可以被理解成是根据调制波进行的载波的振幅调制 (AM) 的结果。调制波/基带信号将影响脉冲序列,并且载波将是轴

承与相应的马达结构的振铃/特征声音。在窄带AM波(与消息带宽相比的大载波频率)的情况下,可以使用称为包络检测器的简单但高效的装置来实现解调。理想地,包络检测器产生完全符合输入信号波形的包络的输出信号。模拟版本由二极管和电阻-电容滤波器构成,以便对信号进行下混频和低通滤波,但可以使用类似操作来获取数字版本。

[0114] 也可以使用傅里叶频谱图来论证包络检测器的结构。因为该过程对包络方法的特性和限制提供了一些见解,下面将给出简短的演示。宽带傅里叶频谱图的特性是高时间分辨率,因为底层的短时傅里叶变换(STFT)使用非常短的窗口长度。在周期信号的情况下,滑动窗口将随时间交替地通过高能量信号区域和低能量信号区域。相应的频谱也将是高低交替的能量谱,并且相应的傅里叶频谱图将由垂直条纹(1/T线频谱)来支配。具有外部故障的轴承所产生的振动信号的宽带傅里叶频谱图将显示在特定频带中的包络曲线(冲击脉冲序列)。

[0115] 如果针对仅包含上述特定频带附近的频率的带通滤波信号计算频谱图,那么可以通过计算频谱图的时间边界来提取包络曲线,并且可以如图10所示来完成而不需要通过对信号进行带通滤波(步骤510)、对结果求绝对值平方(步骤520)以及随后的低通滤波(步骤530)来计算频谱图。

[0116] 然后,当通过傅里叶变换(步骤540)和对结果求绝对值平方(步骤550)对来自检测器的包络曲线执行频率分析时,获得包络分析。

[0117] 与四种轴承故障类型相关的四个基本频率将出现在与频谱分析类似的频率频谱中。

[0118] 包络分析方法具有计算复杂度简单的优点,因为它可以使用两个滤波操作以及随后的FFT来完成。但是,该方法的缺点在于限制了带通滤波器的技术参数的选择。载波频率与轴承无关,但取决于马达结构和布局。它还可能根据轴频率而改变。这对于每种应用将需要单独的设置,因而可能是复杂的。

[0119] 倒谱分析

[0120] 所有轴承故障的一般迹象都存在测量的声音信号的周期结构。窄带傅里叶频谱图的性质是高频谱分辨率,因为底层STFT利用长窗口长度。在周期信号的情况下,窗口将捕获到信号的几个周期,并且相应的频谱将是离散的,因而显示出线谱。

[0121] 这意味着周期信号的傅里叶表示将是具有等距分配(equidistant contribution)的脉冲序列。在傅里叶频谱图中,该脉冲序列将出现如图11中的a看到的水平条纹。冲击速率的测量将是任意两个条纹之间的距离。但是,代替选择一对频率(这会引入限制),可以通过对所有条纹执行频率变换(即,频率表示的频率分析)来得到速率的整体估计。该方法称为倒谱分析,结果示出在图11中的b所示的倒谱中。通常通过对所估计的测量的声音信号的频谱的对数进行逆傅里叶变换来找到倒谱。

[0122] 值得注意的是,倒谱表示法不仅示出了上述基本频率610的预期分配,还指示具有其它冲击速率620、630、640的周期结构。这给出了轴承故障的更加描述性的符号。

[0123] 图11所用的声音信号已经被记录在具有缺陷轴承(外滚道)的马达上。在图11中的c和图11中的d中,轴速度在60秒内从10Hz扫到50Hz(500rpm到2500rpm)。检查图11中的c中的相应频谱图是十分有用的。其示出了部分频谱不依赖于轴频率,因为它们被排列成水平分配。它们构成了马达结构的共振区域。随轴频率成比例增加的频谱分配与轴承相关。对于

固定的时间位置,频率滑差构成了与周期信号相关的离散频谱,并且仅当轴承有缺陷时轴承信号才是周期性的。为了获取图11中的d中的倒谱表示,对频谱图的每一列进行高通滤波和傅里叶变换。倒谱表示显示出冲击速率如何随着时间而改变。由于振动信号包含多个振动源,通常存在一个以上的冲击速率。不同的源之间可以用它们的位置(速率)来区分。

[0124] 因为倒谱表示基于频率表示的频率分析,其测量了遍布整个域的频率组成。如果频谱的一些段落由于结构中的共振而衰减/放大,那么相应倒谱的水平将仅经历微小的变化,并且峰不会消失。该性质突出了如下事实,即,倒谱域是周期性测量,而非频率测量。

[0125] 倒谱域中的峰的位置取决于轴RPM(如图11中的d所示),并且为了解释与轴承故障检测有关的倒谱表示,RPM必须与倒谱并行提供。这将不必要地使诊断/分类倒谱系数的任务复杂化。对于可变的RPM,特定轴承故障特征中的峰的位置必须是固定的。与RPM相关的倒谱域的该缩放通常可以用三种方法获取:在倒谱分析之前预处理振动数据;在倒谱计算中缩放一个频率轴;或者后处理倒谱数据。在优选的实施例中,已经选择了通过根据检测的轴的转速进行重新采样对振动数据进行预处理,也参见前文解释。标准化算法的要素如图12所示。

[0126] 所测量的声音信号通过预处理步骤700来运行,其中,所测量的信号相对于轴频率 $f_{轴}$ 进行标准化。

[0127] 预处理的目的是缩放声音信号的频率轴。为了避免混淆,信号必须在进行下采样之前适当地进行低通滤波(在步骤710中)。该滤波可以通过二十阶巴特沃斯(Butterworth)滤波器来进行。传统的重新采样方法是使用非因果辛格(sinc)函数作为脉冲响应函数以对时间离散信号进行滤波(步骤720),然后,可以通过倒谱分析发送预处理信号(在步骤730中)。

[0128] RPM可以在同步马达的情况下从频率转换器获取,但是在异步马达的情况下,RPM必须被单独测量,或者基于声音信号的前述算法来确定。

[0129] 一旦信号已经标准化并通过倒谱分析运行,所得的倒谱可以与包括故障状态的已知操作状况的倒谱进行比较,以识别具体故障。这可以例如通过模式识别来执行。

[0130] 现在已经对于四种不同的分析方法描述了故障检测系统。但是,认识到的是,故障检测还可以使用各种分析方法的组合,并且可以使用所述方法中的一种方法来更好地检测特定故障类型。

[0131] 已经对于轴承故障描述了分析方法,这些故障通常以相对低的声音频率示出。但是,其它类型的故障可以在其它频带中识别。空化可以例如经由kHz波带的声音(例如,在10kHz与20kHz之间的声音)来检测。

[0132] 用于检测故障的方法

[0133] 用于检测泵组件中的故障的方法可以例如依据图13中所示的步骤来执行。

[0134] 在第一步骤810中,将泵组件模型输入到手持通信装置上的软件应用程序中。泵组件可以通过预例程820可选地运转,在该预例程中,增加轴的转速或者将轴的转速设定成某速度,此时可以经由手持通信装置的扩音器来检测从泵组件发出的声音。

[0135] 在第三步骤830中,可以经由手持通信装置的扩音器来非接触地测量从泵组件发出的声音。在步骤820和步骤830之间,软件应用程序例如可以为用户提供在显示器上的指南,显示器示出了扩音器和/或手持通信装置应该布置在哪些位置,以获取声音测量。该步

骤可以例如通过同时执行轴的转速扫描来执行,以在轴速度的间隔中执行声音测量。

[0136] 手持装置的定位及装置的测量在两个不同的步骤中完成。定位的步骤可能花费10秒到1分钟,测量取决于待测量参数的数量而可能花费5秒到1分钟。装置到泵组件的距离是大约1米到几厘米,该距离通常在距离泵组件的5厘米到30厘米的范围内。

[0137] 当定位手持通信装置或扩音器时,如果从泵集合接收到的信号在幅值和量上是适当的且足以执行测量,那么应用程序将有利地显示在装置屏幕上的应用程序中。用户将使装置靠近泵组件,或远离泵组件,或者将装置移动到泵组件的侧面、上方或下方。在执行该操作时,装置和应用程序将检测信号,一旦达到最佳位置,装置可以在装置的显示器中给出声音信号、振动、或给出视觉指示。以这种方式,手持通信装置已经向用户给出了信号反馈。该信号和装置定位过程可以针对一个单一参数做出,例如,用于测量空化,或者,其可以针对几个参数同时做出。在后一情况中,装置的应用程序可以为同时测量多个参数查找最佳位置。因为一些故障参数的频率范围彼此不同,所以手持通信装置在第一持续时间内测量例如在1Hz至25kHz的范围内的流动噪声,然后在第二持续时间内切换到测量例如由电子器件产生的在50kHz至200kHz的范围内的噪声。因而,手持装置或者更确切地手持通信装置的应用程序顺序地执行图4所示的一个或多个噪声源的扫描。顺序可以由应用程序设置或者是随机的。

[0138] 该方法还可以检测泵的干运转,即转子和叶轮转动但管道中没有液体的情况。该情况对轴承有害。通过查看当泵在存在液体的情况下运转时测量的声音信号与当泵在无液体的情况下运转时测量的声音信号之间的差异,可以在如图5所示的手持装置的显示器上显示并作出关于“干运转:是”或“干运转:否”的说明。该系统还可以如稍后所述的那样学会去识别干运转状态,例如,通过神经网络或者通过将干运转状态与相关的声音信号模式或频谱以及可能的泵类型或模型相联系的数据库。

[0139] 同样,该方法还可以检测泵组件中的不平衡。不平衡可以例如是由转子或叶轮叶片引起的。如果叶轮叶片损坏(例如,由腐蚀或空化引起的),则也可能出现不平衡。该系统还可以如稍后所述的那样学会识别不平衡状态,例如,通过神经网络或者通过将不平衡状态与相关的声音信号模式或频谱以及可能的泵类型或模型相联系的数据库。

[0140] 在第四步骤840中,根据之前的例程来处理测量的声音信号,即,通过用于估计轴的转速的算法来运转,并基于前述分析方法中的一个或多个分析方法进行进一步分析。可以在手持通信装置、外部服务器或其组合上执行该分析。

[0141] 在第五步骤850中,将所处理的信号与所储存的声音发出状况进行比较,以识别泵组件的操作状态并识别任何可能的故障。在第六步骤860中,在GUI上将分析的结果显示给服务人员。

[0142] 基于可能的识别故障,可以在步骤870中指示泵不在泵组件出现故障的转速区域中驱动泵组件。这可以延长部件在需要被替换之前的时间和泵组件的寿命。可以经由手持通信装置或经由外部服务器直接指示泵组件。

[0143] 可代替地,在步骤880中,软件应用程序可以指示服务人员去替换泵组件或泵组件的部件。软件应用程序可以在GUI上提供指南,以指示服务人员如何去替换识别出的受损部件。

[0144] 在步骤830中测量的声音信号和/或在步骤840中处理的信号可以上传至外部服务

器或存储在库或服务中。因此,可以提供具有已知声音测量或处理频谱的库,由此,该系统可以更好地学习识别不同类型的故障,并且可选性地依赖于特定的泵组件类型或模型。学习过程可以例如通过使用神经网络来执行。声音测量可以例如与特定类型的识别故障联系,特定类型的识别故障还可以包括之前未曾遇到的故障类型。这还可以有助于学习过程。因此,故障检测系统将持续地更好地识别故障状态。

[0145] 已经参考有利的实施例描述了本发明。但是,本发明的范围不限于所示的实施例,在不脱离由以下权利要求限定的本发明的范围的情况下,可以做出变化和修改。

[0146] 附图标号

10、110	故障检测系统
15、16	管道
20、20'、110	泵组件
21	普通壳体
22'	泵壳体
123	马达和转子
24'	电动机壳体
[0147] 124	水锤现象
25'	终端盒
125	叶轮
126	轴承
127	管道中的水的噪声
128	空化
129	电子器件
30、130	手持通信装置/智能手机

[0148]

131	信号处理器/微型计算机
32、132	扩音器
133	显示器
134	输入模块
135	通信模块
136	库
137	附加的传感器（一个或多个）/加速计
40	服务器/云
210 至 290	用于检测轴速的算法的步骤
310 至 340	状态监控系统的步骤
426	轴承
440	轴承的滚珠
450	裂缝/故障
455	内滚道
460	外滚道
465	保持器
470	声音信号
480	周期结构
510 至 550	包络分析的步骤
610 至 640	涉及基本频率和其它冲击速率的线
700-730	标准化和倒谱分析的步骤
810-880	根据本发明的故障检测方法的步骤

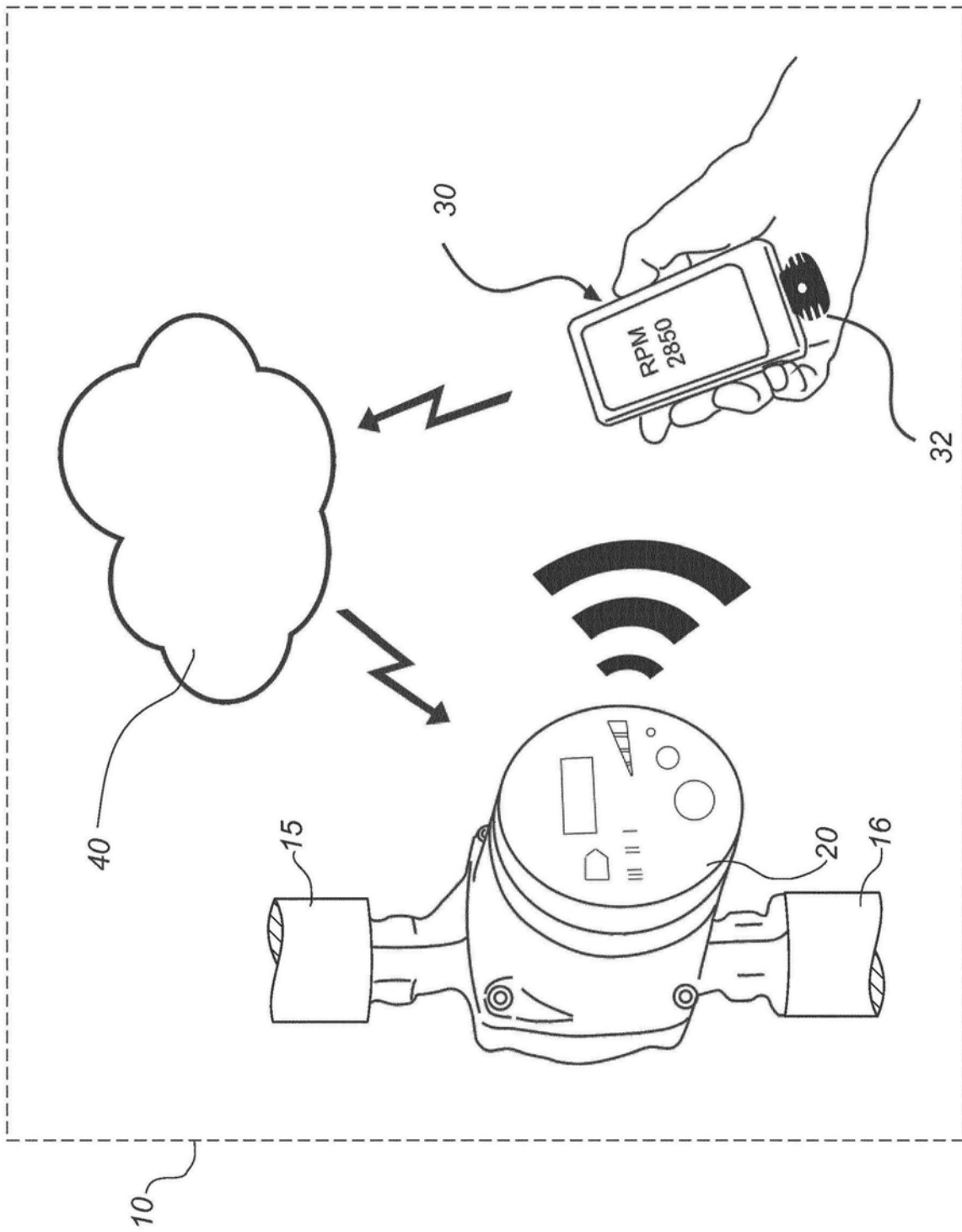


图1

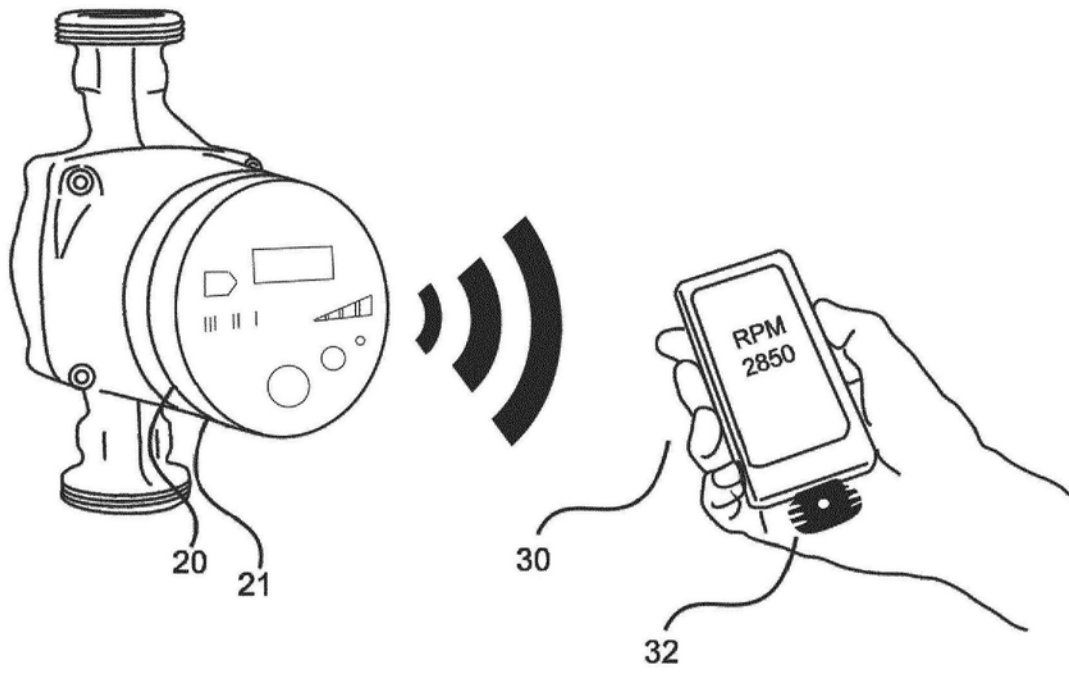


图2

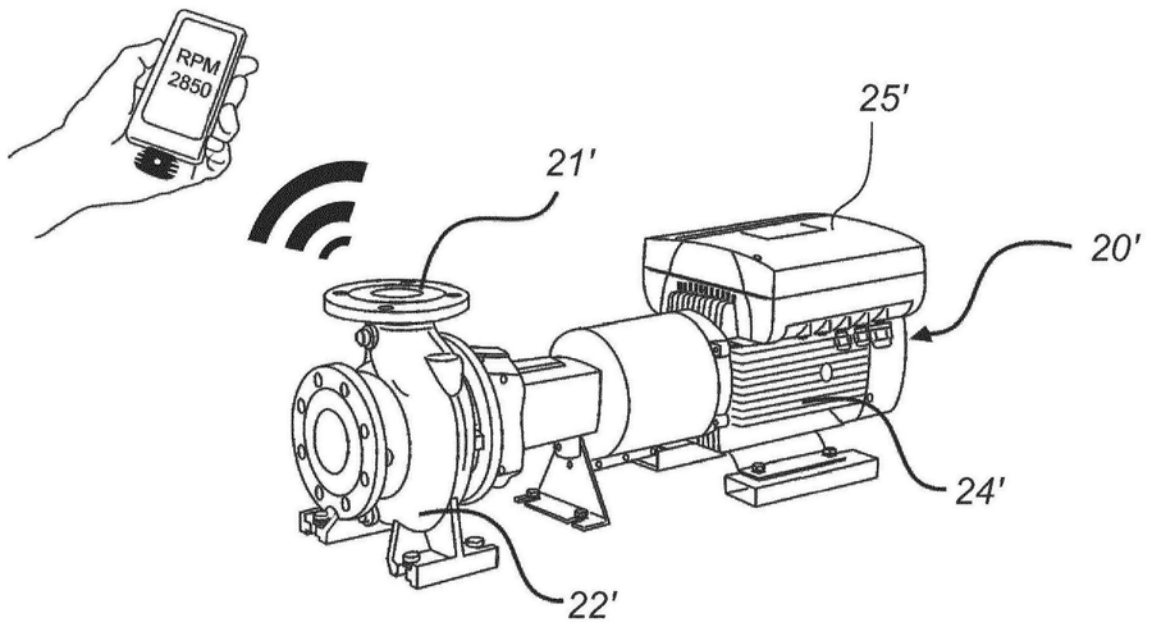


图3

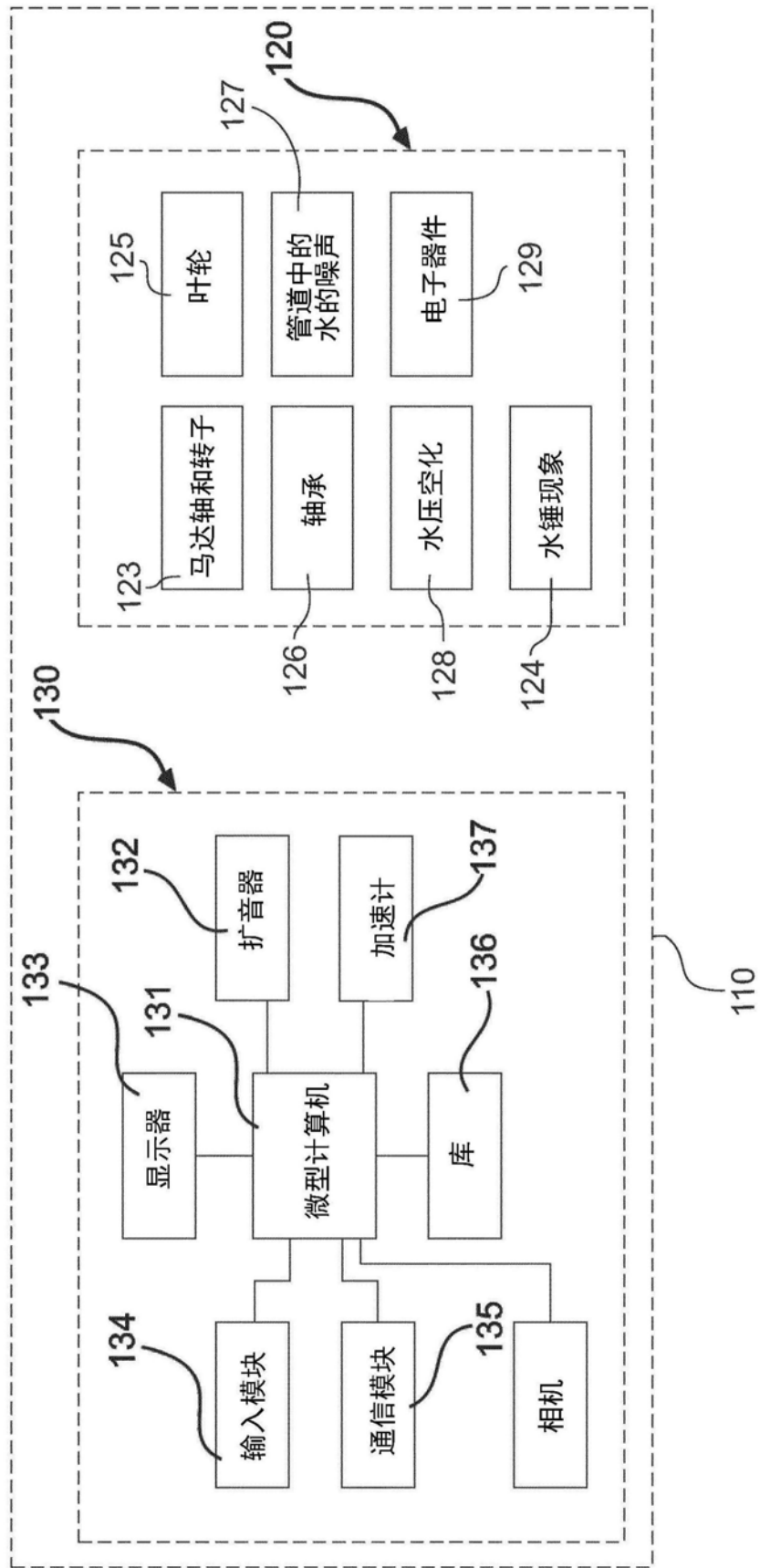


图4

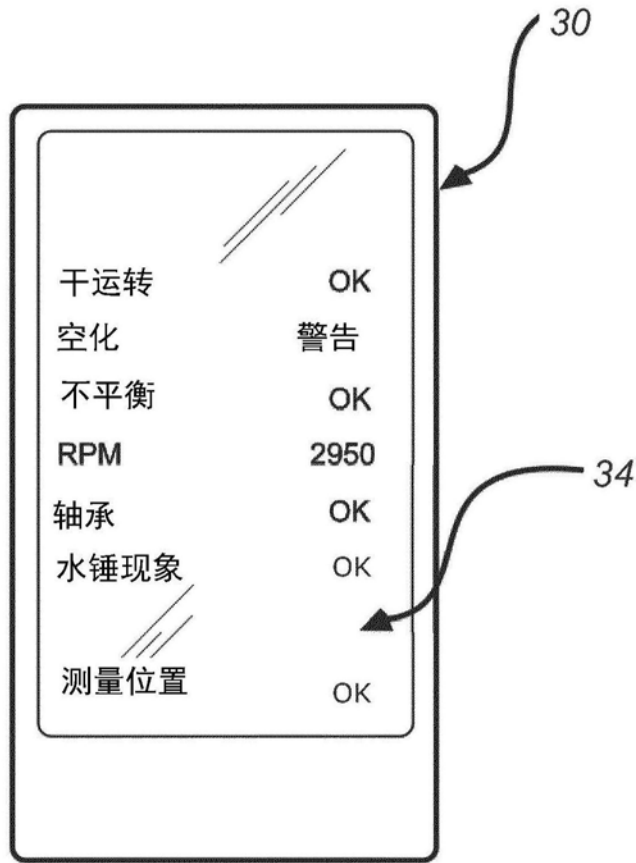


图5

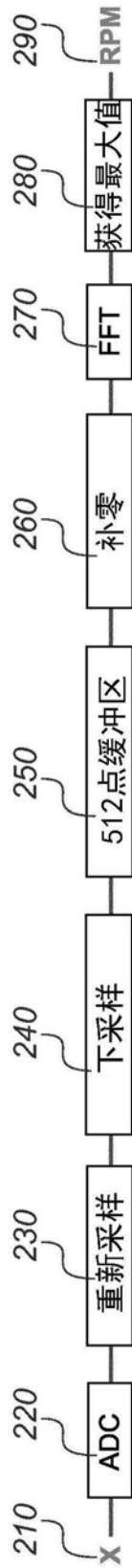


图6

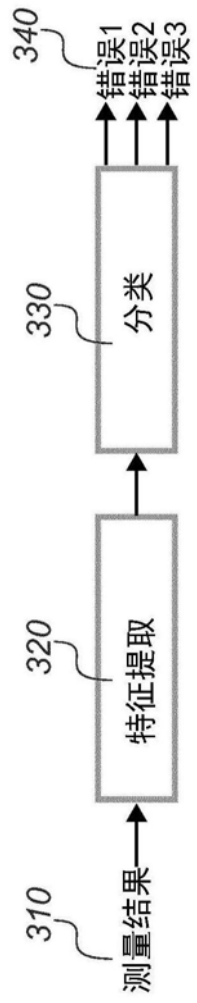


图7

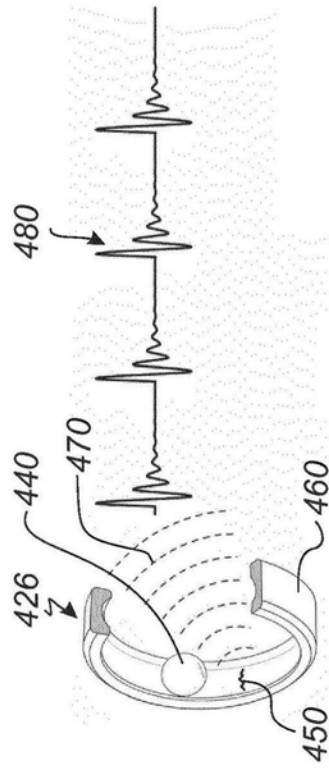


图8

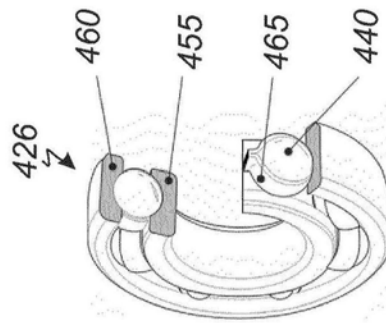


图9

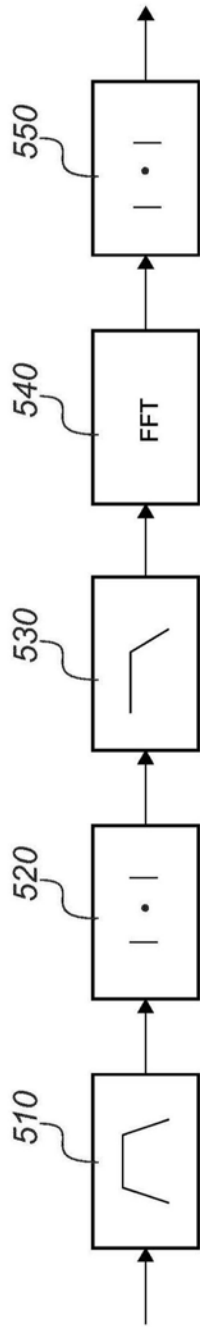
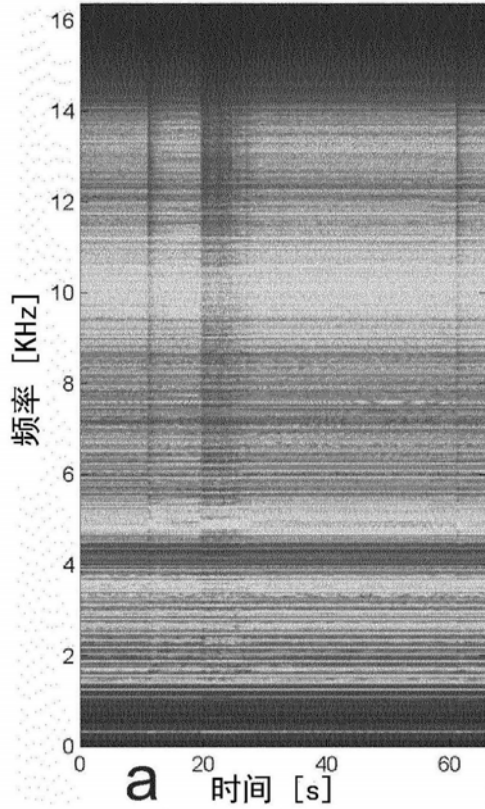
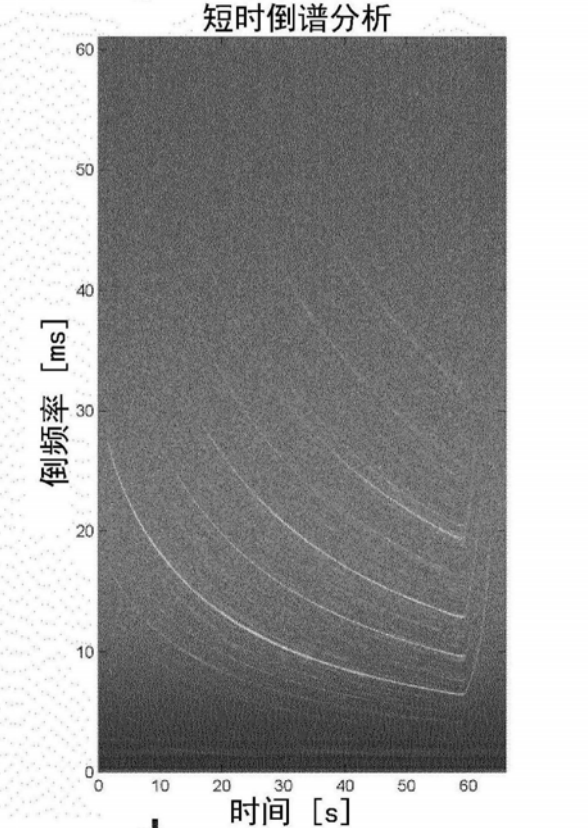
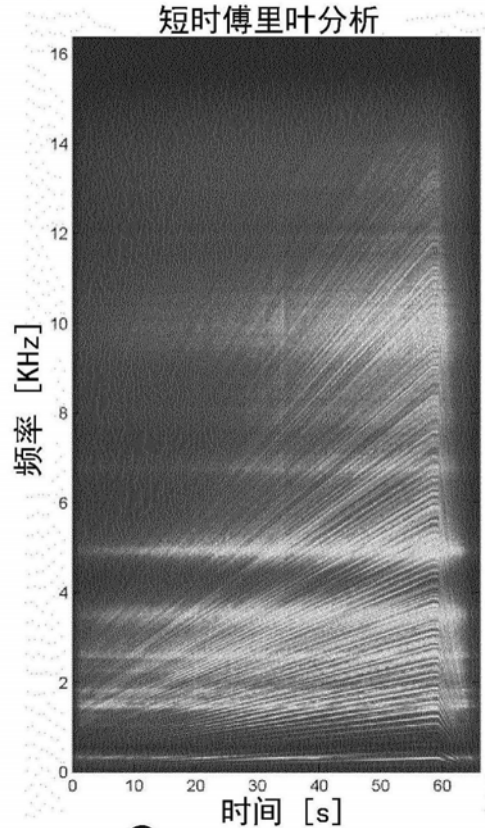
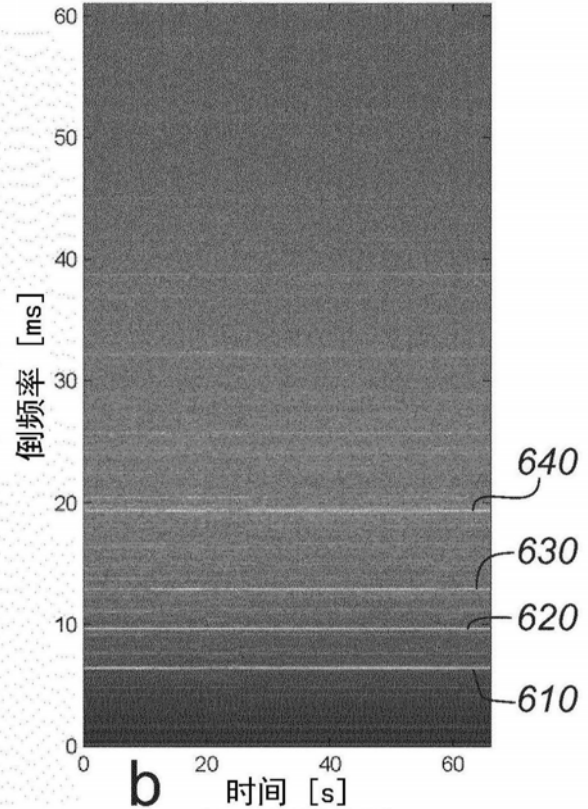


图10

短时傅里叶分析 (外部-T3-1分钟-扫描)



短时倒谱分析



c

d

图11

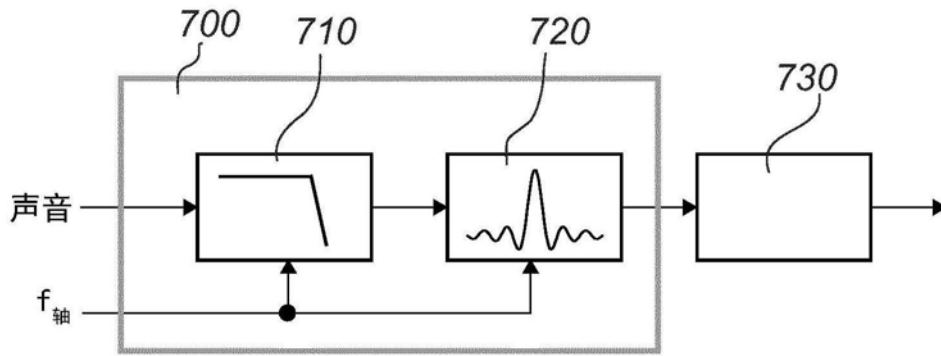


图12

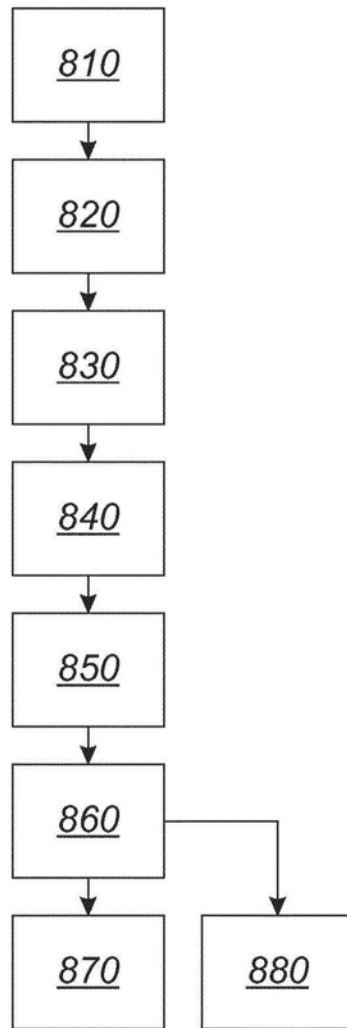


图13