



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106481785 B

(45) 授权公告日 2021.07.02

(21) 申请号 201610744174.8
 (22) 申请日 2016.08.26
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 106481785 A
 (43) 申请公布日 2017.03.08
 (30) 优先权数据
 102015216468.3 2015.08.28 DE
 (73) 专利权人 斯凯孚公司
 地址 瑞典哥德堡
 (72) 发明人 托比厄斯·罗珀克
 (74) 专利代理机构 北京国昊天诚知识产权代理
 有限公司 11315
 代理人 黄熊 南霆

(51) Int.Cl.
 F16H 57/01 (2012.01)
 F16H 57/08 (2006.01)
 (56) 对比文件
 US 8812265 B2, 2014.08.19
 CN 101819090 A, 2010.09.01
 CN 101821646 A, 2010.09.01
 CN 203686066 U, 2014.07.02
 CN 104392082 A, 2015.03.04
 CN 102425661 A, 2012.04.25
 CN 103711875 A, 2014.04.09
 CN 103221791 A, 2013.07.24
 审查员 柯冰

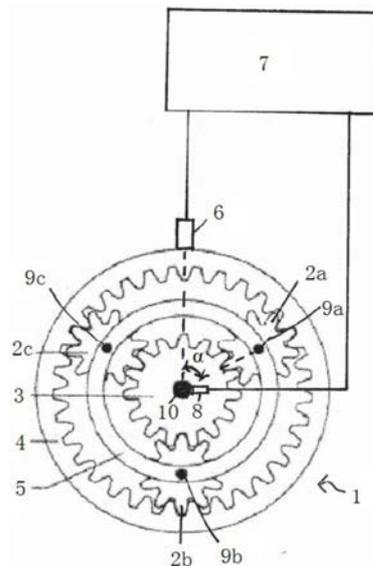
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于轴承的状态监测方法和单元

(57) 摘要

本发明公开了一种用于将行星齿轮传动装置的行星齿轮支撑到行星齿轮架上的轴承的状态监测方法。所述方法包括,在所述行星齿轮传动装置的固定位置处测量所述行星齿轮传动装置的结构噪声,用以形成数字测量信号。进一步地,所述方法包括,确定所述行星齿轮相对于所述固定位置的在采样时间点的相对速度,和确定校正测量信号。所述校正测量信号包括在校正采样时间点的采样值,所述校正采样时间点相对于所述采样时间点的偏移取决于相对速度。所述方法进一步包括,基于所述校正测量信号形成包络曲线信号,和确定所述包络曲线信号的频谱。所述方法还包括,将所述频谱与相关频率范围内的参考频谱比较。



1. 一种用于轴承的状态监测方法,所述轴承将行星齿轮传动装置的行星齿轮支撑在行星齿轮架上,其特征在于,包括以下步骤:

步骤510,在所述行星齿轮传动装置的固定位置处测量所述行星齿轮传动装置的结构噪声,用以形成数字测量信号,所述测量信号在采样时间点具有采样值;

步骤520,确定所述行星齿轮相对于所述固定位置在所述采样时间点的相对速度;

步骤530,确定校正测量信号,所述校正测量信号包括在校正采样时间点的采样值,基于相对速度,所述校正采样时间点相对于所述采样时间点偏移以补偿多普勒效应频率偏移;

步骤540,基于所述校正测量信号形成包络曲线信号;

步骤550,确定所述包络曲线信号的频谱;

步骤560,将所述频谱与相关频率范围内的至少一个参考频谱比较,所述相关频率范围由所述行星齿轮绕所述行星齿轮架的旋转频率和所述轴承的几何形态确定,

其中所述校正采样时间点在时间上落在表示所述行星齿轮离开所述固定位置的运动的第一相对速度的采样时间点之前,且所述校正采样时间点在时间上落在表示所述行星齿轮移向所述固定位置的运动的第二相对速度的采样时间点之后。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在步骤540中,形成所述校正测量信号的包络曲线信号包括:

对所述校正测量信号在第一频率范围内进行带通滤波,所述第一频率范围取决于所述轴承的至少一种材料;

对带通滤波后的所述校正测量信号进行整流;及

对整流后的信号在第二频率范围内进行低通滤波,所述第二频率范围仅包括低于第一频率范围的频率。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述相关频率范围包括所述行星齿轮绕所述行星齿轮架的转动频率的三到十倍的频率。

4. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其特征在于,所述固定位置位于所述行星齿轮传动装置的环形齿轮上,所述行星齿轮的相对速度的确定是根据所述行星齿轮与所述环形齿轮上的所述固定位置之间围绕所述行星齿轮架的旋转轴形成的角度、所述行星齿轮传动装置的几何形态和所述行星齿轮架的公转频率实现的。

5. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其特征在于,在所述相关频率范围内的频谱中确定峰的数量,并针对至少一个峰确定表征所述峰的振幅和频率。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,分别确定至少两个连续时间点的频谱,并针对至少一个位于两个连续时间点之间的峰确定振幅和特征频率的变化。

7. 一种用于轴承的状态监测的单元,所述轴承将行星齿轮传动装置(1)的行星齿轮(2a)支撑在行星齿轮架(5)上,其特征在于,包括:

传感器(6),所述传感器位于所述行星齿轮传动装置(1)的固定位置处,被构造成测量行星齿轮传动装置(1)的结构噪声,用以产生数字测量信号,所述测量信号在采样时间点具有采样值;以及

信号处理装置(7),所述信号处理装置(7)与所述传感器(6)相连,其中所述信号处理装置(7)配置成:

确定所述行星齿轮 (2a) 相对于所述传感器 (6) 在所述采样时间点的相对速度;

确定校正测量信号,所述校正测量信号包括校正采样时间点的采样值,基于相对速度,所述校正采样时间点相对于所述采样时间点偏移以补偿多普勒效应频率偏移;

基于所述校正测量信号,形成包络曲线信号;

形成包络曲线信号的频谱;以及

将所述频谱与相关频率范围内的至少一个参考频谱进行比较,其中所述相关频率范围由所述行星齿轮绕所述行星齿轮架的旋转频率和所述轴承的几何形态确定,

其中所述校正采样时间点在时间上落在表示所述行星齿轮离开所述固定位置的运动的第一相对速度的采样时间点之前,且所述校正采样时间点在时间上落在表示所述行星齿轮移向所述固定位置的运动的第二相对速度的采样时间点之后。

8. 根据权利要求7所述的单元,其特征在于,

所述传感器 (6) 设置在所述行星齿轮传动装置 (1) 的环形齿轮 (4) 上,

所述单元包括另外一个传感器 (8),另外一个所述传感器 (8) 构造成确定所述行星齿轮 (2a) 与所述传感器 (6) 在环形齿轮 (4) 上的固定位置之间围绕所述行星齿轮架 (5) 的旋转轴 (10) 所形成的角度;及

所述信号处理装置 (7) 被配置成根据由另外一个所述传感器 (8)、所述行星齿轮传动装置 (1) 的几何形态和行星齿轮架的公转频率所确定的角度来确定所述行星齿轮 (2a) 与所述传感器 (6) 的相对速度。

9. 根据权利要求7或8所述的单元,其特征在于,所述相关频率范围包括所述行星齿轮 (2a) 绕所述行星齿轮架 (5) 的转动频率的三到十倍的频率。

一种用于轴承的状态监测方法和单元

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于将行星齿轮传动装置的行星齿轮支撑到行星齿轮架上的轴承的状态监测方法和单元。

背景技术

[0002] 基于结构噪声(structure-borne noise)的状态监控根据的原则是与正常运行比较,噪声特性测量的变化,从中得出结论,单元中的部件可能发生损伤(damage)。

[0003] 行星齿轮传动装置的运行中导致振动的产生,所述振动以结构噪声的形式在行星齿轮传动装置中传播或者以空气载声散发到环境中去。这里所述结构噪声包括多种可以匹配不同传动零件或部件的单独的振动分量(vibration components)。在出现故障或损伤的情况下,所述结构噪声的振动改变,所以借助于振动监测,传动装置的损伤可以尽早地有针对性地识别。磨损、不正确的装配和维护不足可以发现和评估(detected and evaluated)。

[0004] 然而,可靠监测精准反应行星齿轮传动装置的状态的用于分析的数据至关重要。相对于分析还有问题会发生,尤其是相对于结构噪声检测位置发生相对运动的结构噪声源。由于结构噪声源相对于结构噪声检测位置的相对运动,传感器在检测位置检测到的频率会根据结构噪声源的相对速度发生变化。所述结构噪声源的频率分量由于所述传感器相对运动的结果是发生偏移。此效应被称为多普勒效应。

[0005] 现在,如果将行星齿轮传动装置的行星齿轮支撑到行星齿轮架上的轴承被固定传感器监测,所述传感器用于检测行星齿轮传动装置的结构噪声,属于轴承的偏移的频率分量在接收的测量信号中产生。由于多普勒效应的原因,当所述行星齿轮(及由此还可以是用于支撑所述行星齿轮的轴承)朝向所述传感器运动时所述频率增加,或者当所述行星齿轮远离所述传感器运动时所述频率减小。

[0006] 如果,现在确定了所述测量信号的频谱(例如,用傅里叶变换),然后所述多普勒效应有效的去除所述频谱的频率分量。具体地,所述多普勒效应导致表示轴承损伤的频率的振幅的减低,或者减小他们的边带。具体地相对于频谱中存在背景噪声,很难或甚至无法从所述去除的频谱中确定轴承的损伤。尤其是自动分析或状态监测由于上述限制通常是不可能的。

[0007] 因此需要改进将行星齿轮传动装置的行星齿轮支撑到行星齿轮架上的轴承的状态监测。

发明内容

[0008] 本发明示范性实施例通过提供一种用于将行星齿轮传动装置的行星齿轮支撑到行星齿轮架上的轴承的状态监测方法使这些成为可能。所述方法包括,在所述行星齿轮传动装置的固定位置处测量所述行星齿轮传动装置的结构噪声,用以形成数字测量信号。这里所述测量信号在至少一个采样时间点具有采样值。数字测量信号在多个(连续)采样时间点(采样时间)都具有采样值(瞬时值)。进一步地,所述方法包括,确定所述行星齿轮相对于

所述固定位置在采样时间点的相对速度,和确定校正测量信号。所述校正测量信号包括在校正采样时间点的采样值,所述校正采样时间点相对于所述采样时间点的偏移取决于所述相对速度。所述方法进一步包括,基于所述校正测量信号形成包络曲线信号,和确定所述包络曲线信号的频谱。所述方法还包括,将所述频谱与相关频率范围内的参考频谱比较。

[0009] 由于所述校正测量信号的确定,所述校正测量信号中所述采样值具有校正采样时间点,所述校正测量信号可以通过多普勒效应进行校正。在时间范围内经过多普勒校正的信号在进一步的信号分析中可以得到,从经过多普勒校正的信号中,所述多普勒校正的频谱可以确定包络曲线。由于多普勒效应可以避免频谱的去除。确定的频谱与相关频率范围内的参考频谱的比较使所述轴承损伤的可靠检测变为可能。由此,所述提供的方法实现了轴承可靠的监测。

[0010] 在一些实施例中,所述相关频率范围由所述行星齿轮绕所述行星齿轮支架的转动频率和所述轴承的几何形态确定。所述轴承的几何形态为所述轴承一个或多个对整个轴承的振动行为起主要贡献的部件的具体的尺寸或特点。例如,所述轴承的几何形态可以由轴承的多个(如,球形、圆锥形或圆柱形)滚动体、所述轴承的滚动体和轴承的滚道的接触角、节圆直径和滚动体的直径确定。所以所述相关频率范围是按轴承运动学确定的。由于所述相关频率范围的确定,所述相关频率范围取决于所述行星齿轮(这里也可以是其轴承)绕所述行星齿轮支架的旋转频率和所述轴承(轴承运动学)的几何形态,所述相关频率范围可以各自适于所述轴承。所述轴承(轴承运动学)的几何形态通常是已知的,所述旋转频率可以不费力的通过计算确定,所以所述相关频率范围可以很省力的且根据所述齿轮传动装置的实际运行条件确定。

[0011] 根据一些示范性实施例,形成所述校正测量信号的包络曲线信号,包括对所述校正测量信号在第一频率范围内进行带通滤波,所述第一频率范围取决于所述轴承的至少一种材料,对带通滤波后的所述校正测量信号进行整流,及对整流后的信号在第二频率范围内进行低通滤波,所述第二频率范围仅包括低于第一频率范围的频率。不相关的频率分量(例如,材料或行星齿轮轴承的部件引起的冲击脉冲响应)可以通过第一频率范围和第二频率范围的合理的选择被有效地从包络曲线信号移除。同样地,轴承的进一步依赖材料波传播特性可以被考虑到。此外,对于第一频率范围的选择,为了考虑到行星齿轮传动装置的依赖材料波传播特性,行星齿轮传动装置(例如,在固定的位置)的其他零部件的材料也被考虑到。

[0012] 在一些实施例中,所述校正采样时间点落在表示行星齿轮离开传感器固定位置的第一相对速度的采样时间点之前。所述校正采样时间点落在表示行星齿轮移向传感器固定位置的运动的第二相对速度的采样时间点之后。所述频率的偏移由多普勒效应引起的,频率的偏移是在时间范围内改变周期长度表达的,可以有效的校正或者通过校正采样时间点相对于采样时间点选择偏移来补偿。在校正测量信号连续时间的采样值之间的周期可以由相对于采样时间点的校正采样时间点的偏移调整。

[0013] 根据一些示范性实施例,所述相关频率范围包括所述行星齿轮绕所述行星齿轮支架的转动频率的二到二十倍的频率。尤其是,所述相关频率范围包括所述行星齿轮绕所述行星齿轮支架的转动频率的二到十五倍、二到十倍、三到十倍、及四到九倍的频率。用于频率分析的所述相关频率范围被限制,所以分析工作通过上述标准将会将至最低。

[0014] 在一些示范性实施例中,所述固定位置位于所述行星齿轮传动装置的环形齿轮上,所述行星齿轮的相对速度的确定是根据所述行星齿轮与所述环形齿轮上的所述固定位置之间围绕所述行星齿轮架转动轴形成的角度、所述行星齿轮传动装置的几何形态和所述行星齿轮架的公转频率实现的。

[0015] 用于监测结构噪声的所述固定位置在所述齿轮传动装置的环形齿轮上的分布表示为收集结构噪声可以简单实现安装,由于环形齿轮实际上是固定的,且为相应的传感器提供足够的空间。因此所述相对速度可以通过行星齿轮与固定位置之间的相对角位置通过计算毫不费力的确定。所述角度优选基于所述行星齿轮支架的旋转轴确定的角度。从很容易检测的所述行星齿轮支架公转的频率,和所述齿轮传动装置已知的固定的几何形态(如,所述环形齿轮、行星齿轮、中心齿轮、或齿轮的尺寸,或各个构件的齿轮配给量),在测量信号任何时间点,所述行星齿轮相对于固定位置的相对速度可以通过简单的方式计算确定。由于考虑到所述行星齿轮的当前公转频率,所述行星齿轮的公转速度的波动也有效地加以考虑。

[0016] 根据一些示范性实施例,在相关范围内在频谱中确定多个峰。在频谱中的峰处,某一频率或某一频率范围相比于相邻的频率或频率范围振幅显著提高。针对至少一个相关频率范围内的频谱中峰确定表征所述峰的振幅和特征频率。所述特征频率可以为,例如,峰的中心频率。这里,所述中心频率可理解为下限频率和上限频率的算数或几何的平均值。从所述数量,所述振幅(如,强度)和发生频率分量的所述(频率)位置中,轴承中损伤的具体类型的结论可以得到,因为不同的轴承损伤类型在频谱中各自生成典型的分量。所以,频率损伤的样式可以确定。

[0017] 在一些示范性实施例中,分别确定连续时间点的频谱。此外确定在连续时间点之间的至少一个峰的振幅和特征频率的变化。通过确定连续时间点的频谱,可以观测所述轴承的损伤的发展。所述出现的峰的振幅和频率发展的观测可以使非常准确的确定轴承的损伤程度成为可能。通过非常准确的状态,剩余使用寿命或者采取应该采取的措施(如,更换轴承9a)可以得到。可替代地或进一步地,在进一步的示范性实施例中,可以确定连续时间点之间的相关频率范围内峰的个数的变化。从峰的个数的发展中可以得到轴承状态的进一步的结论。因此,频率损伤的样式的发展可以观测和评估。

[0018] 示范性实施例进一步涉及一种用于将行星齿轮传动装置的行星齿轮支撑到行星齿轮架上的轴承的状态监测单元。这里所述单元包括,传感器,所述传感器位于所述行星齿轮传动装置的固定位置处,且构造成测量行星齿轮传动装置的结构噪声,用以产生数字测量信号。所述测量信号在至少一个采样时间点具有采样值。进一步地,所述单元还包括信号处理装置,所述信号处理装置与所述传感器相连。这里所述数字测量信号具体是通过所述信号处理装置从由所述传感器提供的模拟测量信号生成的。或者,所述传感器能提供所述数字测量信号。这里所述信号处理装置配置成,确定行星齿轮相对于所述传感器在采样时间点的相对速度,和确定校正测量信号。这里所述校正测量信号包括校正采样时间点的采样值,所述校正采样时间点相对于所述采样时间点的偏移取决于所述相对速度。进一步地,所述信号处理装置配置成基于所述校正测量信号,形成包络曲线信号,和形成包络曲线信号的频谱。所述信号处理装置进一步配置成将所述频谱与相关频率范围内的至少一个参考频谱进行比较。

[0019] 由于所述校正测量信号的确定,所述校正测量信号中所述采样值具有校正采样时间点,所述校正测量信号可以通过多普勒效应进行校正。为进一步分析信号,所以所述信号处理装置在时间范围内提供多普勒校正信号,从所述多普勒校正信号,可以确定所述包络曲线的频谱。确定的频谱与相关频率范围内的至少一个频谱的比较使所述轴承损伤的可靠检测变为可能。由此,所述提供的单元实现了轴承可靠的监测。

[0020] 在一些实施例中,所述相关频率范围由所述行星齿轮绕所述行星齿轮支架的转动频率和所述轴承的几何形态确定。所述相关频率范围是按轴承运动学确定的。由于所述相关频率范围的确定,所述相关频率范围取决于所述行星齿轮(这里也可以是其轴承)绕所述行星齿轮支架的旋转频率和所述轴承(轴承运动学)的几何形态,所述相关频率范围可以各自适于所述轴承。所述轴承(轴承运动学)的几何形态通常是已知的,所述旋转频率可以不费力的通过计算确定,所以所述相关频率范围可以很省力的且根据所述齿轮传动装置的实际运行条件被确定。

[0021] 根据一些示范性实施例,所述传感器设置在所述行星齿轮传动装置的环形齿轮上。这里所述单元包括另外一个传感器,另外一个所述传感器构造成确定第一行星齿轮与所述传感器在环形齿轮的固定位置基于行星齿轮架的旋转轴的角度。这里所述信号处理装置被配置成根据由另外一个传感器、所述行星齿轮传动装置的几何形态和行星齿轮架的旋转频率确定的所述角度确定所述行星齿轮与所述传感器的相对速度。

[0022] 所述传感器在所述齿轮传动装置的环形齿轮上的分布表示为收集结构噪声可以简单实现安装,由于环形齿轮通常是固定的,且为相应的传感器提供足够的空间。因此所述相对速度可以通过行星齿轮与传感器之间的相对角位置通过计算毫不费力的确定。所述角度优选基于所述行星齿轮支架的旋转轴确定的角度。从很容易检测的所述行星齿轮支架公转的频率,和所述齿轮传动装置已知的固定的几何形态(如,所述环形齿轮、行星齿轮、中心齿轮、或齿轮的尺寸,或各个构件的齿轮配给量),在测量信号任何时间点,所述行星齿轮相对于所述传感器的相对速度可以通过简单的方式计算确定。

[0023] 根据一些示范性实施例,所述相关频率范围包括所述行星齿轮绕所述行星齿轮支架的转动频率的二到二十倍的频率。尤其是,所述相关频率范围包括所述行星齿轮绕所述行星齿轮支架的转动频率的二到十五倍、二到十倍、三到十倍、及四到九倍的频率。用于频率分析的所述相关频率范围被限制,所以分析工作通过上述标准将会将至最低。由于考虑到所述行星齿轮的当前公转频率,所述行星齿轮的公转速度的波动也有效地加以考虑。

附图说明

[0024] 下面参考包括的附图,更加详细的描述本发明优选的示范性实施例。

[0025] 图1示出实施例中行星齿轮传动装置及用于支撑行星齿轮传动装置中行星齿轮的轴承的状态监测装置的示意图;

[0026] 图2示出经过多普勒校正和未经过多普勒校正的频谱图;

[0027] 图3示出测量信号和内圈旋转的具有缺陷的外圈由测量信号产生的频谱图的例子;

[0028] 图4示出测量信号和内圈旋转的具有缺陷的内圈由测量信号产生的频谱图的例子;及

[0029] 图5示出了实施例中用于支撑行星齿轮传动装置中在行星齿轮架上的行星齿轮的轴承的状态监测方法。

具体实施方式

[0030] 图1中示出待监测的行星齿轮传动装置1。行星齿轮传动装置1包括环形齿轮4和中心齿轮3。设置第一行星齿轮2a、第二行星齿轮2b和第三行星齿轮2c以接合环形齿轮4和中心齿轮3。行星齿轮2a、2b、2c中的每一个分别通过轴承(行星轴承)9a、9b、9c支撑在行星齿轮架5上。行星齿轮2a、2b、2c相对于环形齿轮4旋转由此驱动中心齿轮3。

[0031] 轴承9a、9b、9c从开始由于安装不正确,或者在其使用过程中,具有或形成缺陷(defects)。例如,可能发生外圈缺陷或内圈缺陷。这里它可以是,例如,在各自轴承座圈的滚道的表面附近形成材料断裂(material fracture)或微裂缝(micro-fissure formation)。这些缺陷也被称为点蚀(pittings)且随损伤的进展可以发展到轴承的滚道的全面剥落。这些缺陷通过采用根据示范性实施例中的行星齿轮传动装置1的结构噪声的分析可以被识别或者监控。

[0032] 下面,为充分说明的目的,将对第一行星齿轮2a的检测进行描述。然而,行星齿轮2a、2b、2c中的每一个都可以根据实施例监测。本发明示范性实施例也不仅限于如图1中所示的包括三个行星齿轮(以及因此至少三个行星轴承)的行星齿轮传动装置。而本发明示范性实施例可用于监测具有任一数量行星齿轮(例如,2、3、4、5、6、8、10或更多个行星齿轮)的行星齿轮传动装置。

[0033] 传感器6设置在环形齿轮4的外圆周表面。这里传感器6被配置成测量行星齿轮传动装置的结构噪声。为此目的,传感器6包括,例如,压电转换器,所述压电转换器配置成在传感器的接触表面(如,环形齿轮4的外圆周表面)将加速度转换成电信号。可替代地或附加地,传感器6还进一步包括传声器(如,MEMS(微机电系统)传声器)以获取(拦截或拾取)结构噪声。传感器6固定地设置在环形齿轮4上,然而,这里传感器6的位置不仅限于如图1所示的12点钟的位置(比喻成时钟的可能位置)。而,传感器6可设置在环形齿轮4的任意位置。产生与结构噪声的数字测量信号由传感器测得。这里,所述测量信号至少在一个采样时间点具有采样值。尤其是,所述测量信号在多个连续的采样时间点分别具有采样值。

[0034] 传感器6与信号处理装置7连接,且提供所述数字测量信号给信号处理装置7。在可替代实施例中,传感器可以提供模拟测量信号给信号处理装置,其中模拟测量信号通过信号处理装置7转换成数字测量信号(模-数转换)。信号处理装置7可以是,例如行星齿轮传动装置的检测装置的一部分。然而,信号处理装置7也可以是一个单独的单元。信号处理装置7可以包括一个或多个计算单元,如,处理器或微处理器以处理测量信号或其他信号。尤其是,一个或多个计算单元配置成执行一个或多个预定操作,其中预定操作可被提供,例如,以信号处理装置7的外部或内部存储设备中的程序代码的形式。

[0035] 具体地,信号处理装置7被配置为确定第一行星齿轮2a相对于传感器的固定位置在采样值时间点的相对速度。为此目的,该装置包括另外一个传感器8,其被构造成确定所述第一行星齿轮2a与环形齿轮4上的固定位置之间围绕所述行星齿轮架5的旋转轴10所形成的角度 α 。例如,另外一个传感器8可被设置为键相位传感器或触发器,检测行星齿轮架5的旋转轴10上控制点通过固定测量点的行程。

[0036] 从已知的(固定的)的行星齿轮2a相对于控制点的位置和行星齿轮架5(转轴10)的公转速度或公转频率,可以确定每个采样时间点,所述传感器6和第一行星齿轮2a之间的相对角度 α 。已知行星齿轮架5的公转频率,利用行星齿轮传动装置1的几何形态(如,环形齿轮4,第一行星齿轮2a和中心齿轮3的尺寸),所述信号处理装置7可以确定第一行星齿轮2a相对于传感器6的相对速度。例如,所述信号处理装置7可以包括预先计算好的表格,其中,指定公转频率,可以获得行星齿轮2a相对于传感器6在不同角度 α 的相对速度。由于测量信号的采样值的采样时间点,所述信号处理装置7可以从角度 α 和该角度 α 的相对速度(表格中存储的)确定第一行星齿轮2a相对于传感器6的相对速度,具有很少的计算工作量。或者,所述信号处理装置7也可以计算所有采样时间点的相对速度,如,不需要表格。

[0037] 信号处理装置7还进一步配置成确定校正测量信号。为此目的,信号处理装置确定测量信号的采样值的校正采样时间点。这里的校正采样时间点相对于采样时间点的偏移取决于相对速度。

[0038] 例如,校正采样时间点落在,在时间上在第一相对速度的采样时间点之前,如果第一相对速度表示行星齿轮2a离开传感器6的固定位置。校正采样时间点落在,在时间上在第二相对速度的采样时间点之后,如果第二相对速度表示行星齿轮2a移向传感器6的固定位置的运动。频率的偏移是多普勒效应引起的,其中频率的偏移是在时间范围内改变周期长度表达的,可以有效的校正或者通过校正采样时间点相对于采样时间点选择偏移来补偿。在频谱中,这对应于根据下式的多普勒频移:

$$[0039] \quad f_{corr} = f_{doppler} * (1 - \frac{v_{rel}}{c})$$

[0040] 其中 f_{corr} 表示多普勒效应校正的频率, $f_{doppler}$ 表示多普勒频移, v_{rel} 表示第一行星齿轮2a相对于传感器6的固定位置的相对速度, c 表示在行星齿轮传动装置1的声音传播速度。

[0041] 信号处理装置7进一步配置成确定校正测量信号的包络曲线信号(envelope-curve signal)。包络曲线信号表示校正测量信号的包络。具体地,包络曲线信号的形成包括所述校正测量信号的带通滤波(band-pass filtering)、带通滤波信号的整流(rectifying)、整流信号的低通滤波(low-pass filtering)。行星齿轮传动装置1的固有频率可以由包络曲线有效地滤掉。由此包络曲线信号使得有可能在频谱提取频率分量,其中频率分量是由第一轴承9a的轴承损伤引起的。

[0042] 此外,信号处理装置7被配置成确定所述包络曲线信号的频谱(包络曲线频谱 envelope-curve spectrum)。为此目的,信号处理装置7可以用,如傅里叶变换的数学方法处理包络曲线信号。从频谱中,信号处理装置7可以通过至少一个光谱在相关频率范围内的比较识别第一轴承9a的轴承损伤。这里所述相关频率范围由第一行星齿轮2a绕行星齿轮支架5的转动频率和第一轴承9a的的几何形态(轴承运动学 bearing kinematics)确定。具体地,所述相关频率范围可以包括第一行星齿轮2a绕行星齿轮支架5的转动频率的三到十倍的频率或四到九倍的频率。用于频率分析的所述相关频率范围可以有效的限制,且由此信号处理装置7的计算工作通过上述标准将会将至最低。

[0043] 信号处理装置7可进一步配置成在频谱相关频率范围内确定峰的个数。对于一个或多个(特别是全部)峰,信号处理装置可确定表征的峰的振幅和频率。从数量中,振幅(如,

强度)和存在的频率分量的(频率)位置的结论可以通过轴承中损伤的具体类型得到,因为不同的轴承损伤类型在频谱中各自生成典型的分量。因此可确定损伤频率的样式。

[0044] 具体地,信号处理装置7可以被配置成确定每个连续的时间点的频谱,确定一系列,如,振幅、位置(表征频率)和发生频率分量(峰)的个数的变化。通过确定连续时间点的频谱,可观察第一轴承9a的损伤的发展。例如,轴承损伤可以表达自己通过:缺陷频率的最初的小振幅,随着损伤程度的增加,其强度增加。这可以适用,例如,在第一轴承9a的滚道的点蚀。缺陷频率的幅度下降,变成噪声。因此监测个数,强度(振幅)和频率分量的个数,可以实现很准确的确定第一轴承9a的损伤的发展程度。因此,可以准确声明轴承9a剩余使用寿命或者采取应该采取的措施(如,更换轴承9a)。

[0045] 图2的上半部分示出,经过多普勒校正的频谱图21,所述频谱图21根据示范性实施例中的测量信号得到。这里,横坐标表示以赫兹(Hz)为单位的频率,而纵坐标表示相关频率范围内的信号的任何单位的振幅。在频谱21中,三个窄带,几乎是线性的峰在大约1850赫兹,2000赫兹,2150赫兹处识别。该峰具有的最大振幅大约在0.4到0.9之间。

[0046] 用于比较,图2的下半部分示出未经过多普勒校正的频谱图22。频谱22也有三个峰,其中心频率落在约1850赫兹,2000赫兹,2150赫兹。然而,与经过多普勒校正的频谱21狭窄的峰相反的是,未经过普勒校正的频谱22的峰大大加宽,即,它们各自延伸在较大的频率范围。此外,未经过普勒校正的频谱22的最大振幅大约在0.075到0.25之间,与经过多普勒校正的频谱21的最大振幅相比大大降低。

[0047] 如上所述,峰的加宽是由行星齿轮的相对运动引起的多普勒效应的结果。由于多普勒效应具有高振幅的窄峰去除形成大大降低振幅的宽峰。图2所示频谱图中所示的频谱是理想的光谱,其中没有体现背景噪声。然而,在实际的频谱中,背景噪声总是被考虑,因此,未经过多普勒校正的频谱的降低的信号振幅可能更低,这样他们与背景噪声只是分离困难,或者根本分不开。因此,用于支撑行星齿轮架上行星齿轮传动装置的行星齿轮的轴承的状态监测变得更加困难或不能实现。这个问题可以通过实施例中的多普勒校正避免,且可以确保可靠的状态监测。

[0048] 图3示出,轴承9a、9b、9b的外圈缺陷30的测量信号的时间进程,及由此产生的频谱的示例图。

[0049] 这里,在图3中,示出如下情况:其中所述轴承9a、9b、9c的外圈31是固定的,内圈32通过滚动体33与外圈31相对转动。这里外圈31有外圈缺陷30。

[0050] 作为上述外圈缺陷30可以是,例如,在轴承9a、9b、9c外圈滚道表面附近形成的材料断裂或微裂缝。外圈缺陷30位于在轴承9a、9b、9c负载区的区域。

[0051] 在图3的上部区域中所示测量信号的时间进程中规律发生的信号振幅的偏离被识别。偏离的规律性由滚动体33规律性的滚压外圈缺陷30产生的。

[0052] 在图3的下部区域中所示的频谱,因此包括除背景噪声外均匀间隔开的峰(1至8)。峰由外环缺陷30产生,例如,在包括轴承9a、9b、9c旋转频率的四到八倍频率范围内。

[0053] 图4示出,轴承9a、9b、9b的内圈缺陷40的测量信号的时间进程,及由此产生的频谱的示例图。

[0054] 这里,在图4中示出如下情况与图3相同,然而轴承9a、9b、9c的内圈32有内圈缺陷40,外圈31没有缺陷。

[0055] 相应地,在图4的上部区域,示出测量信号的时间进程,识别出的是内圈缺陷40没有向图3中发生的信号振幅的规律性偏离。而高信号振幅仅发生在内圈缺陷40由于内圈旋转经过负载区时。内圈缺陷40实际上由轴承的旋转频率调整。信号的小振幅进一步的偏离发生是由内圈缺陷被滚动体33滚压的结果。

[0056] 图4中下部区域示出的频谱中,4个峰(1到8)及峰的边带被识别。峰由内圈缺陷40产生,例如,在包括轴承9a、9b、9c旋转频率的五到九倍频率范围内。

[0057] 通过分析实施例中测量信号中获得的频谱(如图3和图4)的数量、位置、强度和峰的变化,可以做出关于轴承9a,9b,9c损伤的可靠的声明。在此基础上可以决定进一步的措施,例如,更换轴承。

[0058] 图5示出了用于支撑行星齿轮架上行星齿轮传动装置的行星齿轮的轴承的状态监测方法的示范性实施例。

[0059] 方法包括:步骤510,在行星齿轮传动装置的固定位置处测量行星齿轮传动装置的结构噪声,用以产生数字测量信号,所述测量信号在至少一个采样时间点具有采样值。进一步,方法包括:步骤520,确定行星齿轮相对于固定位置在采样时间点的相对速度。方法进一步的步骤包括:步骤530,确定校正测量信号,所述校正测量信号包括在校正采样时间点的采样值,校正采样时间点相对于采样时间点的偏移取决于相对速度。方法进一步包括:步骤540,基于校正测量信号形成包络曲线信号,和步骤550,确定包络曲线信号的频谱。方法进一步包括:步骤560,将所述频谱与相关频率范围内的至少一个参考频谱比较。相关频率范围可以具体由行星齿轮绕行星齿轮架的旋转频率和轴承的几何形态确定。

[0060] 如上在与一个或多个示范性实施例,已经描述了该方法进一步的细节和步骤。该方法可以包括根据一个或多个先前描述的示范性实施例的一个或多个可选的特征。

[0061] 参考标记列表:

[0062] 1 行星齿轮传动装置

[0063] 2a 第一行星齿轮

[0064] 2b 第二行星齿轮

[0065] 2c 第三行星齿轮

[0066] 3 中心齿轮

[0067] 4 环形齿轮

[0068] 5 行星齿轮架

[0069] 6 传感器

[0070] 7 信号处理装置

[0071] 8 另外一个传感器

[0072] 9a 第一轴承

[0073] 9b 第二轴承

[0074] 9c 第三轴承

[0075] 10 行星齿轮架的旋转轴

[0076] 21 经过多普勒校正的频谱

[0077] 22 未经过多普勒校正的频谱

[0078] 30 外圈缺陷

-
- [0079] 31 外圈
 - [0080] 32 内圈
 - [0081] 33 滚动体
 - [0082] 40 内圈缺陷

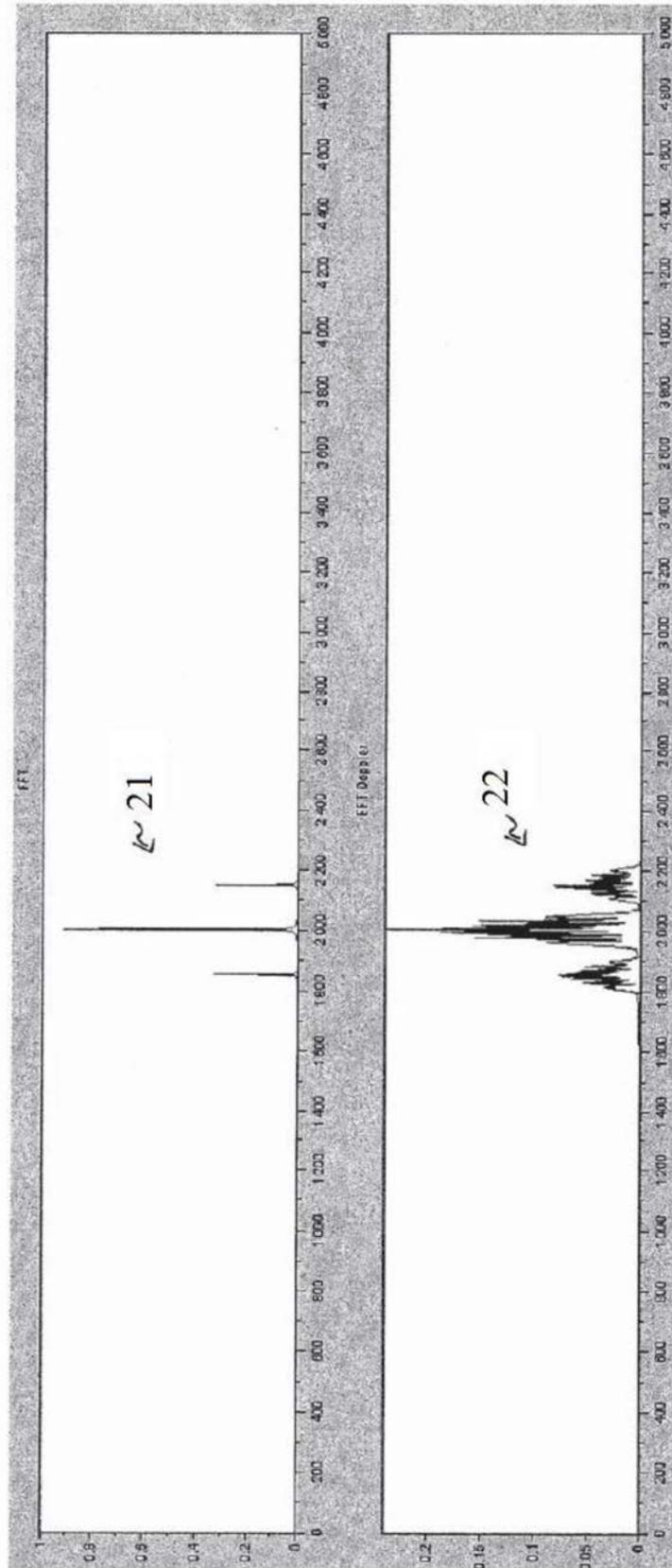


图2

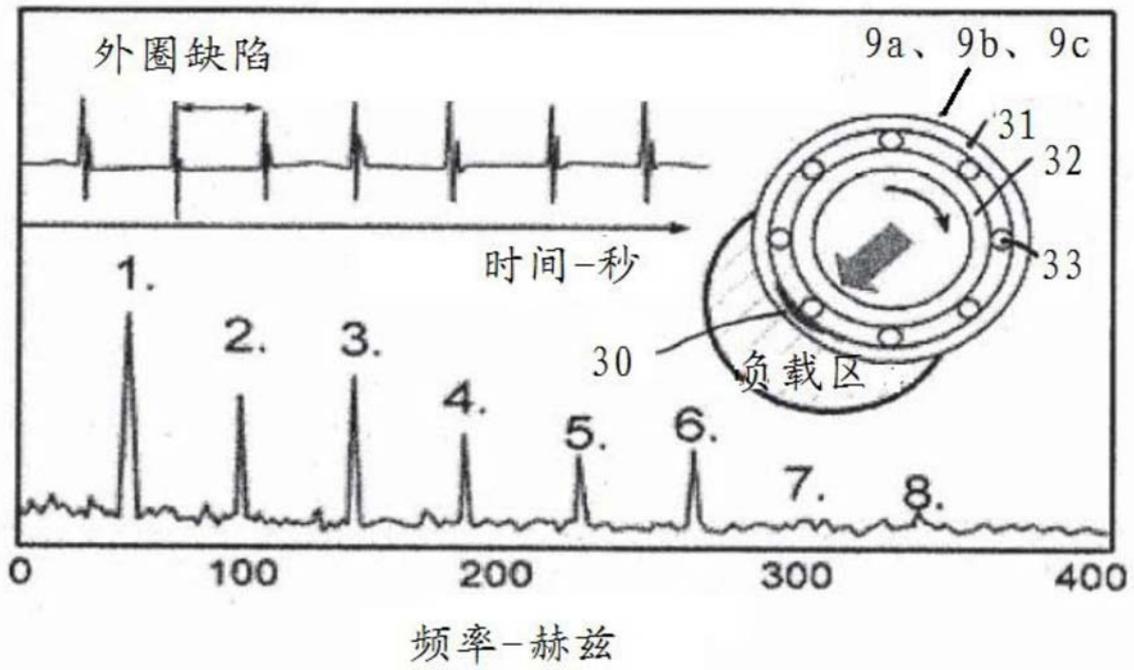


图3

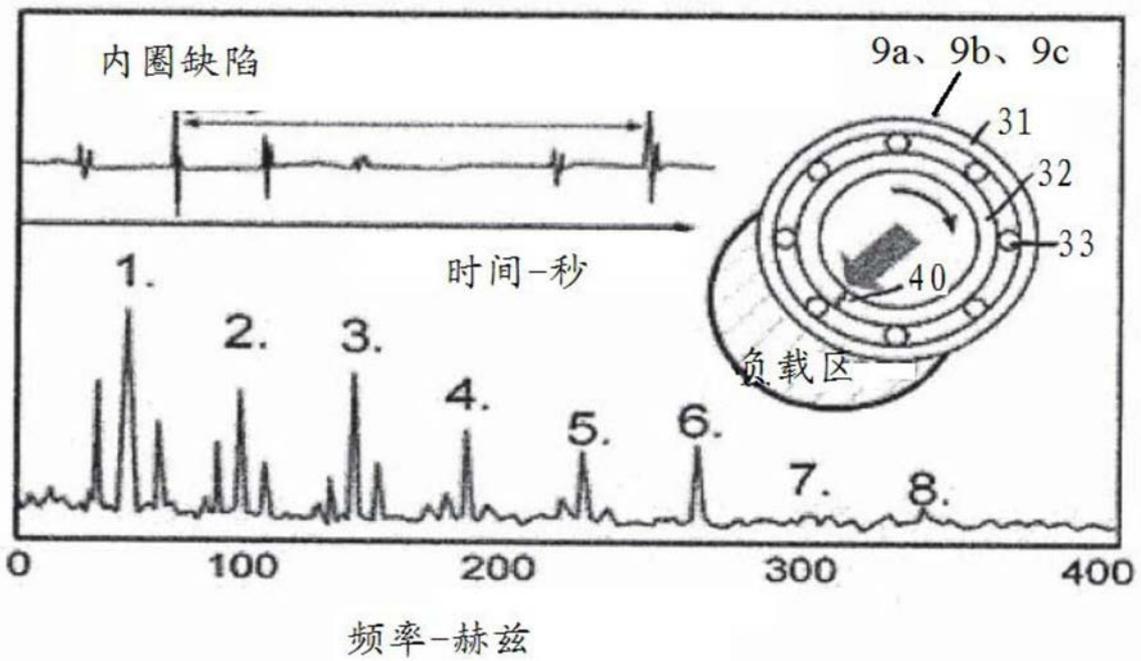


图4



图5