

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G06F 15/00 (2006.01)

G06F 19/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680055060.7

[43] 公开日 2009 年 7 月 1 日

[11] 公开号 CN 101473312A

[22] 申请日 2006.4.21

[21] 申请号 200680055060.7

[86] 国际申请 PCT/US2006/015416 2006.4.21

[87] 国际公布 WO2007/123533 英 2007.11.1

[85] 进入国家阶段日期 2008.12.22

[71] 申请人 芙罗服务管理公司

地址 美国德克萨斯州

[72] 发明人 W·T·多伦蒂 B·弗洛伊里

D·J·莫里斯 W·C·霍斯

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 曾祥尧 刘华联

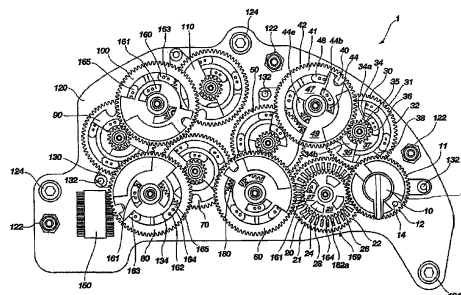
权利要求书 3 页 说明书 31 页 附图 13 页

[54] 发明名称

旋转编码器频率分析

[57] 摘要

一种用于诊断阀促动器或其它旋转装置的问题的新颖方法。对速度、位置、扭矩、推力或振动数据执行频率分析。速度或位置数据可由旋转编码器提供。



1. 一种用于分析旋转装置的方法，所述方法包括：
将旋转位置编码器可操作地联接到所述旋转装置的轴上，其中，
所述旋转位置编码器包括速度指示器；
利用所述速度指示器产生速度数据；并且
对所述速度数据执行频率分析。
2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述旋转位置编码器是增量编码器。
3. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述旋转位置编码器在两个位置之间操作。
4. 根据权利要求3所述的方法，其特征在于，执行所述频率分析包括在远离所述旋转装置定位的计算机上处理所述速度数据。
5. 根据权利要求3所述的方法，其特征在于，执行所述频率分析包括在与所述旋转装置相关的处理器上处理所述速度数据。
6. 根据权利要求3所述的方法，其特征在于，执行所述频率分析包括在合并于所述旋转位置编码器中的处理器上处理所述速度数据。
7. 根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述旋转位置编码器是绝对编码器。
8. 一种阀系统，其包括：
阀促动器，其具有适于产生数据的传感器；和
处理器，其与所述传感器通信并适于将所述数据转换成频域。
9. 根据权利要求8所述的阀系统，其特征在于，所述传感器独立地选自速度传感器、位置传感器、扭矩传感器、推力传感器和振动传感器。
10. 根据权利要求8所述的阀系统，其特征在于，所述传感器包括至少一个速度传感器，所述处理器适于从所述至少一个速度传感器接收速度数据并对所述速度数据执行频率分析。

11. 根据权利要求 10 所述的阀促动器,其特征在于,所述至少一个速度传感器合并于旋转位置编码器中。

12. 根据权利要求 11 所述的阀促动器,其特征在于,所述旋转位置编码器是增量编码器。

13. 根据权利要求 11 所述的阀促动器,其特征在于,所述旋转位置编码器是绝对编码器。

14. 根据权利要求 13 所述的阀促动器,其特征在于,所述绝对编码器包括单个编码器盘。

15. 根据权利要求 13 所述的阀促动器,其特征在于,所述绝对编码器包括多个编码器盘。

16. 根据权利要求 15 所述的阀促动器,其特征在于,所述多个编码器盘各包括编码分段,所述编码分段可操作以对所述旋转装置的多个位置进行编码,并且所述绝对编码器包括至少一个双组位置传感器用于所述至少一个编码分段中的每一个,所述至少一个双组位置传感器可操作以监控所述至少一个编码分段中的每一个。

17. 根据权利要求 11 所述的阀促动器,其特征在于,所述阀促动器还包括手轮,所述手轮可操作以促动所述阀促动器且可操作以促动所述旋转位置编码器。

18. 根据权利要求 11 所述的阀促动器,其特征在于,所述旋转位置编码器适于由所述阀促动器的传动系来促动。

19. 根据权利要求 18 所述的阀促动器,其特征在于,所述旋转位置编码器由输入轴来促动,所述输入轴由所述传动系的蜗轮来驱动。

20. 根据权利要求 11 所述的阀促动器,其特征在于,所述旋转位置编码器适于由所述阀促动器中的电机来促动。

21. 根据权利要求 10 所述的阀促动器,其特征在于,所述至少一个传感器是至少一个扭矩传感器,并且所述处理器适于从所述至少一个扭矩传感器接收扭矩数据并对所述扭矩数据执行频率分析。

22. 根据权利要求 10 所述的阀促动器,其特征在于,所述至少一

个传感器是至少一个轴向推力传感器，并且所述处理器适于从所述至少一个轴向推力传感器接收轴向推力数据并对所述轴向推力数据执行频率分析。

23. 根据权利要求 10 所述的阀促动器，其特征在于，所述至少一个传感器是至少一个加速度计，并且所述处理器适于从所述至少一个加速度计接收加速数据并对所述加速数据执行频率分析。

24. 根据权利要求 8 所述的阀系统，其特征在于，所述阀促动器还包括旋转位置编码器。

25. 根据权利要求 24 所述的阀系统，其特征在于，所述旋转位置编码器包括所述传感器。

26. 根据权利要求 24 所述的阀系统，其特征在于，所述旋转位置编码器包括所述处理器。

27. 根据权利要求 8 所述的阀系统，其特征在于，所述处理器利用傅里叶变换来将所述数据变换成所述频域。

28. 根据权利要求 8 所述的阀系统，其特征在于，所述阀系统还包括适于与所述处理器通信并显示所述数据的显示器。

29. 根据权利要求 8 所述的阀系统，其特征在于，所述处理器包括多个处理器。

30. 根据权利要求 29 所述的阀系统，其特征在于，所述多个处理器的至少一个处理器是所述阀促动器的一部分。

31. 一种分析包括传感器的阀促动器的方法，所述方法包括：

从所述传感器产生数据；和

对所述数据执行频域分析。

旋转编码器频率分析

技术领域

本发明大体涉及阀促动器和旋转位置编码器的分析，且更具体地涉及利用内置式自测试对阀促动器和旋转位置编码器执行频率分析。

背景技术

在许多应用中，需要测量旋转装置的旋转轴的位置。然而，旋转装置常常是复杂的且具有难以接近的部分。而且，旋转装置常常集成到特定工业过程中，其中停止该过程来维修旋转装置的成本常常远远超过旋转装置的成本。例如，旋转阀对于工业过程而言常常是至关重要的，并且阀的某些部件的维修需要使该过程停止。存在对于精确地识别旋转轴和由该旋转轴所驱动的诸如阀杆的物件的位置的需要。还存在识别诸如阀的旋转装置中的任何磨损部件的需要，以便在预定停机时执行预防性维修，或以便操作旋转装置从而保持该装置进行操作直到下一次预定停机。存在对于能够确定旋转轴的位置以及识别旋转轴所连接的旋转装置内的问题的严重性和位置的装置的需要。

诊断旋转装置的一个方法是采用频率分析。可利用傅里叶变换(FT)算法来分析循环数据，以将数据从时域变换成频域。一个尝试是对电动阀应用傅里叶变换，包括测量流到电机的电流，对电机数据应用傅里叶变换，然后使用频谱中的峰值来诊断阀促动器的传动系中的问题。然而，这种方法并不测量轴的旋转速度，也不确定旋转轴的位置。电机电流测量装置也不集成到能够确定旋转轴位置的装置内。

测量旋转部件的位置的一种方法涉及旋转编码器。旋转编码器包括增量编码器和绝对编码器。增量编码器用于测量轴的旋转变化。基本的增量编码器包括带有大量径向画线(painted line)的盘。光电二极管或其它传感器只要检测到画线就产生电脉冲。计算机或其它处理器追

踪脉冲以确定该盘的位置，并且确定该盘所附连的轴的位置。利用增量编码器，如果计算机断电，则在电力恢复时位置信息将会丢失。用于阀促动器的先前的增量编码器包括速度传感器，但是速度传感器和所产生的数据并不用于进行频率分析。

绝对编码器不需要电源来维持位置信息。绝对编码器产生独特的数字码用于旋转轴的每个不同的角度。绝对编码器可为单个轮，其具有加工到轮上的复杂图案。单个轮附连到相关轴上，并且许多不同的角位置可通过在该轮上的图案来识别。然而，这种轮仅适用于轴仅经历单次旋转的情况。

绝对编码器的另一形式利用多个轮，其具有在每个轮上的同心环，其中每个环提供 1 比特的位置数据。多个轮的形式允许所测量的轴经历多次旋转并且仍然追踪轴的位置和旋转次数。存在更多的轮允许追踪更多轴的旋转或确定单个旋转的更多位置。然而，多轮式绝对编码器常常易损坏且可靠性较差。需要可靠且可通过操作产生用于频率分析的速度数据的多轮式绝对编码器。

解决这个问题的一个尝试是利用 6 个轮或 7 个轮。每个轮提供 3 比特数据。然而，经由 v 比特处理仅仅产生 2 比特格雷码作为位置数据。这增加了绝对编码器的可靠性。然而，不使用重复传感器(duplicate sensor)。此外，速度传感器未集成到绝对编码器内，并且不产生速度数据用于频率分析。

发明内容

本发明的一个实施例包括用于旋转装置的旋转编码器。旋转编码器包括一个或多个编码轮，一个或多个编码轮中的每个编码轮包括至少一个编码分段，这些编码分段可操作以对旋转装置的位置进行编码。还包括至少一个双组传感器，其可操作以监控至少一个编码分段。

本发明的另一实施例包括阀促动器，阀促动器包括绝对编码器和适合于驱动绝对编码器的传动系。绝对编码器包括至少一个编码器

盘，可操作以读取至少一个编码器盘的多个传感器，可操作以产生速度数据的速度传感器，用于多个传感器和速度传感器中的每个传感器的至少一个重复传感器。

本发明的又一实施例包括分析包括传感器的阀促动器的方法。该方法包括从传感器产生数据并对该数据执行频域分析。

本发明的特定实施例包括分析在两个位置极限之间旋转的旋转装置的方法。该方法包括将旋转位置编码器可操作地联接至旋转装置的轴，其中旋转位置编码器包括速度指示器。该方法包括利用速度传感器产生速度数据并且对该速度数据执行频率分析。

通过结合附图考虑下文的详细描述，本发明的特征、优点和替代方面将对于本领域技术人员显而易见。

附图说明

虽然说明书以特定地指出并明确地主张被认为是本发明的内容的权利要求书作为总结，但是当结合附图阅读时，通过本发明的下文的描述可以更易于确定本发明的优点，在附图中：

图 1 示出了旋转编码器的一个实施例的轮；

图 2 示出了图 1 的实施例的完全组装形式；

图 3 示出了图 1 的实施例的部分组装形式；

图 4 示出了图 3 的实施例的顶视图；

图 5 示出了旋转编码器的特定实施例的轮；

图 6 示出了在频域中的代表性的无问题诊断；

图 7 示出了在频域中的代表性的出现问题的诊断；

图 8 示出了利用 128 个样品的数据分辨率；

图 9 示出了在对数据执行傅里叶变换(FT)之前在图 8 中使用的数据；

图 10 示出了利用 256 个样品的数据分辨率；

图 11 示出了在对数据执行 FT 之前在图 10 中使用的数据；

- 图 12 示出了利用 512 个样品的数据分辨率;
- 图 13 示出了在对数据执行 FT 之前在图 12 中使用的数据;
- 图 14 示出了利用 1024 个样品的数据分辨率;
- 图 15 是指示本发明的某些实施例的准确度的表格;
- 图 16 是以每分钟 26 次旋转(rpm)获得的频域数据的示例;
- 图 17 是以 26 rpm 获得的频域数据的另一示例;
- 图 18 是以 18 rpm 获得的频域数据的示例; 以及
- 图 19 是以 18 rpm 获得的频域数据的另一示例。

具体实施方式

本发明可用于任何阀促动器或其它的旋转装置, 诸如在两个位置之间旋转的装置。本发明的特定实施例利用带有集成的速度传感器的旋转编码器。速度传感器可操作以产生速度数据用于频率分析。本发明还可使用能够产生可变换成频域的数据的另一类型的传感器。而频率分析可用于诊断阀促动器或其它旋转装置的任何问题。在一个实施例中, 旋转编码器是带有重复传感器对的绝对编码器。

在附图中, 相似的附图标记表示相似的元件。图 1 示出了本发明的旋转编码器的一个实施例。旋转编码器 1 表示绝对编码器的特定实施例。不存在诸如“输入”、“时序”或“编码”等修饰词的术语“轮”或“多个轮”可适用于输入轮 10、定时轮 20 以及编码轮 30 至 110。短语“编码轮”或“多个编码轮”适用于编码轮 30 至 110。

底部安装架 130 经由螺栓 132 紧固到底板 120 上。螺栓 132 还可为铆钉、螺钉、夹具、夹子、粘合剂、焊接点、搭扣配合连接或本领域中已知的任何其它连接装置。螺栓 132 还可放置于任何位置。例如, 当螺栓 132 是夹具时, 底部安装架 130 可延伸到底板 120 的边缘, 螺栓 132 可定位于该边缘。或者, 当螺栓 132 是粘合剂时, 粘合剂可在与底板 120 接触的底部安装架 130 的任何表面上展开。

底板 120 可包括半导体衬底, 其中诸如处理器 150 和传感器 160

的电气元件可彼此集成。连接处理器 150 与传感器 160 的电路未被示出。然而,除了将电路集成到底板 120 内之外,电路可定位于底板 120 外部。例如,可在底板 120 中钻孔以与传感器 160 的输入端与输出端以及处理器 150 的输入端与输出端相对应。绝缘线可在传感器 160 与处理器 150 之间互连。此外,如果电路定位于底板 120 外部,可需要将底板安装架 130 合并到底板 120 内。

旋转编码器 1 还可包括顶部安装架 140 和顶板 170,如图 2 至图 4 所示。关于底板 120 和底部安装架 130 的相同描述适用于顶部安装架 140 和顶板 170。顶板 170 也可是半导体衬底。然而,任何电路也可在顶板 170 外部。顶部安装架 140 也可集成到顶板 170 内。顶部安装架 140 可利用螺栓 132 紧固到底部安装架 130。紧固螺母 122 附连到底板 120。顶板 170 经由螺钉 172 和紧固螺母 122 紧固到底板 172,如图 2 所示。旋转编码器 1 可经由安装螺栓 124 紧固到另一装置。关于螺栓 132 描述的配置也可适用于紧固螺母 122、螺钉 172 和安装螺栓 124。如图 3 和图 4 所示,顶部安装架 140 可为单件材料。这允许示于图 3 和图 4 中的顶部安装架 140 的实施例以均匀方式热膨胀。这同样适用于底部安装架 130。在一替代实施例中,顶部安装架 140 和底部安装架 130 可各由多件制成。

此外,旋转编码器 1 不限于任何特定形状。旋转编码器 1 可为圆形、矩形或被特定地成形用于某种装置或应用。而且,术语“顶部(顶)”和“底部(底)”在本文中使用仅仅是为了便于旋转编码器 1 的描述。因此,旋转编码器 1 可以以任何方位使用。

在图 1 至图 4 的特定示例中,输入轮 10 包括在齿轮 11 上的齿 12。输入轮 10 还包括孔口 14,其可与传感器一起用于提供追踪输入轮 10 的旋转次数的装置。锁紧帽 16 附连到输入轮 10。如图 3 所示,当锁紧帽 16 处于适当位置时,输入轮 10 的任何移动受到锁紧帽 16 与顶部安装支架 140 的接触的约束。只要旋转编码器 1 要被搬运或装运时可包括锁紧帽 16,且一旦输入轴准备接合旋转编码器 1 则将锁紧帽

16 卸下。

定时轮 20 包括齿轮 21 和小齿轮 25。齿轮 21 包括齿 22。小齿轮 25 包括齿 26。定时轮 20 还包括定时狭缝 28。在此实施例中，定时狭缝 28 设计成从齿轮 21 的顶表面延伸到齿轮 21 的底表面的孔，并且定时狭缝 28 设计为表现为矩形的弧形分段。然而，应了解的是，这些元件可具有任何形状。定时狭缝 28 还可为画线、嵌入磁体或能够被检测到的任何其它结构。也可不存在定时狭缝 28，替代地，其它装置可执行定时狭缝 28 的功能。例如，在齿轮 21 上的齿可由亚铁化合物制成且包括足够的数目以对应于所希望的定时标记。放置在齿轮 21 附近的磁性读取器可检测邻近磁性读取器旋转的每个齿 22。定时轮 20 表示可用于本发明的定时机构的仅仅一个实施例。

定时轮 20 还包括编码分段 24，其在本实施例中设计为从小齿轮 25 的顶表面延伸穿过齿轮 21 的底部的弧形孔。图 1 示出了编码分段 24 终止于与从定时轮 20 的中心径向延伸的射线对齐的直边缘。编码分段 24 也可为弧形分段，其终止于与间隙 132 和间隙 142 的凹形边缘类似的凹形边缘。编码分段 24 示出为将定时轮 20 的内环 27 分成八份。然而，编码分段 24 也可设计成将内环 27 分成两份、四份、十六份或任何其它的 $1/2^n$ 份数。

在图 1 所示的实施例中，编码轮 30 包括具有齿 32 的齿轮 31 和具有齿 36 的小齿轮 35。编码轮 30 具有内环 37 和外环 39，内环 37 具有编码分段 34，外环 39 具有编码分段 38。编码分段 34 和 38 从编码轮 30 的顶表面延伸至轮 30 的底表面。编码分段 38 具有连续的弧形形状，其占据外环 39 的二分之一。编码分段 34 包括两个不同的弧形分段，分段 34a 和分段 34b，其各占据内环的四分之一且彼此等距间隔开。分段 34a 始于与编码分段 38 相同的径向射线。分段 34b 始于编码分段 38 终止处的相同的径向射线。编码分段可以是不对称的，如图 1 所示，或对称的，诸如图 5 的编码分段。编码分段的不对称方位可便于在底板 120 上在未被编码轮的非编码分段部分阻挡的位置放

置冗余传感器。

编码轮 40 包括具有齿 42 的齿轮 41 和具有齿(未图示)的小齿轮。小齿轮安装于编码轮 40 的底侧上,并且在图中未示出。编码轮 40 具有内环 47 和外环 39,内环 47 具有编码分段 44,外环 39 具有编码分段 38。编码分段 44 和 48 从编码轮 40 的顶表面延伸到轮 40 的底表面。编码分段 48 包括连续的弧形分段,其占据外环 49 的二分之一。编码分段 44 被分成两个弧形分段,分段 44a 和分段 44b,它们中的每一个占据内环的四分之一并且彼此等距间隔开。分段 44a 始于与编码分段 48 相同的径向射线。分段 44b 始于分段 38 终止处的相同径向射线。

在本实施例中,编码轮 50、70、90 和 110 与编码轮 30 相同,编码轮 60、80 和 100 与编码轮 40 相同。然而,这些编码轮中的任一个编码轮不必与任何其它的编码轮相同。当使用术语“内环”或“多个内环”时,表示的是编码轮 30 至 110 中的每一个的内环 37、47、57、67、87、97、107 和 117。仅仅定时轮 20 和编码轮 30 和 40 的内环实际上在图 1 中编号。当使用术语“外环”或“多个外环”时,表示的是编码轮 30 至 110 中每一个的外环 39、49、59、69、79、89、99、109 和 119。仅仅编码轮 30 和 40 的外环实际上在图 1 中编号。当使用术语“编码分段”或“多个编码分段”时,表示的是定时轮 20 和编码轮 30 至 110 中每一个编码轮的编码分段 24、34、38、44、48、54、58、64、68、74、78、84、88、94、98、104、108、114 和 118。仅仅定时轮 20 和编码轮 30、40 的编码分段实际上在图 1 中编号。此外,定时标记 28 可被视作“编码分段”。通过定时标记 28 所产生的数据可用于确定位置和/或速度。同样,由其它编码分段所产生的数据可用于确定位置和/或速度。

输入轮 10 的齿轮 11 与定时轮 20 的小齿轮 25 啮合。定时轮 20 的齿轮 21 与编码轮 30 的齿轮 31 啮合。编码轮 30 的小齿轮 35 与编码轮 40 的齿轮 41 啮合。编码轮 40 的小齿轮 45 与中间小齿轮 180 啮合。中间小齿轮 180 与编码轮 50 的齿轮 51 啮合。编码轮 50 的小齿

轮 55 与编码轮 60 的齿轮 61 啮合。编码轮 60 的小齿轮 65 与中间小齿轮 180 啮合。中间小齿轮 180 与编码轮 70 的齿轮 71 啮合。编码轮 70 的小齿轮 75 与编码轮 80 的齿轮 81 啮合。编码轮 80 的小齿轮 85 与中间小齿轮 180 啮合。中间小齿轮 180 与编码轮 90 的齿轮 91 啮合。编码轮 90 的小齿轮 95 与编码轮 100 的齿轮 101 啮合。编码轮 100 的小齿轮 105 与中间小齿轮 180 啮合。中间小齿轮 180 与编码轮 110 的齿轮 111 啮合。

如在图 3 中可见, 输入轮 10 和编码轮 40、60、80 和 100 的齿轮处于与定时轮 20 和编码轮 30、50、70、90 和 110 的小齿轮相同的平面中。编码轮 40、60、80 和 100 的小齿轮处于与定时轮 20 和编码轮 30、50、70、90 和 110 的齿轮相同的平面中。

光线防溅罩(light splashguard)(未示出)可从底部安装架 130 和顶部安装架 140 突出。防溅罩布置于内环与外环之间的部分的或完全的同心环中。例如, 对于编码轮 30 而言, 防溅罩布置于内环 37 与外环 39 之间。防溅罩可设计成基于定时轮 20 和编码轮 30 至 110 的底表面(一方面)与底部安装架 130 之间的距离而具有变化的高度。防溅罩提供传感器 160 之间的挡光板。防溅罩可包括内置于底部安装架 130 内、内置于编码轮和定时轮 20 内或内置于底板 120 和顶板 170 内的同心环。或者, 遮挡件可个别地围绕传感器 160 形成, 或围绕检测器 162 和发射器 164 形成。防溅罩可为脊、壁或能够防止不同传感器 160 之间的串扰的任何其它结构的同心环。

输入轮 10、定时轮 20 和编码轮 30 至 110 的啮合在图 1 至图 4 中被示出为处于蜿蜒配置。然而, 该配置可被改变以满足不同的编码器设计。例如, 当需要将旋转编码器 1 成形为圆形时, 轮可布置成螺旋配置。旋转编码器 1 的各种形状和轮的各种配置都是可能的。图 5 示出了在类似的旋转编码器形状内的轮的替代 U 形配置。

旋转编码器 1 也可被设计成分层结构。输入轮 10、定时轮 20 和编码轮 30 至 110 在图 1 至图 4 中被示出布置于单级中。或者, 旋转

编码器 1 可被设计成包括在多级上的轮。在图 1 中, 每个轮被独特地紧固到底部安装架 130 上。然而, 多个轮可安装到单个轮轴上。在一实施例中, 编码轮 60 和 70, 编码轮 50 和 80, 编码轮 40 和 90 以及编码轮 30 和 100 可分别布置于同一轮轴上。定时轮 20 和编码轮 110 可布置于同一轮轴上。对于甚至更窄的旋转编码器, 轮 40、50、80 和 90 可布置于同一轮轴上, 编码轮 30、60、70、100 和 110 可布置于同一轮轴上。应了解的是, 多种配置和组合是可能的。

输入轮 10、定时轮 20 和编码轮 30 至 110 被示出为正齿轮。然而, 轮也可作为蜗轮, 锥齿轮, 人字齿轮、准双曲面齿轮、环形齿轮、齿条和小齿轮, 以及螺旋齿轮。旋转编码器 1 示出了编码轮具有固定旋转的实施例。或者, 可实施齿条和小齿轮系统, 其中定时轮 20 和编码轮 30 至 110 不具有固定的旋转。

参看图 1 至图 4 所示的特定实施例, 不同编码轮的内环和外环定位于距轮的中心相同距离处。例如, 内环 37 和编码分段 34 距轮 30 中心的距离与内环 47 和编码分段 44 距轮 40 中心的距离相同, 即使在轮 40 具有更大直径的情况下。因此, 齿 42 和齿 36 的数目可决定轮 40 相对于轮 30 的速度减小。这同样适用于其它轮。然而, 不同编码轮的编码分段不必在径向上等距地定位。

输入轮 10 的速度由待监控的旋转装置的速度确定。例如, 在本实施例中, 定时轮 20 转动得比输入轮 10 快大约 1.34 倍。编码轮 30 以与定时轮 20 相同的速度转动。编码轮 40 以编码轮 30 的速度的四分之一转动。编码轮 50 以编码轮 40 的速度的四分之一转动, 编码轮 40 以编码轮 30 的速度的十六分之一速度转动。这同样适用于其它编码轮, 使得编码轮 110 以编码轮 100 的速度的四分之一转动, 编码轮 100 以编码轮 30 的速度的 $1/65,536$ 转动。在某些情形下, 编码轮 30 将旋转, 但不足以造成编码轮 110 的旋转。在替代实施例中, 额外的编码轮可添加到旋转编码器 1。额外的编码轮的速度可计算为编码轮 30 的 $1/4^n$ (进行如下计数, 编码轮 30 为 $n=0$, 编码轮 40 为 $n=1$, ..., ,

编码轮 110 为 $n=8$, 等等)。本发明的特定实施例可包括一个如下的编码轮: 其具有较小的比特数目用于最高速度的轮, 但允许在轮系传动时随着相对编码轮速度降低而增加每个轮的更高的比特数目。

可能存在需要改变轮与轮之间的齿数的情况。例如, 在编码轮 40 和 60 不具有相同齿数的情况下。此外, 结合改变齿轮上的齿数, 编码分段的径向位置可相对于另一个轮改变, 以造成速度减小或增加。

轮可由任何种材料制成。少数的代表性示例为钢、不锈钢、铝、其它金属、陶瓷、塑料、玻璃和覆有金属的塑料。可使用本领域已知的用于齿轮的任何材料。这些轮可全部由相同的组合物制成, 或者轮与轮之间的组合物可有所不同。

如参看编码轮 80 所示, 传感器 160 包括检测器 162 和发射器 164。检测器 162 和发射器 164 内置于底板 120 内。间隙 134 内置于底部安装架 130 内, 以防止遮住检测器 162 和发射器 164。关于发射器 164 和检测器 162, 可经由半导体制造技术, 将发射器 164 和检测器 162 安装于底板 120 上以及将发射器 164 和检测器 162 插入通过底板 120 中的孔, 从而将发射器 164 和检测器 162 制造于底板 120 内。应了解的是, 将发射器 164 和检测器 162 紧固到底板 120 上的任何其它方法也涵盖于本发明内。间隙 144(图 4)内置于顶部安装架 140 内且具有与间隙 134 相同功能。尽管未示出, 旋转编码器 1 也可包括传感器, 其包括发射器和检测器, 发射器和检测器内置于顶板 170 的底表面内。对于内置于底板 120 内的每个检测器 162, 发射器可直接布置于上方。对于内置于底板 120 内的每个发射器 164, 检测器可直接放置于上方。图 4 所示的顶部安装架 140 中的间隙 144 防止顶部安装架 140 对发射器和检测器的任何阻挡。位于顶板 170 的底表面上的传感器、检测器和发射器通常与直接位于上方的传感器 160、发射器 164 和检测器 162 相同。因此, 为了便于本文的讨论, 与位于底板 120 上的构件基本上类似的位于顶板 170 上的任何相应构件, 尽管未在图中示出, 但是将赋予加上引号(')标记的相同的附图标记(例如, 检测器 160 和检测器

160')。

所示的实施例包括传感器 160、161、163 和 165。传感器 161 对应于定时轮 20 和编码轮 30 至 110 的内环。传感器 163 和 165 对应于编码轮 30 至 110 的外环。传感器 160'、161'、163'和 165'分别直接放置于传感器 160、161、163 和 165 上方。传感器 163 和 165 可放置成以大约 90 度的径向角度间隔开。在编码轮 30、60、70、100 和 110 中，传感器 161 可平分传感器 163 与 165 之间的角度。在编码轮 40、50、80 和 90 中，传感器 161 和 163 可以以大约 45 度的径向角度间隔开，传感器 161 和 165 可以以大约 135 度的径向角度间隔开。传感器 161、163、165 和 169 仅关于编码轮 80 和 100 以及定时轮 20 编号。每个传感器 161、163 和 165 包括发射器 164 和检测器 162。每个传感器 161'、163'和 165'包括发射器 164'和检测器 162'。

传感器 160/160'包括发射器 164/164'和检测器 162/162'，并且可被描述为一组传感器对或双组传感器。这同样适用于传感器 160/160'和 160'/160"的具体形式(即，传感器 161、161'、163、163'、165、165'、169 和 169')。作为将发射器 164 和检测器 162 视为一对且将发射器 164'和检测器 162'视为相对的第二对的替代，发射器 164 和检测器 162'可被视作一对，发射器 164'和检测器 162 可被视作并行的第二对。但是无论如何认为，第二对可提供重复检测。这种冗余性使得旋转编码器 1 能够高度地容错。例如，如果一个这样的对出现故障，那么旋转编码器 1 仍可操作。根据哪个传感器或传感器构件可能已出现故障(若存在)，编码器也可利用促动的多个传感器而操作。

在一特定实施例中，传感器 160 的发射器 164 和检测器 162 的位置是给予传感器 160(和相应传感器 160')可能最宽的和最对称的放置公差的位置。在比特值再次改变之前，对于传感器而言，代码值改变的位置在顺时针(CW)方向与逆时针(CCW)方向留有相同的空间。这个方法在图 1 中示出。在一特定实施例中，这导致不对称的传感器放置和代码变化点的相应不对称性。

在一替代实施例中，发射器 164 可相对于检测器 162 偏移。然后可比较所得到的第一编码值和偏移编码值，以确保两个值之间的算术差相同。如果算术差不相同，则可由下述的自测试来查找这个问题。

在任一实施例中，只要这种放置在 v 比特防止间隙逻辑 (anti-backlash logic) 的界限内且在构件的可容许的机械公差的界限内，那么所产生的代码将是相同的。

在一替代实施例中，传感器 161、163 和 165 可各具有单个发射器，相应的传感器 161'、163' 和 165' 可各具有相应的单个检测器而不存在任何冗余。

各个传感器与定时标记 28 相关联。图 1 所示的传感器 169 包括至少一个发射器 164 和至少一个检测器 162。位于顶板 170 上的传感器 169' 直接放置于传感器 169 上方，并且包括至少一个发射器 164' 和至少一个检测器 162'。

在一特定实施例中，位于底板 120 和顶板 170 上的相应传感器可分别一次促动一个轮。或者，可一次促动这些轮中的全部或某些。每个轮的底部通常首先被促动，之后为每个轮的顶侧。在一特定实施例中，可促动传感器 160/160' 的各个发射器。连续促动用于监控定时标记 28 的各个传感器 169/169'，如在下文更详细地讨论。关于编码轮 30 至 110，可促动传感器 161、163 和 165 的发射器 164。如果旋转编码器 1 处于图 1 所示的位置，那么传感器 161'、163' 和 165' 的检测器 162' 各接收来自相应发射器 164 的信号。然而，旋转编码器 1 可定位成使得仅仅传感器 161' 和 163'，161' 和 165'，163' 和 165'，161'、163' 和 165' 的检测器 162' 接收信号或者所有这些传感器的检测器 162' 均不接收信号。无论旋转编码器 1 位于何处，检测器 162 将在发射器 164 促动时接收信号。在一特定实施例中，发射器 164 和检测器 162 能够竖直地和左右地直接通信。因此，当促动三个发射器 164 时，三个检测器 162 将接收信号，并且如果编码器轮中的开口 (即，编码分段) 位于发射器 164 与检测器 162' 之间，那么三个检测器 162' 可接收信号。因此，产

生 6 比特的数据。

采用这种方式,当促动位于顶板 170 上的传感器 161'、163'和 165'的发射器 164'时,产生 6 比特的数据。促动相同传感器的检测器 162',以及在旋转编码器 1 的底侧上的传感器 161、163 和 165 的检测器 162。可促动编码轮 30 的传感器 161、163 和 165。然后,可促动编码轮 30 的传感器 161'、163'和 165'。关于编码轮 40 至 110,可继续这种替代的传感器促动模式。

关于定时轮 20,传感器 161 和 161'可如上文关于编码轮 30 至 110 所述而促动。在一特定实施例中,继续促动传感器 169 和 169'的发射器。在图 2 所示的实施例中,传感器 169'包括两个发射器,传感器 169 包括两个检测器。在一特定实施例中,所有其它的传感器各具有发射器和检测器。在一特定实施例中,一次仅仅促动传感器 169 的一个发射器。

第一检测器 162a 和第二检测器 162b 可定位成使得当定时标记 28 存在于第一检测器 162a 上时,定时标记 28 不存在于第二检测器 162b 上。这示于图 1 中,其中检测器 162a 和任选的发射器 164 是可见的,但检测器 162b 是不可见的。

或者,传感器 169 和 169'可各具有发射器和检测器,且可禁止(disable)直接的左右传送特性。可通过使用不同类型的传感器或在检测器 162 和 162'和/或发射器 164 和 164'的边缘周围放置遮挡件而禁止这种特性。

传感器 169 和 169'还可包括其它的发射器和检测器。例如,图 2 示出传感器 169 中的检测器 164,其对应于传感器 169'中的检测器 162'。发射器 164 可放置于距第一检测器 162a 足够远的距离,使得第一检测器 162a 在促动发射器 164 时不接收光信号。在一替代实施例中,发射器 164,第一发射器 164a'和第二发射器 164b'可交替地促动。

传感器 160 和 160'提供三级冗余。首先,如果发射器 164'和 164 和检测器 162'与 162 中的任一个失效,那么传感器 160 和 160'仍然是

可操作的。例如，如果编码轮 80 的传感器 161 的发射器 164 失效，那么传感器 161 仍然可操作，因为传感器 161'的发射器 164'仍然能够与传感器 161 的检测器 162 通信。

第二级冗余来自内置式自测试功能。将检测器 162 放置在发射器 164 附近而提供自测试。即使由于编码轮的位置而不存在无障碍光路，检测器 162 将在促动发射器 164 时接收信号。如果检测器 162 不接收信号，那么发射器 164 和检测器 162(或附带的电路和处理)中的任一个或两个出现故障。一旦编码轮移动到存在无障碍光路的位置，如果检测器 162 未接收到信号，则可能是发射器 164 出现故障。检测器 162'和 164 的寿命可通过促动发射器 164'来确定。如果检测器 164、检测器 162'或发射器 164'开始出现故障而不是发射器 164 出现故障，那么采用类似的逻辑。

当确定哪个位置由传感器 160 和 160'识别时，处理器 150 将考虑任何失效的构件，诸如发射器 164 或检测器 162'。例如，如果与编码轮 80 相邻的传感器 163 的检测器 162 失效，那么处理器 150 可针对如下事实进行补偿，即传感器 163 和 163'将不检测在编码轮 80 旋转中相同点的阻挡的光路。或者，使用相同的示例，如果检测器 162 未接收信号，那么检测器 162 可由相邻发射器 164 来测试，以确定检测器 162 是否为操作的。发射器 164'可由相邻检测器 162'测试，以确定发射器 164'是否为问题的原因。如果发射器 164'和检测器 162 为操作的且发射器 164'正在发送，但是检测器 162 未接收到该传送，那么外环 89 阻挡发射器 164'与检测器 162 之间的光路。而且，如果检测器 162 已失效，那么处理器 150 可估计编码轮 30 至 70 和 90 至 110 的位置，以确定外环 89 是否实际上阻挡出现故障的检测器 162。

可通过利用维特比(Viterbi)解码由传感器 160 和 160'中的任一个来提供第三冗余。例如，传感器 163 的输出或者传感器 165 的输出可用于产生维特比比特(v-bit)。如果传感器 160 或传感器 160'不操作以产生 v-比特，那么传感器 160 或 160'用于产生数据-比特。在一特定实

施例中, 传感器 165 和 165' 用于产生 v-比特。维特比解码算法是前向纠错技术。V 比特提供可用于对其它的 2-比特的的位置进行精确解码的冗余数据。在此实施例中, 传感器 161 和 161' 可提供 1-比特数据, 传感器 163 和 163' 可提供 2-比特数据。通过使用 v-比特, 由传感器 161 和 161' 和传感器 163 和 163' 所产生的信号与最佳位置的角度偏移可为 ± 22.5 度而不造成编码错误。因此, 即使在存在偏移的情况下接收信号, 也将仍然指示轮的真实位置。在一个编码轮上的 v-比特也明确相邻编码轮的真实位置。例如, 编码轮 30 的 v-比特帮助明确编码轮 40 的真实位置。

维特比解码并不是编码轮 30 至 110 可被设计成对其进行实施的唯一解码算法。用于本发明的其它适当算法例如包括序列解码、里德索罗门编码(Reed-Solomon coding)和涡轮编码(turbo coding)。维特比解码的另一替代是齿轮计数。

在旋转编码器 1 中, 产生 v-比特的传感器 165 相对于传感器 161 和 163 偏移。或者, 传感器 165 可布置成与产生数据-比特的传感器 163 或 161 对齐。图 5 示出了绝对编码器(旋转编码器 2)的实施例, 其中 v-比特传感器 2165 定位成与数据-比特传感器 2161 对齐并且相对于数据-比特传感器 2163 偏移。如参考定时轮 2020 可见, v-比特传感器 2165 也可定位成检测内环 2027 上的编码分段 2034。v-比特传感器 2165 可被定位成检测编码轮 2030 至 2110 中的任何编码轮或全部编码轮的内环。因此, 传感器 161 或传感器 2161 可为 v-比特。

除了很少的差别之外, 图 5 所示的旋转编码器 2 类似于旋转编码器 1 进行操作。输入轮 2010 具有不同的齿数。编码分段 2024 将内环 2027 分成二份而不是四份。此外, 传感器 2165 包括于与传感器 2161 相同的同心环中。定时轮 2020 包括小齿轮 2025, 中间小齿轮 2180 在小齿轮 2025 的任一侧上。

编码轮 2030 包括具有齿 2032 的齿轮 2031 和具有齿 2036 的小齿轮 2035。编码轮 2030 具有内环 2037 和外环 2039, 内环 2037 具有编

码分段 2034, 外环 2039 具有编码分段 2038。编码分段 2034 和 2038 从编码轮 2030 的顶表面延伸到轮 2030 的底表面。编码分段 2038 示出为占据外环 2039 的二分之一的连续弧形分段。编码分段 2034 包括两个不同的弧形分段, 即分段 2034a 和分段 2034b, 其中的每一个被示出占据内环的四分之一且彼此等距地间隔开。分段 2034a 的中部与编码分段 2038 的中部对齐。分段 2034b 占据与分段 2034 直接相对的空间。

编码轮 2040 包括具有齿 2042 的齿轮 2041 和具有齿 2046 的小齿轮 2045。小齿轮 2045 安装于编码轮 2040 的底侧上。在图 5 的实施例中, 可穿过编码轮 2040 看到小齿轮 2045。编码轮 2040 具有编码分段 2044 和 2088, 类似于编码轮 2030。出于说明的目的, 在图 5 中仅标注了定时轮 2020 和编码轮 2030 的编码分段。

编码轮 2050、2070、2090 和 2110 可与编码轮 2030 相同。编码轮 2060、2080 和 2100 可与编码轮 2060 相同。术语“内环”、“多个内环”、“外环”、“多个外环”、“编码分段”和“多个编码分段”用于描述旋转编码器 2, 其以与旋转编码器 1 相同的方式使用。

输入轮 2010 与中间小齿轮 2180 啮合, 而中间小齿轮 2180 与定时轮 2020 的小齿轮 2025 啮合。小齿轮 2025 与中间小齿轮 2180 啮合, 而中间小齿轮 2180 与编码轮 2030 的齿轮 2031 啮合。编码轮 30 的小齿轮 2035 与编码轮 2040 的齿轮 2041 啮合, 以此类推直至编码轮 2110。编码轮 2030 至 2110 以与编码轮 30 至 110 相同的方式啮合。

在本实施例中, 输入轮 2010 的齿和编码轮 2030、2050、2070、2090 和 2110 的齿轮可被配置成位于与定时轮 2020 和编码轮 2040、2060、2080 和 2100 的小齿轮相同的平面中。编码轮 2030、2050、2070、2090 和 2110 的小齿轮可布置于与编码轮 2040、2060、2080 和 2100 的齿轮相同的平面中。

参看旋转编码器 1, 传感器 160 和 160' 提供转动输入轮 10 的输入轴的绝对位置的指示。如图所示, 旋转编码器 1 是 18 比特绝对编码

器。因此，旋转编码器 1 能够表示 262,144 个位置。当然，无需使用所有的位置。可通过向轮系的端部添加轮和传感器或者从轮系的端部减少轮和传感器来增大或缩小旋转编码器 1。每个轮可提供三个传感器 160 和 160'。或者，轮系中的每个轮或至少最后一个轮可提供仅仅一个或两个传感器组 160 和 160'，只要传感器被定位成作为编码值中的下一个更高位的比特。旋转编码器 1 也可仅具有单个编码轮，其用作速度和位置数据的来源。旋转编码器 1 也可仅具有单个位置编码轮和单独的速度传感机构，诸如定时轮。此外，编码轮中的每一个可具有任意多个编码分段和相应的传感器 160 和 160'。旋转编码器 1 可为利用传感器 160 和 160'的任何编码器设计。

如上文所讨论，传感器 160 和 160'能够在编码分段布置于传感器之间时通信，从而提供无障碍光路。在传感器 160 中，当接收到信号时，检测器 162 输出逻辑 0 值；当未接收到信号时输出逻辑 1 值。同样，在传感器 160'中，当接收到信号时检测器 162'输出逻辑 0 值；当未接收到信号时，输出逻辑 1 值。因此，当编码分段位于传感器 160 与传感器 160'之间时，当促动发射器 164 时，处理器 150 接收两个单独的逻辑输入：一个输入来自检测位置的检测器 162'，一个输入来自执行自测试的检测器 162。一旦停用发射器 164 并促动发射器 164'，那么处理器 150 接收 2 个单独的逻辑输入：一个逻辑输入来检测位置的检测器 162，一个逻辑输入来自执行自测试的检测器 162'。

如果内环或外环阻挡传感器 160 与 160'之间的通信，那么处理器 150 将接收代表位置代码的比特值的逻辑 0 输入和代表与此比特位置相关的发射器的成功测试的逻辑 1 输入。例如，当促动发射器 164 时，检测器 162'将被阻挡而不能接收信号且将发送逻辑 1。检测器 162 仍然通过直接左右传送而接收信号，并且因此将逻辑 0 传送至处理器 150。

当处理器 150 从检测器 162'接收逻辑 0 信号并且相对发射器 164 被促动时，处理器 150 认识到肯定存在编码分段。当促动发射器 164'

且检测器 162 传送逻辑 0 信号时, 实现相同的结果。本实施例使用 0 和逻辑 0 信号; 然而, 也可使用 0 和 5 伏、1 和 5 伏或任何其它常用传感器信号或者其组合。此外, 检测器 162 和 162' 可设计成使得在未接收到光信号时产生逻辑 0 和接收到光信号时产生 0 伏。在这样的实施例中, 处理器 150 将在从检测器 162' 接收到 0 伏并且发射器 164 被促动时接收传感器 160 与 160' 之间的编码分段的指示。

在一特定实施例中, 由发射器 164 对相邻检测器 162 进行的自测试通过从发射器 164 的侧部到检测器 162 的直接传送而执行。例如, 检测器 162 可位于距发射器 164 的距离为 0.5 mm 处。或者, 可使用不能直接左右传送的传感器。在这样的实施例中, 可经由反射进行自测试。例如, 当在传感器 160 与 160' 之间存在编码分段并且促动发射器 164 时, 仅仅检测器 162' 接收信号。当促动发射器 164' 时, 仅仅检测器 162 接收信号。这将允许发射器 164 和 164' 同时促动。当不存在编码分段使得光在传感器 160 与传感器 160' 之间被阻挡时, 检测器 162 和 162' 可适于接收反射光信号。在这种情形下, 当促动发射器 164 时, 光可从内环或外环的底表面发射出来。检测器 162 可接收反射光的一部分。检测器 162 可设计成在接收到任何光的情况下传送逻辑 0。检测器 162 可设计成传送与所接收的光的强度相当的电压。因此, 当存在编码分段时, 检测器 162 可从位于检测器 162 直接上方的发射器 164' 接收较高强度的直接光信号。当不存在编码分段时, 检测器 162 可从相邻发射器 164 接收较低强度的反射光信号。

在另一实施例中, 编码分段可涂画于轮上, 而不是依赖于轮的切开分段。在这样的实施例中, 在传感器 160 与 160' 之间不发生通信。相反, 检测器 162 从发射器 164 接收反射光。这同样适用于检测器 162' 和发射器 164'。例如, 如果轮是非反射性的(例如, 涂成黑色)且编码分段是反射性的(例如, 涂成白色)或轮是反射性的且编码分段是非反射性的, 那么检测器 162' 将在光从编码分段反射出来时产生一个电压且在光从非编码分段反射出来时产生不同的电压。此外, 传感器 160

和 160'最初可位于编码轮的相同侧。

传感器 160 和 160'已关于光学传感器进行了描述。然而，应了解的是，多个其它传感器可用于本发明。传感器的其它适当示例包括但不限于磁性传感器、霍尔效应传感器和电触点。本领域中已知用于增量传感器和绝对编码器的任何类型的传感可用于本发明。编码分段也可包括与选定传感器兼容的任何材料或配置。

处理器 150 也可设计成产生警报。如果检测器 162、发射器 164、检测器 162'、发射器 164'、检测器 162a、检测器 162b、发射器 164a'或发射器 164b'失效，处理器 150 可发出警报。对于不同的失效优先级可提供不同的警报。在极端情况下，处理器 150 可设计成强迫由旋转编码器 1 所监控的阀促动器或其它旋转装置停机。可以以多种方式来表达警报，诸如，可视警报(诸如在阀促动器的控制面板上或在控制站上闪光或 LCD 消息)，可听警报或书面警告。

在传感器 160 和 160'中，如果发射器 164 与 164'和检测器 162 与 162'不能正常起作用，那么所产生的数据-比特或 v-比特将被宣布为无效。可基于失效比特的解码值和动作时间来判定无效比特值对于由旋转编码器 1 所监控的阀促动器或其它旋转装置的性能的影响。也可基于失效的比特数目来估计无效的比特值。

阀促动器的动作时间是阀从打开位置到关闭位置或者从关闭位置到打开位置所用的时间。其它旋转装置的动作时间是旋转装置从第一位置旋转到第二位置所用的时间。例如，对于工业卷筒，动作时间是该卷筒从完全卷绕到完全展开所用的时间。当动作时间较长时，单个比特仅对应于总动作时间的一小部分。因此，单个比特失效可能不是非常关键的，从而提供警报或警告但不强迫机器停机，这可足以用于这样的应用。如果动作时间较短，单个比特失效可表示实际位置与旋转编码器 1 所表示的位置之间的较大偏差。因此，对于较短的动作时间，除了提供警报或警告之外，单个比特失效可足以强迫旋转装置停机。比特失效的重要性可取决于对于给定应用该动作时间的哪些部

分可由比特失效表示。在一特定实施例中，用户能够配置所容许的准确度损失的阈值，如果低于该阈值，BIST 特征仅提供警报或警告，但高于该阈值，BIST 特征将强迫安全机器停机并且提供警报或警告。

对于并不具有预定的第一位置和第二位置的旋转装置，动作时间可以是不固定的。这样的旋转装置的示例包括发动机的飞轮或涡轮机的主轴。本发明的旋转编码器也可用于任何类型的旋转装置。

如上文所提到的，如果传感器 160 和 160' 的检测器 162 和 162' 通过自测试都验证为可操作的，但检测器 162 并未接收到信号而检测器 162' 接收信号，那么可检查其它轮的位置以确认相关轮的位置。在这种情况下，由传感器 160 和 160' 所产生的数据-比特实际上是有效的，但是传感器 160 和 160' 的一半被内环或外环阻挡。维特比逻辑操作可从主要传感器组或冗余传感器组(即，发射器 164 或检测器 162)得到相同的位置代码。应了解的是，术语“主要”和“次要”或“冗余”是任意的。

或者，传感器 160 和 160' 可完全起作用，但是旋转编码器 1 的不同构件失效。例如，如果编码轮上的齿中的一个被剪掉，那么由传感器 160 和 160' 所指示的当前位置可与基于传感器 160 和 160' 所提供的先前数据而预测的位置不匹配。因此，虽然传感器 160 和 160' 正常工作，但是它们并不指示正确位置。处理器 150 或某些其它处理器可提供对于此错误的校正并产生警报。例如，如果编码轮 60 从齿轮 61 失去齿 62，那么编码轮 60 在每次旋转期间可能开始错过位置。因此，由所有编码轮指示的阀位置将不再精确地对应于阀位置。这将表现为如同阀跳到另一位置。在一实施例中，处理器 150 可搜寻编码轮的位置所指示的阀位置的不连续。作为替代或作为补充，定时轮 20 可用作增量编码器以验证编码轮的位置。处理器 150(或任何其它适当处理器)可在考虑到编码轮 60 所引入的错误的情况下重新计算阀位置。如果失效的严重程度较大，那么处理器 150 也可产生警报和/或引起安全停机。

导致阀位置的不连续指示的旋转编码器 1 的任何失效可由处理器 150 或与处理器 150 通信的任何其它处理器来识别。

传感器 160 和 160' 在本文中被描述为分别具有发射器和检测器。或者, 传感器 160 可被配置成仅具有发射器且传感器 160' 可被配置成仅具有检测器。在其它实施例中, 传感器 160' 可不存在于旋转编码器 1 中。图 2 示出传感器 160 具有多个发射器和检测器。传感器 169 包括发射器 164、第一检测器 162a 和第二检测器 162b。尽管未示出, 传感器 169' 包括相应的检测器 162'、第一发射器 164a' 和第二发射器 164b'。第二检测器 162b 和第二发射器 164b' 可用于验证来自第一检测器 162a 和第一发射器 164a' 的数据或有效地使由传感器 169 和 169' 所产生的数据输出加倍。传感器 160 可包括任意多个的发射器、检测器和/或二者。传感器 160 和 160' 可用于任何旋转编码器以提供容错速度和位置数据。

图 1 至图 5 示出了绝对编码器, 其中编码轮中的每一个仅具有内环和外环。然而, 编码轮中的每一个可具有任意数目的环, 而没有限制。例如, 每个编码轮可具有 3、4、5 或 6 个环。对于每个环可提供至少一个传感器 160 和至少一个传感器 160'。因此, 环的数目可决定每个编码轮可产生的数据-比特的数目。

每个编码轮的环的数目由允许传感器 160 与 160' 彼此通信所需的编码轮的大小和编码分段的宽度来决定。此外, 应在环之间提供足够的间隙来限制在相同侧上的传感器之间的串扰。例如, 提供间隙以防止传感器 161 的检测器 162 记录来自传感器 163 的发射器 164 的信号。然而, 也可使用除了间隙之外的其它技术, 诸如使用上文所讨论的防溅罩, 以限制串扰并允许更小的编码轮直径。

任意数目的编码轮可添加到本发明的编码器。例如, 旋转编码器 1 可提供动作时间为一小时的常用速度阀促动器的位置数据。添加多个编码轮将提供更多的数据比特并增加可由旋转编码器 1 操纵的动作时间。当然, 旋转编码器 1 也可用于动作时间小于一小时的阀促动器

和其它旋转装置。旋转编码器 1 也可具有比图 1 至图 4 所示的编码轮更少的编码轮。

此外，旋转编码器 1 可为单轮绝对编码器或单轮增量编码器。在这些实施例中，传感器 160 和 160' 可包括多个发射器和检测器，从而提供内置式自测试和容错操作。因此，一组传感器 160 和 160' 可监控多个编码分段，诸如定时标记 28 或编码分段 34，或者一组传感器 160 和 160' 可监控单个编码分段，诸如编码分段 38。

此外，定时轮 20 可用作与旋转编码器 1 的其余部分的绝对编码功能相结合的增量编码器。例如，特定增量编码器实施例可成比例地设定为可使得增量脉冲速率准确地匹配编码器的绝对部分的计数速率。以此方式，在促动器操作时增量编码器可用于获得位置数据。当电机停止时，在电机回转开始时添加到绝对位置代码的最终增量计数应与新的绝对编码位置精确地匹配。

如果定时轮 20(也起到增量编码器的作用)所指示的位置不同于由编码轮所指示的位置，那么可对传感器 160 和 160' 执行自测试。如果自测试确认所有传感器 160 和 160' 均正常起作用，那么可能编码轮不正常地追踪。因此，可产生警报或警告。在一特定实施例中，在此情形下，旋转编码器可依赖于增量编码器直到维修旋转编码器。

旋转编码器 1 和 2 设计成使用格雷编码；然而，也可使用二进制编码。使用 v-比特和重复传感器使得旋转编码器 1 和 2 将绝不相差超过一个最低有效位[LSB]，从而增加用户对编码器值可靠性的信心。

本发明可用于在两个位置之间旋转的许多种旋转装置，诸如，阀促动器、开门器或卷筒。在典型的阀促动器中，电机可经由一组齿轮来驱动阀。电机的输出轴可直接联接到蜗杆。蜗杆可驱动蜗轮组件，蜗轮组件又驱动传动套筒或轴，而传动套筒或轴提升和降低或者转动阀杆。第二轴也可由蜗轮组件驱动，以便驱动旋转编码器 1 的输入轮 10。或者，阀促动器可使用不同的齿轮组，或者电机输出轴可直接联接到阀杆而无需中间齿轮组。在本领域中存在很多种适用于本发明的

将旋转位置编码器连接到旋转装置的方法，但这些方法将不再本文中展开讨论。在一优选实施例中，旋转编码器 1 和 2 可用于对诸如阀促动器的旋转装置执行诊断，关于诊断功能，旋转编码器 1 将用作示范性示例。然而，也可使用本发明的其它编码器，诸如旋转编码器 2。此外，定时轮 20 可合并到任何旋转编码器内。定时轮 20 可为增量编码器的编码轮或单轮绝对编码器的编码轮。例如，定时标记 28 可用于绝对编码器的位置编码。或者，如图 1 所示，定时轮 20 也可包括与定时标记 28 分开的编码分段。在另一实施例中，定时标记 28 可为较大编码图案的一部分，诸如单轮绝对编码器的编码图案。在一特定实施例中，定时轮 20 可为与其它编码轮分开或结合的增量编码器。在该实施例中，定时标记 28 不仅用于产生速度数据，而且产生增量位置数据。定时标记 28，类似于编码分段，可采取与传感器 160 和 160' 一起工作所需的任何形式或结构。定时标记 28 可为孔、线、嵌入磁体、雕刻或本领域中已知用于绝对编码器或增量编码器的任何其它结构。

定时轮 20 和 2020 分别示出为具有三十二个定时标记 28 和定时标记 2028。然而，定时轮 20 和 2020 可具有任意数目的定时标记 28。

关于频率分析，在下文最初讨论对速度数据执行频率分析(在本文中也称作曲域分析)的特定实施例，之后讨论非速度数据实施例。此外，出于说明目的，定时轮 20 或定时轮 20 的定时标记 28 常常在本文中被称作速度数据源。在其它实施例中，任何类型的速度传感器，无论具有旋转位置传感器还是不具有旋转位置传感器，可用于诊断(即，频率分析)。此外，关于速度数据的频率分析的讨论同样适用于其它数据实施例。其它数据实施例可例如包括扭矩数据、位置数据、推力数据、噪声数据、电流数据、电压数据、电机功率数据、电机的伏安反应数据以及振动数据。多种数据类型和传感器类型可用于频率分析，如本领域中所知。本发明涵盖可经由传感器和阀促动器或其它旋转装置可产生的任何数据类型。

尽管下文的讨论涉及旋转编码器 1，但是应了解的是，该讨论同样适用于旋转编码器 2。定时轮 20 上的定时标记 28 可用于产生速度数据。传感器 169 和 169' 可记录定时标记 28 中的每一个呈现于传感器前的时间长度。然后此驻留时间可用于精确地确定诸如阀驱动器的旋转装置的速度。速度数据可用于确定驱动输入轮 10 的输入轴的速度。而输入轴常常附连到其它旋转装置，诸如阀驱动器的蜗轮。因此，定时标记 28 可用于确定诸如蜗轮的其它旋转装置的速度。

在特定实施例中，定时标记 28 被配置为在定时轮 20 中等间距和等大小的孔。然而，先前所讨论的编码分段实施例和传感器实施例中的任何实施例也分别用于定时标记 28 和传感器 169 和 169' 的实施例。

由定时标记 28 所产生的速度数据可利用 FT 来操作，以将速度数据从时域转换成频域。然而，可使用任何类型的速度传感器来产生速度数据，以转换成频率数据。

FT 预期信号样品以规则隔开的時間间隔发生。然而，由于在本发明中的速度信号的驻留时间值可能不是恒定的，故可采取措施以允许 FT 得到有效信息。通过选择足够大量的数据点，在机器以稳态进行操作时，这些数据点中的绝大多数将被采用，较大数据集的平均驻留时间可用作每个数据样品的“规则”驻留时间 $[t_d]$ 。此‘规则’驻留时间可用于标定(scale)所得 FT 的频率标度($f_n \text{ (Hz)} = 1/(t_d * \# \text{ 样品})$)。在适当地标定频率数据时，数据向操作者提供足够的信息来确定与传动系的各个构件的已知旋转速度相关联的速度变化，且可指示阀驱动器或其它旋转装置的传动系中现有的或可能要出现的问题。例如，当设备较新时，将形成基线频率与振幅的图表或曲线并进行保存。之后，可形成新的频率与振幅的图表或曲线并与所保存的基线图表或曲线相比较。如果对应于给定构件的操作频率的峰值出现在与先前所测量的频率或振幅不同的频率或振幅处，那么显而易见的是，与该频率相关联的构件的特性不同于较新的时候，这通常指示磨损和可能失效或即将发生的失效。因此，可在构件失效之前在适宜的时间执行适当的维

护。此外，可计划进行 FT 分析，以在处理器 150 中自动地运行，处理器 150 可被编程和配置为使得超过所配置的阈值的峰值振幅变化可用于产生自动的警报或警告或强迫机器安全停机。可使用本领域中已知的任何适当地标定频率数据的方法。

频域分析的示例包括于图 6 至图 8 中。图 6 示出阀促动器在频域中无问题诊断或“良好”传动系的示例。图 6 示出了在 45.9 Hz 的峰值；然而，相对于促动器的操作速度测量的 0.1%幅值(在 26 rpm 或 0.43Hz 时，幅值为 100%)的峰值不具有足以引起关注的幅值。图 7 示出在频域中产生若干不正常信号的阀促动器或“坏”传动系的示例。不正常信号的频率可用于识别出现问题的传动系构件。在图 7 中，蜗杆或蜗轮超出容限。例如，在 26.1 Hz 的峰值指示出现问题。然而，在 52.5 Hz 和 78.6 Hz 的峰值是 26.1 Hz 峰值的谐波。

处理器 150 或执行 FT 的处理器可设计成自动地产生用于显著峰值(例如，超过预定阈值)的适当标记。例如，处理器可包括设计成使当前所产生的峰值与先前所产生的峰值的振幅和频率相匹配的程序。在该实施例中，如果处理器不能够识别峰值，那么这个失效可用作对操作者的存在潜在问题的警告。或者，频域中的数据可与阀促动器的传动系的部件手动地相关。可训练操作者来识别并理解不同峰值的相关性。例如，如果旋转编码器 1 存在于阀促动器中，那么定时轮 20 和传感器 169 和 169'可用于识别传动系构件的速度。在一特定实施例中，驱动输入轮 10 的输入轴由蜗轮驱动。因此，速度传感器可用于确定蜗轮的速度，并因此确定频率。然后，基于齿轮比，可计算其它传动系构件的频率。然后，可根据频域中的数据的图形表现来识别构件频率和任何谐波。另一方面，如果速度传感器不存在于阀促动器中，而是已知实际的电机轴速度，那么该信息可用于产生构件频率。可采用电机的实际速度的各种类型的电测量或磁测量，因此进一步提高系统整体上的诊断能力。在许多情况下，工厂人员将执行上述手动识别。因此，可向终端用户提供预先标注的样品频域曲线和相互关系。

在一特定实施例中,可下载促动器的内置信息(齿轮比、电机速度、每个齿轮的齿、每个轴承的球等),以储存于促动器的电子封装中。然后,机载 CPU 可参考所储存的信息并推导出传动系的哪部分造成该变化。FT 的绘图可直接显示于促动器的 LED 屏幕上,或者数据阵列可被下载到操作者的资源管理系统用于分析或被下载到服务技师的便携式电脑或 PDA 上以传送到总公司进行具体分析。

用于收集数据和/或执行频率分析的编程可储存于固件、软件、硬件或本领域中已知的任何其它装置中。例如,频率分析编程可储存于阀促动器的固件中。

此外,操作者可简单地通过比较当前分析与先前分析而识别频域中的峰值。先前分析可为在工厂中进行的分析。然而,可存在需要或必需独立于任何先前分析而识别频域中的峰值的情形。例如,在新阀促动器的设计阶段,工程师可能希望对新的原型执行频率分析以确保原型设计中没有内在的缩短寿命的振动、共振和/或谐波。或者,频率分析可用作在组装后装运前对工具进行检查,以确定机械传动系的某些部件是否被制造成具有物理缺陷。

内置于旋转编码器内,或内置于阀促动器或其它旋转装置内或与阀促动器或其它旋转装置相关联的处理器可执行 FT。显示器、打印机或其它输出装置可合并到阀促动器内,用于以图表或图形的形式来显示结果。或者,由定时标记 28 所产生的速度数据可传送至诸如操作者 PC 的远程计算机,以对速度数据执行 FT 并以更加用户友好的格式显示,或传送数据或 FT 到可能位于现场或远离现场的技师。

提供更多的样品可导致在对速度数据进行 FT 后更细致的频率分辨率。可通过增加取得样品的时间长度或通过增加取样速率来提供更多的样品。图 8 至图 15 示出了由以每秒 17 个样品取得的数据所产生的曲线图。图 8 示出利用总共 128 个样品的阀促动器的频率分析分辨率。图 9 示出在对速度数据执行 FT 之前的图 8 的速度数据。图 10 示出利用总共 256 个样品的阀促动器的频率分析分辨率。图 11 示出在

对速度数据执行 FT 之前的图 10 的速度数据。图 12 示出利用总共 512 个样品的阀促动器的频率分析分辨率。图 13 示出在对速度数据执行 FT 之前图 12 的速度数据。图 14 示出利用总共 1024 个样品的阀促动器的频率分析分辨率。如图所示, 频率分析的分辨率随着样品数目的增加而提高。

本领域中已知的任何类型的频率分析可用于本发明。在所描述的特定实施例中, 使用等于 2^n 的多个样品来对速度数据执行 FT, 其中 n 是任何整数。因此, 样品的总数例如等于 128、256、512、1024、2048、4096、8192 等。因此, 如果取得 3500 个样品, 那么仅仅 2048 个样品可用于 FT。在其它实施例中, 可对并不精确地等于 2^n 的样品执行 FT。然而, 在那些实施例中, 泄露可能成为一个关注问题。在本领域中已知用于解决泄露的技术。

此外, 在一特定实施例中, FT 利用在稳态所取得的样品。因此, 定时轮 20 以相对恒定的速度转动。当旋转编码器 1 合并于电驱动阀促动器内时, 定时轮 20 将在一段时间加速和减速。在加速期间所产生的速度数据和减速数据可在执行 FT 之前被进行舍项(truncate)、平均(average)或开窗(window)。瞬时频率分析是本领域中已知的且可用于替代舍项数据。

可通过算法对速度数据执行舍项, 该算法被设计成在 FT 处理之前分析速度数据以便去除任何加速数据或减速数据。或者, 速度数据可被舍项以使样品数目与 FT 的 2^n 要求兼容。

如本文所用的短语 FT 涵盖很宽的算法范围, 包括快速傅里叶变换。如本文所用的 FT 涵盖四个傅里叶变换大类: 连续傅里叶变换、傅里叶级数、离散时间傅里叶变换和离散傅里叶变换。还存在被设计成处理近似和非均匀数据的 FT 算法。离散傅里叶变换最常用于数字信号处理。如本文所用的短语 FT 涵盖与所产生的数据兼容的任何算法。

动作时间表示可取得样品的最长时间。例如, 对于阀促动器而言,

阀从打开位置移动到关闭位置或从关闭位置移动到打开位置所需的时间是可采集速度数据的最大量时间。阀仅仅可部分地移动,因此仅仅动作时间的一部分可用于速度数据取样。增加所产生的速度数据样品的一个示范性方法包括增加取样速率。取样速率由定时轮 20 的速度和定时标记 28 的数目来决定。旋转编码器 1 和 2 能够具有远高于每秒钟 17 个样品的取样速率。

增加所产生的数据样品数目的另一方法包括在多个动作时间收集数据。每个新的数据集可与现有数据收集联合,直至样品计数足够高以允许利用 FT 对其操作。一旦数据集满了,则任何新数据样品可替换最旧的数据样品,从而维持最新的数据集用于分析。可在诸如数据表中储存速度或位置数据,用于接近实时或者随后的频域分析。

图 15 提供可能的取样速率和可用于频率分析的所得样品总数的表。在图 15 中,增量脉冲频率等于以 Hz 为单位的取样速率。速度 DS 是阀促动器的传动套筒(DS)的传动速度。然而,速度 DS 可与任何装置的旋转构件相关。锥齿组速度倍数(Bevel Set Speed Multiplier)表示将 DS 连接至驱动输入轮 10 的输入轴的齿轮所造成的速度增加。输入轮 10 速度倍数表示在输入轮 10 的齿轮 11 与定时轮 20 的小齿轮 25 之间的齿轮比所造成的速度增加。

旋转装置的旋转构件的示例是阀促动器的传动套筒。输入轴可经由锥齿组将传动套筒互连至输入轮 10。本领域中已知的任何连接方式可用于驱动输入轮 10。作为数据取样的一个可能的示例,如果传动套筒以 200 rpm 转动,且如果锥齿组导致大约 4.8:1 的速度增加,那么输入轴将以 960 rpm 转动。因此,输入轮 10 可以以 960rpm 转动。输入轮 10 驱动定时轮 20。如果利用 51/38 的齿增速器(spur increaser),那么定时轮 20 以大约 1288 rpm 转动。1288 rpm 除以 60 等于定时轮 20 每秒的旋转。图 1 所示的示范性定时轮 20 具有 32 个定时标记。然而,如果仅仅利用 16 个定时标记,那么每秒的旋转乘以定时标记的数目得到每秒 343 个样品的取样速率(增量脉冲频率)。在相同的情形下,

如果定时轮 20 具有 32 个定时标记,那么取样速率为每秒大约 678 个样品。尼奎斯特(Nyquist)频率是取样频率的二分之一。取样速率乘以以秒为单位的动作时间等于可在单个完整的动作期间收集的样品总数。

图 15 示出了动作时间与取样速率在计算频率分析的准确度中的相互影响。如果仅仅较短的速度数据运行是可用的,则一个替代方式为在对数据执行 FT 之前将短运行联合在一起以提高频率分辨率。

图 15 使用汉宁窗(Hanning Window),以防止在数据集的开始和结尾时速度信号的不连续所造成的频率值的失真。其它可能的窗包括矩形窗、布莱克曼窗(Blackman)、汉明窗(Hamming)、凯泽窗(Kaiser)、指数窗和平顶窗。然而,在本领域中已知的任何窗可用于估计速度数据。在本领域中已知如何不使用窗来执行频率分析。在本领域中已知的用于执行频率分析的任何方法可用于本发明。

可在逐个的基础上估计频率数据来确定峰值位置和幅值关于阀促动器所提示的内容。或者,频率分析可与已知频率分析特征(signature)相比较,以确定阀促动器或其它旋转装置的健康状况。

图 16 至图 19 示出了可用于进行比较的代表性频率分析。图 18 和图 19 示出了大体上取决于阀促动器或其它旋转装置的旋转速度而变化的速度变化。对于在稳态以每分钟 26 次旋转(rpm)操作的促动器产生图 16 和图 17 的数据。对于在稳态以 18 rpm 操作的促动器产生图 18 和图 19 的数据。图 16 与图 19 和图 17 与图 18 分别利用相同编码器小齿轮适配器。图 16 在 45.4 Hz 和 91.1 Hz 具有显著峰值。图 19 的显著峰值更明显且更多。阀促动器或其它旋转装置内的许多问题可协调表现为频域的单个峰值。在不同操作速度进行频率分析可揭露隐藏于在一个速度的单个峰值内但在其它速度呈现为多个峰值的潜在问题。

本发明的旋转编码器被描述为多轮绝对编码器。旋转编码器也可作为单轮绝对编码器或者增量编码器。例如,定时轮 20 可集成到与输

入轮 10 相同的轮内。然后，输入轮 10 可起到增量编码器以及定时轮的作用。而且，编码轮 30 至 110 的编码分段可集成到输入轮 10 内，如本领域所知。然后，输入轮 10 可起到单轮绝对编码器的作用。输入轮 10 可设计成与输入轴的端部相配合，或替代地输入轮 10 可安装于输入轴的周围，诸如在输入轴的纵向中心。然而，输入轮 10 可安装于沿着输入轴的长度的任何点。

在先前，相对于速度数据讨论了频率分析。额外的数据实施例包括扭矩数据。在测量扭矩的阀促动器中，扭矩的振荡可变换成频域。在监控传递到阀杆的输出扭矩的情况下，也可在频域中分析扭矩数据。合并于阀促动器内的处理器或远离阀促动器的处理器可以以上文关于速度数据所讨论的方式中的任一种方式或通过本领域中已知的任何技术将扭矩数据转换成频域。然后，可识别传动系构件的频率并向操作者提供阀促动器健康状态的指示。

另一数据实施例包括推力数据。例如，阀促动器的电机联接到传动系中的蜗杆/蜗轮的蜗杆。监控蜗轮的轴向推力以读取由蜗轮所传递的扭矩。合并到阀促动器内的处理器或远离阀促动器的处理器可将推力数据转换成频域，类似于上文关于速度数据所讨论的方法中的任一种方法或通过本领域中已知的任何技术。可由操作者或者计算机程序来识别传动系构件的频率。因此，提供阀促动器的诊断。此外，可利用多个推力传感器。

额外数据实施例包括振动数据。例如，八个加速度计放置于阀促动器中的多个位置。所有八个加速度计将读取阀促动器中的相同的振动。然而，最靠近给定振动源的加速度计将具有更强的信号。观察来自频域中所有八个传感器的振动数据可允许查明振动源。振动的频率可与传动系构件相关。因此，操作者可被警告阀促动器的任何可能即将发生的问题。

可在这些实施例中的任何实施例中利用任意数目的传感器。例如，可利用多于一个的速度传感器。此外，可利用不同类型的多个传

感器。例如，阀促动器可包括旋转编码器，诸如旋转编码器 1。阀促动器还可包括轴向推力传感器。可对定时轮 20 所产生的速度数据，对推力数据或对二者进行频率分析。

将由本发明监控的旋转装置或阀促动器可由电机、液压、发动机、手轮或本领域中已知的任何其它驱动装置来驱动。

尽管前文的描述含有许多具体情况，但是并不被认为其限制本发明的范围，而只是提供某些示范性实施例。同样，在不偏离本发明的精神或范围的情况下可设计本发明的其它实施例。因此，本发明的范围可仅由所附权利要求书及其法律意义上的等同物所表示和限制，而不是由前文的描述所表示和限制。本文所公开的属于权利要求书的意义和范围内的对本发明的所有添加、删除和修改也涵盖于本发明中。

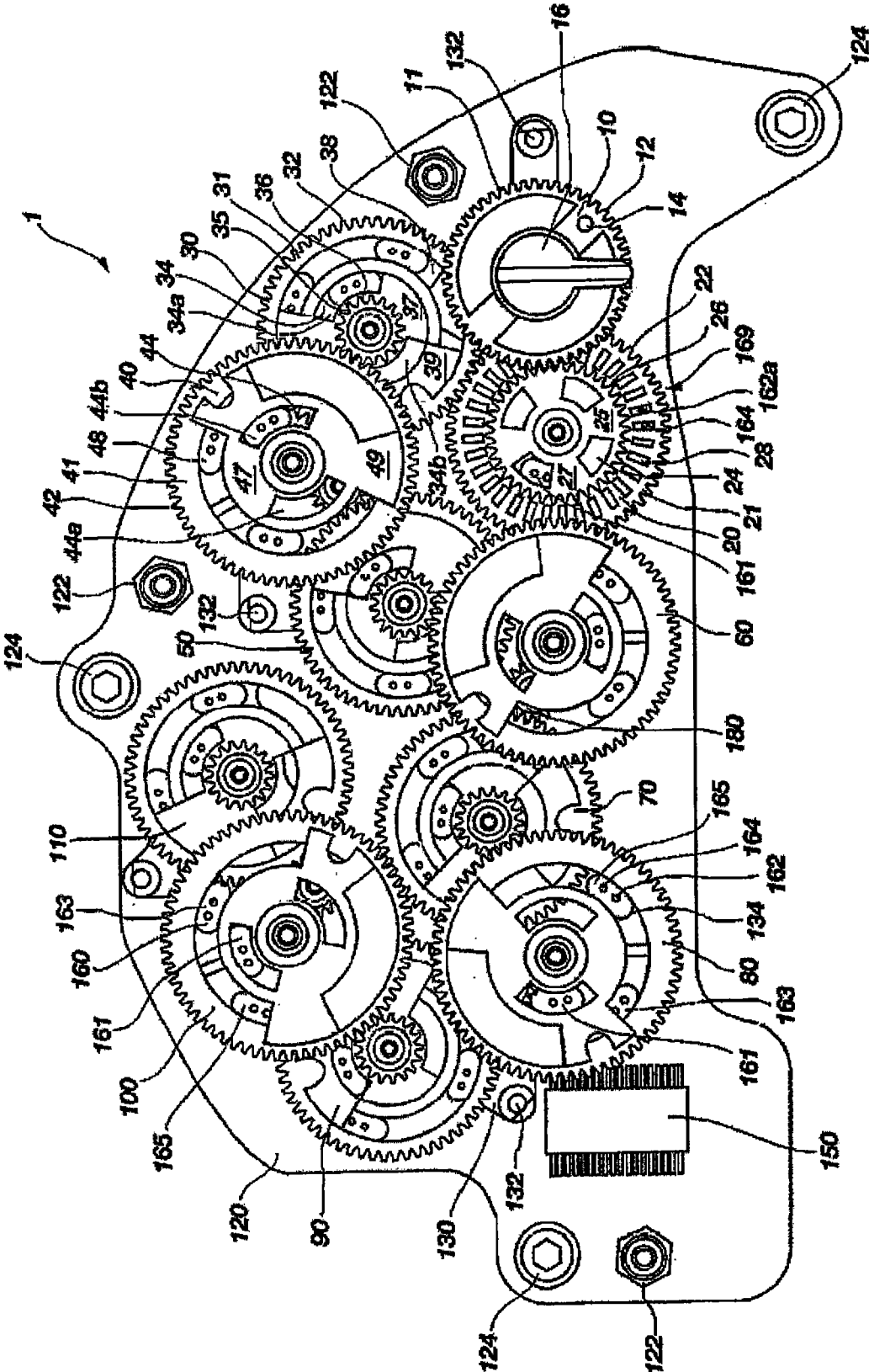


图 1

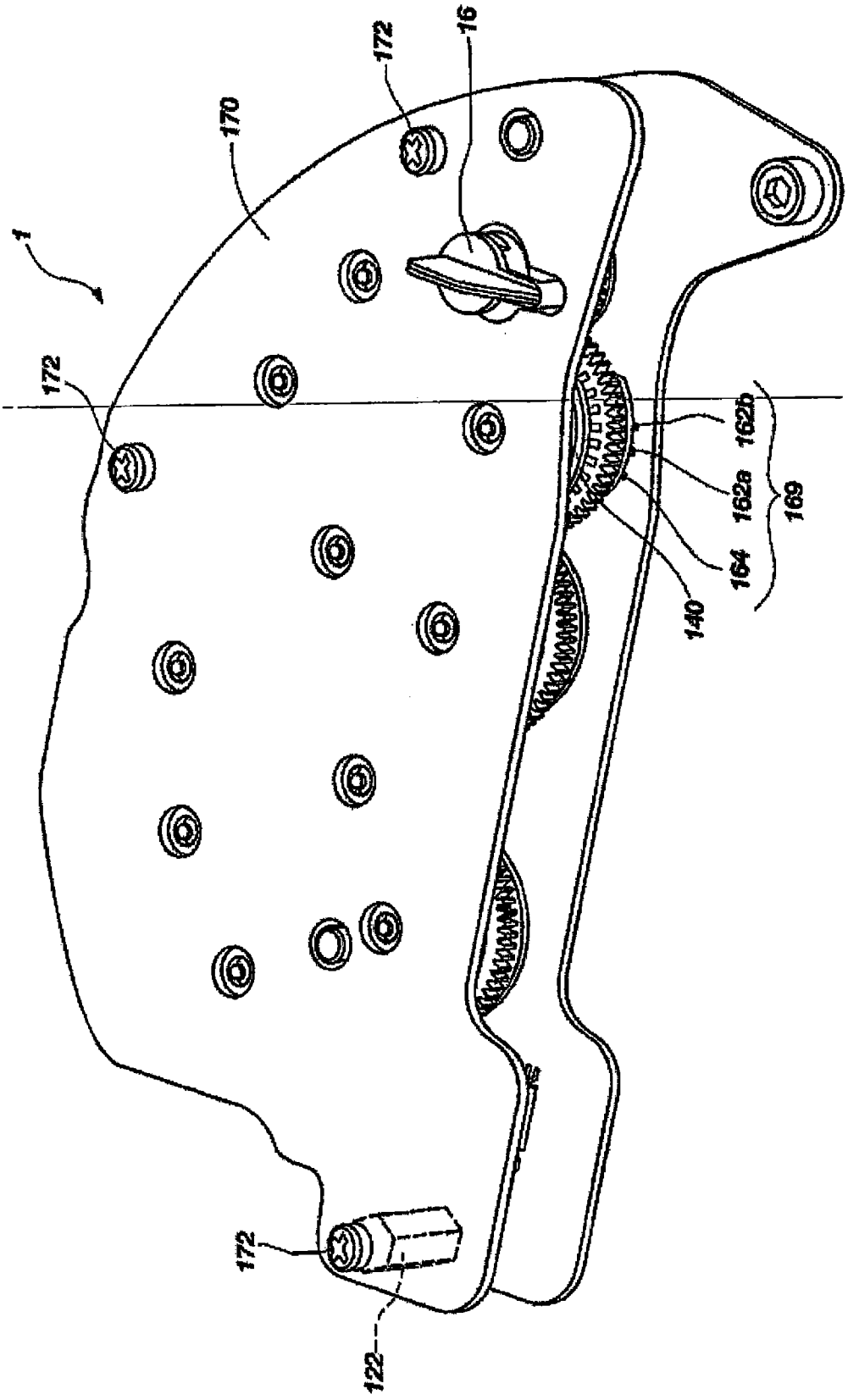


图 2

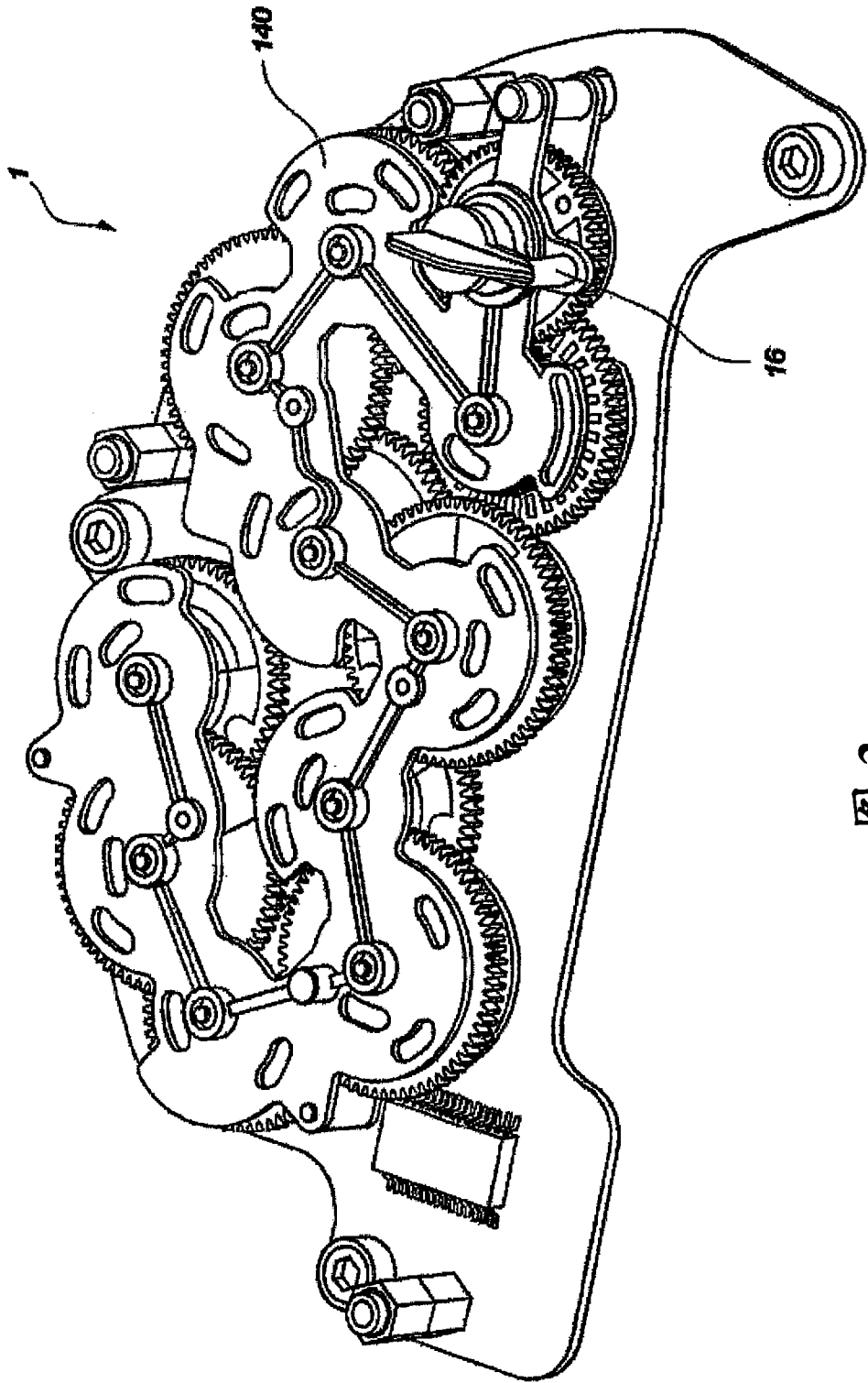


图 3

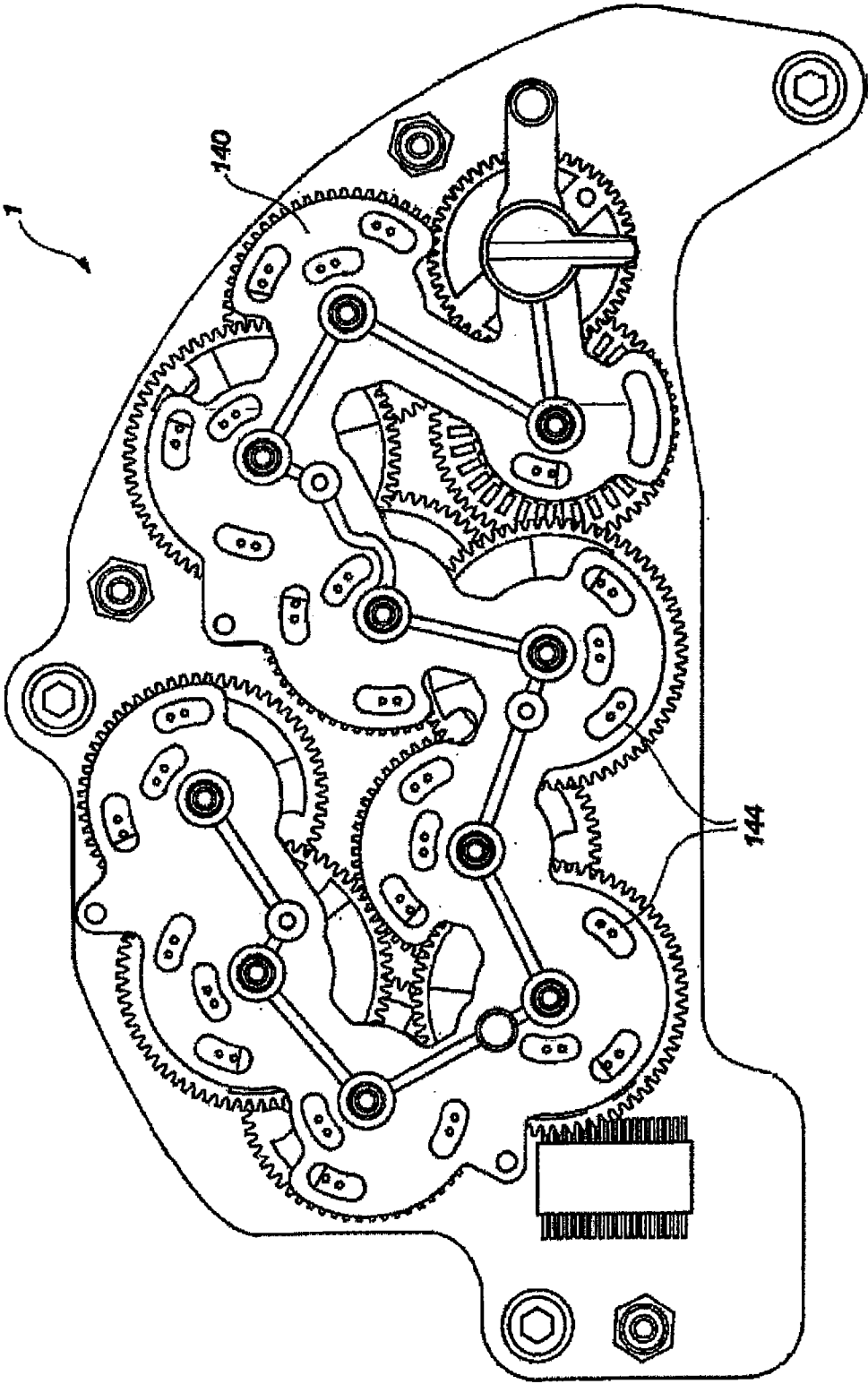


图 4

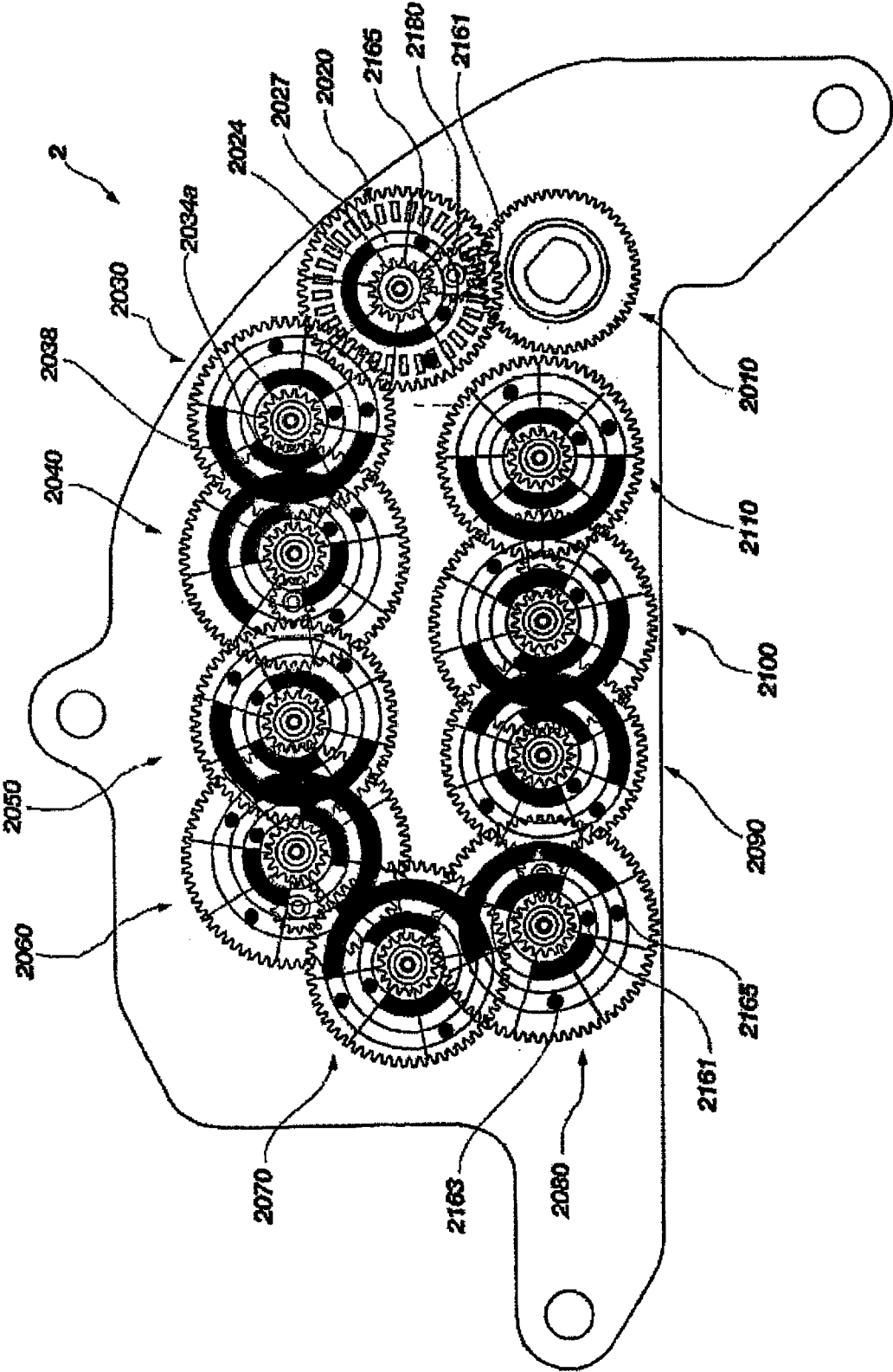


图 5

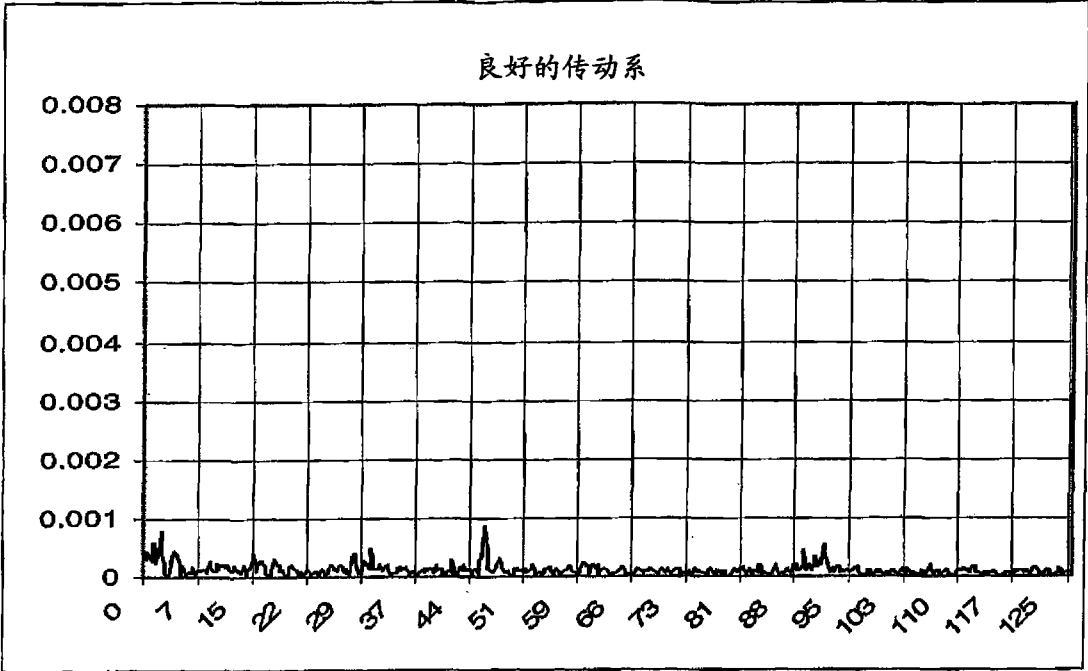


图 6

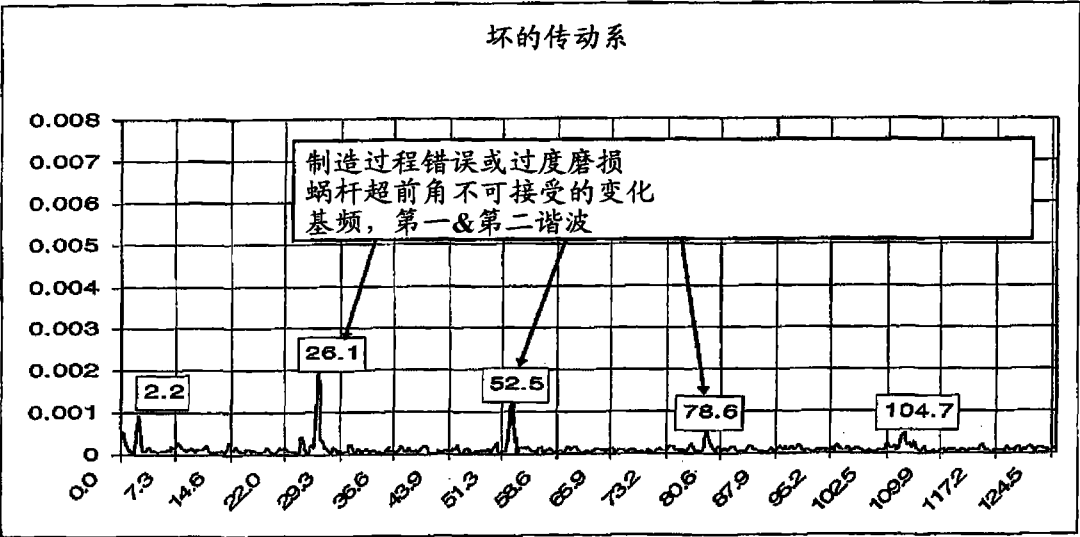


图 7

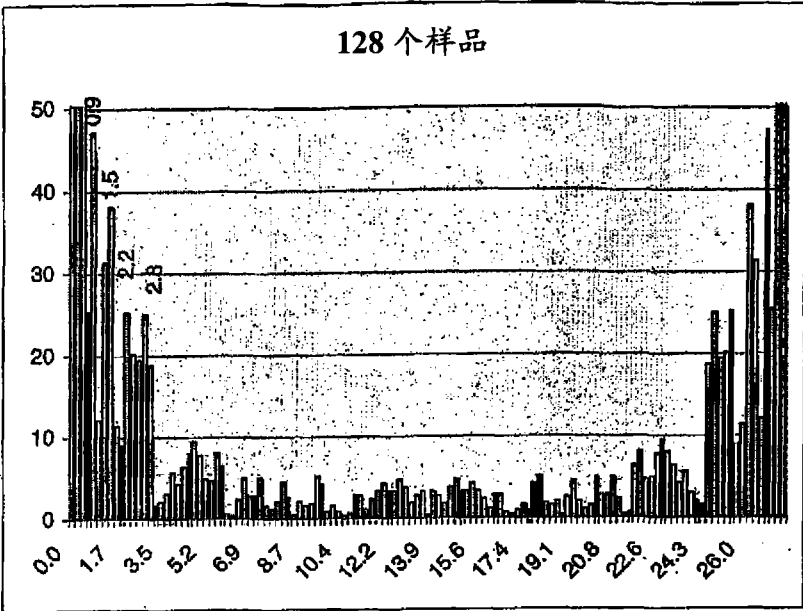


图 8

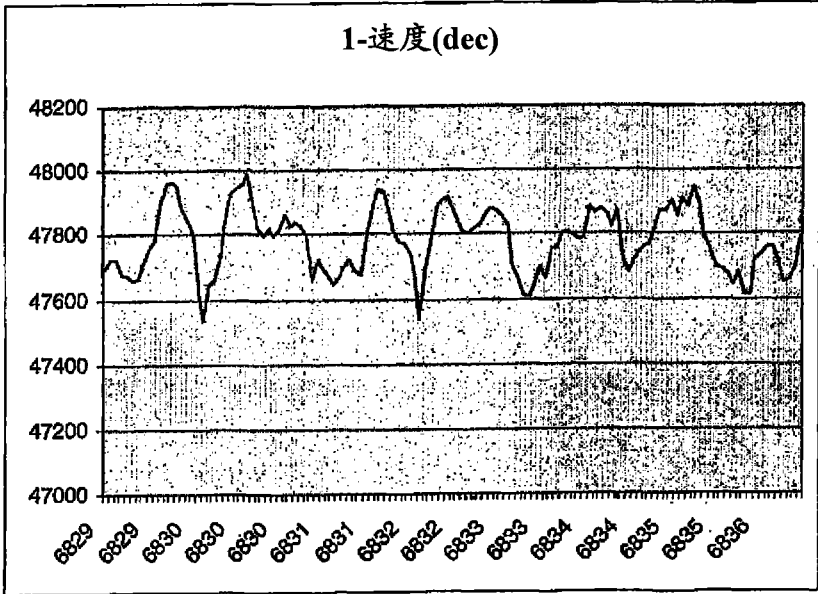


图 9

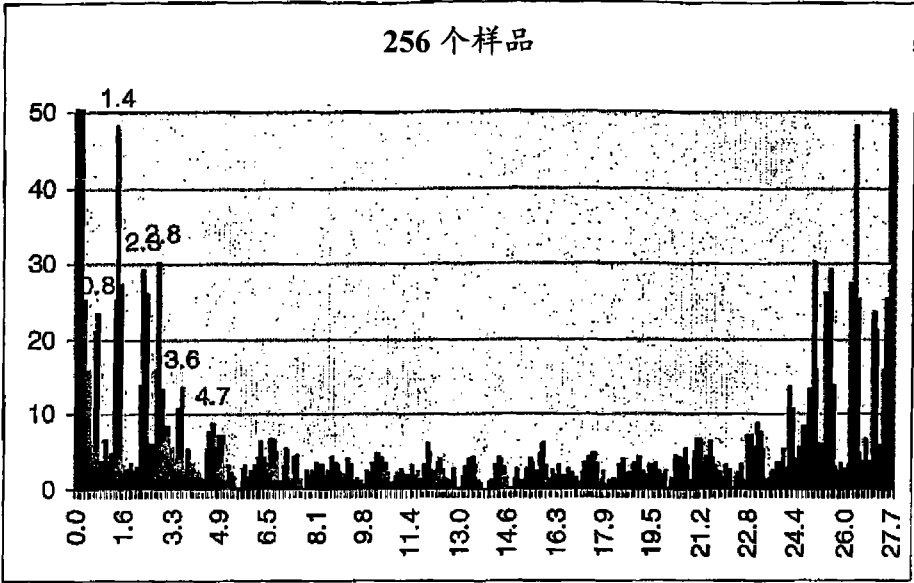


图 10

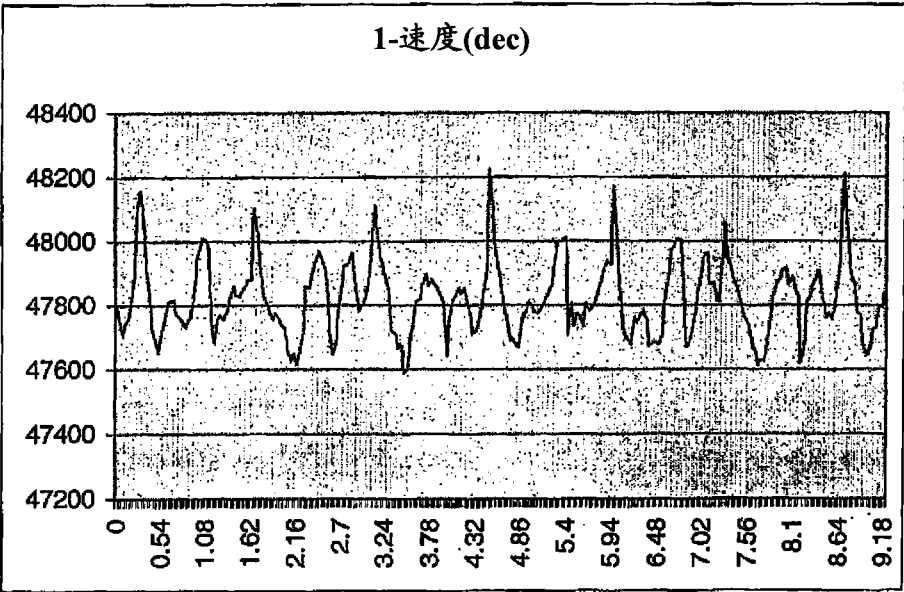


图 11

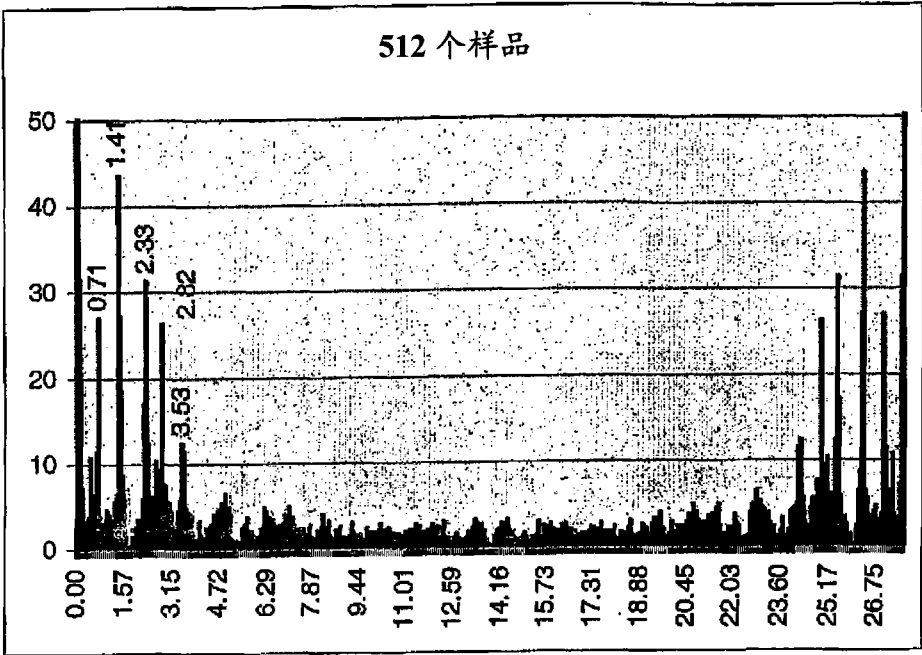


图 12

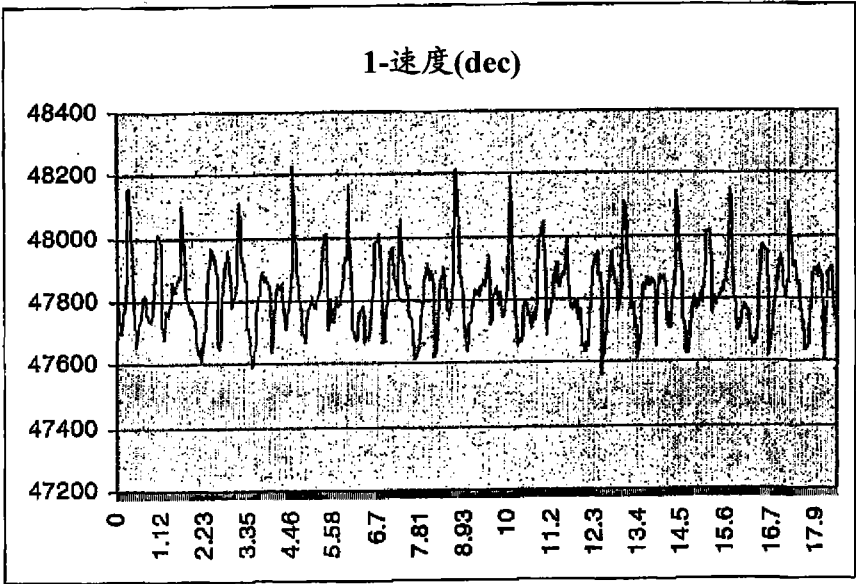


图 13

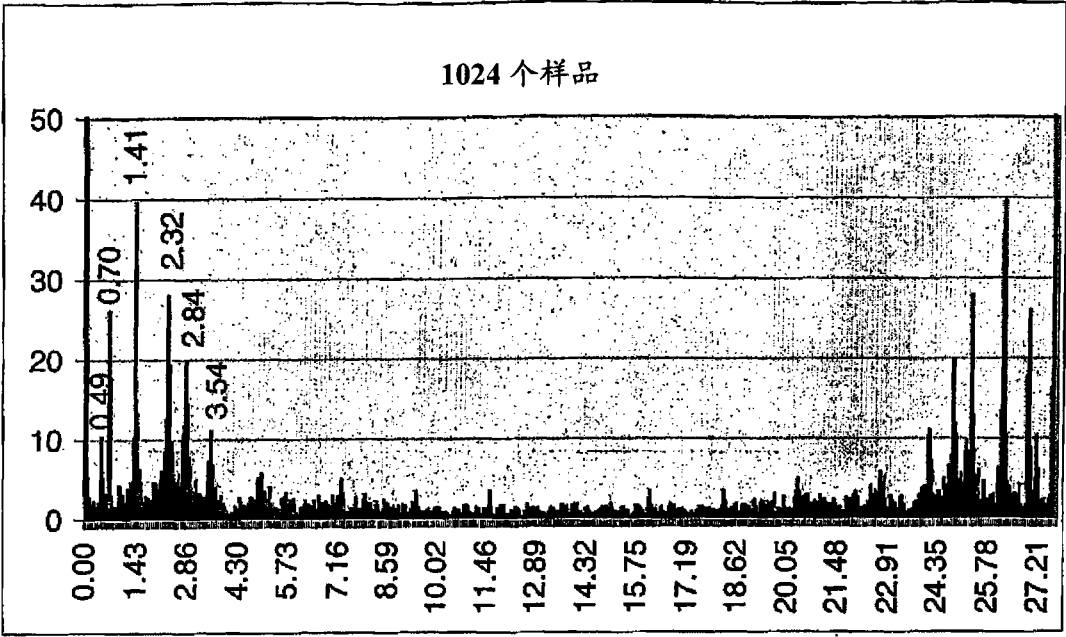


图 14

速度 DS (rpm)	速度 DS (Hz)	锥齿组 速度 倍数	输入轮 10 速度 倍数	Rpm @ 定时 轮 20	增量 脉冲 频率 (Hz)	尼奎 斯特 频率 (Hz)	动作 时间 (秒)	每次 动作 的样品	每次动 作的 FFT 可用的 样品	准确度
200	3.33	4.78	1.34	1280	683	341	10	6825.5	4096	99.941%
155	2.58	4.78	1.34	992	529	264	10	5289.8	4096	99.924%
100	1.67	4.78	1.34	640	341	171	10	3412.8	2048	99.883%
77	1.28	4.78	1.34	493	263	131	10	2627.8	2048	99.848%
52	0.87	4.78	1.34	333	177	89	10	1774.6	1024	99.775%
40	0.67	4.78	1.34	256	137	68	10	1365.1	1024	99.707%
26	0.43	4.78	1.34	166	89	44	10	887.3	512	99.549%
18	0.30	4.78	1.34	115	61	31	10	614.3	512	99.349%
15	0.25	4.78	1.34	96	51	26	10	511.9	0	99.219%
200	3.33	4.78	1.34	1280	683	341	15	10238.3	8192	99.961%
155	2.58	4.78	1.34	992	529	264	15	7934.7	4096	99.950%
100	1.67	4.78	1.34	640	341	171	15	5119.1	4096	99.922%
77	1.28	4.78	1.34	493	263	131	15	3941.7	2048	99.899%
52	0.87	4.78	1.34	333	177	89	15	2662.0	2048	99.850%
40	0.67	4.78	1.34	256	137	68	15	2047.7	1024	99.805%
26	0.43	4.78	1.34	166	89	44	15	1331.0	1024	99.699%
18	0.30	4.78	1.34	115	61	31	15	921.4	512	99.566%
15	0.25	4.78	1.34	96	51	26	15	767.9	512	99.479%
200	3.33	4.78	1.34	1280	683	341	30	20476.6	16384	99.980%
155	2.58	4.78	1.34	992	529	264	30	15869.3	8192	99.975%
100	1.67	4.78	1.34	640	341	171	30	10238.3	8192	99.961%
77	1.28	4.78	1.34	493	263	131	30	7883.5	4096	99.949%
52	0.87	4.78	1.34	333	177	89	30	5323.9	4096	99.925%
40	0.67	4.78	1.34	256	137	68	30	4095.3	2048	99.902%
26	0.43	4.78	1.34	166	89	44	30	2662.0	2048	99.850%
18	0.30	4.78	1.34	115	61	31	30	1842.9	1024	99.783%
15	0.25	4.78	1.34	96	51	26	30	1535.7	1024	99.740%
200	3.33	4.78	1.34	1280	683	341	60	40953.1	32768	99.990%
155	2.58	4.78	1.34	992	529	264	60	31738.7	16384	99.987%
100	1.67	4.78	1.34	640	341	171	60	20476.6	16384	99.980%
77	1.28	4.78	1.34	493	263	131	60	15767.0	8192	99.975%
52	0.87	4.78	1.34	333	177	89	60	10647.8	8192	99.962%
40	0.67	4.78	1.34	256	137	68	60	8190.6	4096	99.951%
26	0.43	4.78	1.34	166	89	44	60	5323.9	4096	99.925%
18	0.30	4.78	1.34	115	61	31	60	3685.8	2048	99.891%
15	0.25	4.78	1.34	96	51	26	60	3071.5	2048	99.870%

图 15

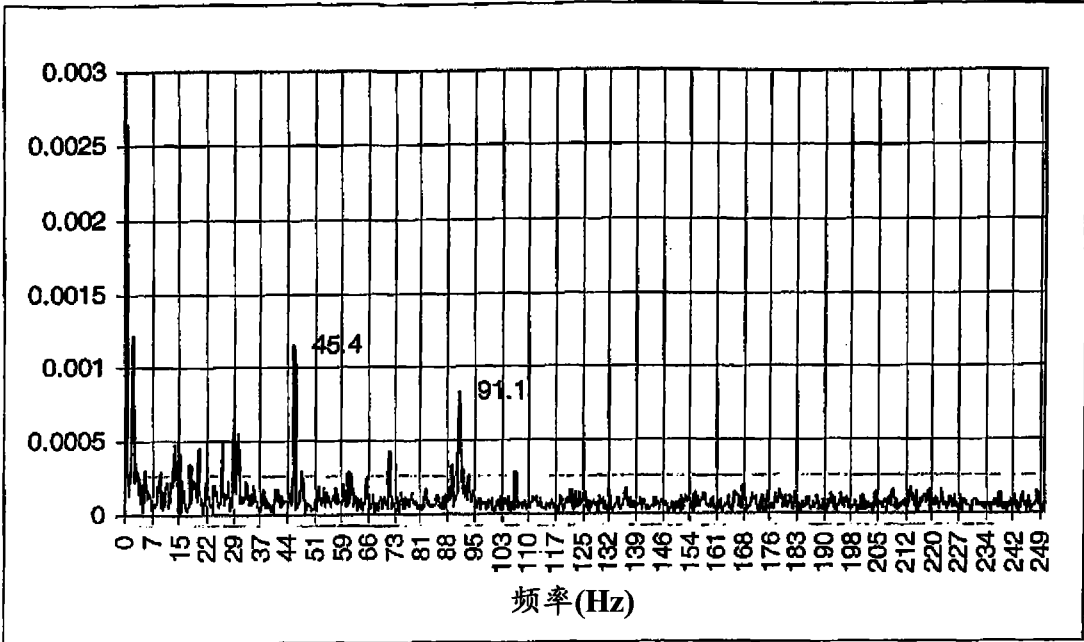


图 16

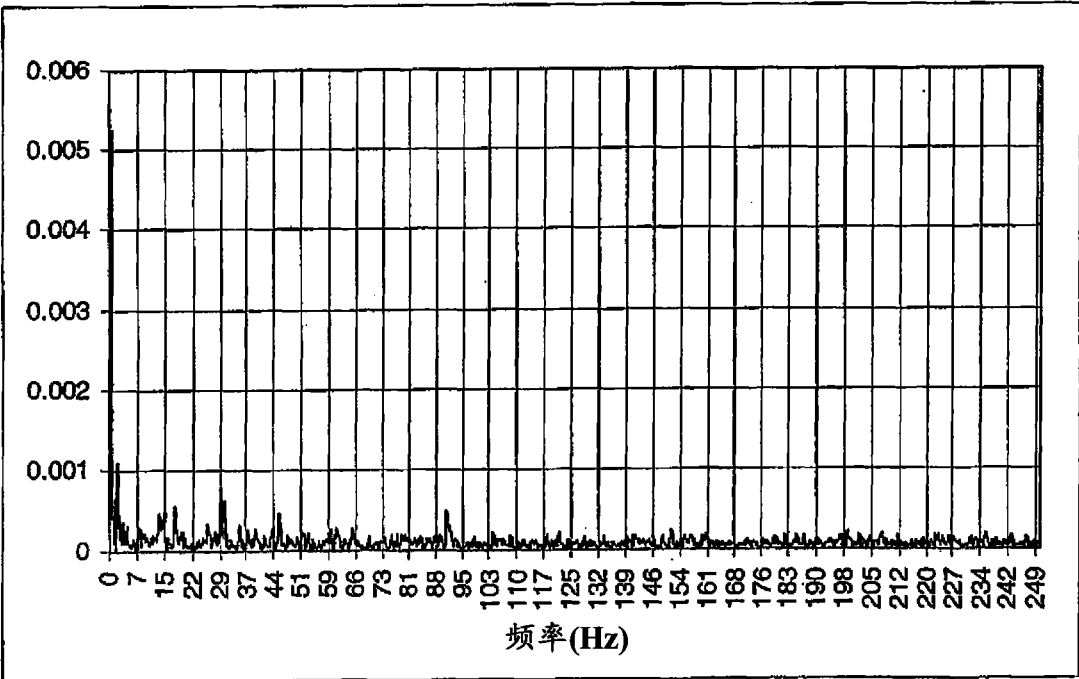


图 17

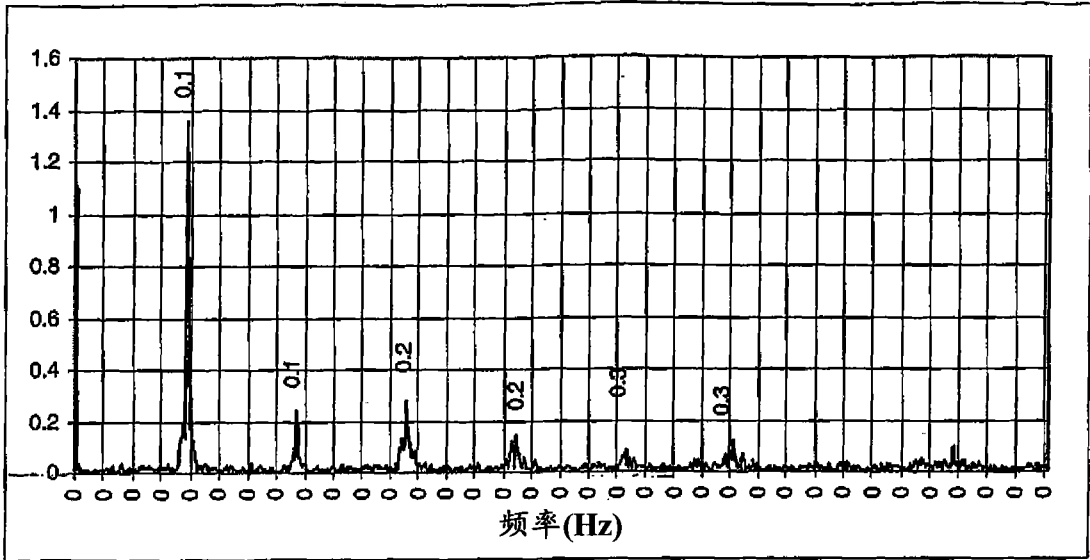


图 18

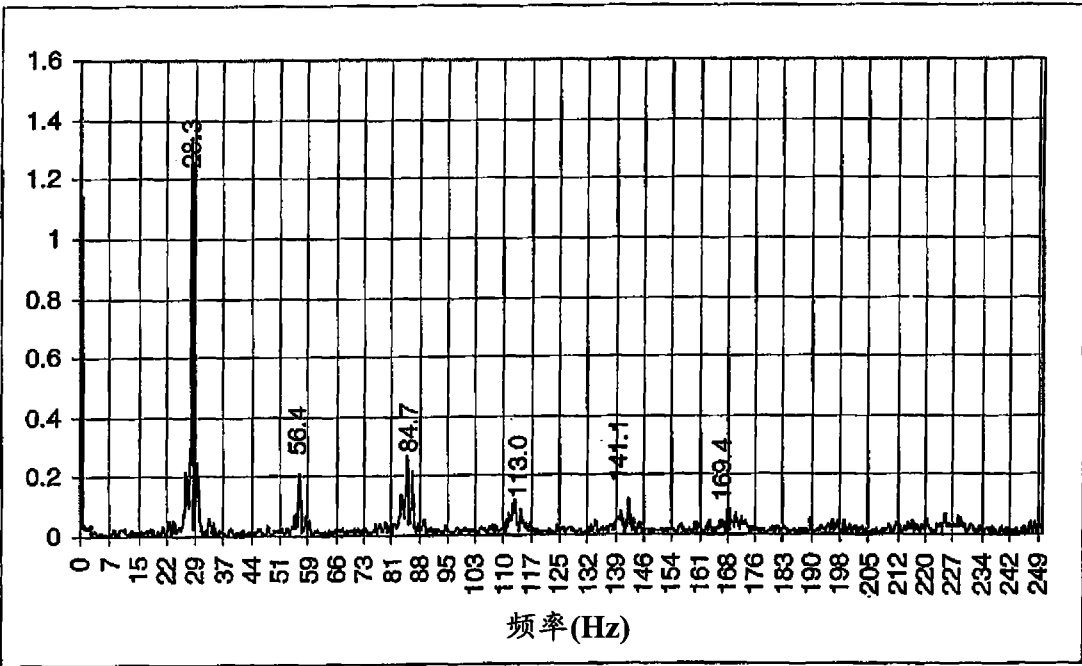


图 19