

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101476961 B

(45) 授权公告日 2013.03.27

(21) 申请号 200810189749. X

(22) 申请日 2008.12.30

(30) 优先权数据

12/006, 161 2007.12.31 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 R·P·斯拉克

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 曾祥菱 曹若

(51) Int. Cl.

G01L 25/00 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

F03D 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1997823 A, 2007.07.11, 全文.

WO 2006/030183 A1, 2006.03.23, 全文.

US 4189648 A, 1980.02.19, 全文.

EP 0477948 A2, 1992.04.01,

审查员 邢明浩

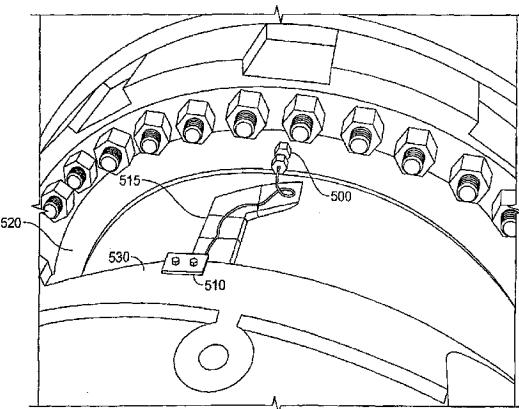
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 7 页

(54) 发明名称

用于在转子载荷测量中减小误差的方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及用于在转子载荷测量中减小误差的方法和装置。提供了一种用于确定旋转机械中的矢量载荷的装置，该装置包括第一组传感器和第二组传感器。第一组传感器构造成在旋转机械上安装在某些位置处，所述位置选择为以便测量第一组坐标中的矢量载荷；第二组传感器构造成在该旋转机械上安装在某些位置处，所述位置选择为以便测量第二组坐标中的矢量载荷。当旋转机械旋转时，第二组坐标相对于第一组坐标旋转。该装置还包括控制器，控制器配置成用以利用来自第一组传感器和第二组传感器其中任何一组或两者的矢量载荷测量值，来校正另一组传感器所测量的矢量载荷中的偏移误差。



1. 一种用于确定旋转机械中的矢量载荷的装置,所述装置包括 :

第一组传感器 (500,550),其构造成用于在所述旋转机械上安装在某些位置 (510,560) 处,所述位置 (510,560) 选择为用于测量第一组坐标 (515) 中的矢量载荷;

第二组传感器 (600,650),其构造成用于在所述旋转机械上安装在某些位置 (610,660) 处,所述位置 (610,660) 选择为用于测量第二组坐标 (615) 中的矢量载荷,当所述旋转机械旋转时,所述第二组坐标相对于所述第一组坐标旋转;以及

控制器 (210),其配置成用以利用来自所述第一组传感器和所述第二组传感器的其中任何一组的矢量载荷测量值,来校正另一组传感器所测量的矢量载荷中的偏移误差。

2. 根据权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述旋转机械还包括吊舱 (185),且所述第一组传感器 (500,550) 的位置 (510,560) 选择为用以测量基于转子的坐标系中的矢量载荷,所述第二组传感器 (600,650) 的位置 (610,660) 选择为用以测量与吊舱相固定的坐标系中的矢量载荷。

3. 根据权利要求 2 所述的装置,其特征在于,所述第一组传感器 (500,550) 还包括至少一个应变计和至少一个近程传感器。

4. 根据权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述控制器 (210) 还被配置成用以利用所述旋转机械转子的预定旋转角度处的矢量载荷的垂直分量来校正所测量的矢量载荷中的固定偏移。

5. 根据权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述控制器 (210) 还被配置成用以利用至少两个马达旋转持续时间的运行平均值,来更新用于所述第一组传感器 (500,550) 和所述第二组传感器 (600,650) 其中各组传感器的校正因子。

6. 根据权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述控制器 (210) 还被配置成用以确定所述旋转机械转子每旋转 90 度时的偏移。

7. 根据权利要求 6 所述的装置,其特征在于,所述控制器 (210) 还被配置成用以进行以下中的至少一种:对信号偏移的运行平均数进行过滤以及对信号偏移的运行平均数进行确定,以便在存在随机噪声时抑制振动。

8. 一种风力涡轮机,包括:

吊舱 (185);

发电机 (150),其位于所述吊舱内;

转子,所述转子具有可操作地联接到所述发电机的至少一个叶片 (310,320,330);

第一组传感器 (500,550),所述传感器在所述风力涡轮机上安装在某些位置 (510,560) 处,所述位置选择为用于测量第一组坐标 (515) 中的矢量载荷;

第二组传感器 (600,650),所述传感器在所述风力涡轮机上安装在某些位置 (610,660) 处,所述位置选择为用于测量第二组坐标 (615) 中的矢量载荷,当所述风力涡轮机运行时,所述第二组坐标相对于所述第一组坐标进行旋转;以及

控制器 (210),其配置成用以利用来自所述第一组传感器和所述第二组传感器其中任何一组的矢量载荷测量值,来校正另一组传感器所测量的矢量载荷中的偏移误差。

9. 根据权利要求 8 所述的风力涡轮机,其特征在于,所述第一组传感器 (500,550) 的位置 (510,560) 选择为用以测量基于转子的坐标系中的矢量载荷,且所述第二组传感器 (600,650) 的位置 (610,660) 选择为用以测量与吊舱相固定的坐标系中的矢量载荷。

10. 根据权利要求 9 所述的风力涡轮机，其特征在于，所述第一组传感器（500, 550）包括至少一个应变计或至少一个近程传感器。

用于在转子载荷测量中减小误差的方法和装置

[0001] 发明背景

[0002] 本发明大体涉及减少旋转机器部件的疲劳，尤其涉及用于对转子载荷进行精确且可靠的测量的方法和装置。该方法和装置尤其适用于风力发电，但并不一定局限于风力发电。

[0003] 公共设备级风力涡轮机（即设计为用以为公用电网提供电力的风力涡轮机）可以具有大型转子（如直径为 30 米或 30 米以上）。由于垂直和水平的风力剪切、偏转和紊流，这些转子中会出现非对称载荷。这些非对称载荷会助长转子叶片和其它风力涡轮机部件上的极限载荷和疲劳循环量。

[0004] 对作用在电机（如风力涡轮机）上的转子载荷进行精确测量是减少疲劳和极限载荷的必要的前期工作。目前已知的、用于测量主轴逆风端处的这些载荷的弯矩分量的方法易受零点偏移漂移的影响，该零点偏移漂移由因传感器随时间的漂移、由温度引起的传感器漂移、在不同操作状态中出现的材料变形引起。至少一种已知的校正策略用单个偏转位置来限定了空闲操作状态中的零点偏移，而对非对称载荷的控制则出现在具有显著时延、可能的温度变化、更大推力载荷和偏转方向改变的满载和接近满载运行时。系统校正事件和活动控制事件之间的操作状态差异会导致将偏移变换错误地结合到对弯矩的测量中。结果的范围可以从次最优的载荷减少到增加的疲劳和极限载荷。因此测量可能易于受到来自若干来源的偏移变化的影响，包括但不限于各个机械底坐中的轻微变形的未预见模式。

[0005] 使用传感器来测量转子载荷（如风力涡轮机的主轴中的弯矩）是已知的。例如，参见名称为“Method and apparatus for wind turbine rotorload control”、授予 Pierce 等人并且转让给本发明的受让人或相关公司的美国专利 No. 7,160,083。

[0006] 测量转子载荷的传感器的已知实施方案易于受到其主坐标系中的偏移误差（即坐标系中的弯矩的偏移，物理传感器与该坐标系一起旋转）影响，该偏移误差由不同操作状态、推力载荷、时间和 / 或温度而引起。

[0007] 例如，已经将叶片中的应变计用作固定到 Germanischer Lloyd (GL) 弦坐标系中的传感器。已将位于距各个叶片根部 1.5 米处的应变计对用于测量活动中，以计算 M_{YR} , M_{ZR} , $M_{YN}(D)$ 和 $M_{ZN}(Q)$ 矩。这种测量方法需要两组坐标变换来得到固定参考系 (M_{YN}, M_{ZN}) 弯矩。应变计中的相对零点偏移会导致对旋转参考系力矩 (M_{YR}, M_{ZR}) 中的值的固定偏移，该旋转参考系力矩 (M_{YR}, M_{ZR}) 在传感器集合的主坐标系中。

[0008] 发明概述

[0009] 在一方面中，提供了一种用于校正矢量载荷测量信号中的偏移的方法。该方法包括在旋转机械上将第一组传感器安装在某些位置处，所述位置选择为以便测量第一组坐标中的矢量载荷。该方法还包括在旋转机械上将第二组传感器安装在某些位置处，所述位置选择为以便测量第二组坐标中的矢量载荷，其中，当旋转机械运行时，该第一组坐标和第二组坐标彼此相对旋转。该方法还包括使用来自两组传感器的其中任何一组的测量值，来校正由另一组传感器所测量的弯矩中的偏移误差。

[0010] 在另一方面，提供了用于确定旋转机械中的矢量载荷的装置。该装置包括构造为

用以安装在旋转机械的某些位置处的第一组传感器，所述位置选择为以便测量第一组坐标中的矢量载荷。该装置还包括构造为用以安装在旋转机械的某些位置处的第二组传感器，所述位置选择为以便测量第二组坐标中的矢量载荷，其中，当旋转机械运行时，第一组坐标和第二组坐标彼此相对旋转。该装置还包括控制器，其构造成用以使用来自第一组传感器和第二组传感器的其中任何一组的矢量载荷测量值来校正由另一组传感器测量的矢量载荷中的偏移误差。

[0011] 仍又另一方面，提供了风力涡轮机。该风力涡轮机包括吊舱（nacelle）、该吊舱内的发电机，以及具有可操作地联接到发电机的至少一个叶片的转子。该风力涡轮机还包括第一组传感器和第二组传感器，该第一组传感器在风力涡轮机上安装在选择为以便测量第一组坐标中的矢量载荷的位置上，该第二组传感器在风力涡轮机上安装在选择为以便测量第二组坐标中的矢量载荷的位置上。当风力涡轮机运行时，第二组坐标相对于第一组坐标旋转。该风力发电机还包括控制器，该控制器构造成用以使用来自第一组传感器和第二组传感器的其中任何一组传感器的矢量载荷测量值来校正由另一组传感器测量的矢量载荷中的偏移误差。

[0012] 应当理解，某些实施例提供了对旋转机械（如风力涡轮机）的所测得的矢量载荷中的固定误差的校正。这样，控制器可得到更多精确测量值，以确定在该旋转机械上存在不合乎需要的矢量载荷的情况下采取什么样的校正动作。

[0013] 附图简述

[0014] 图 1 是风力涡轮机的示例性吊舱的剖视透视图。

[0015] 图 2 是用以根据传感器测量值来控制叶片倾斜的示例性系统的框图。

[0016] 图 3 是具有传感器的风力涡轮机能量生成器的示意图，该传感器位于转子叶片的其中至少一个叶片中。

[0017] 图 4 是从面向毂的视角观察面向主轴凸缘的第一近程传感器的透视图。

[0018] 图 5 是面向主轴凸缘的第二近程传感器的透视图，该第二近程传感器相对于第一近程传感器成 90° 角。

[0019] 图 6 是风力涡轮机的固定坐标系和旋转坐标系的图解视图，以 0° 角示意性地显示叶片。

[0020] 图 7 是风力涡轮机的固定坐标系和旋转坐标系的图解视图，以 90° 角示意性地显示叶片。

[0021] 图 8 是风力涡轮机的固定坐标系和旋转坐标系的图解视图，以 180° 角示意性地显示叶片。

[0022] 图 9 是风力涡轮机的固定坐标系和旋转坐标系的图解视图，以 270° 角示意性地显示叶片。

[0023] 图 10 是具有安装于其上的应变计的毂的透视图。

[0024] 结合附图阅读，将更好理解上述概述以及对本发明的某些实施例的以下详细描述。

[0025] 附图示出了各实施例的功能框图的图示，对此而言，功能框图并不一定表明硬件电路之间的分隔。因此，例如可在单件硬件（如通用信号处理器或块或随机存储器、硬盘等）中实现这些功能框图中的一个或多个（如处理器或存储器）。同样，程序可以是独立

式程序、可以作为操作系统中的子程序并入、可以是安装好的软件包中的功能等等。应当理解，各实施例不限于附图所示的布置和手段。

[0026] 发明详述

[0027] 图1是示例性风力涡轮机的一部分。除了转子毂110之外，图1所示的部件通常容纳在塔架190顶上的吊舱185中。可根据本领域中已知的因素和条件来选择塔架190的高度。在一个实施例中，风力涡轮机部件包括基于微控制器的分布式控制系统，该控制系统包括控制面板195。在这种实施方案中，多个微控制器（图1中未示出）用于整体系统监测和控制，包括倾斜和速度调节、高速轴和偏动制动应用、偏转和泵马达应用以及故障监测。也可使用备选的分布式或集中式控制架构。在不失去普遍性的情况下，控制面板195包括涡轮控制器210，下文参照图2对其进行了详细描述。

[0028] 在一个实施例中，控制系统将控制信号提供给倾斜驱动器120，以控制叶片倾斜（图1中未示出），由于叶片上的空气动力，该叶片倾斜驱动转子毂110。在一个实施例中，三个叶片联接到转子毂110上。然而，在备选实施例中，任何适当数目的叶片都可以联接到转子毂110上。在一个实施例中，叶片倾斜可以由倾斜驱动器120单独地控制。转子毂110和涡轮叶片结合以形成风力涡轮机转子。

[0029] 风力涡轮机传动系统包括连接到转子毂110的转子轴175，以及变速箱160，在一个实施例中，转子轴175驱动封装在该变速箱内的高速轴。该高速轴用于驱动发电机150。在一个实施例中，发电机150安装到主机架176上。在一个实施例中，转子扭矩经过扭矩限制联接165而传递。也可使用其它类型的发电机，例如绕线式转子感应发电机。偏转驱动器170和偏转底板180提供了用于风力涡轮机的偏转控制系统。在一个实施例中，偏转控制系统以电的方式来操作，并且基于从安装在吊舱185上的风向计155中接收的信息来控制偏转控制系统。

[0030] 近程传感器确定轴凸缘自预定布置或无载荷位置的变形。轴凸缘围绕从转子毂110中出来的转子轴175的一部分而定位。使用来自近程传感器的数据，涡轮控制器可以确定叶片上的、引起近程传感器所检测到的变形的载荷。有了这一信息，涡轮控制器就可以使叶片的倾斜改变，以减少叶片上的载荷，或者减轻载荷的非对称性质（即，使得转子上的载荷更对称）。

[0031] 图2是用以基于传感器测量值来控制叶片倾斜的系统的框图。一个或多个近程传感器和 / 或任何适合的传感器200（包括但不限于图3、4和5中所示且在下文详细描述的传感器500、550、600和650）响应于风力涡轮机部件（例如主轴凸缘）的变形而生成信号。涡轮控制器210以形成信号连通的方式与传感器200联接，以接收传感器200生成的信号。涡轮控制器210分析该信号，以确定导致涡轮机部件变形的力。

[0032] 在一个实施例中，涡轮控制器210包括接收信号（模拟或数字信号）的处理器，该信号指示了传感器200的输出。该处理器可以是，例如执行指令的通用处理器、硬连线控制电路，或者通用处理器和硬连线电路的组合。响应于从传感器200中接收的信号，涡轮控制器210生成传输到叶片倾斜控制器220的控制信号。

[0033] 叶片倾斜控制器220联接到一个或多个叶片旋转驱动器230、240和250上，这些旋转驱动器控制风力涡轮机相应叶片的倾斜。通过改变叶片的倾斜，可以减少作用在风力涡轮机部件上的载荷大小和 / 或持续时间，从而提高风力涡轮机的整体性能。

[0034] 在一个实施例中,为了反馈控制,输入信号表示叶片方位角位置(对所有叶片)、低速轴的速度以及发电机输出(在此实施例中,反馈控制仅用在接近额定和超过额定的状态下,但其可用在备选实施例中的所有条件下)。可以使用例如旋转编码器来获得转子方位角和低速轴速度,该旋转编码器由低速轴旋转产生脉冲,并且产生已知转子方位角处的单个复位脉冲。在某些构造中,轴速度可通过计算螺栓、槽口和/或在连接到轴上的构件上的、旋转的可感测图型(pattern)来获得。

[0035] 在一个示例性实施例中,两组传感器中的每一组都检测或被处理,以便精确地以精密公差在沿主轴的相同轴坐标上表示弯矩(作为两个垂直分量)。这两组传感器实际上彼此相对旋转。例如,第一组传感器安装在旋转坐标(Germanischer Lloyd[GL]转子、GL叶片或GL弦坐标系)中,而第二组传感器则是与吊舱相固定(GL毂坐标)的。来自一个或多个叶片中的应变计及主轴凸缘处的近程传感器中的信号,适用于许多电机,因为经过适当比例缩放的测量值精确地反应了主轴和毂接合处的弯矩。叶片中的应变计组处于旋转坐标系中,而主轴凸缘处的近程传感器组处在与吊舱相固定的坐标系中。各组传感器都易于受其自身坐标系中的恒定偏移的影响,但是不受另一传感器组的坐标系中的固定偏移的影响。因此,在一个实施例中,各组传感器都用于校正另一组传感器中的偏移误差。在某些实施例中,在运行过程中执行偏移校正,同时也更新缩放比例校正因子。各个坐标系中的弯矩的垂直分量在转子旋转的某些点上趋向于相互对齐,并且在其它时候相互偏离于对齐。这些对齐和非对齐点有利地用于某些实施例中。移动平均数(例如至少二至三个转子周)系统用于为各个系统更新偏移校正因子。一旦将对各单元系统的适当缩放应用于至少一组传感器(一个弯矩垂直分量),就可以确定剩余的缩放比例和所有偏移。

[0036] 因此,在一个实施例中,提供了一种用于确定旋转机械中的旋转弯矩的装置。它的一个实例是图3中示出的风力涡轮机300。该装置包括第一组传感器500和550,他们分别示于图4和图5中,并且构造成用于分别安装在风力涡轮机300的位置510和560上。位置510和560选择为以便测量图6所示的第一组坐标515中的弯矩。该装置还包括图3所示的第二组传感器600和650,它们构造成用以分别安装在旋转机械的位置610和660上。位置610和660选择为用以测量图6所示的第二组坐标615中的弯矩。例如,位置610选择为处在风力涡轮机300的叶片310的一部分上,而位置660选择为处在风力涡轮机300的叶片320的一部分上。当风力涡轮机300运行时,第一组坐标515和第二组坐标615彼此相对旋转。图3所示的风力涡轮机300还具有第三个叶片330,以示意三叶片风力涡轮机,但风力涡轮机300可以包括任何合适数量的叶片。虽然未在图3中示出,但是在风力涡轮机300的许多构造中,为每个叶片都提供了传感器组。

[0037] 更详细地讲,图4显示了从面向毂的视角观察面向主轴凸缘520的第一近程传感器500。如图4所示,近程传感器500连接到传感器支架516,该传感器支架连接于主轴凸缘520和主支承件530之间。在备选实施例中,可在任何适当位置使用其他合适的连接方法。近程传感器500可以是本领域已知的任何合适的传感器。传感器500检测主轴凸缘520在一个方向上的运动。图5所示的第二近程传感器550允许涡轮控制器210确定主轴凸缘520的三维变形,且从而确定各涡轮部件上的、导致该变形的载荷。在图5所示的实施例中,近程传感器550以相对于第一近程传感器500成约90度角而面向主轴凸缘520,并且定位在与传感器500处于其中的平面相正交的平面中。在一个实施例中,传感器支架565连接

于主轴凸缘 520 和主支承件 530 之间。然而，在备选实施例中，可以使用任何适当位置中的任何适当连接。虽然未在图 5 中示出，但是在本发明的许多实施方案中，两个近程传感器彼此隔开 90 度来使用。

[0038] 在其它坐标系中使用额外传感器来确定除了主轴凸缘之外的部件变形。例如，风力涡轮机 300 的叶片 310、320 和 330 中的一个或多个叶片具有近程传感器 600、650，以检测相应叶片上的力。叶片中的近程传感器还联接至涡轮控制器 210。

[0039] 涡轮控制器 210 例如通过使用软件、固件和 / 或专用处理器或器件来配置，以使用来自两组传感器其中一组的弯矩测量值来校正另一组传感器测得的弯矩中的偏移误差，并且进一步控制（例如通过控制风力涡轮机 300 中的叶片倾斜）风力涡轮机 300 的运行。本文所用的用语“弯矩测量值”意图将不只是力矩的直接测量值而且还有代理测量值（即与该力矩相关的间接测量值，例如力矩可从其中导出的接近和位移测量值）包括在其范围内。

[0040] 在某些实施例中，风力涡轮机 300 包括吊舱 185，并且传感器 500 和 550 的位置 510 和 560 选择为以便测量基于转子的坐标系中的弯矩，且传感器 600 和 650 的位置 610 和 660 选择为以便测量与吊舱相固定的坐标系中的弯矩。

[0041] 在某些实施例中，控制器 210 还可被配置成用以使用在风力涡轮机 300 转子的预定旋转角度上的弯矩的对齐（平行）分量，来校正测得的弯矩中的固定偏移。在备选实施例中，控制器 210 被配置成用以使用约 10 分钟或更长时间的长时间平均数来更新用于各组传感器的校正因子。另外，在某些实施例中，控制器 210 被配置成用以确定旋转机械转子每 90 度旋转的偏移。此外，控制器 210 可被配置成用以过滤和 / 或确定信号偏移的运行平均数，以抑制存在随机噪声时的振动。在一个实施例中，使用了一种简易的滞后过滤器。

[0042] 在一个实施例中，缩放比例从弯矩的一个垂直分量传向其它三个。当所有信号的缩放比例都正确时，偏移被准确地消除。因此，在一个实施例中，允许两个功能同时运行，和 / 或偏移的消除被延迟到直至缩放比例校正因子的变化很小，这种变化很小表示收敛。当传感器组以正交的方式对齐时，通过比较各组传感器之间的变化来确定缩放比例校正因子。例如，如果弯矩的初始缩放的第一分量是与吊舱相固定的，则在某些实施例中，用于旋转分量的缩放比例校正从历史值中进行设置，这些历史值是当旋转分量与第一分量对齐或未对齐时搜集 (compile) 的。与吊舱相固定的机架中的弯矩的第二分量的缩放比例通过与各个旋转分量在其对齐或未对齐时进行比较来设置。更新缩放比例校正，使得三个测量量（例如 M_{ZN} 、 M_{YN} 和 M_{ZR} ）符合第四测量量（例如 M_{RN} ）的灵敏度。对传感器的每个正交对齐来搜集历史值，并且使用任何适当的回归方法对各个移动数据组进行回归。各个缩放比例校正值都初始化为一个，并且使用过滤器对其进行更新，从而使得该缩放比例校正值逐渐收敛为合适的大小和符号。更详细地讲，在本发明的某些实施例中，使用正交对齐位置中的历史测量值的回归来使得垂直力矩测量值达到大致相等的灵敏度。同样，在某些实施例中，在公共参照系中比较矢量测量值，以确定灵敏性调整和偏移校正的收敛性。

[0043] 在某些实施例中，使用与吊舱相固定的坐标系以及旋转坐标系中的 GL 弯矩相关的方程的矩阵来估算偏移。传感器组中的任何一组的相对零点偏移都不会导致主坐标系量中的任何正弦误差。同样的相对零点偏移会导致另一传感器组的坐标系中的正弦误差，经过大量旋转（假设旋转速率基本稳定）后其具有可忽略不计的固定偏移。以下提供了这种

方程中的一组方程的推导,它仅使用了正交地对齐的转子位置。这些方程用于解出转子旋转 90 度间隔处的各个信号偏移。最终解的值传过过滤器或运行平均法,以抑制可因测量信号中的随机噪声而存在的任何振动趋势。

[0044] 如以下方程定义,存在于各个信号中的偏移的定义是 : 测量值 (带偏移误差) + 偏移 = 实际值,其中 M_{AT}^{MTX} 表示力矩,AT 表示轴线类型 (Y 轴或 Z 轴,以及是否为旋转或正常), 且 MT 表示力矩是测得的力矩、偏移力矩还是实际力矩,且如果存在 X, 在该角度下 X :

[0045] 方程 A : 对所有 X, $M_{YR}^{measX} + M_{YR}^{offs} = M_{YR}^{actX}$

[0046] 方程 B : 对所有 X, $M_{ZR}^{measX} + M_{ZR}^{offs} = M_{ZR}^{actX}$

[0047] 方程 C : 对所有 X, $M_{YN}^{measX} + M_{YN}^{offs} = M_{YN}^{actX}$

[0048] 方程 D : 对所有 X, $M_{ZN}^{measX} + M_{ZN}^{offs} = M_{ZN}^{actX}$ 。

[0049] 当 $\varphi = 0^\circ$, 其中 φ 是旋转轴线的旋转角度,如图 6 所示,该旋转轴线与叶片 310、320 和 330 一起旋转 :

[0050] 方程 E : $M_{YN}^{act0} - M_{YR}^{act0} = 0$

[0051] 方程 F : $M_{ZN}^{act0} - M_{ZR}^{act0} = 0$

[0052] 方程 1 : $(M_{YN}^{meas0} + M_{YN}^{offs}) - (M_{YR}^{meas0} + M_{YR}^{offs}) = 0$

[0053] 方程 2 : $(M_{ZN}^{meas0} + M_{ZN}^{offs}) - (M_{ZR}^{meas0} + M_{ZR}^{offs}) = 0$

[0054] 当 $\varphi = 90^\circ$,如图 7 所示 :

[0055] 方程 G : $M_{YN}^{act90} + M_{ZR}^{act90} = 0$

[0056] 方程 H : $M_{ZN}^{act90} - M_{YR}^{act90} = 0$

[0057] 方程 3 : $(M_{YN}^{meas90} + M_{YN}^{offs}) + (M_{ZR}^{meas90} + M_{ZR}^{offs}) = 0$

[0058] 方程 4 : $(M_{ZN}^{meas90} + M_{ZN}^{offs}) - (M_{YR}^{meas90} + M_{YR}^{offs}) = 0$

[0059] 当 $\varphi = 180^\circ$,如图 8 所示 :

[0060] 方程 I : $M_{YN}^{act180} + M_{YR}^{act180} = 0$

[0061] 方程 J : $M_{ZN}^{act180} + M_{ZR}^{act180} = 0$

[0062] 方程 5 : $(M_{YN}^{meas180} + M_{YN}^{offs}) + (M_{YR}^{meas180} + M_{YR}^{offs}) = 0$

[0063] 方程 6 : $(M_{ZN}^{meas180} + M_{ZN}^{offs}) + (M_{ZR}^{meas180} + M_{ZR}^{offs}) = 0$

[0064] 当 $\varphi = 270^\circ$,如图 9 所示 :

[0065] 方程 K : $M_{YN}^{act270} - M_{ZR}^{act270} = 0$

[0066] 方程 L : $M_{ZN}^{act270} + M_{YR}^{act270} = 0$

[0067] 方程 7 : $(M_{YN}^{meas270} + M_{YN}^{offs}) - (M_{ZR}^{meas270} + M_{ZR}^{offs}) = 0$

[0068] 方程 8 : $(M_{ZN}^{meas270} + M_{ZN}^{offs}) + (M_{YR}^{meas270} + M_{YR}^{offs}) = 0$

[0069] 可按以下方法求解以上方程 :

[0070] 方程 1 和方程 5 相加并重新整理 :

[0071] 方程 9 : $M_{YN}^{offs} = \frac{M_{YR}^{meas0} - M_{YN}^{meas0} - M_{YR}^{meas180} - M_{YN}^{meas180}}{2}$

[0072] 方程 5 减去方程 1, 并重新整理 :

$$[0073] \text{方程 } 10 : M_{YR}^{offs} = \frac{M_{YN}^{meas0} - M_{YR}^{meas0} - M_{YN}^{meas180} - M_{YR}^{meas180}}{2}$$

[0074] 方程 2 和方程 6 相加并重新整理 :

$$[0075] \text{方程 } 11 : M_{ZN}^{offs} = \frac{M_{ZR}^{meas0} - M_{ZN}^{meas0} - M_{ZR}^{meas180} - M_{ZN}^{meas180}}{2}$$

[0076] 方程 6 减去方程 2 并重新整理 :

$$[0077] \text{方程 } 12 : M_{ZR}^{offs} = \frac{M_{ZN}^{meas0} - M_{ZR}^{meas0} - M_{ZN}^{meas180} - M_{ZR}^{meas180}}{2}$$

[0078] 方程 3 和方程 7 相加并重新整理 :

$$[0079] \text{方程 } 13 : M_{YN}^{offs} = \frac{M_{ZR}^{meas270} - M_{YN}^{meas270} - M_{ZR}^{meas90} - M_{YN}^{meas90}}{2}$$

[0080] 方程 7 减去方程 3 并重新整理 :

$$[0081] \text{方程 } 14 : M_{ZR}^{offs} = \frac{M_{YN}^{meas270} - M_{ZR}^{meas270} - M_{YN}^{meas90} - M_{ZR}^{meas90}}{2}$$

[0082] 方程 4 和方程 8 相加并重新整理 :

$$[0083] \text{方程 } 15 : M_{ZN}^{offs} = \frac{M_{YR}^{meas90} - M_{ZN}^{meas90} - M_{YR}^{meas270} - M_{ZN}^{meas270}}{2}$$

[0084] 方程 8 减去方程 4 并重新整理 :

$$[0085] \text{方程 } 16 : M_{YR}^{offs} = \frac{M_{ZN}^{meas90} - M_{YR}^{meas90} - M_{ZN}^{meas270} - M_{YR}^{meas270}}{2}$$

[0086] 保留下的是用于四个偏移中的各个偏移的两个方程, 即, 用于 M_{YN}^{offs} 的方程 9 和方程 13、用于 M_{YR}^{offs} 的方程 10 和方程 16、用于 M_{ZN}^{offs} 的方程 11 和方程 15、以及用于 M_{ZR}^{offs} 的方程 12 和方程 14。因此, 可从这两个方程的其中一个方程来确定这些固定偏移中的各个偏移。涡轮控制器 210 利用这些方程来编程。因此, 通过使用除用于该误差之外会被认为是冗余的传感器, 控制器 210 确定误差并且减去它以得到弯矩的实际值。

[0087] 在一个实施例中, 使用最新测量参数值, 并且每当更新所测得的参数值时就重新计算偏移值。该过程允许转子旋转每 90 度时重新计算各个偏移。众所周知, 测量值将总是包含某些随机变量 (噪声), 所以每次重新计算都将包含这些随机噪声所引起的某些误差。然而, 如果使用移动平均法或过滤法来聚集足够次数的重新计算, 就可以相应地减小由测得参数值中的随机噪声所引起的、偏移计算中的误差。在可能范围内, 测量值不会被非随机噪声 (包括在主旋转频率的奇数倍频率处具有很大分量的噪声) 破坏。

[0088] 在某些实施例中, 传感器包括至少一个应变计和至少一个近程传感器。应变计和近程传感器无需在同一组传感器中。例如, 虽然对于各种类型的传感器而言安装细节可能不同, 但是传感器 500、550、600 和 650 中的任何一个都可以是近程传感器, 且其它的可以是应变计。

[0089] 更详细地讲, 图 10 显示了具有应变计的毂 110 的一个实施例。如图 10 所示, 四分之一桥焊焊接的应变计 700 位于毂 110 内、接近倾斜角支承件并且与吊舱 185 相邻接 (示于图 1 中)。在一个实施例中, 三个轴中的各个轴各使用一个应变计。可以使用其他适当位置和 / 或任何适当数量的应变计。在一个实施例中, 数据记录器 720 也位于毂 110 内, 并且

配置成用以从应变计中获取数据。在至少一个实施例中，应变计嵌入在位于旋转坐标系中的毂安装螺栓中。该毂安装螺栓固定到吊舱 185 上，而其它传感器则固定到毂 110 上。因此，第一组传感器是与毂固定的，而第二组传感器是与吊舱相固定的。同样，在一个实施例中，使用了主轴应变计。

[0090] 虽然本文描述的示例性实施例提供了用于校正由传感器测量的弯矩的方法和装置，但是应当理解，本文描述的方法对于校正任何矢量载荷测量值都同样有用。这些矢量载荷测量值包括但不限于，弯矩和剪切力矢量。同样，在某些实施例中，可以使用 GL 转子坐标系中的旋转传感器组而非叶片应变计，或者除了叶片应变计之外还使用 GL 转子坐标系中的旋转传感器组。

[0091] 在上述说明书中，已经参照本发明的特定实施例对本发明进行了描述。然而，很明显，可以在不背离本发明的更加宽泛的精神和范围的情况下对其做出各种修改和改变。因此，本说明书和附图应视为说明性的而非限制性的。说明书中对“一个实施例”或“实施例”的引用是指结合该实施例而描述的特定特征、结构或特性包括在本发明的至少一个实施例中。在说明书中多处出现的短语“在一个实施例中”并不一定全部是指同一个实施例。同样，对短语“在备选实施例中”或“在某些实施例中”的陈述并不一定是指对比实施例的特征不能进行组合。

[0092] 如本文所用，以单数形式陈述并且以文字“一”来处理的元素或步骤应理解为不排除多个所述元件或步骤，除非明确声明了这种排除。此外，对“一个实施例”的引用不意图解释为排除存在同样结合了所述特征的其他实施例。并且，除非明确说明相反情况，实施例“包括”或“具有”具有特定属性的元件或多个元件，可以包括不具有该属性的其他这种元件。

[0093] 虽然已根据各具体实施例描述了本发明，但是本领域技术人员应当了解，可用权利要求书的精神和范围内的变型来实施本发明。

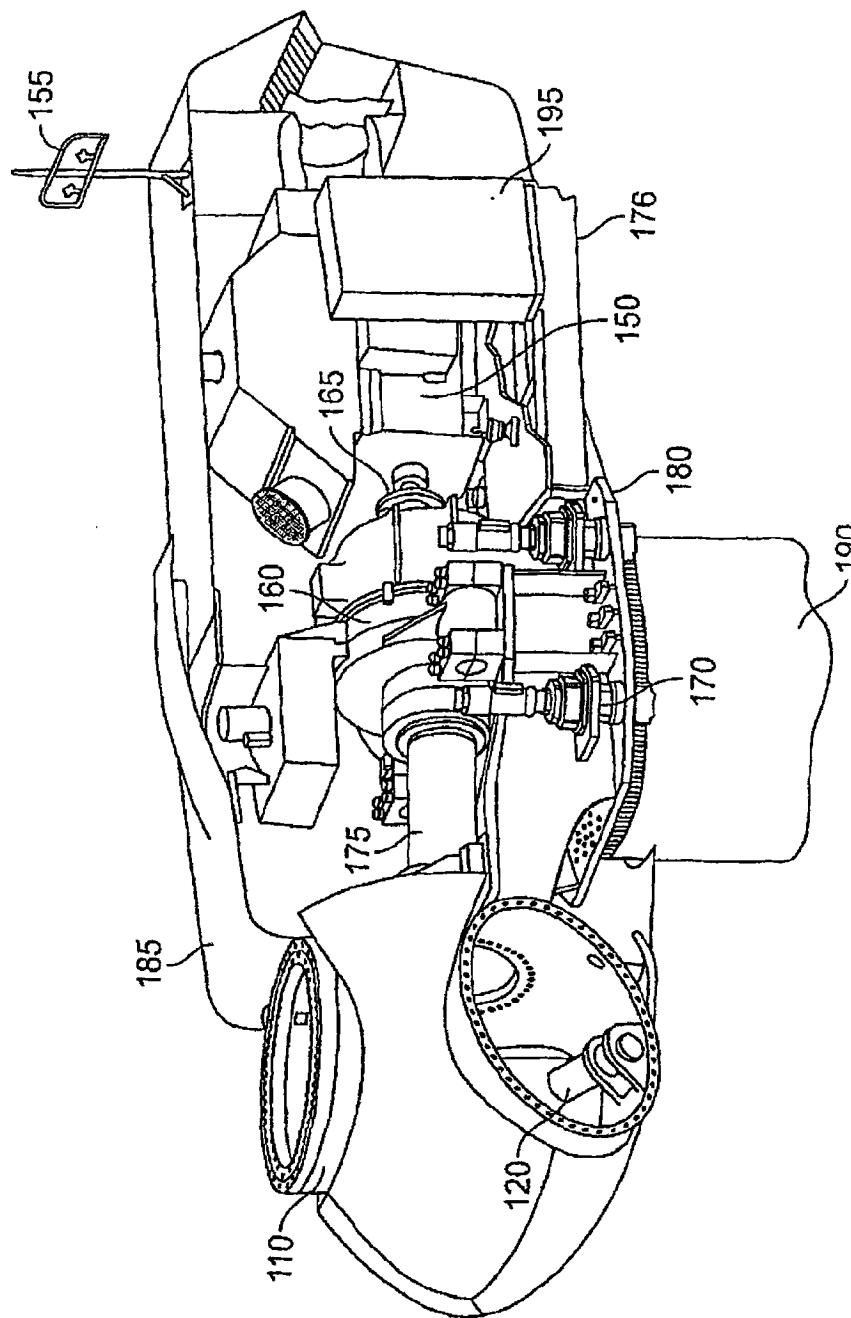


图 1

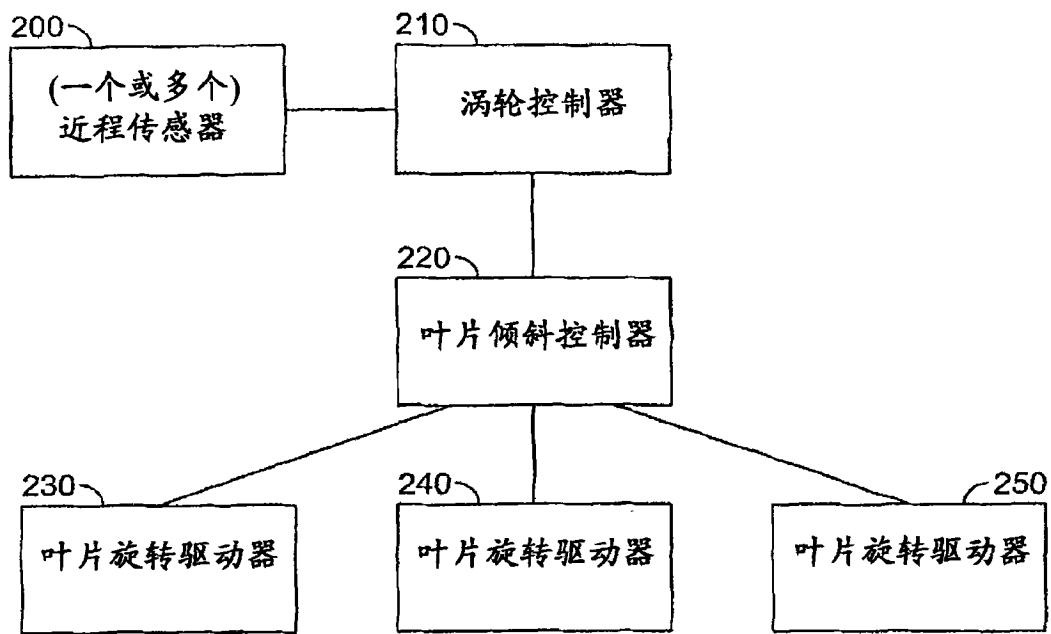


图 2

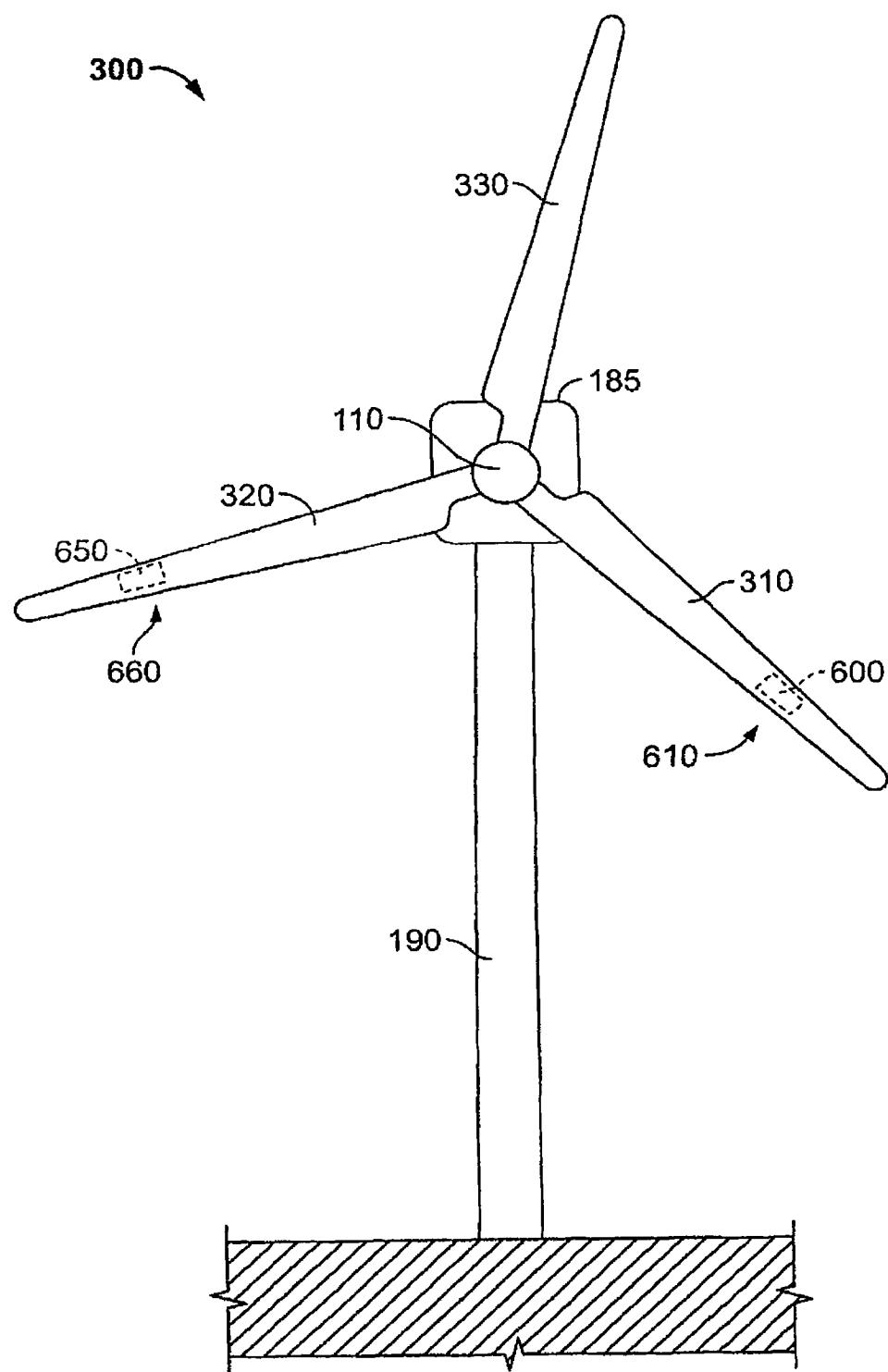


图 3

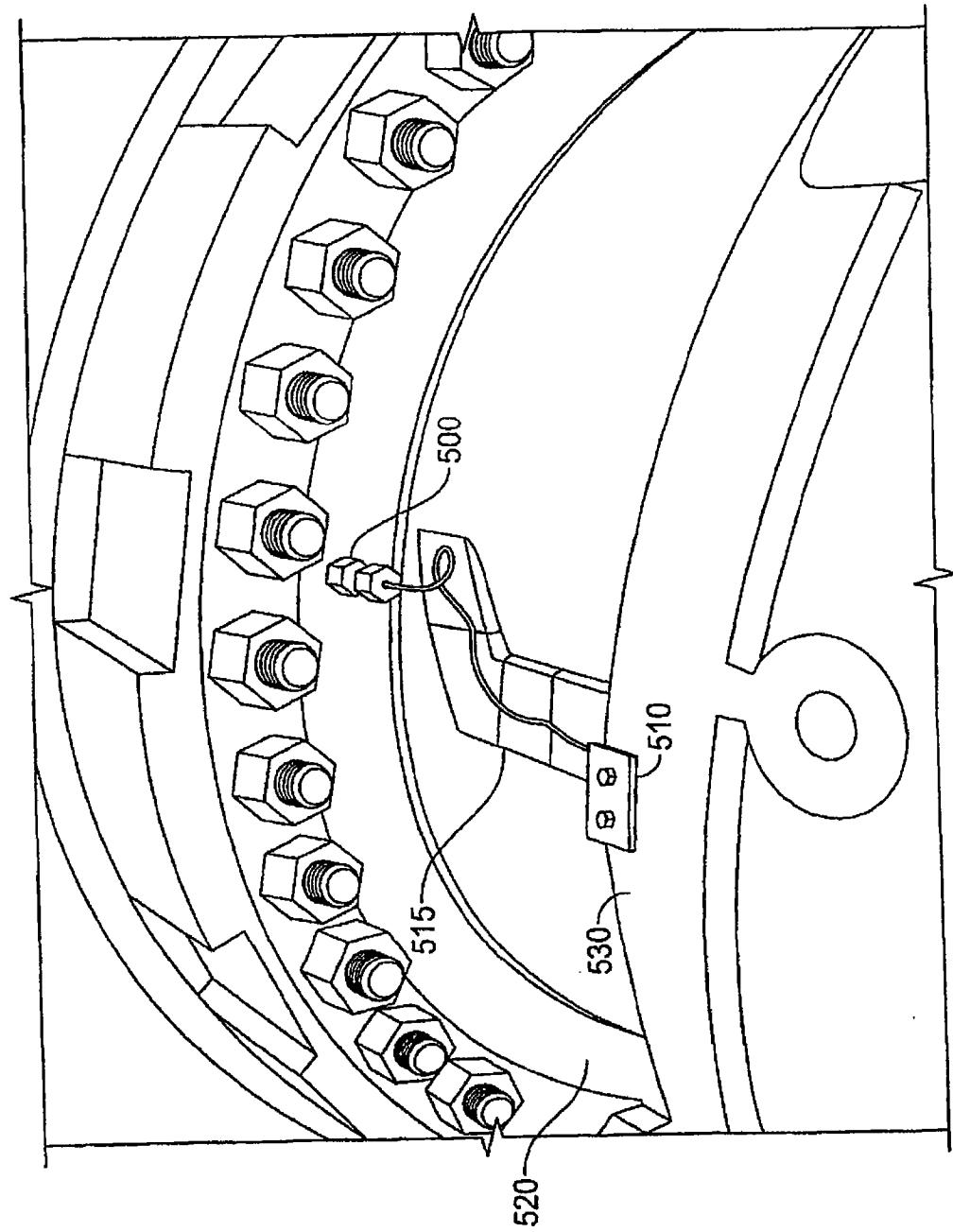


图 4

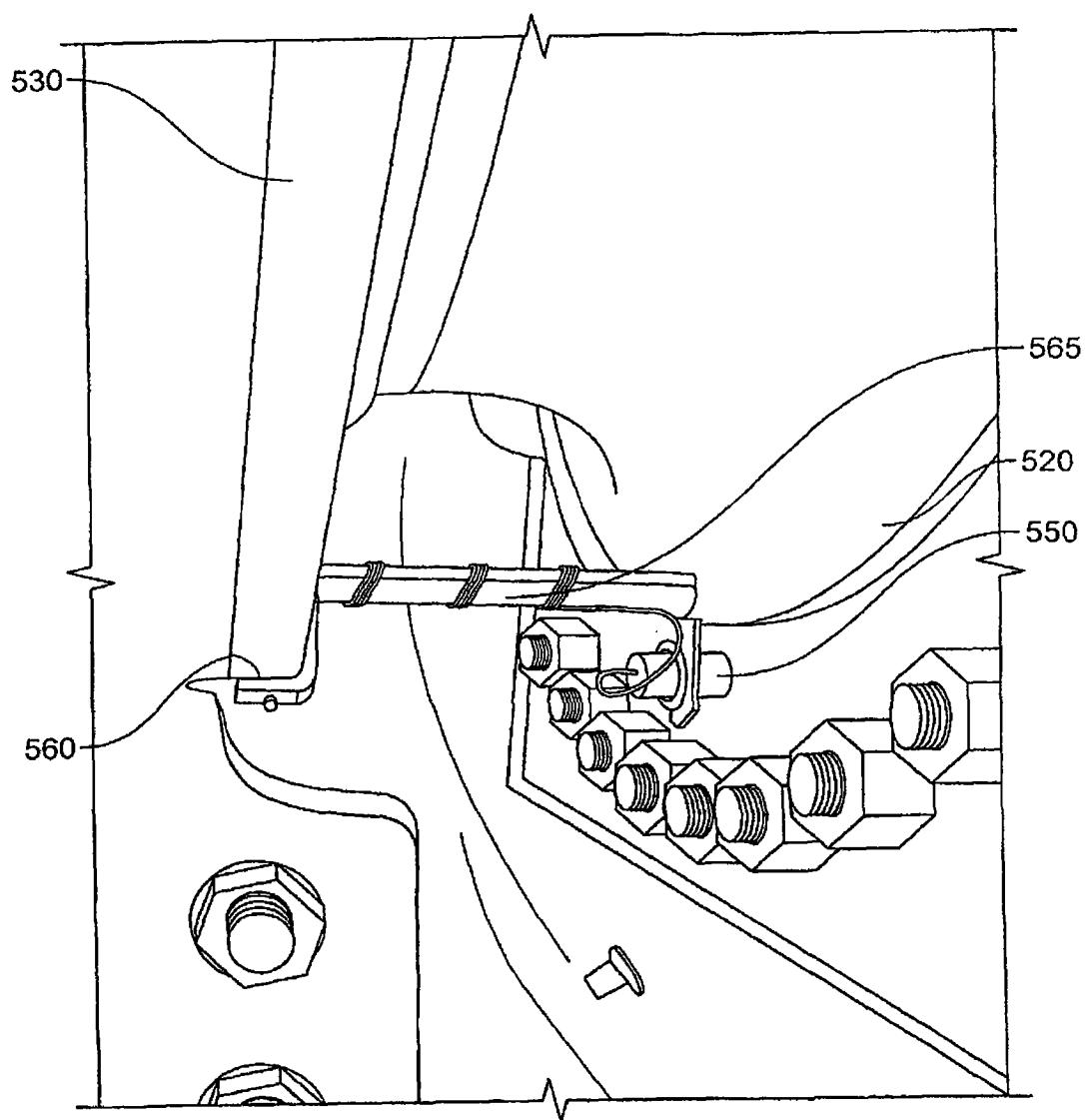
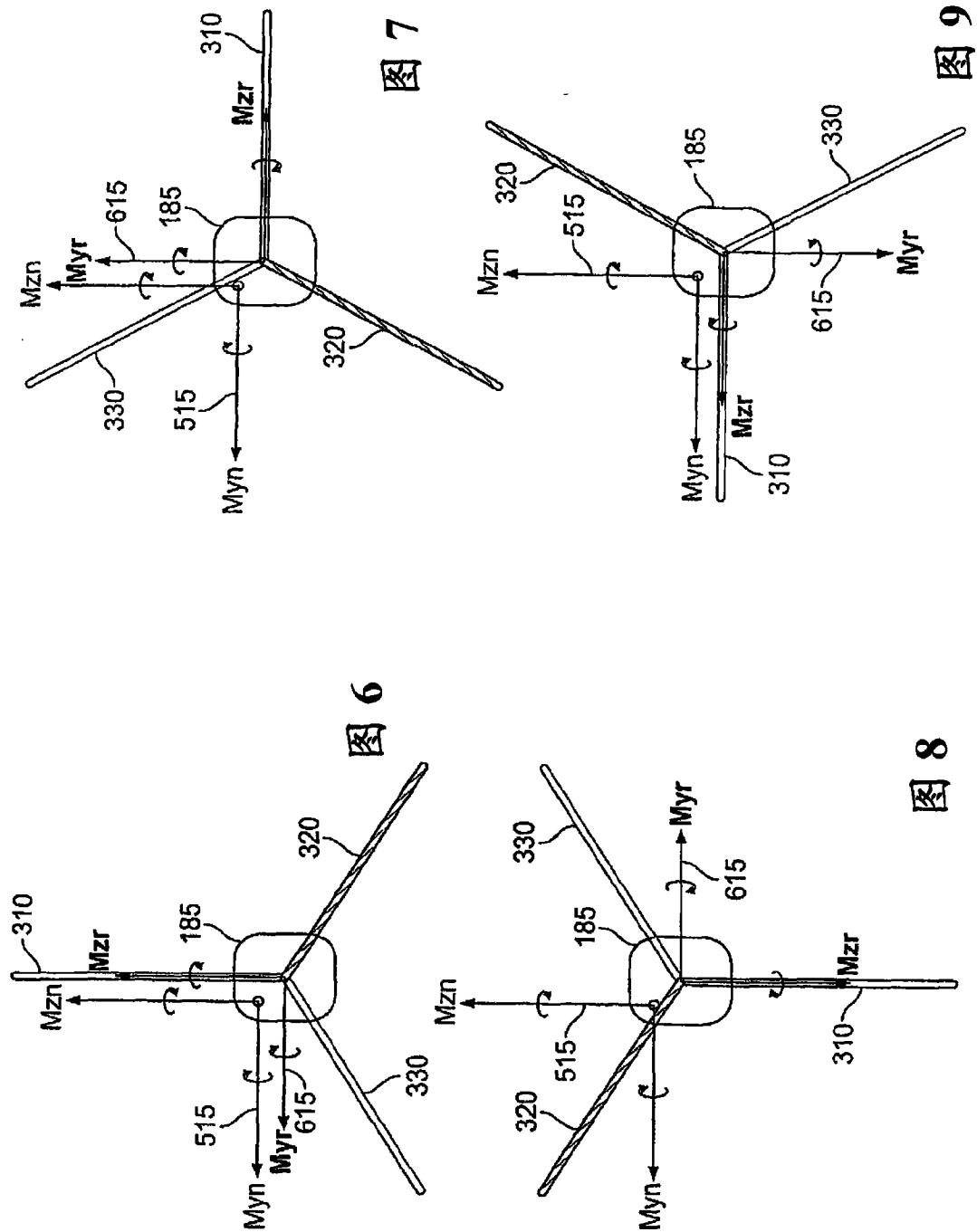


图 5



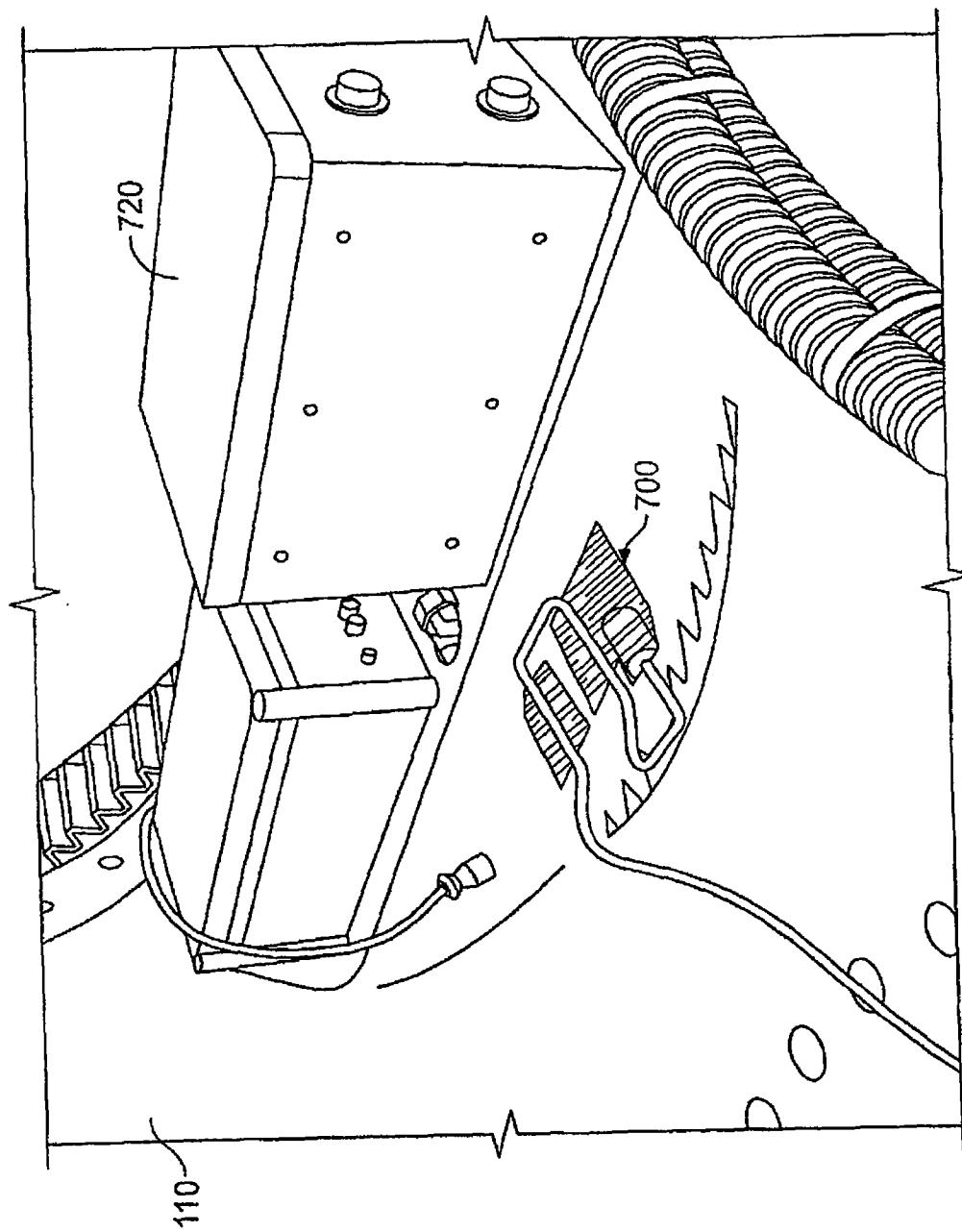


图 10