



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101835974 B

(45) 授权公告日 2012. 10. 17

(21) 申请号 200880112944. 0

(22) 申请日 2008. 10. 21

(30) 优先权数据

07119225. 6 2007. 10. 24 EP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 04. 23

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2008/064221 2008. 10. 21

(87) PCT申请的公布数据

W02009/053365 EN 2009. 04. 30

(73) 专利权人 埃科泰克尼亚可再生能源有限公司

地址 西班牙巴塞罗那

(72) 发明人 D·卡斯特尔玛蒂纳兹

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038

代理人 赵冰

(51) Int. Cl.

F03D 11/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

WO 2007/104306 A1, 2007. 09. 20,

EP 1760311 A2, 2007. 03. 07,

CN 1823223 A, 2006. 08. 23,

EP 1612548 A2, 2006. 01. 04,

US 4160170 A, 1979. 07. 03,

EP 1674724 A2, 2006. 06. 28,

审查员 石科峰

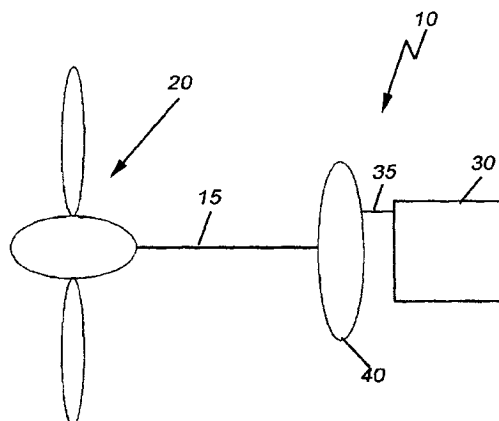
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

用于确定风力涡轮机的动力系中的疲劳损伤的方法

(57) 摘要

提供了一种用于确定至少一个旋转轴 (15) 的扭矩变化以及所导致的不同动力系部件 (10) 的疲劳损伤的方法, 用于风力涡轮机的设计和/或维护操作, 该方法包括以下步骤: 确定动力系 (10) 的一个高速轴 (35) 的扭矩 (T_g); 确定所述高速轴 (35) 的惯性矩 (I_g); 确定所述高速轴 (35) 的角加速度 (α_g); 以及通过公式 $T_r = (T_g - I_g \cdot \alpha_g) \cdot i$ 确定动力系 (10) 的低速轴 (15) 的扭矩 (T_r)。对于低速轴 (15) 的扭矩 (T_r) 的值应用雨流计数算法, 以对每个扭矩均值确定扭矩范围内的周期数。



1. 一种用于确定风力涡轮机中的至少一个旋转轴的扭矩变化以及所导致的不同动力系部件的疲劳损伤的方法,用于风力涡轮机的设计和 / 或维护操作,所述动力系包括高速轴和低速轴,其旋转速度通过一定速度比率 i 关联起来,其特征在于,该方法包括以下步骤:

确定高速轴的扭矩 T_g ;确定高速轴的惯性矩 I_g ;确定高速轴的角加速度 α_g ;以及通过公式 $T_r = (T_g - I_g \cdot \alpha_g) \cdot i$ 确定低速轴的扭矩 T_r ;

对低速轴的扭矩 T_r 的值应用雨流计数算法以对每个扭矩均值确定扭矩范围内的周期数;

确定各个待分析部件的每个点处的扭矩与材料中的应力之间的关系;以及

通过将每个应力范围内执行的周期数与和一个平均应力值以及待计算的部件材料相对应的应力 / 周期数曲线进行比较,并累加所有获得的损伤,从而确定在动力系的任意部件中一段时间内的累积疲劳损伤。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于所述关系由应用于扭矩值 T_r 的一个因数或非线性等式给出,以对于每个平均应力值获得应力范围内的周期数。

3. 一种用于确定风力涡轮机中的至少一个旋转轴的扭矩变化以及所导致的不同动力系部件的疲劳损伤的方法,用于风力涡轮机的设计和 / 或维护操作,所述动力系包括高速轴和低速轴,其旋转速度通过一定速度比率 i 关联起来,其特征在于,该方法包括以下步骤:

确定高速轴的扭矩 T_g ;确定高速轴的惯性矩 I_g ;确定高速轴的角加速度 α_g ;以及通过公式 $T_r = (T_g - I_g \cdot \alpha_g) \cdot i$ 确定低速轴的扭矩 T_r ;

对低速轴的扭矩 T_r 的值应用雨流计数算法以对每个扭矩均值确定扭矩范围内的周期数;

确定各个待分析部件的每个点处的扭矩与材料中的张力之间的关系;以及

通过将每个张力范围内执行的周期数与和一个平均张力值以及待计算的部件材料相对应的张力 / 周期数曲线进行比较,并累加所有获得的损伤,从而确定在动力系的任意部件中一段时间内的累积疲劳损伤。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其特征在于所述关系由应用于扭矩值 T_r 的一个因数或非线性等式给出,以对于每个平均张力值获得张力范围内的周期数。

5. 如权利要求 1 或 3 所述的方法,其特征在于所述对低速轴的扭矩 T_r 的值应用雨流计数算法的步骤至少针对一个扭矩均值执行。

6. 如权利要求 1 或 3 所述的方法,其特征在于所述确定一段时间内的累积疲劳损伤的步骤通过应用 Miner 规则来实现。

7. 如权利要求 1 或 3 所述的方法,其特征在于还包括当一段时间内的累积疲劳损伤超过一个预定值时发送警示信号的步骤。

8. 如权利要求 1 或 3 所述的方法,其特征在于所述确定高速轴的角加速度的步骤通过高速轴的角速度的时间导数来实现。

9. 如权利要求 1 或 3 所述的方法,其特征在于通过雨流计数算法获得的所述数据是数据矩阵的形式。

用于确定风力涡轮机的动力系中的疲劳损伤的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于确定至少一个旋转轴的扭矩变化以及所导致的不同动力系部件的疲劳损伤的方法。

[0002] 本发明尤其用于具有动力系的风力涡轮机中的设计和 / 或维护操作,所述动力系包括高速轴和低速轴。在使用中,所述高速和低速轴以不同的速度转动,所述速度以一定的速度比率关联起来。

背景技术

[0003] 风力涡轮机的动力系需要将一定速度的输入扭矩从低速轴(与转子和叶片相关联)传递到高速轴(与将所述给定速度的输入扭矩转换成电功率的发电机相关联)。

[0004] 目前的风力涡轮机是对疲劳有严格要求的机器,因此为了评估疲劳损伤以便设计各个风力涡轮机内的动力系和 / 或维护操作,得知风力涡轮机动力系的低速轴上的所述输入扭矩的值是很重要的。这可以通过确定动力系中、尤其是低速轴上的扭矩振荡来实现。

[0005] 本发明能够精确地评估风力涡轮机转子的低速轴中的扭矩振荡。将该低速轴扭矩值与待分析的部件材料的疲劳性能以及年度风速分布一起加以分析,就能够精确地获知疲劳损伤以及该风力涡轮机随后的使用寿命。

[0006] 通常,操作控制和数据记录系统可提供与发电机中的电功率及发电机(即高速轴)中的角速度相关的精确数值。但是,很难精确地获得转子(低速轴)中的输入扭矩值以及所述低速轴中的角速度值。由于缺少低速轴上的输入扭矩值,目前还不能直接且容易地获得风力涡轮机动力系所承受的扭矩值。

[0007] 典型地通过试验方法与经由应变仪装置进行的机械测量相结合来直接测量低速轴上的应力值,得到低速轴扭矩值。这样做的成本很高,尤其是在考虑必须对每个动力系进行测量时。

[0008] 本发明提供了一种方法,通过该方法,能够根据风力涡轮机发电机的电扭矩和角速度精确地评估由于风力涡轮机动力系中扭矩振荡所导致的疲劳损伤。

[0009] 通过得知每个风力涡轮机的疲劳损伤值,可以考虑风力涡轮机中的关键部件(轴、齿轮、轴承等)在这些部件损坏之前进行测量,否则会导致比在某个部件损坏之前更换该部件成本高得多的损失。本发明的方法提供了在任何时刻获知风力涡轮机动力系内的部件状态的可能性。

[0010] 因此,本发明所述的方法能够确定在已经超出了设计疲劳极限时各个风力涡轮机是否需要更换某些部件,从而能够实现适当的维护操作。

[0011] 另外,本发明所述的方法还允许参照通过软件仿真得到并已在部件设计中加以考虑的疲劳负荷来验证设计假定。这种验证通常借助于样机内的一系列测量来实现。根据本发明的方法允许根据导致疲劳的可用数值来执行这样的验证。

发明内容

[0012] 本发明提供了一种用于确定至少一个旋转轴的扭矩变化以及所导致的对不同动力系部件的疲劳损伤的方法,用于风力涡轮机的设计和/或维护操作。本发明能够获知单个风力涡轮机或整个风力发电站内动力系的疲劳情况变化,其中所述动力系包括一个高速轴和一个低速轴。

[0013] 本发明所述方法包括确定风力涡轮机的高速轴上的扭矩、惯性矩和角加速度的步骤。这些确定通过直接测量发电机上的所述值来实现。为了确定高速轴的角加速度,可使用高速轴上角速度的时间导数。

[0014] 本发明所述方法还包括通过用各个轴上的速度的速度比率乘以高速轴的扭矩减去高速轴的角速度与惯性矩的乘积的结果来确定风力涡轮机的低速轴的扭矩的步骤。

[0015] 为了确定风力涡轮机动力系的低速轴上的扭矩值变化,可采用雨流计数算法。所述对低速轴的扭矩值应用雨流计数算法的步骤至少可针对一个扭矩平均值执行。

[0016] 这种雨流计数过程的结果是一个数据矩阵,包括各个扭矩均值处对于各个扭矩范围的周期数。这使得能够以适合于风力涡轮机中的部件分析的格式存储业务测量结果,例如疲劳寿命预测和仿真测试。

[0017] 本发明还包括确定各个待分析部件的每个点处的扭矩和材料中的应力之间的关系的一个步骤。这种关系由应用于扭矩值的一个因数或非线性等式给出,以对于每个平均应力值得到应力范围内的周期数。

[0018] 当该等式为线性时,其可以被简化为一个因数。在任何情况下,扭矩和应力之间的关系需要通过解析计算或者有限元方法(FEM)来确定,同时考虑待分析部件的形状和材料。

[0019] 作为替代,上述的另一个步骤可针对张力值而不是应力值来执行,从而可以确定该等式给出了各个待分析部件的每个点处的扭矩与材料中的张力之间的关系。当该等式为线性时,其被简化为一个因数。在任何情况下,扭矩和张力之间的关系需要通过解析计算或通过FEM来确定。

[0020] 随后,通过将相应的等式应用于扭矩值,可以将扭矩变化值转换成应力或张力的变化,即对于每个部件分析点可得到一个应力范围-平均应力值矩阵,或者张力范围-平均张力值矩阵。

[0021] 本发明还可以包括通过比较所执行的周期数与由每个应力范围的SN(应力/周期数)曲线所建立的预定限制来确定动力系的任意部件中一段时间内的累积疲劳损伤的另一个步骤。

[0022] 作为替代,该方法也可通过张力值来实现。在这种情况下,所执行的周期数与由每个张力范围的 ϵN (张力/周期数)曲线所建立的预定限制进行比较。这优选地可以通过应用Miner规则来实现,所述Miner规则用于评估受到复杂负荷的风力涡轮机的疲劳寿命。通过针对每个应力或张力范围比较该系统所执行的周期数与通过SN/ ϵN 曲线所建立的限制来应用该规则。所述SN曲线可由不同方法(Leitfaden、FKM或SWL99)确定。SN曲线和 ϵN 曲线通过试验方法获得。在任何情况下,所述曲线根据平均应力/张力而变化。平均应力或张力值由上述定义的矩阵获得。

[0023] 根据本发明的一个实施例中的另一个步骤,当一段时间内的累积疲劳损伤超过一个预定值时,可以发送警示信号。

[0024] 通过本发明所述的方法,能够确定风力涡轮机动力系所承受的扭矩水平随时间的变化,以及其对形成其部件的材料的疲劳度的影响。

附图说明

[0025] 下面参照附图以非限制性实例的形式来描述本发明,其中:

[0026] 图 1 是风力涡轮机动力系的示意图;以及

[0027] 图 2 是由一个实例得到的时间-扭矩曲线图,其中示出了发电机的速度和功率,以及低速轴上经过估计和测量得到的扭矩。

具体实施方式

[0028] 图 1 中示意性地示出了用附图标记 10 整体表示的风力涡轮机的动力系。动力系 10 用于通过齿轮箱 40 将输入扭矩 T_r 从风力涡轮机的转子 20 的低速轴 15 传递到发电机 30 内的高速轴 35,从而使输入扭矩 T_r 被转换成电功率。低速轴 15 的角速度 ω_r 和高速轴 35 的角速度 ω_g 通过速度比率 i 关联起来。

[0029] 本发明所述的方法通过确定风力涡轮机的转子 20 在给定角速度 ω_r 下的输入扭矩 T_r 的振荡来精确评估疲劳损伤。疲劳损伤的评估可用于风力涡轮机的设计和/或维护操作。

[0030] 转子 20 处的扭矩值 T_r 首先根据发电机处的数值来确定,即扭矩 T_g 、惯性矩 I_g 、以及角速度 ω_g 。所述数值可直接从发电机 30、即在高速轴 35 上的主电源获得。

[0031] 随后通过高速轴 35 上的角速度 ω_g 的时间导数获得高速轴 35 上的角加速度 a_g 。

[0032] 在风力涡轮机的稳定生产状态下,气动扭矩被精确地补偿发电机处的电扭矩 T_g 加上动力系 10 处的摩擦损失的总和,因此 $T_r = T_g \cdot i + T_p$,其中 T_p 是摩擦损耗扭矩。相反,在存在扭矩和速度振荡的过渡期间,即常规操作模式下,产生其他力,如发电机的惯性力、与速度有关的阻尼负荷、以及代表摩擦损耗的或多或少的恒定扭矩,这些数值被加到电扭矩上,用于获得风力涡轮机的转子 20 上的机械扭矩。

[0033] 使得发电机 30 和转子 20 上的所述力分别相等, $(T_g - I_g \cdot a_g) \cdot i = (T_r - I_r \cdot a_r)$ 。由于高转子惯性 ($I_r \gg I_g$),假定发电机处的速度变化比转子处的速度变化快得多且影响更大,因此假定 $a_r \approx 0$,则等式为 $T_r = (T_g - I_g \cdot a_g) \cdot i$ 。

[0034] 一旦通过上述公式获得低速轴 15 上的扭矩值 T_r ,为了评估所述扭矩值 T_r 的变化,可应用雨流计数算法过程。通过雨流计数算法过程获得的数据可以是数据矩阵形式(如 Markov 矩阵),包括对于每个扭矩范围的每个平均扭矩的扭矩周期数。

[0035] 为了获知已应用于动力系的总周期数,雨流计数矩阵必须在每个特定时间周期被存储和更新,将新的扭矩周期数加到先前的矩阵中。这样,能够随时获得代表在系统工作寿命期间施加到该系统上的疲劳负荷的矩阵。

[0036] 为了确定每个部件的疲劳度,需要通过解析计算或有限元方法计算出在每个部件的每个点处的扭矩和应力之间的关系。该计算必须考虑部件的几何形状以及制造所述部件的材料的机械特性。所述关系可能是简单的一元因数(线性关系)或者将扭矩与局部应力或张力关联起来的任何非线性等式。所述因数或非线性等式事先通过解析计算或通过有限元方法(FEM)获得。

[0037] 随后能够通过扭矩周期计算出对动力系部件造成的损伤。特别地,这通过将由雨流计数算法过程获得的所有数据的周期总和(包括不同范围的应力或张力周期值)与待分析部件的相应材料的不同周期均值水平与 $SN/\epsilon N$ 曲线进行比较来实现。

[0038] 本发明所述的方法还包括通过对所执行的周期数与针对每个应力范围内的 SN 曲线的预定极限进行比较(例如应用 Miner 规则)来确定动力系 10 的任意部件中一段时间内的累积疲劳损伤的另一个步骤。

[0039] 当一段时间内累积的疲劳损伤超过一个预定值时,将警示信号发送到控制单元,从而能够调查在风力涡轮机或风力发电站中发生的情况,由此可相应地采取适当措施。

[0040] 为了验证该模型,现在根据图 2 描述与多个电压降测试相关的一个实际数据实例。

[0041] 该实例中既可以看到操作部分也可以看到诸如压降以及机器在所述压降之后恢复的重大事件。这些数据包括通过应变仪在低速轴 15 上获得的扭矩 T_r 。

[0042] 如图 2 的图表所示,估值器获得的曲线以很高的精度遵循真实值。

[0043] 由于高速轴 35(发电机 30)上的角加速 α_g 的计算观察到所估计的扭矩值上有一个恒定延迟。首先,计算出高速轴 35 上角速度 ω_g 的时间导数,所获得的信号中的高频噪声可被消除。应用一个滤波器提供更清晰但稍有延迟的信号。这对于本发明的目的(即获得最接近实际的数据以监控风力涡轮机动力系中的疲劳损伤)并不是问题。

[0044] 另一方面,在导致压降的第一个扭矩陡峭下降中,所估计的扭矩甚至比实际扭矩值更低。该效果是由于产生了机器恢复的时间间隔,因此在电力系统中有瞬变现象,这引入了发电功率中的突变。这些变化引入了计算中很难克服的失调,但该结果是一个较大的扭矩绝对值,因此保留用于疲劳损伤的计算。如图所示,在计算之后,扭矩振荡再次可靠地遵循实际值。

[0045] 本发明所述的方法可适用于各个风力涡轮机或者各个风力发电站中至少一个有代表性的风力涡轮机,由此可监控各个风力涡轮机或风力发电站中单位负荷的累积损伤。这是切实可行的,因为本发明所述方法利用了两种计算参数,即发电机的电扭矩(可由发电电力获得)和发电机的角速度 ω_g 。

[0046] 对于其他变量所记录的基本和常见的数据是对于每个时间间隔(例如 10 分钟)的最大值、最小值和平均值。但是,这些数据不足以表示风力涡轮机动力系所承受的疲劳损伤。因此,为了评估疲劳损伤,本发明所述方法利用了上述雨流计数算法过程,由此可获得不同范围内以及具有不同周期平均值的负荷周期值。这例如通过一个 64×64 数据矩阵来实现。

[0047] 这些数据可每星期传送一次,从而可在监控和记录数据系统上执行损伤累积。在例如记录数据系统的数据库内存储表格形式的数据。因此,风力涡轮机在其工作寿命期间已经过的所有矩阵的周期总和与和部件材料相应的 $SN/\epsilon N$ 曲线进行比较,由此确定剩余的工作寿命。从而构造了一个累积周期矩阵。

[0048] 其他实施例可利用上述的 Leitfaden SN 曲线拟合算法,或者实现定义曲线并引入矩阵格式的参数。

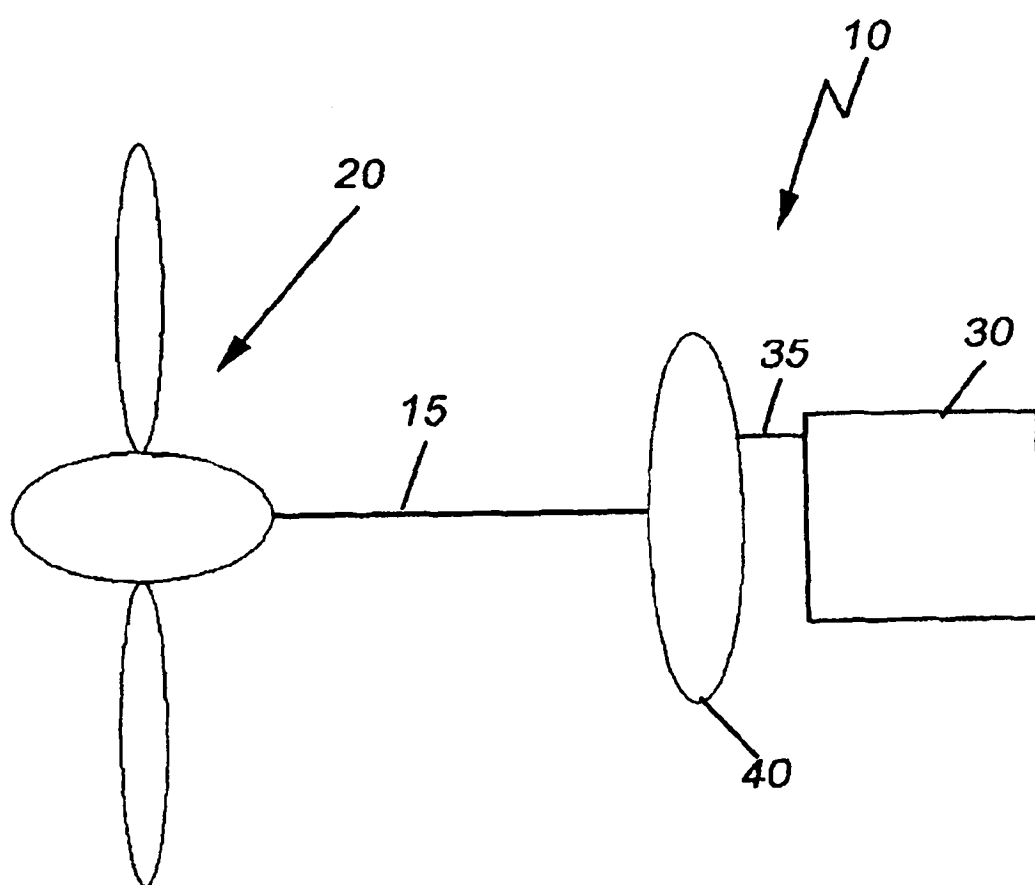


图 1

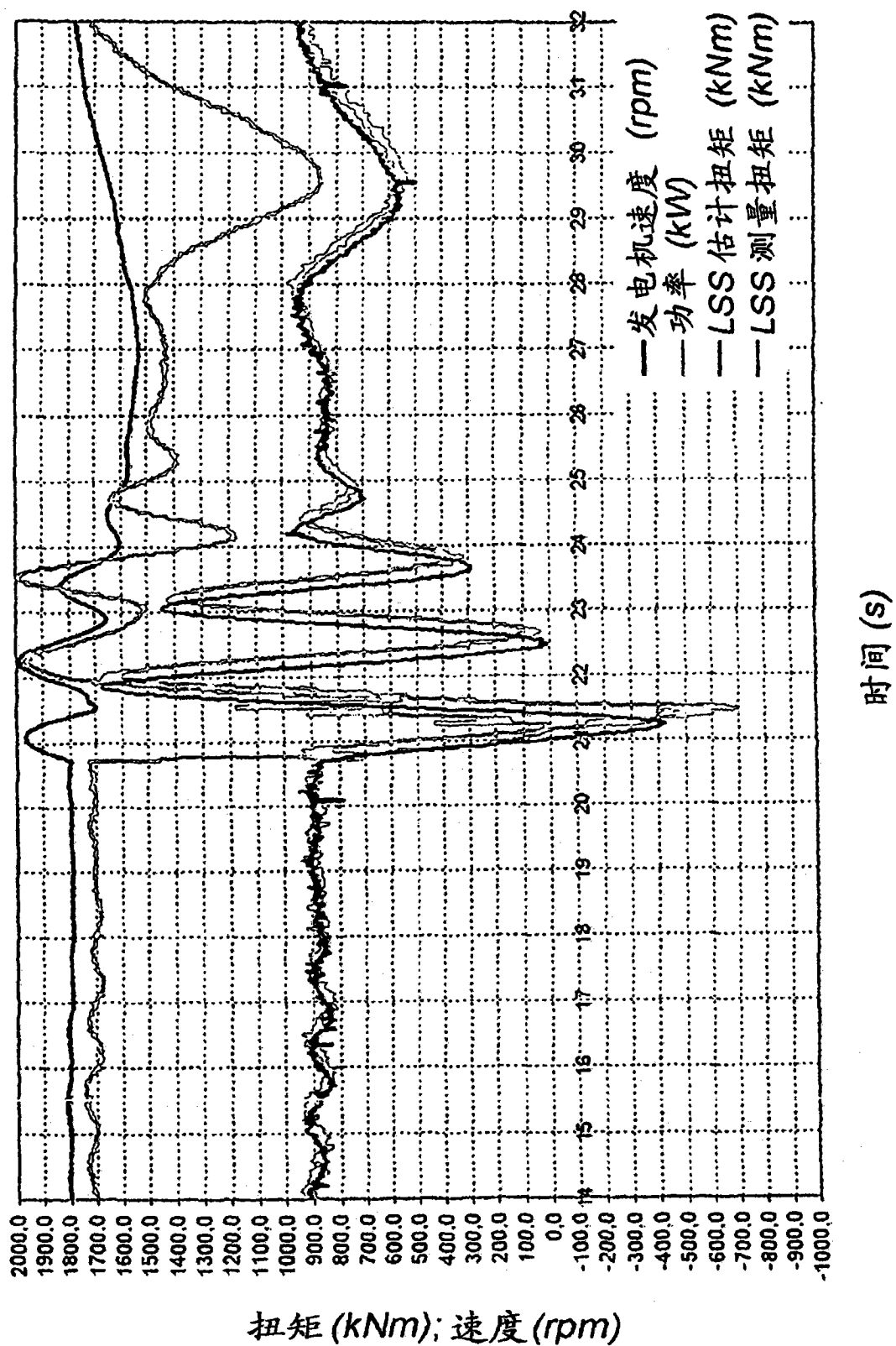


图 2