(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2021 年 10 月 14 日 (14.10.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/203612 A1

(51) 国际专利分类号:
F03D 7/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/112048

(22) 国际申请日: 2020 年 8 月 28 日 (28.08.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010273840.0 2020年4月9日 (09.04.2020) CN

(71) 申请人: 浙江运达风电股份有限公司(ZHEJIANG WINDEY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市余杭经济技术开发区（钱江经济开发区）顺风路558号, Zhejiang 311106 (CN)。

(72) 发明人: 应有 (YING, You); 中国浙江省杭州市余杭经济技术开发区（钱江经济开发区）顺风路558号, Zhejiang 311106 (CN)。 孙勇 (SUN, Yong); 中国浙江省杭州市余杭经济技术开发区（钱江经济开发区）顺风路558号, Zhejiang 311106 (CN)。 陈棋 (CHEN, Qi); 中国浙江省杭州市余杭经济技术开发区（钱江经济开发区）顺风路558号, Zhejiang 311106 (CN)。 史晓鸣 (SHI, Xiaoming); 中国浙江省杭州市余杭经济技术开发区（钱江经济开发区）顺风路558号, Zhejiang 311106 (CN)。 杨靖 (YANG, Jing); 中国浙江省杭州市余杭经济技术开发区（钱江经济开发区）顺风路558号, Zhejiang 311106 (CN)。 程晨光 (CHENG, Chenguang); 中国浙江省杭州

(54) **Title:** METHOD AND SYSTEM FOR CONTROLLING ROTATIONAL SPEED RESONANT FREQUENCY CROSSING OF FLEXIBLE TOWER WIND TURBINE

(54) **发明名称**: 一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法及系统

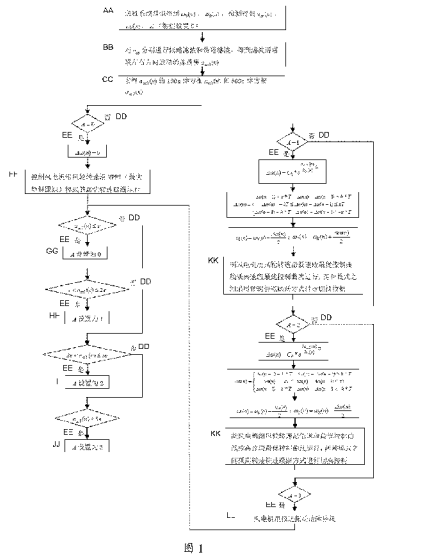


图 1

AA Obtain w0(n) and B0(n) by means of system identification and detect to obtain ass(n), wr(n) and A (initial value configured to 0)
BB Perform low-pass filtering and band-pass filtering on ass respectively so as to obtain left-right movement acceleration ass0(n) at the top of a tower after filtering
CC Obtain the 100s root mean square ass1(n) and the 630s root mean square ass2(n) of ass0(n)
DD No
EE Yes
FF Control the turbine rotational speed of the wind turbine to run along an optimal rotational speed curve in an MPPT (maximum power point tracking) mode
GG Configure A as 0
HH Configure A as 1
II Configure A as 2
JJ Configure A as 3
KK Control the turbine rotational speed of the wind turbine to run along the optimal control curve of a low-speed section or the optimal control curve of a high-speed section, and perform switching control between the two modes by adopting a fast rotational speed jump method
LL The wind turbine reports an over-vibration fault and stops working

(57) Abstract: A method and a system for controlling the rotational speed resonant frequency crossing of a flexible tower wind turbine. The method comprises: acquiring basic calculation data; processing acceleration a_{ss} of the left-right movement at the top of the tower; obtaining the root mean square of acceleration a_{ss0} of the left-right movement at the top of the tower after a filter of an nth control period; and carrying out different running states according to a running flag bit A. The system comprises a tower modal online identification system (1), tower vibration sensors (2), and a speed measuring encoder (3), which are respectively connected to a system (4) for controlling the rotational speed resonant frequency crossing of a flexible tower wind turbine, the tower vibration sensors are uniformly installed on the tower from top to bottom. In the method and the system, adaptive control of a turbine rotational speed jump deviation value, a vibration amplitude, and a damping coefficient is achieved and the load of a flexible tower is reduced, thus ensuring the safety of a turbine; meanwhile, the wind turbine is enabled to operate in a maximum power point tracking mode for the majority of the time, evidently reducing power generation loss, and effectively improving the power generation efficiency of the wind turbine.

(57) 摘要: 一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法及系统，方法包括：获取基础计算数据；对塔顶左右方向运动的加速度a_{ss}进行处理；求得第n个控制周期的滤波器后塔顶左右方向运动加速度a_{ss0}的均方根；根据运行标志位A进行不同运行状态。系统包括塔架模态在线辨识系统（1）、塔架振动传感器（2）和测速编码器（3）分别与柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统（4）相连，所述塔架振动传感器自上而下均匀安装在塔架上。该方法和系统实现风轮转速跳跃偏差值与振动幅值、阻尼系数的自适应控制，减小柔性塔架载荷，确保了机组安全，同时使风电机组大部分时间都运行在最大能量跟踪模式，明显减少发电量损失，有效提高风电机组发电效率。

WO 2021/203612 A1

[见续页]

市余杭经济技术开发区（钱江经济开发区）顺风路558号, Zhejiang 311106 (CN)。

(74) 代理人：北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW)；中国北京市朝阳区建国门外大街22号赛特广场7层, Beijing 100004 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法及系统

本申请要求于 2020 年 4 月 9 日提交中国专利局、申请号为202010273840.0、发明名称为“一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法及系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及风力发电领域，尤其涉及一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法及系统。

背景技术

有资料显示，我国风电发展迅猛，装机规模连续 8 年世界第一，已经成为我国第三大能源。近年，我国风电技术发展呈现叶片越来越长、机组容量越来越大、塔架越来越高的发展趋势。随着塔架越来越高，常规的在运行转速范围内，塔架一阶固有频率处于 1P 和 3P 之间的刚性塔架，已经不能满足高塔架设计要求了，越来越多高塔架采用柔性塔架设计，即在运行转速范围内，塔架一阶固有频率与 1P。

风电机组采用柔性塔架之后，在运行转速范围内，塔架一阶固有频率会与某个运行转速的 1P 存在共振转速点，发生共振会给风电机组造成较大载荷，甚至危及机组安全。目前常用的解决方法是通过风轮转速跳跃控制，让风轮转速快速穿越塔架共振转速点，但这种控制方法会损失较多发电量，造成较大经济损失，且得事先精准测量塔架一阶共振频率，实际应用也不便利。

中国专利文献 CN104405581B 公开了一种“风力发电机组转速控制方法及控制系统”。方法包括：获取风力发电机组的转速，并获取风力发电机组的扭矩或功率；如果转速大于或等于预设的风力发电机组的共振转频带对应转速区间的转速中间值，并且扭矩小于预设的第一扭矩值或者功率小于预设的功率参考值，则控制风力发电机组的转速跳跃到预设的风力发电机组的共振转频带对应的转速下限；如果转速小于转速中间值，并且扭矩大于或等于预设的第二扭矩值或者功率大于或等于功率参考值，则控制风

力发电机组的转速跳跃到预设的风力发电机组的共振转频带对应的转速上限。上述技术方案损失较多发电量，造成较大经济损失，且得事先精准测量塔架一阶共振频率，实际应用也不便利。

发明内容

本发明主要解决原有的柔性塔架风电机组转速控制方法会损失较多发电量的技术问题，提供一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法及系统，实现风轮转速跳跃偏差值与振动幅值、阻尼系数的自适应控制，减小柔性塔架载荷，确保了机组安全，同时使风电机组大部分时间都运行在最大能量跟踪模式，明显减少发电量损失，实现能源的有效利用。

本发明的上述技术问题主要是通过下述技术方案得以解决的:

一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，包括以下步骤:

（1）获取基础计算数据;

（2）对塔顶左右方向运动的加速度a_{ss}进行处理;

（3）求得第 n 个控制周期的滤波器后塔顶左右方向运动加速度a_{ss0}的均方根;

（4）根据运行标志位 A 进行不同运行状态。

作为优选，所述的步骤（1）的基础计算数据包括通过塔架模态在线辨识系统得到的第 n 个控制周期的塔架左右方向一阶模态频率$\omega_0(n)$和阻尼比$B_0(n)$，通过塔架振动传感器得到的第 n 个控制周期的塔顶左右方向运动加速度$a_{ss}(n)$，通过编码器测得的第 n 个控制周期的风轮转速$\omega_r(n)$，以及第 n 个控制周期的运行模式标志位A，标志位A初值设置为 0。

作为优选，所述的步骤（2）对塔顶左右方向运动的加速度a_{ss}分别进行低通滤波和带通滤波，得到滤波后塔顶左右方向运动的加速度$a_{ss0(n)}$。

作为优选，所述的步骤（3）求得第 n 个控制周期的滤波器后塔顶左右方向运动加速度a_{ss0}的 30s 均方根$a_{ss1}(n)$和 600s 均方根$a_{ss2}(n)$。

作为优选，所述的步骤（4）如果$A=0$，则第 n 个控制周期的风轮转速偏差$\Delta\omega(n)$为:

$$\Delta\omega(n)=0$$

控制风电机组风轮转速沿 MPPT（最大能量跟踪）模式的最优转速曲线运行。

作为优选，所述的步骤（4）如果$A=1$，则第 n 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值$\Delta\omega(n)$为：

$$\Delta\omega(n)=C_0*e^{\frac{a_{ss2}(n)}{B_0(n)}D}$$

式中，C_0风轮转速跳跃偏差初值，D为常数；

$$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1<-k*T\end{cases}$$

且

式中：$\Delta\omega(n-1)$为第 n-1 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值，k为风轮转速跳跃偏差变化限制值，T 为控制周期；

低速段风轮转速上限$\omega_1(n)$为：

$$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

高速段风轮转速下限$\omega_2(n)$为：

$$\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

控制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线（上限为$\omega_1(n)$，下限为风轮最小稳定运行转速$\omega_{\min}$）或高速段最优控制曲线（上限为风轮最大稳定运行转速$\omega_{\max}$，下限为$\omega_2(n)$）运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制。

作为优选，所述的步骤（4）如果$A=2$，则第 n 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值$\Delta\omega(n)$为：

$$\Delta\omega(n)=C_0*e^{\frac{3a_{ss2}(n)}{B_0(n)}D}$$

$$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1<-k*T\end{cases}$$

低速段风轮转速上限$\omega_1(n)$为：

$$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

高速段风轮转速下限$\omega_2(n)$为:

$$\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

控制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线（上限为$\omega_1(n)$，下限为风轮最小稳定运行转速$\omega_{\min}$）或高速段最优控制曲线（上限为风轮最大稳定运行转速$\omega_{\max}$，下限为$\omega_2(n)$）运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制。

作为优选，所述的步骤（4）如果$A=3$，则风电机组报过振动故障停机。

作为优选，所述的步骤（4）中:

如果$a_{ss1}(n)\le\varepsilon$，则A设置为 0;

如果$\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 2\varepsilon$，则$A$设置为 1;

如果$2\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 5\varepsilon$，则$A$设置为 2;

如果$a_{ss1}(n)>5\varepsilon$，则A设置为 3;

式中，ε为较小正数。

一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统，包括塔架模态在线辨识系统、塔架振动传感器和测速编码器，塔架模态在线辨识系统、塔架振动传感器和测速编码器分别与柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统相连，所述塔架振动传感器安装在塔架顶部。

本发明的有益效果是：实现风轮转速跳跃偏差值与振动幅值、阻尼系数的自适应控制，减小柔性塔架载荷，确保了机组安全，同时使风电机组大部分时间都运行在最大能量跟踪模式，明显减少发电量损失，有效提高风电机组发电效率。

附图说明

图 1 是本发明的一种控制流程图。

图 2 是本发明的一种电路原理连接结构框图。

图 3 是本发明的一种风轮转速-发电机转矩曲线。

图中 1 塔架模态在线辨识系统，2 塔架振动传感器，3 测速编码器，4 柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统。

具体实施方式

下面通过实施例，并结合附图，对本发明的技术方案作进一步具体的说明。

实施例：本实施例的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，如图 1 所示，包括以下步骤：

（1）通过塔架模态在线辨识系统得到的第 n 个控制周期的塔架左右方向一阶模态频率 $\omega_0(n)$ 和阻尼比 $B_0(n)$，通过塔架振动传感器得到的第 n 个控制周期的塔顶左右方向运动加速度 $a_{ss}(n)$，通过编码器测得的第 n 个控制周期的风轮转速 $\omega_r(n)$，以及第 n 个控制周期的运行模式标志位 A，标志位 A 初值设置为 0。

（2）对塔顶左右方向运动的加速度 a_{ss} 分别进行低通滤波和带通滤波，得到滤波后塔顶左右方向运动的加速度 $a_{ss0(n)}$。

（3）求得第 n 个控制周期的滤波器后塔顶左右方向运动加速度 a_{ss0} 的 30s 均方根 $a_{ss1}(n)$ 和 600s 均方根 $a_{ss2}(n)$。

（4）根据运行标志位 A 进行不同运行状态。

①如果 $A=0$，则第 n 个控制周期的风轮转速偏差 $\Delta\omega(n)$ 为：

$$\Delta\omega(n)=0$$

控制风电机组风轮转速沿 MPPT（最大能量跟踪）模式的最优转速曲线运行。

②如果 $A=1$，则第 n 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值 $\Delta\omega(n)$ 为：

$$\Delta\omega(n)=C_0*e^{\frac{a_{ss2}(n)}{B_0(n)}D}$$

式中，C_0 风轮转速跳跃偏差初值，D 为常数；

$$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1<-k*T\end{cases}$$

且

式中：$\Delta\omega(n-1)$为第 n-1 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值，k为风轮转速跳跃偏差变化限制值，T 为控制周期;

低速段风轮转速上限$\omega_1(n)$为:

$$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

高速段风轮转速下限$\omega_2(n)$为:

$$\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

如图 3 所示，控制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线（上限为$\omega_1(n)$，下限为风轮最小稳定运行转速$\omega_{\min}$）或高速段最优控制曲线（上限为风轮最大稳定运行转速$\omega_{\max}$，下限为$\omega_2(n)$）运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制。

③如果$A=2$，则第 n 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值$\Delta\omega(n)$为:

$$\Delta\omega(n)=C_0*e^{\frac{3a_{ss2}(n)}{B_0(n)}D}$$

$$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1<-k*T\end{cases}$$

低速段风轮转速上限$\omega_1(n)$为:

$$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

高速段风轮转速下限$\omega_2(n)$为:

$$\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

如图 3 所示，控制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线（上限为$\omega_1(n)$，下限为风轮最小稳定运行转速$\omega_{\min}$）或高速段最优控制曲线（上限为风轮最大稳定运行转速$\omega_{\max}$，下限为$\omega_2(n)$）运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制。

④如果$A=3$，则风电机组报过振动故障停机。

标志位A的取值根据以下规则确定:

如果$a_{ss1}(n)\le\varepsilon$，则A设置为 0;

如果$\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 2\varepsilon$，则$A$设置为 1;

如果$2\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 5\varepsilon$，则$A$设置为 2;

如果$a_{ss1}(n)>5\varepsilon$，则A设置为 3;

式中，ε为较小正数。

一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统，如图 2 所示，包括塔架模态在线辨识系统 1、塔架振动传感器 2 和测速编码器 3，塔架模态在线辨识系统 1、塔架振动传感器 2 和测速编码器 3 分别与柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统 4 相连。塔架振动传感器 2 安装在塔架顶部。

权 利 要 求

1.一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，包括以下步骤：

（1）获取基础计算数据；

（2）对塔顶左右方向运动的加速度a_{ss}进行处理；

（3）求得第 n 个控制周期的滤波器后塔顶左右方向运动加速度a_{ss0}的均方根；

（4）根据运行标志位 A 进行不同运行状态。

2.根据权利要求 1 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（1）的基础计算数据包括通过塔架模态在线辨识系统得到的第n个控制周期的塔架左右方向一阶模态频率$\omega_0(n)$和阻尼比$B_0(n)$，通过塔架振动传感器得到的第 n 个控制周期的塔顶左右方向运动加速度$a_{ss}(n)$，通过编码器测得的第 n 个控制周期的风轮转速$\omega_r(n)$，以及第 n 个控制周期的运行模式标志位A，标志位A初值设置为 0。

3.根据权利要求 1 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（2）对塔顶左右方向运动的加速度a_{ss}分别进行低通滤波和带通滤波，得到滤波后塔顶左右方向运动的加速度$a_{ss0}(n)$。

4.根据权利要求 1 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（3）求得第 n 个控制周期的滤波器后塔顶左右方向运动加速度a_{ss0}的 30s 均方根$a_{ss1}(n)$和 600s 均方根$a_{ss2}(n)$。

5.根据权利要求 1 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（4）如果$A=0$，则第 n 个控制周期的风轮转速偏差$\Delta\omega(n)$为：

$$\Delta\omega(n)=0$$

控制风电机组风轮转速沿 MPPT（最大能量跟踪）模式的最优转速曲线运行。

6.根据权利要求 1 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（4）如果$A=1$，则第 n 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值$\Delta\omega(n)$为：

$$\Delta\omega(n)=C_0*e^{\frac{a_{ss2}(n)}{B_0(n)}D}$$

式中，C_0风轮转速跳跃偏差初值，D为常数;

$$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1<-k*T\end{cases}$$

且

式中：$\Delta\omega(n-1)$为第 n-1 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值，k为风轮转速跳跃偏差变化限制值，T 为控制周期;

低速段风轮转速上限$\omega_1(n)$为:

$$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

高速段风轮转速下限$\omega_2(n)$为:

$$\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

控制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线（上限为$\omega_1(n)$，下限为风轮最小稳定运行转速$\omega_{\min}$）或高速段最优控制曲线（上限为风轮最大稳定运行转速$\omega_{\max}$，下限为$\omega_2(n)$）运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制。

7.根据权利要求 1 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（4）如果$A=2$，则第 n 个控制周期的风轮转速跳跃偏差值$\Delta\omega(n)$为:

$$\Delta\omega(n)=C_0*e^{\frac{3a_{ss2}(n)}{B_0(n)}D}$$

$$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1<-k*T\end{cases}$$

低速段风轮转速上限$\omega_1(n)$为:

$$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

高速段风轮转速下限$\omega_2(n)$为:

$$\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$$

控制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线（上限为$\omega_1(n)$，下限为风轮最小稳定运行转速$\omega_{\min}$）或高速段最优控制曲线（上限为风轮最大稳定运行转速$\omega_{\max}$，下限为$\omega_2(n)$）运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制。

8.根据权利要求 1 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（4）如果$A=3$，则风电机组报过振动故障停机。

9.根据权利要求 1 或 5 或 6 或 7 或 8 所述的一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制方法，其特征在于，所述步骤（4）中：

如果$a_{ss1}(n)\le\varepsilon$，则A设置为 0;

如果$\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 2\varepsilon$，则$A$设置为 1;

如果$2\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 5\varepsilon$，则$A$设置为 2;

如果$a_{ss1}(n)>5\varepsilon$，则A设置为 3;

式中，ε为较小正数。

10.一种柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统，其特征在于，包括塔架模态在线辨识系统、塔架振动传感器和测速编码器，塔架模态在线辨识系统、塔架振动传感器和测速编码器分别与柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统相连，所述塔架振动传感器安装在塔架顶部。

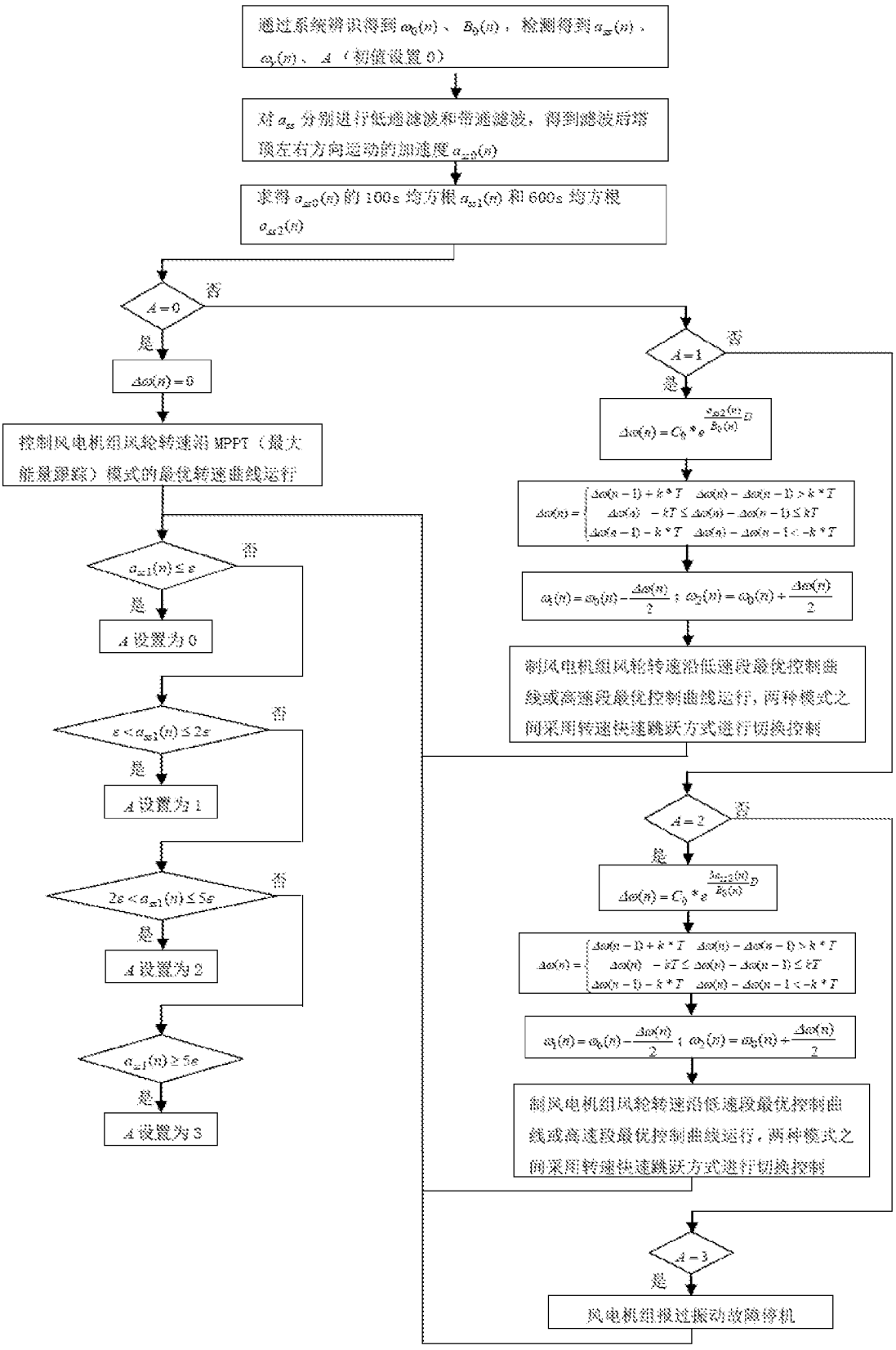

通过系统辨识得到 $\omega_0(n)$ 、 $B_0(n)$ ，检测得到 $a_{ss}(n)$ ，$\omega_1(n)$ 、 A （初值设置 0）
对 a_{ss} 分别进行低通滤波和带通滤波，得到滤波后塔顶左右方向运动的加速度 $a_{ss0}(n)$
求得 $a_{ss0}(n)$ 的 100s 均方根 $a_{ss1}(n)$ 和 600s 均方根 $a_{ss2}(n)$
$A=0$
否
是
$\Delta\omega(n)=0$
控制风电机组风轮转速沿 MPPT（最大能量跟踪）模式的最优转速曲线运行
$a_{ss1}(n)\le\varepsilon$
否
是
A 设置为 0
$\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 2\varepsilon$
否
是
A 设置为 1
$2\varepsilon<a_{ss1}(n)\le 5\varepsilon$
否
是
A 设置为 2
$a_{ss1}(n)\ge 5\varepsilon$
是
A 设置为 3
$A=1$
否
是
$\Delta\omega(n)=C_b*\varepsilon\frac{a_{ss2}(n)_D}{B_0(n)}$
$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)<-k*T\end{cases}$
$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$ ； $\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$
制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线或高速段最优控制曲线运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制
$A=2$
否
是
$\Delta\omega(n)=C_b*\varepsilon\frac{\lambda a_{ss2}(n)_D}{B_0(n)}$
$\Delta\omega(n)=\begin{cases}\Delta\omega(n-1)+k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)>k*T\\ \Delta\omega(n) & -kT\le\Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)\le kT\\ \Delta\omega(n-1)-k*T & \Delta\omega(n)-\Delta\omega(n-1)<-k*T\end{cases}$
$\omega_1(n)=\omega_0(n)-\frac{\Delta\omega(n)}{2}$ ； $\omega_2(n)=\omega_0(n)+\frac{\Delta\omega(n)}{2}$
制风电机组风轮转速沿低速段最优控制曲线或高速段最优控制曲线运行，两种模式之间采用转速快速跳跃方式进行切换控制
$A=3$
是
风电机组报过振动故障停机

图 1

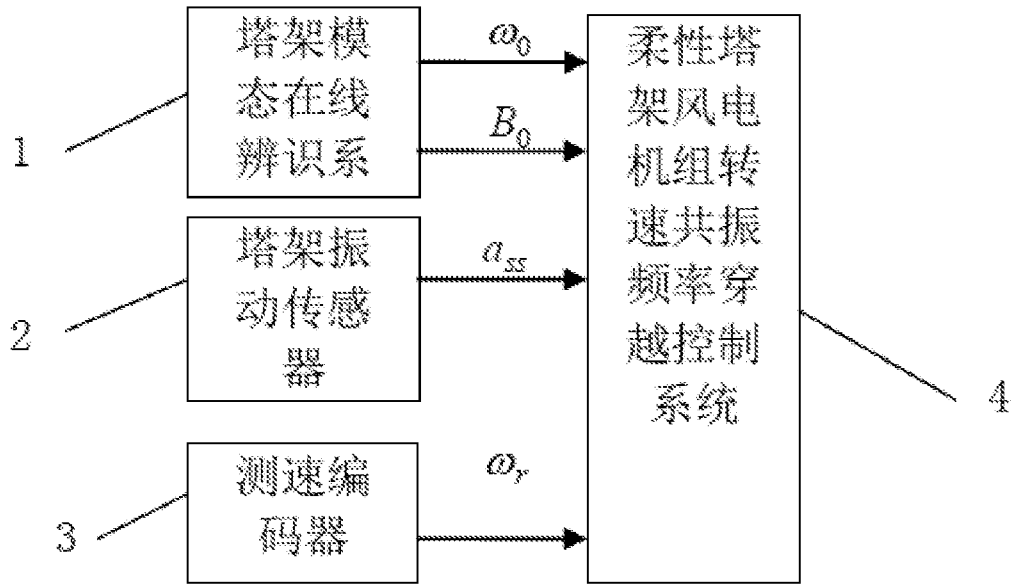

塔架模态在线辨识系
塔架振动传感器
测速编码器
柔性塔架风电机组转速共振频率穿越控制系统
ω_0
B_0
a_{ss}
ω_r
1
2
3
4

图 2

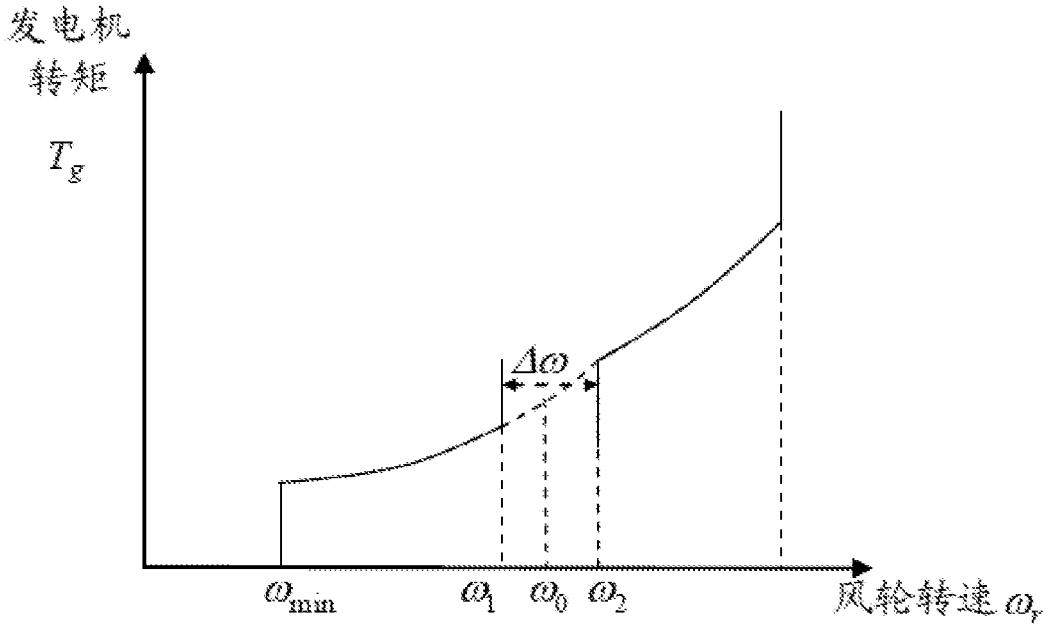

发电机转矩
T_g
$\Delta\omega$
ω_{min}
ω_1
ω_0
ω_2
风轮转速 ω_r

图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/112048

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03D 7/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F03D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; DWPI; SIPOABS: 共振, 穿越, 加速度, 均方根, vibrat+, resonance, speed,

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111502912 A (ZHEJIANG WINDEY CO., LTD.) 07 August 2020 (2020-08-07) claims 1-10	1-10
X	CN 105179184 A (GUANGDONG MINGYANG WIND POWER INDUSTRY GROUP CO., LTD.) 23 December 2015 (2015-12-23) description, specific embodiments, and figures 1-4	1, 10
A	CN 105179168 A (ZHEJIANG WINDEY CO., LTD.) 23 December 2015 (2015-12-23) entire document	1-10
A	CN 108590956 A (GUODIAN UNITED POWER TECHNOLOGY CO., LTD.) 28 September 2018 (2018-09-28) entire document	1-10
A	CN 103742359 A (CSR ZHUZHOU ELECTRIC LOCOMOTIVE RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 23 April 2014 (2014-04-23) entire document	1-10
A	WO 2019138105 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH) 18 July 2019 (2019-07-18) entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
01 December 2020	**11 January 2021**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2020/112048

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 111502912 A	07 August 2020	None	
CN 105179184 A	23 December 2015	CN 105179184 B	17 November 2017
CN 105179168 A	23 December 2015	CN 105179168 B	13 March 2018
CN 108590956 A	28 September 2018	None	
CN 103742359 A	23 April 2014	CN 103742359 B	01 June 2016
WO 2019138105 A1	18 July 2019	DE 102018100726 A1	18 July 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/112048

A. 主题的分类

F03D 7/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

F03D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNABS;CNTXT;DWPI;SIPOABS:共振，穿越，加速度，均方根，vibrat+,resonance,speed,

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111502912 A (浙江运达风电股份有限公司) 2020年 8月 7日 (2020-08-07) 权利要求1-10	1-10
X	CN 105179184 A (广东明阳风电产业集团有限公司) 2015年 12月 23日 (2015-12-23) 说明书具体实施方式、附图1-4	1、10
A	CN 105179168 A (浙江运达风电股份有限公司) 2015年 12月 23日 (2015-12-23) 全文	1-10
A	CN 108590956 A (国电联合动力技术有限公司) 2018年 9月 28日 (2018-09-28) 全文	1-10
A	CN 103742359 A (南车株洲电力机车研究所有限公司) 2014年 4月 23日 (2014-04-23) 全文	1-10
A	WO 2019138105 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH) 2019年 7月 18日 (2019-07-18) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2020年 12月 1日	2021年 1月 11日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 郭会勇 电话号码 86-（10）-62085490

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/112048

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 111502912 A	2020年 8月 7日	无	
CN 105179184 A	2015年 12月 23日	CN 105179184 B	2017年 11月 17日
CN 105179168 A	2015年 12月 23日	CN 105179168 B	2018年 3月 13日
CN 108590956 A	2018年 9月 28日	无	
CN 103742359 A	2014年 4月 23日	CN 103742359 B	2016年 6月 1日
WO 2019138105 A1	2019年 7月 18日	DE 102018100726 A1	2019年 7月 18日