

(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



(10) 国际公布号

WO 2022/016733 A1

(43) 国际公布日

2022 年 1 月 27 日 (27.01.2022)

(51) 国际专利分类号:

F03D 7/02 (2006.01) H02J 3/38 (2006.01)

F03D 17/00 (2016.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/125424

(22) 国际申请日: 2020 年 10 月 30 日 (30.10.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

202010710631.8 2020 年 7 月 22 日 (22.07.2020) CN

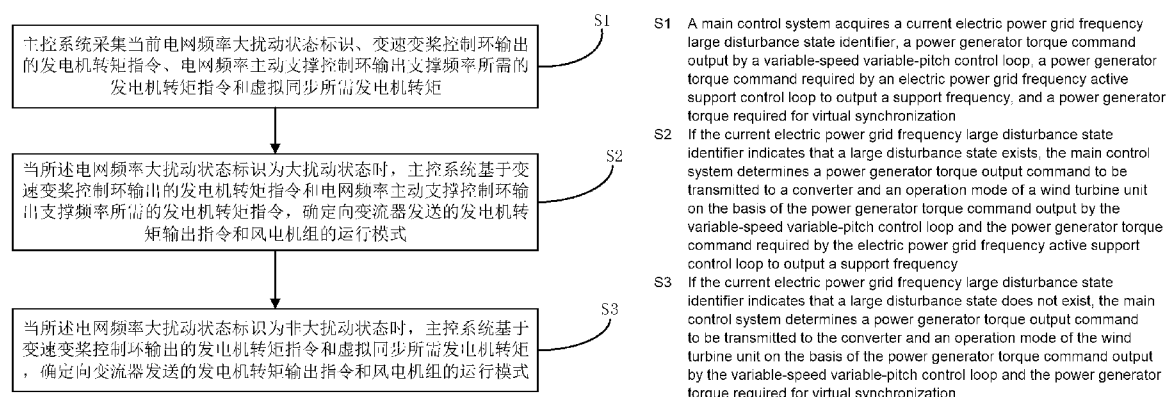
(71) 申请人: 中国电力科学研究院有限公司 (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

少林(LI, Shaolin); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。苗风麟(MIAO, Fenglin); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。张金平(ZHANG, Jinping); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。贺敬(HE, Jing); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。张梅(ZHANG, Mei); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。李春彦(LI, Chunyan); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。朱琼锋(ZHU, Qiongfeng); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。唐建芳(TANG, Jianfang); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。张松涛(ZHANG, Songtao); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

(72) 发明人: 秦世耀(QIN, Shiyao); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。李

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING VOLTAGE SOURCE-TYPE WIND TURBINE UNIT, MAIN CONTROL SYSTEM, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 对电压源型风电机组的控制方法和主控系统、电子设备、以及存储介质



(57) Abstract: A method for controlling a voltage source-type wind turbine unit, a main control system, an electronic device, and a storage medium. The method comprises: determining an operation mode of a wind turbine unit on the basis of an electric power grid frequency; if the wind turbine unit is operating in a current source operation mode, determining a power generator torque output command and an operation mode of the wind turbine unit on the basis of a power generator torque command output by a variable-speed variable-pitch control loop and a power generator torque command required by an electric power grid frequency active support control loop to output a support frequency; and if the wind turbine unit is operating in a voltage source operation mode, determining a power generator torque output command and an operation mode of the wind turbine unit on the basis of a power generator torque command output by the variable-speed variable-pitch control loop and a power generator torque required for virtual synchronization.

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司 (BEYOND ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花池东路39号西金大厦6层, Beijing 100036 (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))。

(57) 摘要: 一种对电压源型风电机组的控制方法和主控系统、电子设备和存储介质, 所述方法包括: 基于电网频率确定风电机组的运行模式; 当风电机组运行于电流源运行模式时, 基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令, 确定发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式; 当风电机组运行于电压源运行模式时, 基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩, 确定发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

对电压源型风电机组的控制方法和主控系统、电子设备、以及存储介质

本公开要求在2020年07月22日提交中国专利局、申请号为202010710631.8的中国专利申请的优先权，以上申请的全部内容通过引用结合在本公开中。

技术领域

本申请涉及新能源接入与控制，例如涉及一种对电压源型风电机组的控制方法和主控系统、电子设备、以及存储介质。

背景技术

近年来风电技术发展迅猛，风电的装机规模迅速增加。由于风电具有强随机波动性及采用电力电子方式并网（电流源型运行模式），被动适应电网变化，导致高比例风电系统安全稳定运行面临严峻挑战。相关技术已提供了风电机组电网主动支撑技术，实现对电压/频率主动支撑，较好解决了高比例风电系统安全稳定运行问题。

但随着风电渗透率进一步提高，相关技术中的电流源型风电机组，虽具备电网主动支撑能力，仍无法满足系统安全稳定运行要求。有学者提出开发电压源型风电机组，让风电机组实现虚拟同步机运行，以解决高比例风电系统电压/频率稳定问题，该方案可取得较好的优化效果。但是风电机组采用电压源型运行模式后，变流器控制输出的发电机转矩不完全响应风电机组主控系统发电机转矩指令，甚至当电网频率出现大扰动时，变流器控制输出的发电机转矩完全不响应主控系统发电机转矩指令，导致风电机组主控系统变速变桨控制功能异常，易触发停机，甚至危及机组运行安全。

发明内容

本申请提供了一种对电压源型风电机组的控制方法和主控系统、电子设备，以及存储介质，可以解决相关技术中所存在的上述不足。

本申请提供了一种对电压源型风电机组的控制方法，包括：

主控系统采集当前电网频率大扰动状态标识、变速变桨控制环输出的发电机转矩指令，电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩；

当所述电网频率大扰动状态标识为大扰动状态时，所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式；

当所述电网频率大扰动状态标识为非大扰动状态时，所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

基于同一发明构思，本申请还提供了一种对电压源型风电机组进行控制的主控系统，包括：

采集模块，被配置为采集当前电网频率大扰动状态标识、变速变桨控制环输出的发电机转矩指令、电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩；

频率支撑模块，被配置为当所述电网频率大扰动状态标识为大扰动状态时，基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式；

运行模式切换模块,被配置为当所述电网频率大扰动状态标识为非大扰动状态时,基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩,确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

基于同一发明构思,本申请还提供了一种电子设备,包括:

处理器;

存储器,设置为存储程序,

当所述程序被所述处理器执行,使得所述处理器实现如上所述的方法。

基于同一发明构思,本申请还提供了一种计算机可读存储介质,存储有计算机可执行指令,所述计算机可执行指令用于执行如上所述的方法。

附图说明

图1为申请中一种对电压源型风电机组的控制方法流程图;

图2为本申请中电压源型风电机组优化控制方法框图;

图3为本申请中电压源型风电机组优化控制方法的详细流程图;

图4为本申请中一种电子设备的结构示意图。

具体实施方式

下面结合说明书附图和实例对本申请的内容做进一步的说明。

实施例1:如图1所示,本申请提供一种对电压源型风电机组的控制方法,包括:

S1 主控系统采集当前电网频率大扰动状态标识、变速变桨控制环输出的发电机转矩指令、电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩;

S2 当所述电网频率大扰动状态标识为大扰动状态时，主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式；

S3 当所述电网频率大扰动状态标识为非大扰动状态时，主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

如图 2 所示，主控系统在对电压源型风电机组进行控制的过程中，主控系统向变流器发送发电机转矩输出指令 T_{gd} 、电压源运行模式标志位 C，变流器向主控系统反馈发电机输出转矩、虚拟同步所需发电机转矩 ΔT_F 及发电机转速；主控制系统通过频率采集，获得频率大扰动标志位 B。在频率大扰动工况下，风电机组为电流源运行模式，提供频率主动支撑功能；通过发电机最大输出扭矩 T_{max} （也即，发电机最大转矩）与 ΔT_F 之间关系确定风电机组是否进入电压源运行模式。

如图 3 所示，对本申请提供的一种对电压源型风电机组的控制方法进行描述，包括：

(1) 采集得到第 n 个控制周期的发电机转速 $\omega_g(n)$ ，虚拟同步所需发电机转矩 $\Delta T_F(n)$ ，频率大扰动标志位 B，电网频率 $f(n)$ ，发电机输出转矩 $T_g(n)$ ，变速变桨控制环输出最大能量跟踪模式下（MPPT）的发电机转矩指令 $T_{gnd}(n)$ ，频率主动支撑控制环输出支撑频率所需发电机转矩指令 $\Delta T_F(n)$ ；

(2) 如果频率大扰动标志位 B=1，则第 n 个控制周期的主控制系统发电机转矩输出指令 $T_{gd}(n)$ 为：

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{\max} & T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) > T_{\max} \\ T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) & 0 \leq T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) \leq T_{\max} \\ 0 & T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) < 0 \end{cases}$$

式中, $T_{\max}$ 为发电机最大转矩, 通常取额定转矩 1.2 倍;

电压源运行模式标志位 C 设置为 0;

如果 $49.9\text{Hz} \leq f(n) \leq 50.1\text{Hz}$, 频率大扰动标志位 B 设置为 0;

(3) 如果频率大扰动标志位 B=0, 虚拟同步所需发电机转矩 $\Delta T_{fr}(n) > T_{\max}$,

则第 n 个控制周期的主控系统发电机转矩输出指令 $T_{gd}(n)$ 为:

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{gd}(n-1) + b * T & T_{gd}(n-1) + b * T \leq T_{\max} \\ T_{\max} & T_{gd}(n-1) + b * T > T_{\max} \end{cases}$$

式中, $T_{gd}(n-1)$ 为第 n-1 个控制周期的主控系统发电机转矩输出指令, b 为发电机输出转矩变化斜率限制值, T 为控制周期, $T_{\max}$ 为发电机最大转矩;

电压源运行模式标志位 C 设置为 0;

(4) 如果频率大扰动标志位 B=0, 虚拟同步所需发电机转矩 $\Delta T_{fr}(n) < -T_{\max}$,

则第 n 个控制周期的主控系统发电机转矩输出指令 $T_{gd}(n)$ 为:

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{gd}(n-1) - b * T & T_{gd}(n-1) + b * T \geq 0 \\ 0 & T_{gd}(n-1) + b * T < 0 \end{cases};$$

电压源运行模式标志位 C 设置为 0;

(5) 如果频率大扰动标志位 B=0, 虚拟同步所需发电机转矩

$-T_{\max} \leq \Delta T_{fr}(n) \leq T_{\max}$, 且 $T_{gmd}(n) + \Delta T_{fr}(n) > T_{\max}$, 则第 n 个控制周期的主控系统发电机转矩输出指令 $T_{gd}(n)$ 为:

$$T_{gd}(n) = T_{\max} - \Delta T_{fr}(n);$$

电压源运行模式标志位 C 设置为 1;

(6) 如果频率大扰动标志位 $B=0$, 虚拟同步所需发电机转矩满足

$-T_{max} \leq \Delta T_{fr}(n) \leq T_{max}$, 且 $0 \leq T_{gnd}(n) + \Delta T_{fr}(n) \leq T_{max}$, 则第 n 个控制周期的主控系统发电机转矩输出指令 $T_{gd}(n)$ 为:

$$T_{gd}(n) = T_{gnd}(n);$$

电压源运行模式标志位 C 设置为 1;

(7) 如果频率大扰动标志位 $B=0$, 虚拟同步所需发电机转矩满足

$-T_{max} \leq \Delta T_{fr}(n) \leq T_{max}$, 且 $T_{gnd}(n) + \Delta T_{fr}(n) < 0$, 则第 n 个控制周期的主控系统发电机转矩输出指令 $T_{gd}(n)$ 为:

$$T_{gd}(n) = -\Delta T_{fr}(n);$$

电压源运行模式标志位 C 设置为 1;

(8) 如果频率大扰动标志位 $B=0$, 且 $f(n) > 51\text{Hz}$ 或 $f(n) < 49\text{Hz}$, 则频率大扰动标志位 B 设置为 1。

(9) 把第 n 个控制周期的发电机转矩输出指令 $T_{gd}(n)$, 电压源运行模式标志位 C 发送给变流器执行控制指令。

本申请提供的对电压源型风电机组的控制方法中, 提供了发电机转矩输出指令 T_{gd} 的给定, 取决于 T_{max} , ΔT_{fr} 及变速变桨控制环输出最大能量跟踪模式下 (MPPT) 的发电机转矩指令 T_{gnd} 。本申请还提供了在电流源运行模式 ($C=0$) 及电压源运行模式 ($C=1$) 下, T_{gd} 取值的三种情形。

实施例 2: 基于同一发明构思, 本申请实施例还提供了一种对电压源型风电机组进行控制的主控系统, 包括:

采集模块, 被配置为采集当前电网频率大扰动状态标识、变速变桨控制环输出的发电机转矩指令、电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩;

频率支撑模块,被配置为当所述电网频率大扰动状态标识为大扰动状态时,基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令,确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式;

运行模式切换模块,被配置为当所述电网频率大扰动状态标识为非大扰动状态时,基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩,确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

在一实施例中,所述频率支撑模块被配置为:

基于控制周期内的变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令与发电机最大输出扭矩(也即,发电机最大转矩)之间的关系,确定向变流器发送的第一发电机转矩输出指令,并将风电机组的运行模式设置为电流源运行模式。

在一实施例中,所述第一发电机转矩输出指令,如下式所示:

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{\max} & T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) > T_{\max} \\ T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) & 0 \leq T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) \leq T_{\max} \\ 0 & T_{gmd}(n) + \Delta T_f(n) < 0 \end{cases}$$

式中: $T_{gd}(n)$ 为第 n 个控制周期的发电机转矩输出指令, $T_{gmd}(n)$ 为第 n 个控制周期变速变桨控制环输出的发电机转矩指令, $\Delta T_f(n)$ 为第 n 个控制周期电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令, $T_{\max}$ 为发电机最大转矩。

在一实施例中,所述运行模式切换模块被配置为:

当虚拟同步所需发电机转矩>发电机最大转矩时,则向变流器发送的第二发电机转矩输出指令,并将风电机组的运行模式设置为电流源运行模式;

当虚拟同步所需发电机转矩<发电机最大转矩的相反数时, 则向变流器发送的第三发电机转矩输出指令, 并将风电机组的运行模式设置为电流源运行模式;

当发电机最大转矩的相反数 $\leq$ 虚拟同步所需发电机转矩 $\leq$ 发电机最大转矩, 且虚拟同步所需发电机转矩与变速变桨控制环输出的发电机转矩之和 $>$ 发电机最大转矩时, 则向变流器发送的第四发电机转矩输出指令, 并将风电机组的运行模式设置为电压源运行模式;

当发电机最大转矩的相反数 $\leq$ 虚拟同步所需发电机转矩 $\leq$ 发电机最大转矩, 且 $0 \leq$ 虚拟同步所需发电机转矩与变速变桨控制环输出的发电机转矩之和 $\leq$ 发电机最大转矩时, 则向变流器发送的第五发电机转矩输出指令, 并将风电机组的运行模式设置为电压源运行模式;

当发电机最大转矩的相反数 $\leq$ 虚拟同步所需发电机转矩 $\leq$ 发电机最大转矩, 且虚拟同步所需发电机转矩与变速变桨控制环输出的发电机转矩之和 <0 时, 则向变流器发送的第六发电机转矩输出指令, 并将风电机组的运行模式设置为电压源运行模式。

在一实施例中, 所述第二发电机转矩输出指令, 如下式所示:

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{gd}(n-1) + b * T & T_{gd}(n-1) + b * T \leq T_{\max} \\ T_{\max} & T_{gd}(n-1) + b * T > T_{\max} \end{cases}$$

式中, $T_{gd}(n)$ 为第 n 个控制周期的发电机转矩输出指令, $T_{gd}(n-1)$ 为第 $n-1$ 个控制周期的发电机转矩输出指令, b 为发电机输出转矩变化斜率限制值, T 为控制周期, $T_{\max}$ 为发电机最大转矩;

所述第三发电机转矩输出指令, 如下式所示:

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{gd}(n-1) - b * T & T_{gd}(n-1) + b * T \geq 0 \\ 0 & T_{gd}(n-1) + b * T < 0 \end{cases};$$

所述第四发电机转矩输出指令, 如下式所示:

$$T_{gd}(n) = T_{\max} - \Delta T_p(n);$$

所述第五发电机转矩输出指令，如下式所示：

$$T_{gd}(n) = T_{gmd}(n);$$

式中： $T_{gmd}(n)$ 为变速变桨控制环输出的发电机转矩指令；

所述第六发电机转矩输出指令，如下式所示：

$$T_{gd}(n) = -\Delta T_p(n)$$

式中： $\Delta T_p(n)$ 为虚拟同步所需发电机转矩。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（可以包括磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

图4是本申请提供的一种电子设备的硬件结构示意图,如图4所示,该电子设备包括:一个或多个处理器110和存储器120。图4中以一个处理器110为例。

所述电子设备还可以包括:输入装置130和输出装置140。

所述电子设备中的处理器110、存储器120、输入装置130和输出装置140可以通过总线或者其他方式连接,图4中以通过总线连接为例。

存储器120作为一种计算机可读存储介质,可设置为存储软件程序、计算机可执行程序以及模块。处理器110通过运行存储在存储器120中的软件程序、指令以及模块,从而执行多种功能应用以及数据处理,以实现上述实施例中的任意一种方法。

存储器120可以包括存储程序区和存储数据区,其中,存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需要的应用程序;存储数据区可存储根据电子设备的使用所创建的数据等。此外,存储器可以包括随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)等易失性存储器,还可以包括非易失性存储器,例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件或者其他非暂态固态存储器件。

存储器120可以是非暂态计算机存储介质或暂态计算机存储介质。该非暂态计算机存储介质,例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非易失性固态存储器件。在一些实施例中,存储器120可选包括相对于处理器110远程设置的存储器,这些远程存储器可以通过网络连接至电子设备。上述网络的实例可以包括互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

输入装置 130 可设置为接收输入的数字或字符信息，以及产生与电子设备的用户设置以及功能控制有关的键信号输入。输出装置 140 可包括显示屏等显示设备。

本实施例还提供一种计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行上述方法。

上述实施例方法中的全部或部分流程可以通过计算机程序来执行相关的硬件来完成的，该程序可存储于一个非暂态计算机可读存储介质中，该程序在运行时，可包括如上述方法的实施例的流程，其中，该非暂态计算机可读存储介质可以为磁碟、光盘、只读存储记忆体（Read-Only Memory，ROM）或 RAM 等。

本申请提供的技术方案，主控系统采集当前电网频率大扰动状态标识、变速变桨控制环输出的发电机转矩指令、电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩；当所述电网频率大扰动状态标识为大扰动状态时，主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式；当所述电网频率大扰动状态标识为非大扰动状态时，主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。本申请中当电网频率处于大扰动工况下时，主控系统采用电流源运行模式，保证风电机组正常稳定运行，同时提供频率主动支撑功能，提高电网频率稳定水平；当电网频率处于非大扰动工况下时，主控系统采用电压源模式，通过主控系统优化发电机转矩输出指令，避免电压源型风电机组出

现由于转矩超限饱和导致电压源控制模式失稳问题，增强了电压源型风电机组主控系统与变流器之间的配合。

权利要求书

1.一种对电压源型风电机组的控制方法,包括:

主控系统采集当前电网频率大扰动状态标识、变速变桨控制环输出的发电机转矩指令、电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩;

当所述电网频率大扰动状态标识为大扰动状态时,所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令,确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式;

当所述电网频率大扰动状态标识为非大扰动状态时,所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩,确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

2.如权利要求1所述的方法,其中,所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令,确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式,包括:

所述主控系统基于控制周期内的变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令与发电机最大转矩之间的关系,确定向变流器发送的第一发电机转矩输出指令,并将风电机组的运行模式设置为电流源运行模式。

3.如权利要求2所述的方法,其中,所述第一发电机转矩输出指令,如下式所示:

$$T_{gnd}(n) = \begin{cases} T_{\max} & T_{gnd}(n) + \Delta T_f(n) > T_{\max} \\ T_{gnd}(n) + \Delta T_f(n) & 0 \leq T_{gnd}(n) + \Delta T_f(n) \leq T_{\max} \\ 0 & T_{gnd}(n) + \Delta T_f(n) < 0 \end{cases}$$

式中： $T_{gd}(n)$ 为第 n 个控制周期的发电机转矩输出指令， $T_{gmd}(n)$ 为第 n 个控制周期变速变桨控制环输出的发电机转矩指令， $\Delta T_f(n)$ 为第 n 个控制周期电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令， T_{max} 为发电机最大转矩。

4.如权利要求 1 所述的方法，其中，所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式，包括：

所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩与发电机最大转矩之间的关系，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

5.如权利要求 4 所述的方法，其中，所述主控系统基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩与发电机最大转矩之间的关系，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式，包括：

当虚拟同步所需发电机转矩 $>$ 发电机最大转矩时，则所述主控系统向变流器发送的第二发电机转矩输出指令，并将风电机组的运行模式设置为电流源运行模式；

当虚拟同步所需发电机转矩 $<$ 发电机最大转矩的相反数时，则所述主控系统向变流器发送的第三发电机转矩输出指令，并将风电机组的运行模式设置为电流源运行模式；

当发电机最大转矩的相反数 $\leq$ 虚拟同步所需发电机转矩 $\leq$ 发电机最大转矩，且虚拟同步所需发电机转矩与变速变桨控制环输出的发电机转矩之和 $>$ 发电机最大转矩时，则所述主控系统向变流器发送的第四发电机转矩输出指令，并将风电机组的运行模式设置为电压源运行模式；

当发电机最大转矩的相反数 $\leq$ 虚拟同步所需发电机转矩 $\leq$ 发电机最大转矩,且 $0\leq$ 虚拟同步所需发电机转矩与变速变桨控制环输出的发电机转矩之和 $\leq$ 发电机最大转矩时,则所述主控系统向变流器发送的第五发电机转矩输出指令,并将风电机组的运行模式设置为电压源运行模式;

当发电机最大转矩的相反数 $\leq$ 虚拟同步所需发电机转矩 $\leq$ 发电机最大转矩,且虚拟同步所需发电机转矩与变速变桨控制环输出的发电机转矩之和 <0 时,则所述主控系统向变流器发送的第六发电机转矩输出指令,并将风电机组的运行模式设置为电压源运行模式。

6.如权利要求5所述的方法,其中,所述第二发电机转矩输出指令,如下式所示:

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{gd}(n-1) + b * T & T_{gd}(n-1) + b * T \leq T_{max} \\ T_{max} & T_{gd}(n-1) + b * T > T_{max} \end{cases}$$

式中, $T_{gd}(n)$ 为第 n 个控制周期的发电机转矩输出指令, $T_{gd}(n-1)$ 为第 $n-1$ 个控制周期的发电机转矩输出指令, b 为发电机输出转矩变化斜率限制值, T 为控制周期, T_{max} 为发电机最大转矩;

所述第三发电机转矩输出指令,如下式所示:

$$T_{gd}(n) = \begin{cases} T_{gd}(n-1) - b * T & T_{gd}(n-1) + b * T \geq 0 \\ 0 & T_{gd}(n-1) + b * T < 0 \end{cases};$$

所述第四发电机转矩输出指令,如下式所示:

$$T_{gd}(n) = T_{max} - \Delta T_p(n);$$

所述第五发电机转矩输出指令,如下式所示:

$$T_{gd}(n) = T_{gmd}(n);$$

式中: $T_{gmd}(n)$ 为变速变桨控制环输出的发电机转矩指令;

所述第六发电机转矩输出指令,如下式所示:

$$T_{gs}(n) = -\Delta T_g(n)$$

式中： $\Delta T_g(n)$ 为虚拟同步所需发电机转矩。

7.如权利要求1所述的方法，所述确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式之后，所述方法还包括：

所述主控系统基于采集的电网频率更新所述电网频率大扰动状态标识。

8.一种对电压源型风电机组进行控制的主控系统，包括：

采集模块，被配置为采集当前电网频率大扰动状态标识、变速变桨控制环输出的发电机转矩指令、电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩；

频率支撑模块，被配置为当所述电网频率大扰动状态标识为大扰动状态时，基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式；

运行模式切换模块，被配置为当所述电网频率大扰动状态标识为非大扰动状态时，基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

9.如权利要求8所述的主控系统，其中，所述频率支撑模块被配置为：

基于控制周期内的变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和电网频率主动支撑控制环输出支撑频率所需的发电机转矩指令与发电机最大转矩之间的关系，确定向变流器发送的第一发电机转矩输出指令，并将风电机组的运行模式设置为电流源运行模式。

10.如权利要求8所述的主控系统，其中，所述运行模式切换模块被配置为：

基于变速变桨控制环输出的发电机转矩指令和虚拟同步所需发电机转矩与发电机最大转矩之间的关系，确定向变流器发送的发电机转矩输出指令和风电机组的运行模式。

11.一种电子设备，包括：

处理器；

存储器，设置为存储程序，

当所述程序被所述处理器执行，使得所述处理器实现如权利要求 1-7 中任一所述的方法。

12.一种计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行如权利要求 1-7 任一所述的方法。

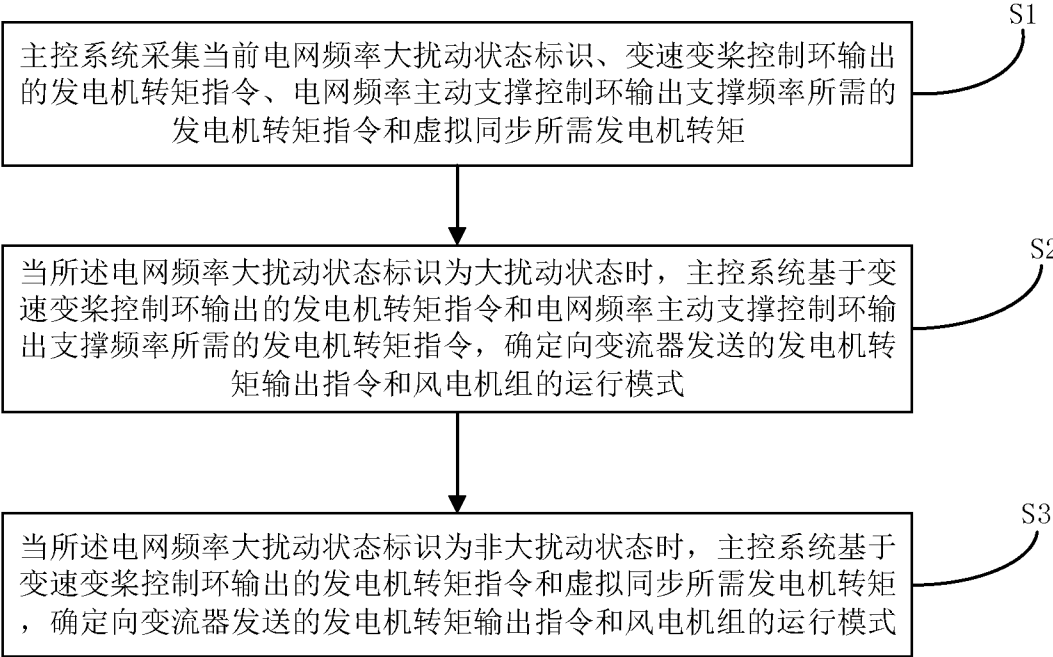


图 1

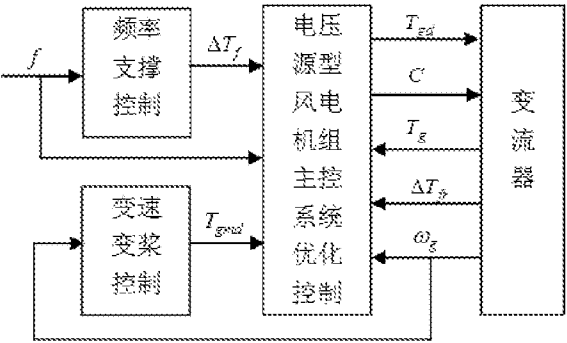


图 2

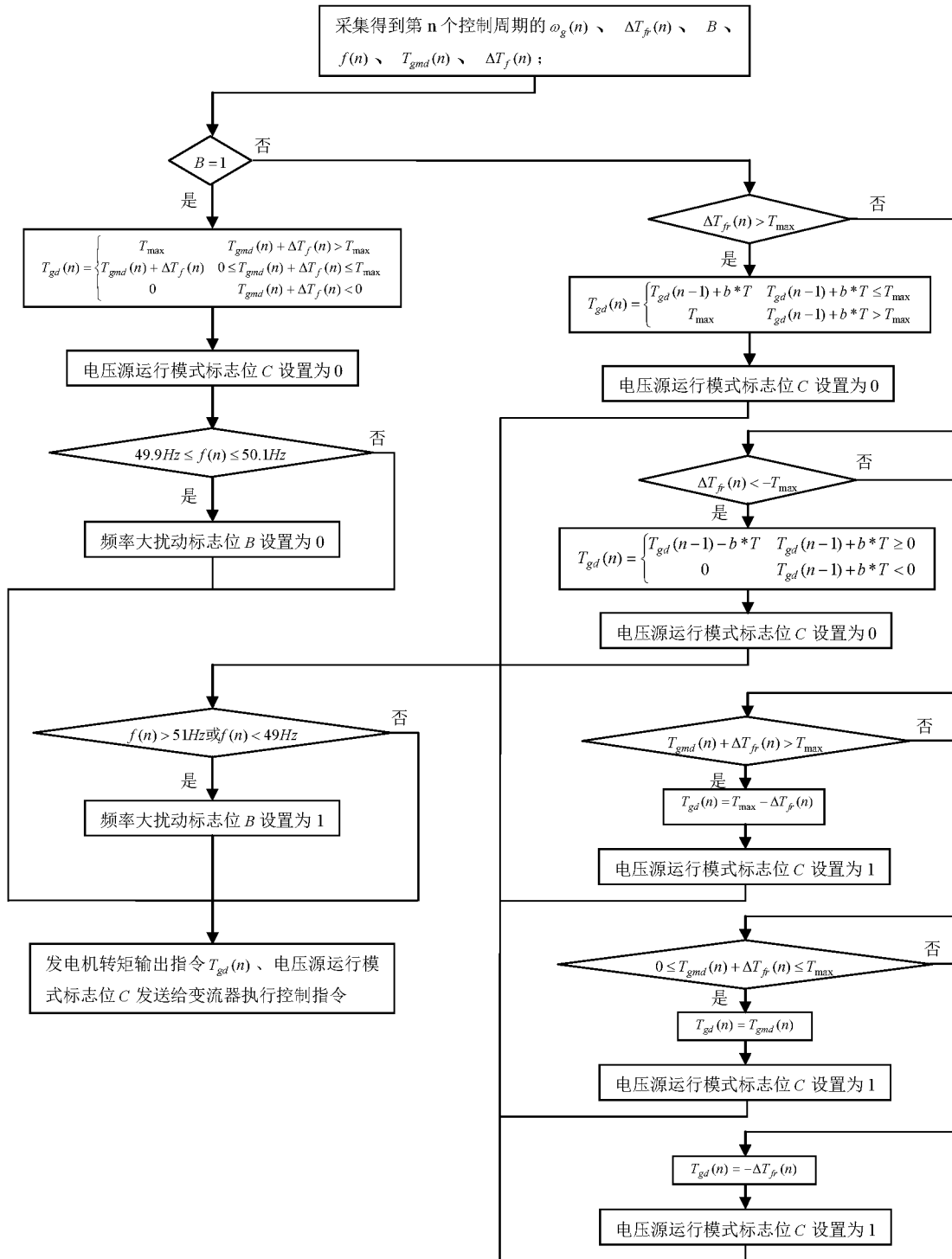


图 3

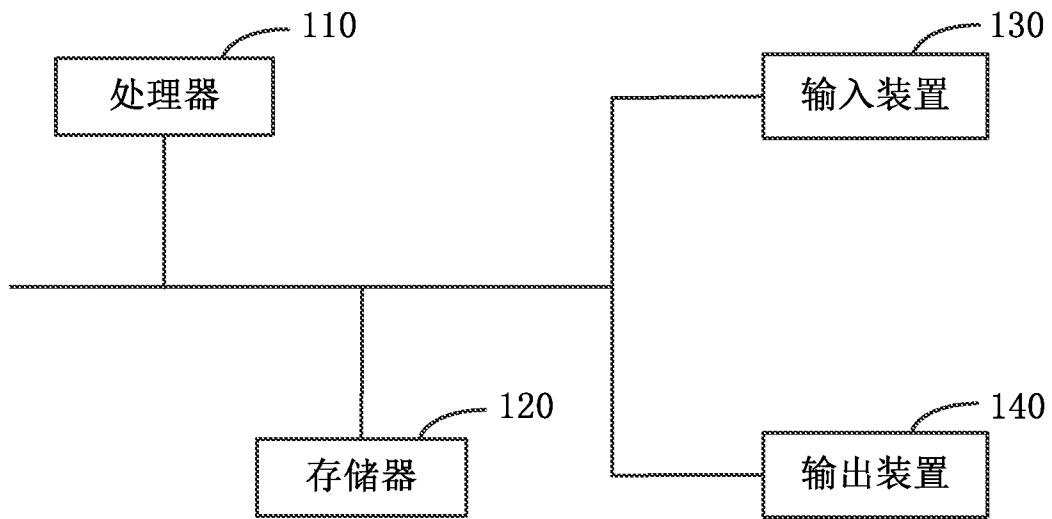


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/125424

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03D 7/02(2006.01)i; F03D 17/00(2016.01)i; H02J 3/38(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; H02J

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)

WPI, CNPAT, CNKI, EPODOC: 中国电力科学研究院, 风机, 风力发电机, 风电机, 电压源, 电流源, 扰动, 故障, 频率, 变桨, 虚拟同步, 支撑, 转矩, wind, turbine, voltage, frequency, disturbance, current, torque

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111594384 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) 28 August 2020 (2020-08-28) claims 1-10, description paragraphs [0027]-[0030] and figures 1-3	1-12
A	CN 111396247 A (ZHEJIANG WINDEY CO., LTD.) 10 July 2020 (2020-07-10) description, paragraphs [0006]-[0048], and figures 1-2	1-12
A	CN 111431208 A (ZHEJIANG WINDEY CO., LTD.) 17 July 2020 (2020-07-17) entire document	1-12
A	CN 108418241 A (ZHEJIANG WINDEY CO., LTD.) 17 August 2018 (2018-08-17) entire document	1-12
A	CN 109103937 A (ZHANGBEI YUNDA WIND ELECTRICITY CO. LTD. et al.) 28 December 2018 (2018-12-28) entire document	1-12
A	CN 110071531 A (NORTHEASTERN UNIVERSITY) 30 July 2019 (2019-07-30) entire document	1-12
A	EP 3547480 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 02 October 2019 (2019-10-02) entire document	1-12



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

30 March 2021

Date of mailing of the international search report

26 April 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

International application No.

PCT/CN2020/125424

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109861242 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 07 June 2019 (2019-06-07) entire document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/125424

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111594384	A	28 August 2020	CN	111594384	B	24 November 2020
CN	111396247	A	10 July 2020	None			
CN	111431208	A	17 July 2020	None			
CN	108418241	A	17 August 2018	CN	108418241	B	26 May 2020
CN	109103937	A	28 December 2018	CN	109103937	B	03 April 2020
CN	110071531	A	30 July 2019	None			
EP	3547480	A1	02 October 2019	US	10491146	B2	26 November 2019
				US	2019305703	A1	03 October 2019
CN	109861242	A	07 June 2019	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/125424

A. 主题的分类 F03D 7/02(2006.01)i; F03D 17/00(2016.01)i; H02J 3/38(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; H02J 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)) WPI, CNPAT, CNKI, EPDOC: 中国电力科学研究院, 风机, 风力发电机, 风电机, 电压源, 电流源, 扰动, 故障, 频率, 变桨, 虚拟同步, 支撑, 转矩, wind, turbine, voltage, frequency, disturbance, current, torque																													
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 111594384 A (中国电力科学研究院有限公司) 2020年 8月 28日 (2020 - 08 - 28) 权利要求1-10、说明书第[0027]-[0030]段及附图1-3</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111396247 A (浙江运达风电股份有限公司) 2020年 7月 10日 (2020 - 07 - 10) 说明书第[0006]-[0048]段, 附图1-2</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 111431208 A (浙江运达风电股份有限公司) 2020年 7月 17日 (2020 - 07 - 17) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108418241 A (浙江运达风电股份有限公司) 2018年 8月 17日 (2018 - 08 - 17) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109103937 A (浙江运达风电股份有限公司 等) 2018年 12月 28日 (2018 - 12 - 28) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110071531 A (东北大学) 2019年 7月 30日 (2019 - 07 - 30) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 3547480 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2019年 10月 2日 (2019 - 10 - 02) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109861242 A (中国电力科学研究院有限公司 等) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 111594384 A (中国电力科学研究院有限公司) 2020年 8月 28日 (2020 - 08 - 28) 权利要求1-10、说明书第[0027]-[0030]段及附图1-3	1-12	A	CN 111396247 A (浙江运达风电股份有限公司) 2020年 7月 10日 (2020 - 07 - 10) 说明书第[0006]-[0048]段, 附图1-2	1-12	A	CN 111431208 A (浙江运达风电股份有限公司) 2020年 7月 17日 (2020 - 07 - 17) 全文	1-12	A	CN 108418241 A (浙江运达风电股份有限公司) 2018年 8月 17日 (2018 - 08 - 17) 全文	1-12	A	CN 109103937 A (浙江运达风电股份有限公司 等) 2018年 12月 28日 (2018 - 12 - 28) 全文	1-12	A	CN 110071531 A (东北大学) 2019年 7月 30日 (2019 - 07 - 30) 全文	1-12	A	EP 3547480 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2019年 10月 2日 (2019 - 10 - 02) 全文	1-12	A	CN 109861242 A (中国电力科学研究院有限公司 等) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文	1-12
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																											
PX	CN 111594384 A (中国电力科学研究院有限公司) 2020年 8月 28日 (2020 - 08 - 28) 权利要求1-10、说明书第[0027]-[0030]段及附图1-3	1-12																											
A	CN 111396247 A (浙江运达风电股份有限公司) 2020年 7月 10日 (2020 - 07 - 10) 说明书第[0006]-[0048]段, 附图1-2	1-12																											
A	CN 111431208 A (浙江运达风电股份有限公司) 2020年 7月 17日 (2020 - 07 - 17) 全文	1-12																											
A	CN 108418241 A (浙江运达风电股份有限公司) 2018年 8月 17日 (2018 - 08 - 17) 全文	1-12																											
A	CN 109103937 A (浙江运达风电股份有限公司 等) 2018年 12月 28日 (2018 - 12 - 28) 全文	1-12																											
A	CN 110071531 A (东北大学) 2019年 7月 30日 (2019 - 07 - 30) 全文	1-12																											
A	EP 3547480 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2019年 10月 2日 (2019 - 10 - 02) 全文	1-12																											
A	CN 109861242 A (中国电力科学研究院有限公司 等) 2019年 6月 7日 (2019 - 06 - 07) 全文	1-12																											
☐ 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 2021年 3月 30日		国际检索报告邮寄日期 2021年 4月 26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 闫朝 电话号码 86-(10)-53961504																											

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/125424

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	111594384	A	2020年 8月 28日	CN 111594384 B	2020年 11月 24日
CN	111396247	A	2020年 7月 10日	无	
CN	111431208	A	2020年 7月 17日	无	
CN	108418241	A	2018年 8月 17日	CN 108418241 B	2020年 5月 26日
CN	109103937	A	2018年 12月 28日	CN 109103937 B	2020年 4月 3日
CN	110071531	A	2019年 7月 30日	无	
EP	3547480	A1	2019年 10月 2日	US 10491146 B2	2019年 11月 26日
				US 2019305703 A1	2019年 10月 3日
CN	109861242	A	2019年 6月 7日	无	