

(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
2019 年 8 月 8 日 (08.08.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/148771 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/24 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/095167

(22) 国际申请日: 2018 年 7 月 10 日 (10.07.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810098153.2 2018 年 1 月 31 日 (31.01.2018) CN

(71) 申请人: 北京金风科创风电设备有限公司 (BEIJING GOLDWIND SCIENCE & CREATION WINDPOWER EQUIPMENT CO., LTD.)
[CN/CN]; 中国北京市大兴区北京经济技术开发区康定街 19 号, Beijing 100176 (CN)。

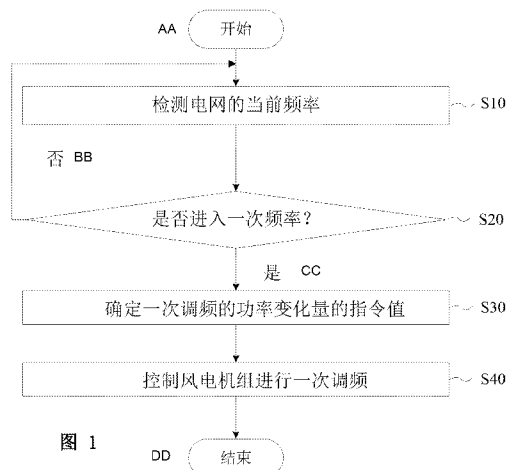
(72) 发明人: 余梦婷 (YU, Mengting); 中国北京市大兴区北京经济技术开发区博兴一路 8 号, Beijing 100176 (CN)。 韩梅 (HAN, Mei); 中国北京市大兴区北京经济技术开发区博兴一路 8 号, Beijing 100176 (CN)。

(74) 代理人: 北京铭硕知识产权代理有限公司 (MING & SURE INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM); 中国北京市海淀区温泉镇高里掌路 1 号院 3 号楼, Beijing 100095 (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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR PRIMARY FREQUENCY CONTROL OF WIND POWER GENERATOR

(54) 发明名称: 风电机组的一次调频方法和设备



S10 Detect current frequency of electric grid
S20 Operate at primary frequency?
S30 Determine power quantity variation command value for primary frequency control
S40 Control wind power generator to perform primary frequency control
AA Start
BB No
CC Yes
DD End

(57) Abstract: Provided is a method for primary frequency control of a wind power generator, comprising: detecting a current frequency of an electric grid; if the current frequency of the electric grid is less than a standard frequency of the electric grid, performing a first determination process to determine a power quantity variation command value for primary frequency control, wherein the first determination process comprises: determining, according to the current frequency, a power quantity variation reference value for primary frequency control; if it is determined that a wind power generator has a current active power headroom, comparing the reference value

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,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, 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))。

with a value of the current active power headroom to determine the power quantity variation command value for primary frequency control; and performing primary frequency control on the basis of the power quantity variation command value.

(57) 摘要: 本申请提供一种风电机组的一次调频方法, 所述一次调频方法包括: 检测电网的当前频率; 当电网的当前频率小于电网标准频率时, 通过第一确定处理来确定一次调频的功率变化量的指令值, 其中, 第一确定处理包括: 根据当前频率确定用于一次调频的功率变化量的参考值, 当确定风电机组当前存在有功功率余量时, 对比所述参考值与风电机组的当前有功功率余量值, 确定用于一次调频的功率变化量的指令值; 基于所述功率变化量的指令值进行一次调频。

风电机组的一次调频方法和设备

5 技术领域

本申请涉及风力发电系统的控制技术领域，更具体地讲，涉及一种风电机组的一次调频方法和设备。

背景技术

10 随着风电装机容量的不断提升，风电机组的运行特性对电力系统频率稳定性的影响也愈加明显。

由于机组经常处于限功率状态下运行，无法长时间处于最优发电状态，故需要一种能够在限功率状态下进行一次调频的控制技术。

15 申请内容

本申请提供一种风电机组的一次调频方法和设备，以增强风电机组的一次调频能力和系统的稳定性。

本申请的一方面提供一种风电机组的一次调频方法，所述一次调频方法包括：检测电网的当前频率；当电网的当前频率小于电网标准频率时，通过
20 第一确定处理来确定一次调频的功率变化量的指令值，其中，第一确定处理包括：根据当前频率确定用于一次调频的功率变化量的参考值，当确定风电机组当前存在有功功率余量时，对比所述参考值与风电机组的当前有功功率余量值，确定用于一次调频的功率变化量的指令值；基于所述功率变化量的指令值进行一次调频。

25 本申请的另一方面提供一种风电机组的一次调频设备，所述一次调频设备包括：检测单元，检测电网的当前频率；确定单元，当电网的当前频率小于电网标准频率时，通过第一确定处理来确定一次调频的功率变化量的指令值，其中，第一确定处理包括：根据当前频率确定用于一次调频的功率变化量的参考值，当确定风电机组当前存在有功功率余量时，对比所述参考值与
30 风电机组的当前有功功率余量值，确定用于一次调频的功率变化量的指令值；调频单元，基于所述功率变化量的指令值进行一次调频。

本申请的另一方面提供一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质存储有当被处理器执行时使得处理器执行如上所述的一次调频方法的计算机程序。

5 本申请的另一方面提供一种计算装置，该计算装置包括：处理器；存储器，用于存储当被处理器执行使得处理器执行如上所述的一次调频方法的计算机程序。

附图说明

10 通过下面结合附图进行的详细描述，本申请的特点和优点将会变得更加清楚，其中：

图 1 是示出根据本申请的实施例的风电机组的一次调频方法的流程图；

图 2 至图 3 是示出根据本申请的实施例的风电机组的一次调频方法进行一次调频的仿真效果图；

图 4 是示出根据本申请的实施例的风电机组的一次调频设备的框图。

15

具体实施处理

下面参照附图详细描述本申请的实施例。

图 1 是示出根据本申请的实施例的风电机组的一次调频方法的流程图。

20 在步骤 S10，检测电网的当前频率。这里，可实时地检测电网的当前频率。

在步骤 S20，确定风电机组是否需要进入一次调频。

本申请不对确定风电机组是否需要进入一次调频的判断方式进行限制，可采用各种方式来确定风电机组是否需要进入一次调频。

25 作为示例，可计算电网的当前频率与电网标准频率之间的频率偏差，并确定所述频率偏差是否超出频率死区，通过确定所述频率偏差是否超出频率死区来确定是否需要进行一次调频。当所述频率偏差没有超出频率死区时，不需要进行一次调频，返回执行步骤 S10，继续检测电网的当前频率。当所述频率偏差超出频率死区时，需要进行一次调频，执行步骤 S30。

30 所述电网标准频率是指电网标准的交流供电频率。不同的国家或地区的电网标准频率可能不同，例如中国的电网标准频率为 50HZ，美国的电网标准频率为 60HZ。所述频率死区是指电网频率与电网标准频率之间的频率偏差允

许的波动范围。

在步骤 S30，确定一次调频的功率变化量的指令值。在步骤 S40，基于所述一次调频的功率变化量的指令值控制风电机组进行一次调频。

5 在一些实施例中，一次调频的功率变化量的指令值是指，一次调频时，风电机组输出的有功功率给定值在风电机组的当前输出功率（即进入一次调频之前的输出功率）的基础上的变化量。

10 在现有技术中，一般将为平衡上述频率偏差所需要风电机组输出的功率的变化量（即一次调频的功率变化量的参考值，以下简称参考值）作为一次调频的功率变化量的指令值。在本申请中，当该参考值为正数时，即在一次调频时需要增加输出功率时，需结合有功功率余量值和该参考值来确定该指令值。

15 具体说来，在当前功率小于电网标准频率时，通过第一确定处理来确定一次调频的功率变化量的指令值。当电网的当前频率小于电网标准频率时，说明电网系统的负载增加，需要风电机组相应地增加输出功率以平衡发电量与电网系统的负载量。

作为示例，第一确定处理包括：根据当前频率确定参考值，当确定风电机组当前存在有功功率余量值时，对比风电机组的当前有功功率余量值和参考值，确定一次调频的功率变化量的指令值。根据当前频率用于确定上述的参考值，后文将详细介绍确定方法。

20 本领域技术人员可以理解的是，可通过各种方式来确定风电机组当前是否存在有功功率余量值。

25 作为示例，可通过检测风电机组的当前桨距角来确定风电机组当前是否存在有功功率余量值。例如，当风电机组的当前桨距角大于或等于启动变桨控制的桨距角的最小值时，确定风电机组当前存在有功功率余量值，当风电机组的当前桨距角小于启动变桨控制的桨距角的最小值时，确定风电机组当前不存在有功功率余量值。由于风电机组的三个叶片的桨距角基本相同，因此，可将任意一个叶片当前的桨距角作为风电机组的当前桨距角，或者将三个叶片当前的桨距角的平均值作为风电机组的当前桨距角。

30 当风电机组当前存在有功功率余量值时，确定所述当前有功功率余量值，将所述参考值和所述有功功率余量值中的较小值作为所述一次调频的功率变化量的指令值。

具体说来，当有功功率余量值小于参考值时，说明风电机组当前的有功功率余量值无法满足为平衡上述频率偏差的要求，则应首先保证风电机组稳定运行，其次再最大限度的提供调频功率。因此，在这种情况下，一次调频的功率变化量的指令值应该为有功功率余量值。

- 5 当有功功率余量值大于或等于参考值时，说明当前机组有功功率余量值可以满足为平衡上述频率偏差的要求，则风电机组可以按照参考值提供调频功率。因此，在这样这种情况下，一次调频的功率变化量的指令值应该为参考值。

本领域技术人员可以理解的是，可通过各种方式来确定风电机组的当前有功功率余量值。

作为示例，根据当前桨距角、比例积分（PI）控制器传递函数以及启动变桨控制的桨距角的最小值确定所述当前有功功率余量值。该 PI 控制器传递函数指示有功功率余量值与当前桨距角以及所述最小值之间的对应关系。

作为示例，PI 控制器传递函数可如式（1）所示。

15
$$\Delta P_{pre} = K_p(\beta - \beta_{min}) + K_i \int_0^t (\beta - \beta_{min}) dt \quad (1)$$

其中， ΔP_{pre} 表示有功功率余量值， K_p 表示比例系数， K_i 表示积分系数， β 表示当前桨距角， β_{min} 表示启动变桨控制的桨距角的最小值。

本申请不对确定当前有功功率余量值的方式进行限制，还可采用其他的方式来确定当前有功功率余量值。

- 20 以下将详细介绍根据当前频率确定上述的参考值的方法。

作为示例，可根据参考值与当前频率之间的映射关系来得到参考值。该映射关系可根据历史经验数据或实验数据获得，也可根据相应的电网导则来获得。本申请不对确定参考值的方式进行限制，还可采用其他的方式来确定上述的参考值。

- 25 在上述的第一确定处理中，当确定风电机组当前不存在有功功率余量值时，可采用各种方式来确定一次调频的功率变化量的指令值。例如，根据当前频率确定参考值，并将所述参考值作为一次调频的功率变化量的指令值。本申请不对确定上述指令值的方式进行限制，还可以采用其他的方式来确定上述的指令值。

- 30 在步骤 S30 中，当电网的当前频率大于电网标准频率时，说明电网系统的负载减小，需要风机相应地减少输出功率以平衡发电量与电网系统的负载

量，因此，并不需要有有功功率余量值来参与一次调频。在这种情况下，可采用各种不同于第一确定方式的第二确定方式来确定一次调频的功率变化量的指令值。例如，根据当前频率确定参考值，并将所述参考值作为一次调频的功率变化量的指令值。本申请不对第二确定方式进行限制，还可采用其他的方式来确定上述的指令值。

在确定一次调频功率的功率变化量的指令值后，根据所述一次调频的功率变化量的指令值控制风电机组进行一次调频。也就是说，控制风电机组进行一次调频以使风电机组的输出功率为当前输出功率（即进入一次调频之前的输出功率）与该指令值的和（以下简称为第一功率）。

在一些实施例中，可按照现有的调频方式控制风电机组进行一次调频以使风电机组的输出第一功率，但现有的调频方式存在调频速度慢或者需要牺牲风电场的发电效益的问题。

在一个优选的实施例中，根据本申请的实施例的风电机组的调频方法还可对具体的调频方式进行改进。

例如，当电网的当前频率小于电网标准频率且风电机组当前存在有功功率余量值时，或者，当电网的当前频率大于电网标准频率时，通过第一调频处理来进行一次调频，第一调频处理为：根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行转矩控制和变桨控制。

在一些实施例中，根据预定时间长度进行第一调频处理。预定时间长度表示第一调频处理的持续时长。针对第一调频处理，该预定时间长度可根据预测的有功功率余量的多少来设置。有功功率余量可根据对风资源进行预测来进行预测。

这里，转矩控制是指调整风电机组的转矩给定值，变桨控制是指控制风电机组的桨距角。在第一调频处理中，通过同时控制电机组的转子转矩以及控制风电机组的桨距角来使风电机组输出第一功率，这样，既可通过转矩控制加快频率变化响应速度，又能通过变桨控制补充转子旋转动能释放或吸收调频功率从而维持风电机组较长时间的稳定运行。

在一些实施例中，可先根据第一功率以及风电机组的转子转速来计算出第一转矩给定值，再将风电机组的转矩给定值调整为第一转矩给定值。

可通过以下等式（2）来计算所述第一转矩给定值：

$$T_f = \frac{P_{\text{reference}}}{\Omega} \quad (2)$$

其中, T_f 表示所述第一转矩给定值, $P_{\text{reference}}$ 表示所述第一功率, Ω 表示风电机组的转子的线速度。

5 本申请不对确定第一转矩给定值的方式进行限制, 还可采用其他方式来确定上述的第一转矩给定值。

为了减小设计的工作量, 可将现有的用于控制风电机组转矩的 PI 控制器的最大输出限值和最小输出限值都设置为所述第一转矩给定值, 来将风电机组的转矩给定值调整为第一转矩给定值。

10 为了减小设计的工作量, 可将现有的用于控制风电机组的桨距角的 PI 控制器的目标值设置为所述第一功率, 来控制风电机组的桨距角。

在一些实施例中当电网的当前频率小于电网标准频率且风电机组当前不存在有功功率余量值时, 通过不同于第一调频处理的第二调频处理来进行一次调频, 第二调频处理为: 根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行预定时间长度的转矩控制。

15 作为示例, 当风电机组当前不存在有功功率余量值时, 可根据预定时间长度进行第二调频处理。该预定时间长度表示第二调频处理的持续时长。针对第二调频处理, 该预定时间长度可由用户进行设定。

图 2 至图 3 是示出根据本申请的实施例的风电机组的一次调频方法进行一次调频的仿真效果图。

20 图 2 示出的是电网频率小于电网标准频率时, 分别采用现有的一次调频方法和本申请的一次调频方法调频后, 得到的功率变化曲线。如图 2 所示, 采用现有的一次调频方法时, 风电机组尽可能响应电网的一次调频指令, 但备用惯量耗尽后, 因为转子动能释放较多使得风电机组的功率快速下降, 此时会对电网频率产生了二次污染; 采用本申请的一次调频方法时, 虽然响应速度较优化前稍微变慢, 但是可以持续稳定地提供一定的功率提升。从提供总能量的角度上讲, 只要风速保持相对稳定, 采用本申请的一次调频方法时, 风电机组可以持续提供能量, 更为重要的是稳定的功率提升既可以避免对电网频率的二次污染, 同时减缓了现有的功率快速下降对风电机组造成的疲劳损伤。

30 图 3 示出的是电网频率大于电网标准频率时, 分别采用现有的一次调频

方法和本申请的一次调频方法调频后，得到的功率变化曲线。如图 3 所示，采用现有的一次调频方法时，由于只采用桨距角控制，响应较慢；而采用本申请的一次调频方法时，采用了桨距角控制和转矩控制相结合的方法，保证了风电机组响应的快速性和稳定性。

5 图 4 是示出根据本申请的实施例的风电机组的一次调频设备的框图。根据本申请的实施例的风电机组的一次调频设备包括检测单元 10、判断单元 20、确定单元 30 和调频单元 40。

检测单元 10 检测电网的当前频率。检测可以是可实时的，也可以是定时的。

10 判断单元 20 确定风电机组是否需要进入一次调频。

本申请不对确定风电机组是否需要进入一次调频的方式进行限制，可采用各种方式来确定风电机组是否需要进入一次调频。

作为示例，可计算电网的当前频率与电网标准频率之间的频率偏差，并确定所述频率偏差是否超出频率死区，通过确定所述频率偏差是否超出频率死区来确定是否需要进行一次调频。当所述频率偏差没有超出频率死区时，不需要进行一次调频，检测单元 10 继续检测电网的当前频率。当所述频率偏差超出频率死区时，需要进行一次调频。

所述电网标准频率是指电网标准的交流供电频率。不同的国家或地区的电网标准频率可能不同，例如中国的电网标准频率为 50HZ，美国的电网标准频率为 60HZ。所述频率死区是指电网频率与电网标准频率之间的频率偏差允许的波动范围。

确定单元 30 确定一次调频的功率变化量的指令值。调频单元 40 基于所述一次调频的功率变化量的指令值控制风电机组进行一次调频。

在一些实施例中，一次调频的功率变化量的指令值是指，一次调频时，风电机组输出的有功功率给定值在风电机组的当前输出功率（即进入一次调频之前的输出功率）的基础上的变化量。

在现有技术中，一般将为平衡上述频率偏差所需要风电机组输出的功率的变化量（即一次调频的功率变化量的参考值，以下简称参考值）作为一次调频的功率变化量的指令值。在本申请中，当该参考值为正数时，即在一次调频时需要增加输出功率时，需结合有功功率余量值和该参考值来确定该指令值。

具体说来，在当前功率小于电网标准频率时，通过第一确定处理来确定一次调频的功率变化量的指令值。当电网的当前频率小于电网标准频率时，说明电网系统的负载增加，需要风电机组相应地增加输出功率以平衡发电量与电网系统的负载量。

- 5 其中，第一确定处理包括：根据当前频率确定参考值，当确定风电机组当前存在有功功率余量值时，对比风电机组的当前有功功率余量值和参考值，确定一次调频的功率变化量的指令值。根据当前频率用于确定上述的参考值，后文将详细介绍确定方法。

10 本领域技术人员可以理解的是，可通过各种方式来确定风电机组当前是否存在有功功率余量值。

作为示例，可通过检测风电机组的当前桨距角来确定风电机组当前是否存在有功功率余量值。例如，当风电机组的当前桨距角大于或等于启动变桨控制的桨距角的最小值时，确定风电机组当前存在有功功率余量值，当风电机组的当前桨距角小于启动变桨控制的桨距角的最小值时，确定风电机组当前不存在有功功率余量值。由于风电机组的三个叶片的桨距角基本相同，因此，可将任意一个叶片当前的桨距角作为风电机组的当前桨距角，或者将三个叶片当前的桨距角的平均值作为风电机组的当前桨距角。

15 当风电机组当前存在有功功率余量值时，确定所述当前有功功率余量值，将所述参考值和所述有功功率余量值中的较小值作为所述一次调频的功率变化量的指令值。

20 具体说来，当有功功率余量值小于参考值时，说明风电机组当前的有功功率余量值无法满足平衡上述频率偏差需要风电机组输出的功率的变化量（即参考值），则应首先保证风电机组稳定运行，其次再最大限度的提供调频功率。因此，在这种情况下，一次调频的功率变化量的指令值应该为有功功率余量值。

25 当有功功率余量值大于或等于参考值时，说明当前机组有功功率余量值可以满足平衡上述频率偏差需要风电机组输出的功率的变化量（即参考值），则风电机组可以按照参考值提供调频功率。因此，在这样这种情况下，一次调频的功率变化量的指令值应该为参考值。

30 本领域技术人员可以理解的是，可通过各种方式来确定风电机组的当前有功功率余量值。

作为示例，根据当前桨距角、比例积分（PI）控制器传递函数以及启动变桨控制的桨距角的最小值确定所述当前有功功率余量值。该 PI 控制器传递函数指示有功功率余量值与当前桨距角以及所述最小值之间的对应关系。

作为示例，PI 控制器传递函数可如上式（1）所示。

- 5 本申请不对确定当前有功功率余量值的方式进行限制，还可采用其他的方式来确定当前有功功率余量值。

以下将详细介绍根据当前频率确定上述的参考值的方法。

- 作为示例，可根据参考值与当前频率之间的映射关系来得到参考值。该映射关系可根据历史经验数据或实验数据获得，也可根据相应的电网导则来获得。本申请不对确定参考值的方式进行限制，还可采用其他的方式来确定上述的参考值。
- 10

- 在上述的第一确定处理中，当确定风电机组当前不存在有功功率余量值时，可采用各种方式来确定一次调频的功率变化量的指令值。例如，根据当前频率确定参考值，并将所述参考值作为一次调频的功率变化量的指令值。
- 15 本申请不对确定上述指令值的方式进行限制，还可以采用其他的方式来确定上述的指令值。

- 当电网的当前频率大于电网标准频率时，说明电网系统的负载减小，需要风机相应地减少输出功率以平衡发电量与电网系统的负载量，因此，并不需要有功功率余量值来参与一次调频。在这种情况下，可采用各种不同于第一确定方式的第二确定方式来确定一次调频的功率变化量的指令值。例如，根据当前频率确定参考值，并将所述参考值作为一次调频的功率变化量的指令值。本申请不对第二确定方式进行限制，还可采用其他的方式来确定上述的指令值。
- 20

- 在确定一次调频功率的功率变化量的指令值后，根据所述一次调频的功率变化量的指令值控制风电机组进行一次调频。也就是说，控制风电机组进行一次调频以使风电机组的输出功率为当前输出功率（即进入一次调频之前的输出功率）与该指令值的和（以下简称为第一功率）。
- 25

- 在一些实施例中，可按照现有的调频方式控制风电机组进行一次调频以使风电机组的输出第一功率。但现有的调频方式存在调频速度慢或者需要牺牲风电场的发电效益的问题。
- 30

在一个优选的实施例中，根据本申请的实施例的风电机组的调频方法还

可对具体的调频方式进行改进。

例如，当电网的当前频率小于电网标准频率且风电机组当前存在有功功率余量值时，或者，当电网的当前频率大于电网标准频率时，通过第一调频处理来进行一次调频，第一调频处理为：根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行转矩控制和变桨控制。

在一个优选的实施例中，根据预定时间长度进行第一调频处理。预定时间长度表示第一调频处理的持续时长。针对第一调频处理，该预定时间长度可根据预测的有功功率余量的多少来设置。

这里，转矩控制是指调整风电机组的转矩给定值，变桨控制是指控制风电机组的桨距角。也就是说，在第一调频处理中，通过同时控制电机组的转子转矩以及控制风电机组的桨距角来使风电机组输出第一功率，这样，既可通过转矩控制加快频率变化响应速度，又能通过变桨控制补充转子旋转动能释放或吸收调频功率从而维持风电机组较长时间的稳定运行。

在一些实施例中，可先根据第一功率以及风电机组的转子转速来计算出第一转矩给定值，再将风电机组的转矩给定值调整为第一转矩给定值。

可通过上述的等式（2）来计算所述第一转矩给定值。

本申请不对确定第一转矩给定值的方式进行限制，还可采用其他方式来确定上述的第一转矩给定值。

为了减小设计的工作量，可将现有的用于控制风电机组转矩的 PI 控制器的最大输出限值和最小输出限值都设置为所述第一转矩给定值，来将风电机组的转矩给定值调整为第一转矩给定值。

为了减小设计的工作量，可将现有的用于控制风电机组的桨距角的 PI 控制器的目标值设置为所述第一功率，来控制风电机组的桨距角。

再如，当电网的当前频率小于电网标准频率且风电机组当前不存在有功功率余量值时，通过不同于第一调频处理的第二调频处理来进行一次调频，第二调频处理为：根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行预定时间长度的转矩控制。这里的转矩控制与上述的转矩控制类似，在此不再赘述。

在一些实施例中，当风电机组当前不存在有功功率余量值时，可根据预定时间长度进行第二调频处理。该预定时间长度表示第二调频处理的持续时长。针对第二调频处理，该预定时间长度可由用户进行设定。

根据本申请的实施例的风电机组的一次调频方法，在电网的当前频率小于电网标准频率的情况下，综合考虑风电机组的有功功率余量值和当前频率来确定一次调频的功率变化量的指令值，在确保风电机组稳定运行前提下使有功功率余量值最大限度地参与系统的一次调频过程，从而增强机组调频能力和系统稳定性，同时增加风电场电网辅助性收益。

此外，根据本申请的实施例的风电机组的一次调频方法，结合转矩控制和变桨控制进行一次调频，即能利用转矩控制加快机组对电网频率变化的响应，同时还能通过变桨控制补充转矩控制中旋转动能释放或吸收的能力，避免机组转速快速变化，从而在一次调频期间确保了机组稳定运行。

根据本申请的实施例还提供一种计算机可读存储介质。该计算机可读存储介质存储有当被处理器执行时使得处理器执行如上所述的一次调频方法的计算机程序。

根据本申请的实施例还提供一种计算装置。该计算装置包括处理器和存储器。存储器用于存储程序指令。所述程序指令被处理器执行使得处理器执行如上所述的一次调频方法的计算机程序。

此外，根据本申请的实施例的一次调频设备中的各个程序模块可完全由硬件来实现，例如现场可编程门阵列或专用集成电路；还可以由硬件和软件相结合的处理来实现；也可以完全通过计算机程序来以软件处理实现。

尽管已经参照其示例性实施例具体显示和描述了本申请，但是本领域的技术人员应该理解，在不脱离权利要求所限定的本申请的精神和范围的情况下，可以对其进行形式和细节上的各种改变。

权 利 要 求 书

1、一种风电机组的一次调频方法，其特征在于，所述一次调频方法包括：
检测电网的当前频率；

5 当电网的当前频率小于电网标准频率时，通过第一确定处理来确定一次调频的功率变化量的指令值，

其中，第一确定处理包括：根据当前频率确定用于一次调频的功率变化量的参考值，当确定风电机组当前存在有功功率余量时，对比所述参考值与风电机组的当前有功功率余量值，确定用于一次调频的功率变化量的指令值；

10 基于所述功率变化量的指令值进行一次调频。

2、根据权利要求1所述的一次调频方法，其特征在于，对比所述参考值与风电机组的当前有功功率余量值，确定用于一次调频的功率变化量的指令值包括：将所述参考值和所述有功功率余量值中的较小值作为所述一次调频的功率变化量的指令值。

15 3、根据权利要求1所述的一次调频方法，其特征在于，根据当前桨距角、比例积分控制器传递函数以及启动变桨控制的桨距角的最小值确定所述当前有功功率余量值，

其中，所述比例积分控制器传递函数指示有功功率余量值与当前桨距角以及所述最小值之间的对应关系。

20 4、根据权利要求1所述的一次调频方法，其特征在于，第一确定处理还包括：当确定风电机组当前不存在有功功率余量时，根据当前频率确定所述参考值，并将所述参考值作为一次调频的功率变化量的指令值。

25 5、根据权利要求1至4任一所述的一次调频方法，其特征在于，根据当前频率确定所述参考值的步骤包括：根据所述参考值与当前频率之间的映射关系来得到所述参考值。

6、根据权利要求1至4任一所述的一次调频方法，其特征在于，当风电机组的当前桨距角大于或等于启动变桨控制的桨距角的最小值时，确定风电机组当前存在有功功率余量值。

30 7、根据权利要求1所述的一次调频方法，其特征在于，基于所述功率变化量的指令值进行一次调频包括：当电网的当前频率小于标准频率且风电机组当前存在有功功率余量时，或者，当电网的当前频率大于标准频率时，通

过第一调频处理来进行一次调频，

其中，第一调频处理为：根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行转矩控制和变桨控制。

8、根据权利要求 7 所述的一次调频方法，其特征在于，基于所述功率变化量的指令值进行一次调频包括：当电网的当前频率小于标准频率且风电机组当前不存在有功功率余量值时，通过第二调频处理来进行一次调频，

其中，第二调频处理为：根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行转矩控制。

9、根据权利要求 8 所述的一次调频方法，其特征在于，根据预定时间长度进行所述第一调频处理或第二调频处理。

10、一种风电机组的一次调频设备，其特征在于，所述一次调频设备包括：

检测单元，检测电网的当前频率；

确定单元，当电网的当前频率小于电网标准频率时，通过第一确定处理来确定一次调频的功率变化量的指令值，

其中，第一确定处理包括：根据当前频率确定用于一次调频的功率变化量的参考值，当确定风电机组当前存在有功功率余量时，对比所述参考值与风电机组的当前有功功率余量值，确定用于一次调频的功率变化量的指令值；

调频单元，基于所述功率变化量的指令值进行一次调频。

11、根据权利要求 10 所述的一次调频设备，其特征在于，对比所述参考值与风电机组的当前有功功率余量值，确定用于一次调频的功率变化量的指令值包括：将所述参考值和所述有功功率余量值中的较小值作为所述一次调频的功率变化量的指令值。

12、根据权利要求 10 所述的一次调频设备，其特征在于，确定单元根据当前桨距角、比例积分控制器传递函数以及启动变桨控制的桨距角的最小值确定所述当前有功功率余量值，

其中，所述比例积分控制器传递函数指示有功功率余量值与当前桨距角以及所述最小值之间的对应关系。

13、根据权利要求 10 所述的一次调频设备，其特征在于，第一确定处理还包括：当确定风电机组当前不存在有功功率余量时，根据当前频率确定所述参考值，并将所述参考值作为一次调频的功率变化量的指令值。

14、根据权利要求 10 至 13 任一所述的一次调频设备，其特征在于，确定单元根据所述参考值与当前频率之间的映射关系来得到所述参考值。

15、根据权利要求 10 至 13 任一所述的一次调频设备，其特征在于，确定单元当风电机组的当前桨距角大于或等于启动变桨控制的桨距角的最小值时，确定风电机组当前存在有功功率余量值。

16、根据权利要求 10 所述的一次调频设备，其特征在于，基于所述功率变化量的指令值进行一次调频包括：当电网的当前频率小于标准频率且风电机组当前存在有功功率余量时，或者，当电网的当前频率大于标准频率时，通过第一调频处理来进行一次调频，

10 其中，第一调频处理为：根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行转矩控制和变桨控制。

17、根据权利要求 16 所述的一次调频设备，其特征在于，基于所述功率变化量的指令值进行一次调频包括：当电网的当前频率小于标准频率且风电机组当前不存在有功功率余量值时，通过第二调频处理来进行一次调频，

15 其中，第二调频处理为：根据所述一次调频的功率变化量的指令值对风电机组进行转矩控制。

18、根据权利要求 17 所述的一次调频设备，其特征在于，调频单元根据预定时间长度进行所述第一调频处理或第二调频处理。

19、一种计算机可读存储介质，存储有当被处理器执行时使得处理器执行如权利要求 1 至 9 中任意一项所述的一次调频方法的计算机程序。

20、一种计算装置，包括：

处理器；

存储器，用于存储当被处理器执行使得处理器执行如权利要求 1 至 9 中任意一项所述的一次调频方法的计算机程序。

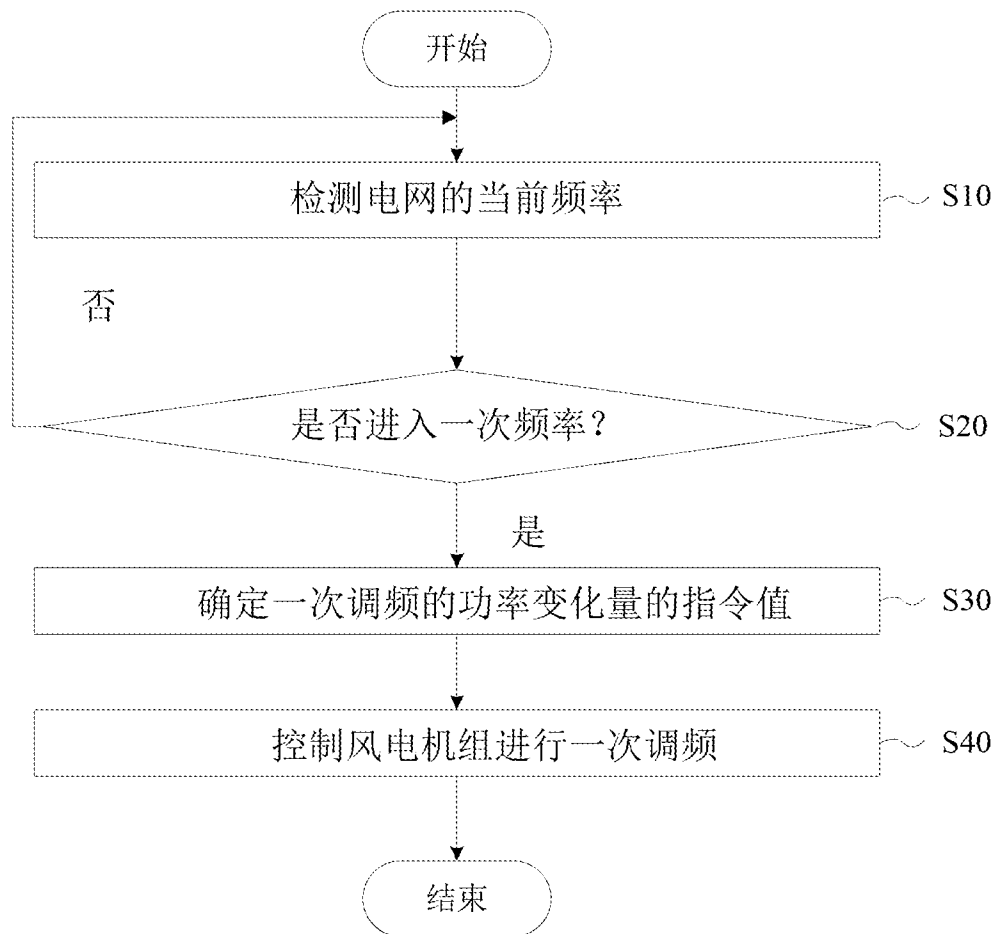


图 1

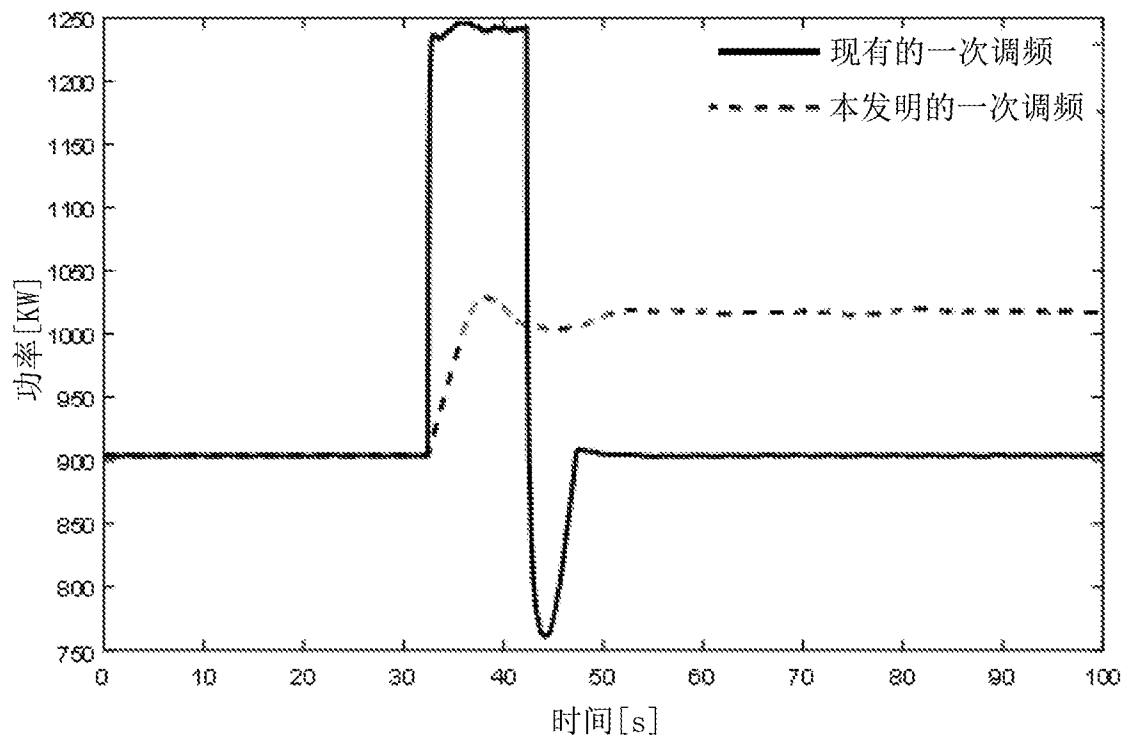


图 2

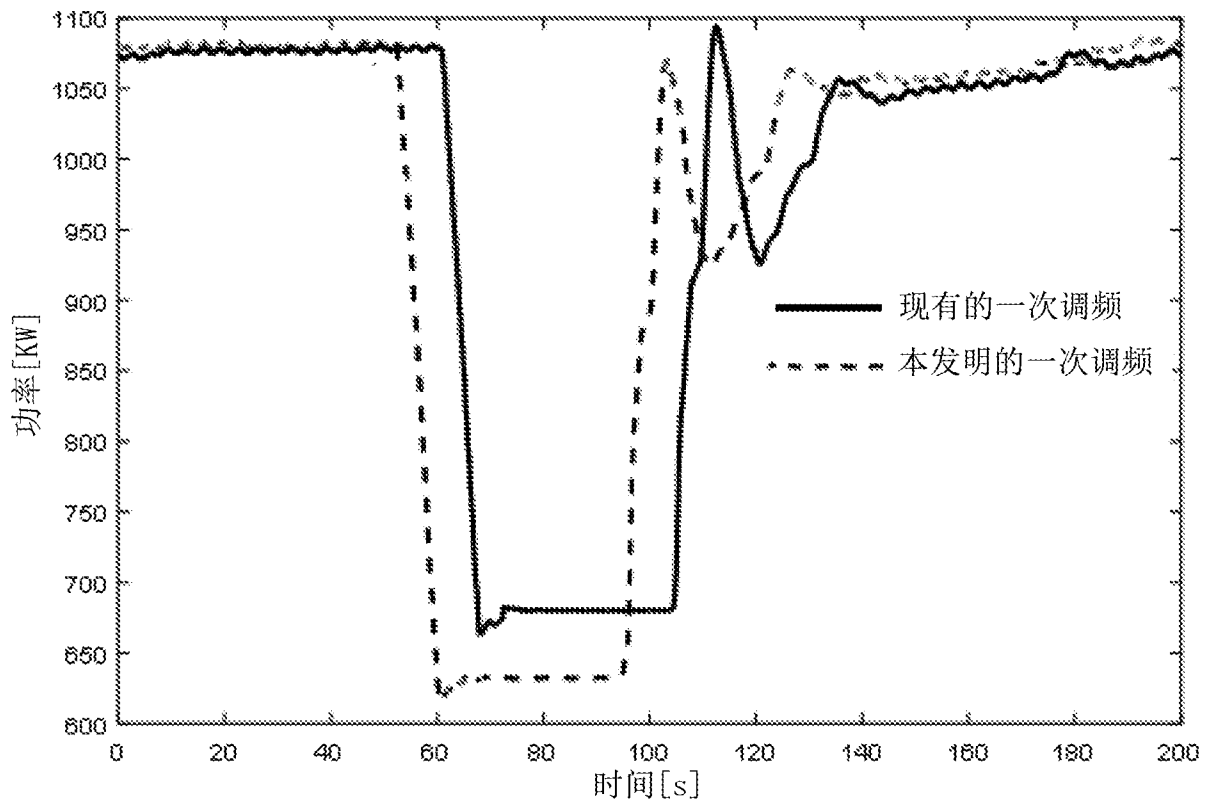


图 3

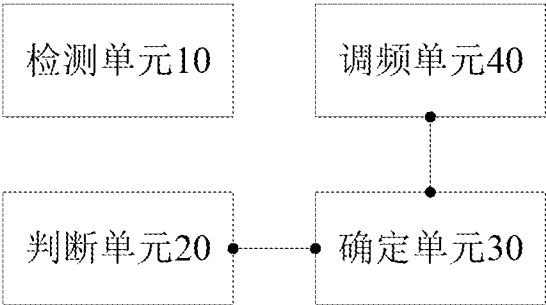


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/095167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/24(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)

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)

CNTXT; CNABS; CNKI; SIPOABS; DWPI: 金风科创风电, 一次调频, 有功, 余量, 功率, 裕量, 阈值, 出力, 桨距, 转矩, primary, first, wind+, modulat+, regulat+, adjust+, frequency

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 106300394 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE ET AL.) 04 January 2017 (2017-01-04) description, paragraphs [0028]-[0176], and figures 1-7	1-20
A	CN 103441722 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA ET AL.) 11 December 2013 (2013-12-11) entire document	1-20
A	EP 1275822 A2 (PECOM ENERGIA S.A.) 15 January 2003 (2003-01-15) entire document	1-20

☐ 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

13 September 2018

Date of mailing of the international search report

12 October 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China
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/CN2018/095167

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	106300394	A	04 January 2017	None			
CN	103441722	A	11 December 2013	CN	103441722	B	05 August 2015
EP	1275822	A2	15 January 2003	EP	1275822	A3	19 November 2003
				DE	60138614	D1	18 June 2009
				EP	1275822	B1	06 May 2009
				US	6609361	B2	26 August 2003
				US	2003010037	A1	16 January 2003

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/095167

A. 主题的分类

H02J 3/24(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)

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))

CNTXT;CNABS;CNKI;SIPOABS;DWPI: 金风科创风电, 一次调频, 有功, 余量, 功率, 裕量, 阈值, 出力, 桨距, 转矩, primary, first, wind+, modulat+, regulat+, adjust+, frequency

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
X	CN 106300394 A (中国电力科学研究院 等) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 说明书第[0028]-[0176]段, 附图1-7	1-20
A	CN 103441722 A (国家电网公司 等) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 全文	1-20
A	EP 1275822 A2 (PECOM EN S A) 2003年 1月 15日 (2003 - 01 - 15) 全文	1-20

☐ 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

2018年 9月 13日

国际检索报告邮寄日期

2018年 10月 12日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(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

王敏希

电话号码 (86-512) 88995701

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/095167

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	106300394	A	2017年 1月 4日	无			
CN	103441722	A	2013年 12月 11日	CN	103441722	B	2015年 8月 5日
EP	1275822	A2	2003年 1月 15日	EP	1275822	A3	2003年 11月 19日
				DE	60138614	D1	2009年 6月 18日
				EP	1275822	B1	2009年 5月 6日
				US	6609361	B2	2003年 8月 26日
				US	2003010037	A1	2003年 1月 16日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)