



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113011994 A

(43) 申请公布日 2021.06.22

(21) 申请号 202011520500.X

(22) 申请日 2020.12.21

(30) 优先权数据

102019135582.6 2019.12.20 DE

(71) 申请人 乌本产权有限公司

地址 德国奥里希

(72) 发明人 斯特凡妮·博特 阿尔琼·布吕克

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 丁永凡 支娜

(51) Int.Cl.

G06Q 50/06 (2012.01)

G06Q 10/04 (2012.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

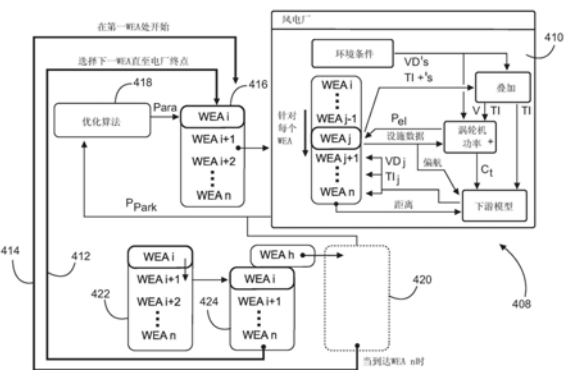
权利要求书3页 说明书15页 附图5页

(54) 发明名称

风电厂的优化

(57) 摘要

本发明涉及一种用于优化风电厂的运行的方法,其中风电厂具有:多个风能设施,每个风能设施能够经由运行设定来调整,并且使用描绘风电厂或其一部分的电厂模型,并且所述方法包括利用电厂模型的优化流程。



1. 一种用于优化风电厂 (112) 的运行的方法, 其中
 - 所述风电厂 (112) 具有多个风能设施 (100);
 - 每个风能设施 (100) 能够经由运行设定来设定; 和
 - 使用绘制所述风电厂 (112) 或其一部分的电厂模型;
 - 并且所述方法包括利用所述电厂模型的优化流程, 具有如下步骤:
 - 在所述电厂模型中预设优化风向, 以便针对所述风向来优化所述风电厂 (112) 的运行;
 - 在改变步骤中, 改变所述电厂模型的至少一个第一上游风能设施 (WT1) 的运行设定;
 - 在下游确定步骤中, 借助于下游模型 (318) 来确定所述第一上游风能设施 (WT1) 的运行设定的改变对所述电厂模型的至少一个受所述第一上游风能设施 (WT1) 空气动力学影响的下游风能设施 (WT4) 的作用;
 - 在总确定步骤中, 确定所述电厂模型的总电厂结果, 尤其是所述电厂模型的所述风电厂 (112) 的总电厂功率,
 - 其中改变所述运行设定, 使得所述总电厂结果只要可以通过所述运行设定改变就被优化, 尤其使得总电厂功率最大,
 - 其中将在此获得的运行设定作为相应的风能设施 (100) 的优化的运行设定保存。
2. 根据权利要求1所述的方法,
其特征在于,
 - 重复所述优化流程, 其中
 - 保持所述优化风向;
 - 改变所述电厂模型的至少一个另外的上游风能设施 (WT2) 的运行设定;
 - 借助于另外的下游模型 (318) 来确定至少一个另外的上游风能设施 (WT2) 的运行设定的改变对至少一个受所述另外的上游风能设施 (WT2) 空气动力学影响的另外的下游风能设施 (WT5) 的作用; 和
 - 所述至少一个第一上游风能设施 (WT1) 的运行设定保持不变, 其中尤其所述至少一个第一上游风能设施 (WT1, WT2) 中没有任何一个第一上游风能设施对于优化风向受所述至少一个另外的下游风能设施 (WT4, WT5) 中的一个下游风能设施空气动力学影响。
3. 根据权利要求1或2所述的方法,
其特征在于,
 - 针对所述优化流程预设优化风速; 和
 - 将优化的运行设定与所述优化风向和所述优化风速一起保存。
4. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,
其特征在于,
 - 作为要改变的运行设定使用如下列表中的一个、多个或所有运行设定:
 - 所述风能设施 (100) 的空气动力学转子 (106) 的转速;
 - 所述转子 (106) 的至少一个转子叶片 (108) 的叶片角; 和
 - 所述风能设施 (100) 的所述吊舱 (104) 的方位角定向。
5. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,
其特征在于,

-同时改变多个上游风能设施的运行设定,其中针对这些上游风能设施中的每个上游风能设施,借助于下游模型(318)计算所述运行设定的改变分别对至少一个受所述上游风能设施空气动力学影响的下游风能设施的作用。

6.根据上述权利要求中任一项所述的方法,
其特征在于,

- 所述下游模型(318)求取感生的涡流和/或
- 所述下游模型(318)求取速度不足和/或
- 使用在考虑风能设施的最大机械负荷的情况下的总电厂功率作为总电厂结果。

7.根据上述权利要求中任一项所述的方法,
其特征在于,

- 分别针对优化风向
- 将所述风电厂的风能设施以处理顺序分类;
- 多次执行所述优化流程,使得在每次执行中至少执行所述改变步骤、所述下游确定步骤和所述总确定步骤;和

-在每次执行时在所述改变步骤中,根据所述处理顺序分别改变至少一个风能设施的运行设定,使得其运行设定在第一次执行时改变的第一风能设施对应于所述处理顺序的第一风能设施,并且其运行设定在随后的执行中改变的另外的风能设施对应于所述处理顺序的随后的风能设施,其中尤其地

- 所述处理顺序与所述风能设施在所述风电厂中的位置坐标和所述优化风向相关。

8.根据上述权利要求中任一项所述的方法,
其特征在于,

在所述电厂模型中分别对于上游风能设施

- 将在所述上游风能设施处的方位角、叶片角和/或转子转速设定为设定值;
- 预设或求取风速和涡流作为迎流条件;
- 根据所述设定值和所述迎流条件,借助于叶素法
- 求取作用于所述上游风能设施的推力系数;和
- 确定所述上游风能设施的设施功率;和
- 根据所述上游风能设施的推力系数和涡流,确定下游风能设施的感生的涡流和速度不足。

9.根据权利要求8所述的方法,
其特征在于,

- 根据
- 所述下游风能设施的设定值,
- 所述感生的涡流和
- 所述速度不足,
- 在所述下游风能设施处将方位角、叶片角和/或转子转速设定为设定值。

10.根据上述权利要求中任一项所述的方法,
其特征在于,

- 在所述总执行中,为多个风能设施重复所述优化流程,直至对于所述风电厂的所有上

游风能设施,将在此获得的运行设定作为优化的运行设定保存,并且接着

-将所述总执行重复一次或多次,其中分别将在前面的总执行中保存的运行设定用作为起始值。

11.一种风电厂(112),其中

-所述风电厂(112)具有多个风能设施(100);

-每个风能设施能够经由运行设定来设定;和

-经由绘制所述风电厂或其一部分的电厂模型优化所述风能设施的运行设定,其中

-使用根据上述权利要求中任一项所述的方法来进行优化。

风电厂的优化

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于优化风电厂的运行的方法。此外,本发明涉及一种相应地优化的风电厂。

背景技术

[0002] 普遍期望的是,将风电厂尽可能优化地运行,在所述风电厂中搭建有多个风能设施并且特别是经由共同的电网连接点馈入供电网。尤其考虑,实现尽可能高的收益并且这通常意味着,从分别占主导的风中产生尽可能多的功率并且馈入供电网中。风电厂的优化然而也包含,将风电厂或各个风能设施以尽可能低的负荷运行。至少所述风电厂应当运行成,使得可能的负荷不缩短其规划的运行时间。例如可以提出,产生尽可能多的功率,而在此然而不使风电厂的风能设施超负荷。

[0003] 优化的收益,尤其是从风中产生的优化的功率尤其可以通过如下方式实现,即每个风能设施都优化地设计,以便使每个风能设施都以与之相应地尽可能优化的运行方式运行。

[0004] 风能设施的这种优化尤其可以意味着,求取用于风能设施的匹配的转速-功率特征曲线。代替转速-功率特征曲线也可以使用转速-转矩特征曲线。在以转速-功率特征曲线运行时,在运行进行时,当风能设施在部分负荷范围内运行时,根据当前的功率输出设定转速。要使用的转速与当前的输出功率的所述关联性通过转速-功率特征曲线预设。风能设施由此根据风速设定其转速。由此尤其可以实现,风能设施以尽可能优化的叶尖速比运转。

[0005] 风能设施的这种或其他优化的设定可以事先,即在投入运行之前或甚至在搭建风能设施之前,通过相应的模拟进行。在这种模拟中基于风能设施的准确的模型。所述模型也可以包含其他环境条件,如环境地形。尤其,也可以包含关于在搭建地点占主导的风特征的信息。为此,在风能设施搭建和/或投入运行之前在搭建地点处或在搭建地点附近搭建相应的测量杆。

[0006] 现在然而已知的是,风电厂的风能设施彼此间的相互空气动力学的影响可以强至,使得所述影响是不可忽略的。因此,考虑和优化单个风能设施不再是足够的。更确切地说,根据风向,一个风能设施的运行设定可以影响其他风能设施的收益,特别是有时使其他风能设施的收益显著地变差。因此,如果将这—个风能设施优化,然而强烈地影响另一风能设施的收益,那么有时会造成,一个风能设施的优化总体上然而造成风电厂的收益的降低,因为风电厂的所述收益受这两个所观察的风能设施的收益影响。

[0007] 因此,期望的是,将风电厂或其收益整体上考虑并且尤其对于每个单个风能设施的运行设定一起考虑其他风能设施的运行设定,只要这些风能设施可能会相互影响。

[0008] 那么理想化的是,将风电厂的所有风能设施一起优化。这种共同的优化然而而是耗费的并且可能也不存在关于这种全面优化的足够的信息。

发明内容

[0009] 因此,本发明基于的目的是,解决至少一个提到的问题。尤其应当实现如下解决方案,在所述解决方案中,风能设施将其运行设定调整为,使得这对于风电厂是整体优化的,尤其使得由此对于风电厂实现最大收益。至少应当对于迄今已知的解决方案找到替选的解决方案。

[0010] 根据本发明提出根据权利要求1的方法。用于优化风电厂的运行的所述方法因此以具有多个风能设施的风电厂为出发点,其中每个风能设施可经由运行设定来设定。为了优化风电厂使用电厂模型。所述电厂模型描绘风电厂,至少其一部分。风电厂模型因此是如下模型,所述模型也考虑和描绘风能设施的特别是空气动力学形式的相互影响。电厂模型,其同义地也可以称作为风电厂模型,可以通过测量风电厂来记录,或者通过基于已搭建的或要搭建的风能设施的分析计算包含这些风能设施在风电厂或规划的风电厂之内的位置来记录。地形条件,例如地区的地形或在风电厂的区域中的植被必要时也可以一起包含在电厂模型中。

[0011] 提出的方法包括利用电厂模型的优化流程并且对此提出下述步骤。

[0012] 首先在电厂模型中预设优化风向,所述优化风向也可以预设为风向分布,其中所基于的风向可以在优化风向周围波动,以便针对所述风向优化风电厂的运行。相应地,可以针对其他风向重复优化流程。考虑风向对于考虑下游效应是特别重要的,所述下游效应即上游风能设施对沿风向位于所述上游风能设施后方的下游风能设施的空气动力学效应。然而地区的地形也可以造成,不同的风向造成风能设施的不同表现。

[0013] 在改变步骤中,随后电厂模型的至少一个第一上游风能设施的运行设定改变。根据风向,一个风能设施可以称作为上游风能设施并且被检查。这可以在新的风向的情况下也重新限定。从所述第一风能设施起尤其可以改变方位角,即风能设施的定向进而一起改变风能设施的功率输出。也附加地或替选地考虑转子叶片的转速和/或迎角(Abstellwinkel)的改变。所有这些在电厂模型中进行,在所述电厂模型中包含所述风能设施或者在所述电厂模型中包含所述风能设施作为模型。

[0014] 在下游确定步骤中,借助于至少一个下游模型来确定运行设定的改变对至少一个受第一上游风能设施空气动力学影响的下游风能设施的影响。这种下游模型对风在所述第一上游风能设施的下流的影响建模。直观一些地表达,这种下游模型对风尾流或由第一风能设施感生的涡流,特别是对其如何作用于沿风向观察位于后方的风能设施进行建模或考虑。尤其可以假定,风能设施在其转动时和通过其转子叶片在其之后产生螺旋状的尾流或涡流区。这实现,下游模型至少考虑受第一风能设施空气动力学影响的风能设施和对受影响的风能设施的作用。

[0015] 不太直观地,尤其观察速度不足和感生的涡流。速度不足表示风速通过上游风能设施减小,并且感生的涡流描述通过上游风能设施产生的涡流。感生的涡流可以同义地也称作为感生的涡流强度或提高的涡流强度。

[0016] 在总确定步骤中,随后确定总电厂结果,尤其是电厂模型的风电厂的可能的总电厂功率。在此也可以考虑其他包含在电厂模型中的风能设施。换言之,电厂模型包含所有要检查的风能设施,在此计算或建模:这些风能设施中的每个风能设施在分别设定的风向和风速下产生多少功率并且将其相加并且称作为风电厂的可能的总电厂功率。在所述计算中

包含,所述第一上游风能设施如何以其运行设定空气动力学地影响,即尤其不利地影响至少一个受其影响的风能设施。

[0017] 在此提出,改变运行设定,使得总电厂结果只要可以通过运行设定改变就被优化。尤其这进行成,使得总电厂功率最大。将在此找到的运行设定作为相应的风能设施的优化的运行设定保存。这可以在风能设施中进行,或者在中央位置进行。只要还借助于电厂模型优化,那么将运行设定保存在电厂模型中。

[0018] 在第一步骤中,那么所述方法首先工作,使得第一上游风能设施改变其运行设定。所述第一上游风能设施的由此改变的功率生成在此与对至少一个下游风能设施的作用一起被考虑。由因此受第一上游风能设施影响的所述至少一个下游风能设施产生的功率同样在模型中确定。第一上游风能设施的运行设定的改变因此例如会造成其功率输出的减小,而同时造成所述下游风能设施的功率输出的提高。也可以考虑对风电场中的另外的风能设施的影响;在简单的观察中然而首先可以至少直观地假定,第一风能设施的运行设定的改变仅涉及所述两个风能设施。因此,在总电厂功率的结果中这两个功率的总和可觉察到,这两个功率在优化之后应当是更高的。

[0019] 因此,如果第一上游风能设施的运行设定的改变造成功率降低,所述功率降低小于下游风能设施的所得出的功率增加,那么总电厂功率的结果提高。然而如果第一上游风能设施的功率通过改变与下游风能设施的功率提高相比更大程度地减小,那么总电厂功率减小并且所属的改变不是优化的。提出的优化因此尤其涉及如下情况,即改变造成第一上游风能设施的功率输出的减小并且随后关键的是,伴随于此地另外的受其影响的下游风能设施的功率是否大幅提高,使得第一上游风能设施的功率输出被补偿。

[0020] 以所述方式和方法于是可以在所述第一次执行时找到第一上游风能设施的优化的运行设定,其可以作为优化的运行设定保存。

[0021] 因此,在电厂模型中,第一风能设施的运行设定在迎风侧进行,并且经由下游模型考虑对处于背风侧的另外的风能设施的作用。如果将风电场的总电厂功率视为总风电场结果,那么考虑风电场中的所有风能设施的功率的总和。由此也包含至少一个第一上游风能设施的和至少一个下游风能设施的功率。

[0022] 使用下游模型尤其能够实现,考虑迎风侧的第一风能设施对背风侧的另外的风能设施的空气动力学的影响。尽管如此,但是作为评定标准考虑总电厂结果,尤其总电厂功率。

[0023] 替代将总电厂功率视为总电厂结果,也考虑,附加地考虑风电场的,即尤其是风电场的各个风能设施的负荷。例如,负荷可以经由质量函数考虑,所述质量函数例如可以涉及由于负荷而引起的应预期的使用寿命改变。负荷和电厂功率于是可以经由相应的加权一起被考虑。

[0024] 优选提出,重复优化流程,同时保持优化风向。为此,电厂模型的至少一个另外的上游风能设施的运行设定改变,并且借助于另外的下游模型确定至少一个另外的上游风能设施的运行设定的改变对至少一个受另外的上游风能设施空气动力学影响的另外的下游风能设施的作用。尤其是在至少一个另外的上游风能设施的下游,确定对另外的,尤其是对所有风能设施的作用。下游模型可以根据类型与已用于第一上游风能设施和第一下游风能设施的模型相同,然而具有调整的参数。另外的上游风能设施可以是与第一上游风能设施

相邻的风能设施。所述另外的上游风能设施也可以是第一上游风能设施的下游风能设施，即优化流程的第一次执行的下游风能设施。

[0025] 此外对此提出，至少一个第一上游风能设施的运行设定保持不变。尤其提出，至少一个第一上游风能设施中没有任何一个对于优化风向空气动力学地通过至少一个另外的下游风能设施中的一个影响。尤其提出，在优化流程的第一次执行中，将如下风能设施选择为第一上游风能设施，所述风能设施关于预设的优化风向不受风电厂的任何风能设施影响。对于其于是执行第一次优化流程并且获得对于所述第一上游风能设施的运行设定。

[0026] 在第一次重复优化流程时，选择另外的风能设施，其因此符合意义地在该次重复中形成新的第一上游风能设施。所述新的第一上游风能设施可以与根据第一优化流程的初始的第一上游风能设施相关或者不相关。以这种方式和方法重复优化流程，其方式为：始终针对相同的优化风向，另外的风能设施形成新的第一上游风能设施。各新的第一上游风能设施不对至今为止的第一上游风能设施产生影响，即不对在前执行的优化流程的第一上游风能设施产生影响。

[0027] 换言之，所述方法从前面的风能设施依次至后面的风能设施执行优化流程的一次又一次的优化。已经在优化流程中改变进而基本上已优化的每个前面的风能设施的运行设定在优化流程的继续重复中保持不变。这样，多个风能设施的运行设定可以关于优化风向从前向后优化。在此，下游风能设施可以在优化流程随后重复时在至少一个优化流程中形成上游风能设施。

[0028] 由此提出，多次重复优化流程，其中越来越多的其运行设定已经改变的上游风能设施的运行设定保持不变。优选地，对其本身不再影响其他风能设施的下游的风能设施可以停止优化流程，其方式为：所述下游风能设施简单地根据其优化的运行设定运行，所述运行设定在不考虑风电厂的情况下已经优化。为此，例如可以使用运行参数组，所述运行参数组已经在风能设施的构思中被计算。

[0029] 就此而言，上游风能设施通常表示如下风能设施，其空气动力学地影响另外的风能设施。所述这样受空气动力学影响的风能设施称作为下游风能设施，并且上游风能设施的名称以及下游风能设施的名称是暂时的名称，其与风向相关联，即尤其与优化风向相关联。在此，术语上游风能设施和下游风能设施尤其针对如下情况限定，即借助于下游模型计算上游风能设施对下游风能设施的空气动力学影响。

[0030] 根据一个设计方案提出，针对优化流程预设优化风速并且将优化的运行设定与优化风向和优化风速一起保存。随后在风电厂的运行中，可以根据当前的风速和风向来选择运行设定。为此根据一个实施方式提出的可能的是，相应的运行设定与优化风速和优化风向一起对于每个风能设施在相应的风能设施处保存。因此，每个风能设施于是具有包括风速和风向和相关联的运行设定的数据组。

[0031] 可选地或附加地提出，为每风向创建运行特征曲线。这种运行特征曲线可以是转速-功率特征曲线或是转速-转矩特征曲线，在此仅列举两个最常见的实例。

[0032] 这种运行特征曲线于是可以为每风能设施和风向选择。运行特征曲线在此考虑不同的风速，即所述风速反映在转速和功率或转速和转矩之间的关联中。

[0033] 尤其提出，对于优化风向为风电厂的所有在此要优化的风能设施执行优化流程，即为每个风能设施重复优化流程。在每个优化流程中，或在方法的重复中整体上可以附加

地改变风速,并且与相应的风速和当然优化风向相关地保存相应的结果。

[0034] 此外提出,将方法整体上重复多次,即针对各种优化风向重复。例如可以逐步基于从 0° 至 360° (或从 1° 或 5° 至 360°)以 1° 步距或 5° 步距的优化风向,以便分别执行优化方法。优选地,可以检查所有这些风向,分别作为优化风向,总体上理解或表示为用于优化的方法。

[0035] 根据一个设计方案提出,作为要改变的运行设定使用一个、多个或所有下述运行设定。

[0036] 作为运行设定可以使用风能设施的空气动力学转子的转速。尤其地,所述转速也影响对分别在下游安装的风能设施的空气动力学效应。

[0037] 作为运行设定可以使用相关的风能设施的转子的至少一个转子叶片的叶片角。转子叶片也影响风能设施的运行并且具有对风能设施的下游效应的影响进而对在下游安装的风能设施处的风情的影响。

[0038] 作为运行设定也可以改变风能设施的吊舱的方位角定向。原则上,风能设施的吊舱的方位角定向适应于风向,即吊舱应当尽可能沿风向定向,然而考虑例如 5° 至 15° 的小的偏差。与对于各个风能设施优化的设定的这种偏差可能对涡流在风能设施的下游略微在其方向上产生影响,使得由此必要时可以实现:所述上游风能设施的涡流不再或至少明显更弱地到达下游风能设施。由此,上游风能设施的方位角定向的小的改变可能造成对下游风能设施的大的效应。所述效应也涉及在下游减小的风速。

[0039] 与转速、叶片角和/或方位角定向的调整一起,也可以改变和设定风能设施的进而发电机的功率输出。此外或替选地,随着转速、叶片角和/或方向角定向改变可以设定和调整发电机的转矩。

[0040] 根据一个实施方式提出,同时改变多个上游风能设施的运行设定,其中针对每个所述上游风能设施借助于下游模型来计算运行设定的改变分别对至少一个受相应的上游风能设施空气动力学影响的下游风能设施的作用。由此,上游风能设施分别形成第一风能设施或第一上游风能设施。与每个上游风能设施关联有至少一个下游风能设施。由此原则上存在具有上游风能设施和下游风能设施的多个风能设施对。针对这些对中的每对应用下游模型,以便分别确定所述对的上游风能设施对下游风能设施的影响。风能设施对的所述观察仅用于图解说明,可以如何同时改变多个上游风能设施。上游风能设施然而也可以影响多个下游风能设施。在新的执行和/或新的优化风向的情况下还进行新的分配。

[0041] 尤其,在此基于的认识是,风电厂具有大量风能设施,使得所述风能设施能够以多排设置,即使这些排不一定本身示出时如此。如果风例如从西方吹来并且多个风能设施立于风电厂的指向西方的边缘处,那么可以将这些风能设施同时在一定程度上考虑成第一上游风能设施。

[0042] 在同时改变多个上游风能设施的运行设定时可以如下进行,首先所述上游风能设施中的一个改变其运行设定。以这种方式和方法例如可以暂时优化总电厂结果,尤其是总电厂功率。因此,例如在改变第一上游风能设施时可以获得总电厂功率的最大值。如果获得这种暂时最大值,那么所述第一上游风能设施中的下一个能够以相同的方式和方法改变其运行设定,直至由此获得新的暂时最大值。所述新的暂时最大值于是必须高于第一暂时最大值,当之前已经存在最大值时它们可能可以是同样大的。以这种方式和方法可以逐步地

以改变另外的第一上游风能设施的运行设定进行处理。

[0043] 在此尤其基于如下认识,分别总是仅在风能设施对、或风能设施组的风能设施之间存在影响。这些风能设施对,即分别包括上游风能设施和下游风能设施或在风能设施组的情况下包括多个上游风能设施和/或多个下游风能设施的风能设施对,基本上彼此脱联。一对的上游风能设施的改变因此仅影响同一对的下游风能设施,然而不影响其他对或其他组的下游风能设施。

[0044] 当由此现在为所有在所述第一优化流程中已改变的上游风能设施已获得优化的运行设定时,能够将优化流程以新的上游风能设施重复。在该重复中于是例如可以改变从风向中观察的第二排的风能设施并且改变其运行设定。

[0045] 因此,一排风能设施可以在其他排之后优化其设定。

[0046] 优选地,下游模型考虑感生的涡流。因此选择如下下游模型,所述下游模型可以考虑这种感生的涡流。

[0047] 这种感生的涡流是非常重要的空气动力学影响变量,并且已知的是,在下游模型中对其的考虑因此会造成相应好的结果。

[0048] 尤其,通过观察感生的涡流,除了对风电厂的所产生的功率的作用以外,也考虑对相关的风能设施,尤其对其转子叶片的作用和尤其负荷。观察感生的涡流就此而言超出纯观察功率并且提供更精确的观察。

[0049] 优选地,下游模型考虑速度不足,其描述或限定在风能设施的下游中风速的降低。

[0050] 根据一个实施方式提出,作为总电厂结果在考虑风能设施的最大机械负荷的情况下使用总电厂功率。由此,可以将观察总电厂功率,同义地也可以称作为电厂功率,视为对于优化优先,并且风能设施的机械负荷可以视为辅助条件。例如,上游风能设施可以将下游风能设施通过感生的涡流强烈地负荷。如果上游风能设施降低其转速,那么跟随有功率的降低。如果由此下游风能设施的功率提高与上游风能设施的功率减少相比程度更小,那么上游风能设施的转速的降低是不期望的。然而如果附加地考虑,机械负荷显著地降低,那么功率损耗可以是可容忍的,尤其在功率损耗小的情况下。

[0051] 根据一个实施方式提出,针对各一个优化风向将风电厂的风能设施以处理顺序分类并且多次执行优化流程,使得在每次执行时至少执行改变步骤、下游确定步骤和总确定步骤。为此提出,在每次执行时在改变步骤中,将各至少一个风能设施的运行设定根据处理顺序改变,使得其运行设定在第一次执行中改变的第一风能设施对应于处理顺序的第一风能设施,并且其运行设定在随后的执行中改变的其他风能设施对应于处理顺序的其他风能设施。由此处理顺序描述要改变的上游风能设施的顺序。所述顺序与优化风向相关。

[0052] 在此尤其提出,处理顺序与风能设施在风电厂中的位置坐标和优化风向相关。

[0053] 因此提出,为每优化风向将风电厂的风能设施按顺序分类并且根据所述顺序执行优化。原则上在此然而也可以分别将多个风能设施,即例如一排风能设施设置在处理顺序的共同的位置中,或者当多个在处理顺序中依次设置的风能设施在同一优化流程中视为上游风能设施时,在处理顺序中标记。多个风能设施是否在优化流程的执行中在重复优化流程之前改变其运行设定,也与风向相关,即与那么分别选择的优化风向相关。即可以与风向相关的是,实际上多个风能设施是否在指向风的一排中设置,或对于特定的风向是否不存在这种排。

[0054] 尤其,处理顺序与风能设施在风电厂中的位置坐标相关并且与优化风向相关。尤其,每个风能设施关于其余或至少相邻的风能设施的位置考虑用于创建处理顺序。优选地,这种处理顺序与优化风向相关地保存并且当优化法应当在之后的时间点重复时可以再次使用。

[0055] 根据一个实施方式提出,在电厂模型中分别针对上游风能设施将在上游风能设施处的方位角、叶片角和/或转子转速设定为设定值,将风速和涡流作为迎流条件预设或求取,根据设定值和迎流条件借助于叶素法来求取作用到上游风能设施上的推力系数,并且确定上游风能设施的设施功率,并且根据上游风能设施的推力系数和涡流来确定下游风能设施的感生的涡流和速度不足。尤其可以从速度不足中确定作用到下游设施上的或对于其重要的风速。

[0056] 由此,针对上游风能设施必须预设迎流条件。对于下一风能设施可以如下进行:

[0057] 将预设的迎流条件和设定值,尤其是方位角、叶片角和转子转速用作为用于叶素法(BEM)的输入变量。所述叶素法计算在上游风能设施处的推力和功率。在下游风能设施处的迎流条件通过上游风能设施的预设的迎流条件和推力系数确定。随后迭代地再次在其他下游风能设施处或针对其他下游风能设施进行相同内容。因此,借助在下游风能设施处的迎流条件和这些风能设施的设定值执行叶素法(BEM)。

[0058] 上游风能设施可以是在优化流程中的第一设施,或也是随后的设施。只要上游风能设施是本身不受任何风能设施影响的风能设施,那么将预设的优化风速用作为风速。在其他情况下计算风速,其与优化风速相关。在此,在方法中观察的第一风能设施可以从分类中得出,所述第一风能设施与风向相关地分类,尤其沿风向分类。因此首先观察的第一风能设施在此尤其是上游风能设施,其本身不受任何风能设施影响。也就是说,分类在新的风向中改变。

[0059] 如果上游风能设施是本身不受任何风能设施影响的风能设施,那么将环境涡流用作为涡流。这种环境涡流可以与风向,即优化风向,和风速,即优化风速相关。所述相关性可以通过相应地测量其上应当搭建风电厂或其上存在的风电厂应当被改善的搭建位置来记录。在其他情况下,即当上游风能设施是受风能设施影响的风能设施时,计算涡流,所述涡流尤其与环境涡流相关。所述计算借助于下游模型进行。

[0060] 风速和涡流由此形成相关的风能设施的迎流条件。

[0061] 通常,设定上游风能设施处的方位角、叶片角和转子转速并且称作为设定值并且将这些设定值用于进一步的模拟或计算。代替转子转速也可以预设转矩或功率,从所述转矩或功率中可以得出转子转速。

[0062] 借助于叶素法,从迎流条件和设定值中,即从尤其所有设定值中确定所观察的上游风能设施的推力系数和设施功率。设施功率需要用于与风电厂的其余设施功率一起确定总电厂功率。

[0063] 推力系数需要用于确定作用到下游风能设施上的风速和涡流。为此使用下游模型。这种下游模型是原则上已知的,并且例如可以使用N0-Jensen模型或Qian模型。

[0064] 从推力系数和可能的另外的信息中也可以确定相关的风能设施的负荷。

[0065] 相应地,根据上游风能设施的推力系数和涡流确定下游风能设施的感生的涡流和速度不足,这些变量因此作用到下游风能设施上。

[0066] 感生的涡流由此那么是作用到下游风能设施上的涡流。上游风能设施的风速“ v_{inf} ”和下游风能设施的风速“ v_{wake} ”之间的差可以称作为速度不足“ d ”。因此那么如下方程适用： $v_{wake}=v_{inf}-d$ （根据“ d ”的符号，方程也可以是 $v_{wake}=v_{inf}+d$ ）。代替差也考虑其他换算。风速不足例如可以说明上游风能设施的风速的百分比减小，使得风速与上游风能设施的风速相比以该百分比值减小。

[0067] 优选地，所述方法的特征在于，在下游风能设施处将方位角、叶片角和/或转子转速设定为设定值，根据下游风能设施的设定值、感生的涡流和速度不足，借助于叶素法求取作用到下游风能设施上的推力系数，并且确定下游风能设施的设施功率。

[0068] 作用到下游风能设施上的推力系数及其设施功率由此符合意义地如上游风能设施的这些值那样确定，其中作为迎流条件使用速度不足或由此确定的作用到下游风能设施上的风速，和感生的涡流。推力系数用于计算对于又一下游风能设施的速度不足和感生的涡流。

[0069] 根据一个实施方式提出，迎流条件与其他环境条件相关地确定，尤其与剪力、转向和/或空气密度相关地确定。由此提出，这些环境条件，或其中一个或一些环境条件在模拟中被一起考虑。这些环境条件可以在叶素法中被考虑。这也是叶素法的优点，即这种考虑是可行的。尤其在叶素法中考虑空气密度。

[0070] 在此尤其已知的是，上游风能设施的涡流和推力系数对于计算作用到至少一个下游风能设施上的下游是特别重要的。下游在此优选也可以针对第二或甚至第三下游风能设施确定，尤其当所述第二风能设施或又一下游风能设施分别本身还设置在第一下游风能设施后方时也如此。优选地，在计算下游时考虑分别距下游风能设施的距离。

[0071] 相应地，在重复优化流程时可以使用新的上游风能设施并且基于其确定到至少一个另外的下游风能设施的下游。

[0072] 在此尤其将风流动的由上游风能设施对至少一个下游风能设施造成的改变称为下游，尤其是所造成的速度不足和感生的涡流。

[0073] 根据另一实施方式提出，在总执行中为多个风能设施重复优化流程，直至对于风电厂的所有上游风能设施将在此获得的运行设定作为优化的运行设定保存。尤其地，执行优化，直至运行设定不再明显改变。这种总执行由此是其中对多个风能设施重复优化流程的执行。每次选择至少一个风能设施作为上游风能设施来优化其运行设定，使得优化整个电厂结果。换言之，在总执行之后基本上结束风电厂的所有风能设施的优化。

[0074] 然而已知的是，在优化上游风能设施的运行设定时，尤其在第一上游风能设施中，其余风能设施的，至少其余风能设施中的一些风能设施的运行设定随后还改变。所述上游风能设施的，即尤其第一上游风能设施的假定为优化的运行设定由此可能还不是优化的，因为其对于一些或所有其余的风能设施的改变的运行设定不是优化协调的。

[0075] 因此提出，一次或多次重复这种总执行。由此可以将运行设定再改善一些进而也还将总电厂结果再改善一些。然而已知的是，这种改善是相对小的，使得总执行的少量重复，即少量总执行通常是足够的。尤其提出，分别针对优化风向，进行总执行两次、三次、四次或五次。

[0076] 优选地提出，将在总执行结束时实现的总电厂结果，尤其总电厂功率与下一优化执行的总电厂结果或总电厂功率比较，以便确定和评估总电厂结果或总电厂功率的改善。

优选地,与总电厂结果的在此确定的改善相关地,进行下一总执行和/或一个总执行与下一总执行的总电厂结果或总电厂功率的改善相关地进行或不进行另外的总执行。

[0077] 根据本发明也提出一种风电厂。这种风电厂具有多个风能设施,所述风能设施可分别经由运行设定来设定。此外存在描绘风电厂或其一部分的电厂模型,经由所述电厂模型优化风能设施的运行设定。风能设施因此经由所述电厂模型优化。为此提出,将根据上述实施方式中至少一个实施方式的方法用于优化。

[0078] 由此提出一种风电厂,所述风电厂经由所描述的方法优化。所描述的方法优化风电厂的整体并且考虑上游风能设施对下游风能设施的具体的空气动力学影响。相应地,所述优化也反映在风电厂的总性能中。尤其,在这种风电厂处可见,单个风能设施并非优化地工作,尤其是产生比其所能产生的更少的功率,然而但是只在如下情况下是这种情况,即存在至少一个位于下游的风能设施,即下游风能设施,其由此产生更高的功率,即尤其至少高出如前一设施,即上游风能设施所产生的功率减少的量。

附图说明

[0079] 下面,示例性地根据实施例参照附图详细阐述本发明。

[0080] 图1示出风能设施的立体图,

[0081] 图2示出风电厂的示意图,

[0082] 图3示出用于计算风电厂的流程图,

[0083] 图4示出用于优化风电厂的流程图,

[0084] 图5示出风电厂的另一示意图,用于阐述电厂优化。

具体实施方式

[0085] 图1示出具有塔102和吊舱104的风能设施100。在吊舱104上设置有转子106,所述转子具有三个转子叶片108和整流罩110。转子106在运行中由风置于转动运动进而驱动吊舱104中的发电机。

[0086] 图2示出风电厂112,所述风电厂示例性地具有三个风能设施100,所述风能设施可以是相同的或是不同的。三个风能设施100因此原则上代表风电厂112的任意数量的风能设施。风能设施100提供其功率,即尤其经由电厂电网114产生的电流。在此,将各个风能设施100的分别产生的电流或功率相加,并且通常设有变压器116,所述变压器将电厂中的电压升压变换,以便随后在通常也称为PCC的馈入点118处馈入供电网120中。图2仅为风电厂112的简化图,其例如未示出控制装置,尽管当然存在控制装置。电厂电网114例如也可以不同地构成,其中例如在每个风能设施100的输出端处也存在变压器,在此仅列举一个另外的实施例。

[0087] 图3的图表概括地基于:1个至n个风能设施在风电厂中存在并且应计算。风能设施在那里缩写为WEA并且指数为1至n。借助指数j表示当前要计算的风能设施或所属的参数。由此,借助指数j-1表示之前计算的风能设施并且相应地借助指数j+1表示下一要计算的风能设施。风能设施为此用符号在电厂框310中列出并且当前的风能设施表示为WEA_j。风能设施可以同义地也称之为风车或风力涡轮机。

[0088] 所述方法在此对风能设施从第一风能设施WEA₁直至最后的风能设施WEA_n进行

处理。结果尤其是速度不足 VD 和感生的涡流 TI ,其由前面的风能设施 WEA_1 至 WEA_{j-1} 作用到当前的风能设施 WEA_j 上。对于当前的风能设施 WEA_j 由此考虑速度不足 $VD_{1,\dots,j-1}$ 和感生的涡流 $TI_{1,\dots,j-1}$ 并且输送给在叠加框312中的叠加。从环境条件框314中,叠加框312相应地获得环境条件。风速也可以视为环境条件,并且作为另外的环境条件观察剪力,即风速随地点、尤其随高度的改变,以及观察转向,其表示风向随地点、尤其随高度的改变。空气密度也可以是环境条件。

[0089] 所有这些在叠加框312中被考虑或叠加。

[0090] 感生的涡流 TI 也可以称作为感生的涡流 TI_+ 。借助于将所有这些信息叠加,于是可以在叠加框312中确定总共作用到当前的风能设施 WEA_j 上的风速 V 还有总共作用到当前的风能设施 WEA_j 上的感生的涡流。这两个变量于是形成用于设施计算框316的输入变量。在设施计算框316中,执行用于计算风能设施的叶素法,即尤其用于计算可产生的功率 P_{el} 。为此,叶素法,即设施计算框316也从环境条件框314获得环境条件。此外,风能设施 WEA_j 本身的特性,即数据,如风能设施的特性本身,如尤其所使用的转子叶片,以及相关的风能设施的当前的运行设定也产生影响。

[0091] 基于此,随后设施计算框316利用叶素法来计算当前的风能设施的电功率 P_{el} 。由此,当前的功率 P_{el} ,其也可以称作为或视为输出功率,在考虑风电厂,即在当前的风能设施 WEA_j 上游可能存在的风能设施 WEA_1 至 WEA_{j-1} 的情况下从空气动力学变量中计算。所述这样计算出的功率 P_{el} 可以作为信息反馈给当前的风能设施 WEA_j 。相关的风能设施 WEA_j 可以保存这些数据并且在需要时可调取这些数据。

[0092] 此外,计算所述当前的风能设施 WEA_j 对随后的风能设施 WEA_{j+1} 至 WEA_n 的影响。为此使用下游模型318。下游模型318为此获得感生的涡流 TI ,所述涡流作用到当前的风能设施 WEA_j 上,如其已由叠加框312计算那样。设施计算框316利用叶素法也计算推力系数 C_t ,所述推力系数形成用于下游模型318的另一输入变量。对于下游模型此外有意义的是风能设施的方位角偏转或方位角定向。所述方位角定向也可以称作为偏离角或偏航角。所述方位角由此同样形成用于下游模型318的输入变量。最后,相应的位于下游的风能设施 WEA_{j+1} 至 WEA_n 关于当前的风能设施 WEA_j 的位置和距离也是有意义的并且也作为输入变量输入到下游模型中。

[0093] 基于这些数据于是计算对随后的风能设施 WEA_{j+1} 至 WEA_n 感生的涡流 TI_j 和速度不足 VD_j 。以这种方式和方法,当前的风能设施 WEA_j 也通过更早的计算,即针对风能设施 WEA_1 至 WEA_{j-1} 的计算,获得对于其重要的速度不足 $VD_{1,\dots,j-1}$ 和感生的涡流 $TI_{1,\dots,j-1}$ 。由此,以这种方式和方法可以计算风电厂的所有风能设施。

[0094] 在图4中示出流程图408,所述流程图图解说明电厂优化。针对电厂优化必须多次执行计算,如其结合图3所阐述的那样。为此示出计算框410,所述计算框原则上包含在图3中阐述的流程。相应地,图3的流程图也作为象征性的缩影包含在计算框410中。

[0095] 流程图408尤其图解说明内循环412和外循环414。在内循环412中为多个风能设施执行优化流程,即依次执行。当所有风能设施在重复的优化流程中优化时,完成总贯通流程。借助外循环414重复这种总贯通流程,以便改善已经在第一总贯通流程中实现的结果,或者以便确定,不再能够改善或不再能够显著地进一步改善。

[0096] 在内循环412中以第一风能设施开始优化,直至最后的风能设施 n 。在此要检查的

风能设施WEA 1至WEA n在此以处理顺序分类,所述处理顺序与风向相关。这应当由处理框416图解说明。原则上以第一风能设施起始,其中例如也能够是最后一个,并且一般风能设施WEA i那么是当前的被优化的风能设施。为此优化算法改变当前要优化的风能设施WEA i,所述优化算法通过优化框418图解说明。为此,将参数转子转速、叶片角和/或方位角定向作为运行设定来设定或改变,即作为当前要优化的风能设施WEA i的运行设定。借助所述分别设定的参数随后在计算框410中进行风电厂的计算,即如结合图3已阐述的那样计算。结果是总电厂结果,其在此作为电厂功率 P_{Park} 输出。与所述总电厂结果相关地,运行参数可以在优化框418中继续改变,直至针对所述风能设施已找到对于参数优化的设定进而找到对于所述当前的风能设施WEA i的优化的运行设定。

[0097] 所述运行设定于是可以被保存,这在总评估框420中图解说明。

[0098] 在重复内循环412时,在计算中也在计算框410中然而仅需要从风能设施i起重新计算。所有位于上游的风能设施保持不变。这通过风能设施WEA h表明,其可以相应地移动到总评估框420中,在所述总评估框中存储已经完成优化的风能设施。

[0099] 如果风能设施优化其运行设定,那么针对下一风能设施进行优化,即尤其针对在处理框416中设作为下一风能设施的风能设施进行优化。

[0100] 因为分别仅需要计算位于下游的风能设施,所以因此在计算框410中必须计算的风能设施的列表改变。就此而言,为此所基于的列表在内循环412的每个迭代步骤中减少其数量。这在图4中通过老的处理列表422改变为新的处理列表424图解说明。相应地,新的处理列表424比老的处理列表422短至少一个风能设施。然而也考虑,同时优化多个风能设施,图4没有对其图解说明。在此情况下也考虑,将新的处理列表424相对于老的处理列表422减少多于仅一个风能设施。

[0101] 如果现在将电厂的所有风能设施全部优化,这尤其在内循环412已执行n次时是这种情况,那么结束第一近似的优化。

[0102] 然而为了检查,是否实际上已找到足够的优化值,可以重复根据内循环的优化。这表示外循环414。如果重复内循环412的多次执行,那么在内循环的第一次执行中,再次在第一风能设施中开始并且将所有风能设施重新如上文所描述那样全部计算。

[0103] 结果于是又是电厂功率作为总电厂结果。外循环的第二次执行的所述电厂功率可以与作为外循环的第一次执行的结果的电厂功率比较。以这种方式可以多次执行外循环414并且每次可以记录电厂功率。随后可以根据为每次执行外循环414记录的电厂功率判断,优化是否是足够的,或者应当重复。在电厂功率从外循环414的一次执行至下一次执行强烈地收敛时可以结束计算。

[0104] 所述结果于是将风电厂至少针对风向和风速进行优化设定。

[0105] 风能设施h在此是其设定刚刚被成功优化的设施。因此其被放在一边,即不再改变,因为其对于所述风向的影响从现在起是全局恒定的,即在优化风向相同的情况下对于风电厂的所有进一步计算假设保持不变。

[0106] 图5图解说明具有九个风能设施WT 1至WT 9的风电厂500。风电厂500原则上可以对应于图2的风电厂112,所述风电厂仅出于图解说明的原因示出三个风能设施。图5的九个风能设施WT 1至WT 9也图解说明地示出。根据图5图解说明如下情况,其中风510基本上来自左侧,这通过大箭头图解说明。相应地,所有风能设施WT 1至WT 9以其方位角位置对准所

述风。风能设施WT 1至WT 9中的每个风能设施用符号在俯视图中以吊舱和具有两个在视图中水平放置的转子叶片的转子直观表明。实际上,转子当然随所述转子叶片转动并且此外现代的风能设施现今具有三个转子叶片而非两个转子叶片。

[0107] 同样为了图解说明,在每个风能设施WT1至WT9后方点状地用符号绘制尾流S。这种尾流大致螺旋形地构成。实际上,然而在每个风能设施的下游区域中不仅发现清晰构成的螺旋形的尾流,而且通常在那存在涡流,即感生的涡流,其通过相应的风能设施感生。此外,也得出速度不足,这原则上说明,风速通过位于前方的风能设施降低。

[0108] 在图5的示例性的配置中,因此也能够以所述顺序次序优化风力涡轮机WT 1至WT 9。随后在优化流程的第一次执行中,将风力涡轮机WT 1视为上游风能设施。所有随后的风能设施WT 2至WT 9可以视为对于所述第一优化流程的下游风能设施。尤其重要的是,第一风能设施WT 1的下游(Nachlauf)仅对于第四风能设施WT 4是明显的。对于第七风能设施WT 7也会得出一点效果。

[0109] 在图5中图解说明的所述情况下,其中实际上各三个风能设施以一排依次排列,也考虑,将前三个风能设施WT 1、WT 2和WT 3基本上同时优化并且在此将随后三个风能设施WT 4、WT 5和WT 6视为下游风能设施。在此尤其可以将风能设施WT 1和WT 4视为风能设施对。相同内容适用于风能设施WT 2和WT 5并且也适用于风能设施WT 3和WT 6。

[0110] 由此,在第一优化流程中设定风能设施WT1、WT 2和WT 3的运行设定或找到其优化值。在第二优化流程中,风能设施WT1、WT 2和WT 3的运行设定保持不变,即保持于在第一优化流程中得到的值。

[0111] 在优化流程的所述第二次执行中于是可以将风能设施WT 4、WT 5和WT 6分别视为上游风能设施,并且将风能设施WT 7、WT 8和WT 9视为下游风能设施。在优化流程的所述第二次执行中于是可以改变这三个上游风能设施WT 4、WT 5和WT 6的运行设定,以便由此找到优化值。

[0112] 最后,可以在第三优化流程中或在优化流程的第三次执行中调整或设定风能设施WT 7、WT 8和WT 9的运行设定,而其余风能设施WT 1至WT 6的运行设定保持不变。在优化流程的所述最后一次执行中可以不用考虑下游风能设施。

[0113] 然而也考虑,风510转动30°地流到风电厂500上。这作为第二风510'用虚线箭头表明。在此情况下,于是不再考虑或更少考虑将风能设施WT1、WT 2和WT 3同时共同视为第一上游风能设施。于是可以提出,将一个风能设施在另一风能设施之后优化。然而也针对这种情况可以将风能设施WT 1视为第一上游风能设施并且优化其运行设定。其余风能设施可以视为下游风能设施。最强的影响可能在第二风510'的风向处从风能设施WT 1到风能设施WT 8得出。尽管如此,第一风能设施WT1仍可以视为第一上游风能设施并且其余风能设施可以视为下游风能设施,其中在计算中得出,可能仅风能设施WT 8明显受影响。

[0114] 在第二次执行中,风能设施WT 1的运行设定于是可以保持不变,因为所述风能设施已经优化其运行设定并且作为下一上游风能设施可以考虑风能设施WT 2。

[0115] 以这种方式和方法可以优化所有风能设施WT 1至WT 9,在此情况下即在优化流程的九次执行中。

[0116] 接着于是还可能的是,重复优化流程的这九次执行,其中风能设施WT 1至WT 9的所有运行设定的输出设定是如下设定,所述设定在优化流程的前九次执行中已找到。

[0117] 根据本发明的一般目的尤其是,各个风能设施的运行方式不再如根据现有技术那样设计为,使得单个设施提供尽可能大的收益,而是整个风电厂提供提高的收益。

[0118] 为此,介绍一种方法,在协作策略中优化在风电厂中的风车的桨距角、转速和偏离角。至今已知的设施控制装置使用竞争策略,根据所述竞争策略,每个风车使用针对单个风车,而不是风电厂实现最大功率的设定。

[0119] 为了求取最优的设定,将不同的分析下游模型与借助于叶素法的计算关联,这也称为BEM计算。在类似的已知的方式中,代替设施的运行设定,仅使用辅助变量,如感生系数,其不能一一对应地与特定的运行点相关联。在此实现的结果是纯理论性的。

[0120] 通过使用BEM计算,可以将实际的运行设定用作为优化变型方式。实现单个风车的以及风电厂的达到的功率的明显更准确的预测。此外,能检查提高的涡流强度对风车的影响。

[0121] 为了风车的BEM计算首先必须求取用于每个风车的迎流条件。迎流可以通过下游损害。这涉及位于上游的风车,所述风车处于另一风车的下游。可通过风速降低和涡流强度提高被察觉到的所述损害可以借助分析性下游模型,如NO-Jensen或Qian模型确定。在此介绍的优选的方法使用Qian模型,其提供如下优点,即也考虑通过有意地错误设定偏离角使下游偏转。然而也考虑其他模型。此外,能确定在下游中提高的涡流强度。

[0122] 优选地提出,考虑多个风能设施的下游的叠加。

[0123] 如果风车“j”处于多个位于上游的设施i的下游中,那么这些下游叠加。所产生的速度不足借助叠加公式计算。代替速度不足的常见的线性的或平方的相加,在此优选提出求出剩余速度的乘积,其证实为可信的。为此提出下述公式:

$$[0124] \quad U_j = U_\infty \cdot \prod_{i=1}^{j-1} \left(\frac{U_{w,ij}}{U_i} \right)$$

[0125] 在公式中,变量具有如下意义:

[0126] U_∞ :无干扰的风速

[0127] U_i :在风车“i”处的受干扰的风速

[0128] U_j :在风车“j”处的风速

[0129] $U_{w,ij}$:在部位j处风车i造成的下游速度,而不考虑其他风车

[0130] 为了计算风电厂中的变量,创建风车对象的列表,即风电厂的风能设施的列表。根据坐标和风向将设施根据风流动方向分类。现在可以在所有n个风车中迭代或重复下述过程,其中j=1……n。这也在图3中图解说明。

[0131] 参照图3提出如下步骤:

[0132] 步骤1:将速度不足和出自风车1……j-1的下游的感生的涡流用于风车j。

[0133] 步骤2:借助选择的叠加法从感生的涡流、速度不足和环境条件中求取用于相关的风车,即风车j的实际的迎流条件。

[0134] 步骤3:借助风车j的运行设定和迎流条件对风车j执行BEM计算,以便求取推力系数和涡轮机功率。

[0135] 步骤4:借助推力系数、感生的涡流和设定的偏离角来计算涡轮机j对设施j+1……n的下游并且将结果存储在相应的风车中。

[0136] 步骤5:针对下一设施和所有其他设施重复所述流程。在第一次执行中因此求取第一风车对第二风车和所有位于其后方的风车的影响。在第二次执行中求取第一和第二风车对第三风车和所有其他位于其后方的风车的影响。在第三次执行中求取前三个风车对第四风车进而继续直至最后一个风车的影响。

[0137] 提出,所述过程沿流动方向,即风向应用,进而电厂在包含针对每个风能设施进行重复的一轮之后完全计算。

[0138] 流程在图3中示出。

[0139] 为了优化运行设定提出如下内容。

[0140] 为每个风车和风速和风向提供转速、叶片设定角和偏离角作为优化变量。对于整个风电厂,变量的数量由此等于电厂中的风车的三倍数量。所述数量必须附加地随着风速和风向变化。

[0141] 优化逐步地针对风车1至n如下进行,其中分别将当前的风车称为风车i。为了更快的收敛因此提出,在单个步骤中仅优化一排风车中的单个风车“i”。作为目标变量,即作为要优化的变量,使用总电厂功率。位于“i”下游的风车的运行设定视为恒定。风电厂仅必须从风车“i”起重新计算,所有位于上游的风车保持不变。其输入参数和输出参数因此同样是恒定的。优化问题能通过如下方程描述。

$$[0142] \quad \max_{s_i} P_{el, Park} = P_{el, i}(U_i, TI_i, s_i) + \sum_{k=i+1}^n P_{el, j}(U_k, TI_k) + \sum_{h=0}^{i-1} P_{el, h} \quad s.t. \quad TI_k \leq T_{max}$$

$$[0143] \quad , \forall k \geq i+1, AoA^l(s_i) \leq AoA_{max}^l \quad \forall l = 1, \dots, s.$$

[0144] 在公式中变量具有如下意义:

[0145] h:关于位于“i”上游的风车的运行指数

[0146] k:关于位于“i”下游的所有风车的运行指数

[0147] s_i :在风车“i”处的偏离角和叶片设定角以及叶尖速比的运行设定

[0148] n:所有风车的数量

[0149] TI_k :在风车k的下游的感生的涡流强度

[0150] U_k :在风车“k”处的受干扰的风速

[0151] $P_{el, x}$:风车x的电功率

[0152] TI_{max} :最大涡流强度,参见IEC标准61400-1, ed3

[0153] s:半径截面的数量

[0154] AoA^l :在半径截面l处的迎角

[0155] AoA_{max}^l :在半径截面l处的最大迎角(例如失速角)

[0156] 也可考虑,将其他辅助条件列入优化问题中。代替不超过最大涡流强度,负荷的遵守也可以直接被列入。附加地,可以将控制器稳定性一起列入。

[0157] 替代地也可能的是,同步优化所有风车的运行参数。为此运行参数可以相应缓慢地改变,使得总电厂结果的反应可以与运行参数的相应的改变相关联。

[0158] 然而优选的是,依次优化风车的运行设定。这也可以称为向前法。

[0159] 在向前法中将要优化的风车“i”从第一风车至最后一个风车迭代:即完成从第一

风车至最后一个风车的一轮并且将分别当前优化的风车称作为风车“i”。如果优化第一风车的设定,那么不再涉及其他改变,功率和下游影响是已知的。因此,将其从要计算的风车的列表中移除并且放在第二列表中。第二风车前移到第一列表位置处。重复所述方法,直至达到风电厂的端部。风电厂的计算分别从要优化的风车起进行。

[0160] 位于上游的风车基于位于下游的风车的设定优化,然而所述设定之后可能改变。因此,在优化最后一个风车之后,再填满所述列表并且重新从第一个开始。这重复直至电厂功率收敛,这通常在若干次电厂重复之后发生。

[0161] 在图4中示出所述方法。

[0162] 已知的是,至今的用于扇区控制的构思提出针对单个设施选择运行方式。在创建所述运行方式时,不将下游效应考虑在内。在第二步骤中,针对每个设施和风向选择运行方式,使得例如电厂功率为最大并且遵守负荷限制。也就是说无论如何在下流才考虑下游效应。

[0163] 与之相反,在提出的构思中提出如下运行方式,其已经在创建过程中考虑下游效应进而可以提高电厂收益。

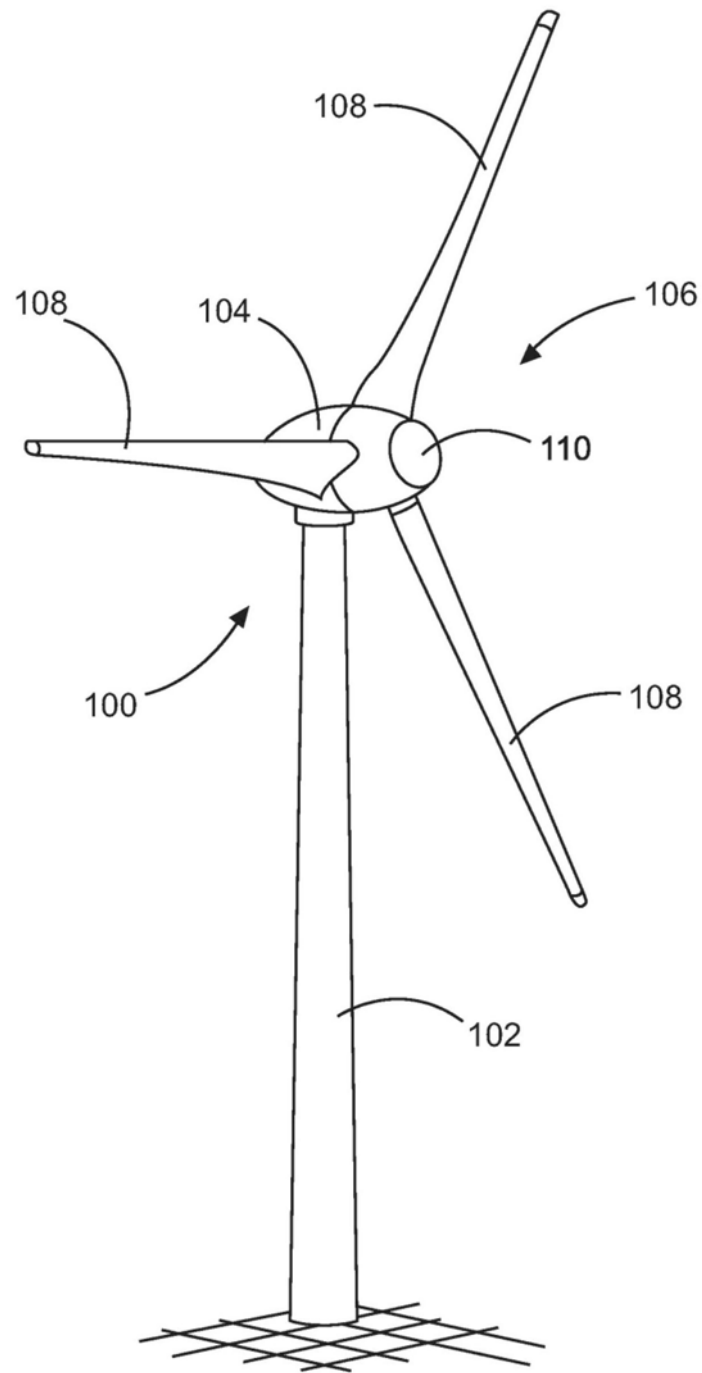


图1

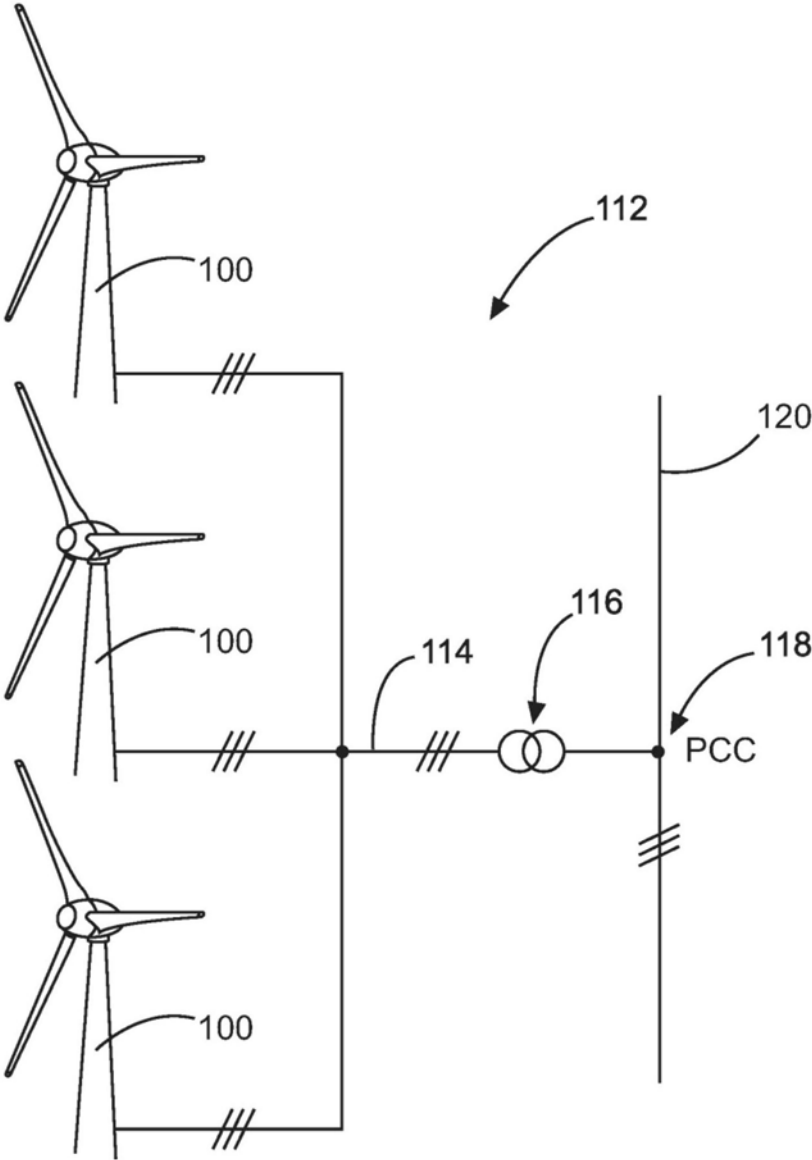


图2

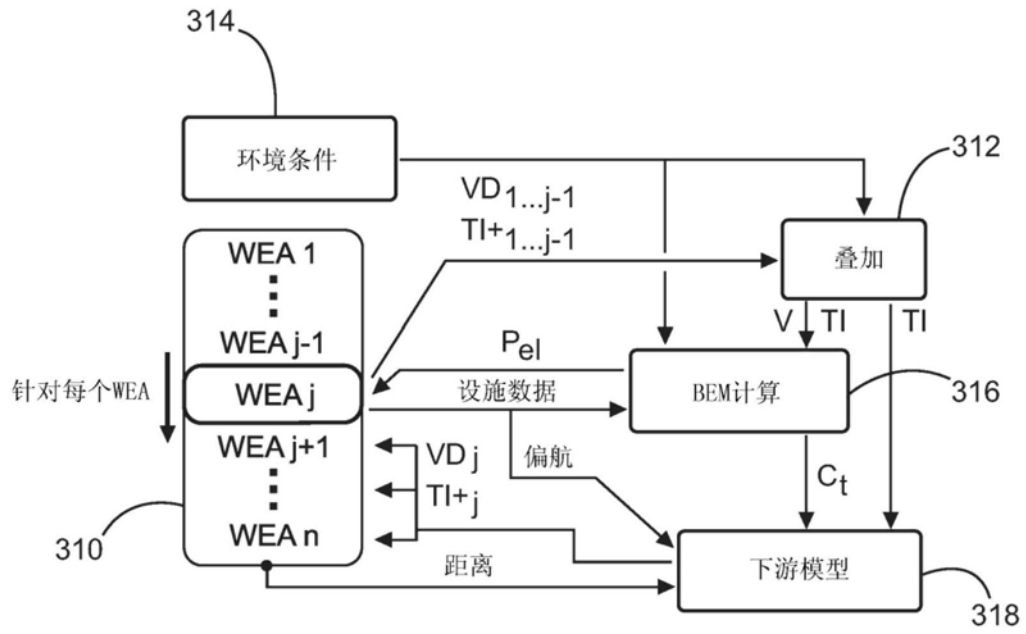


图3

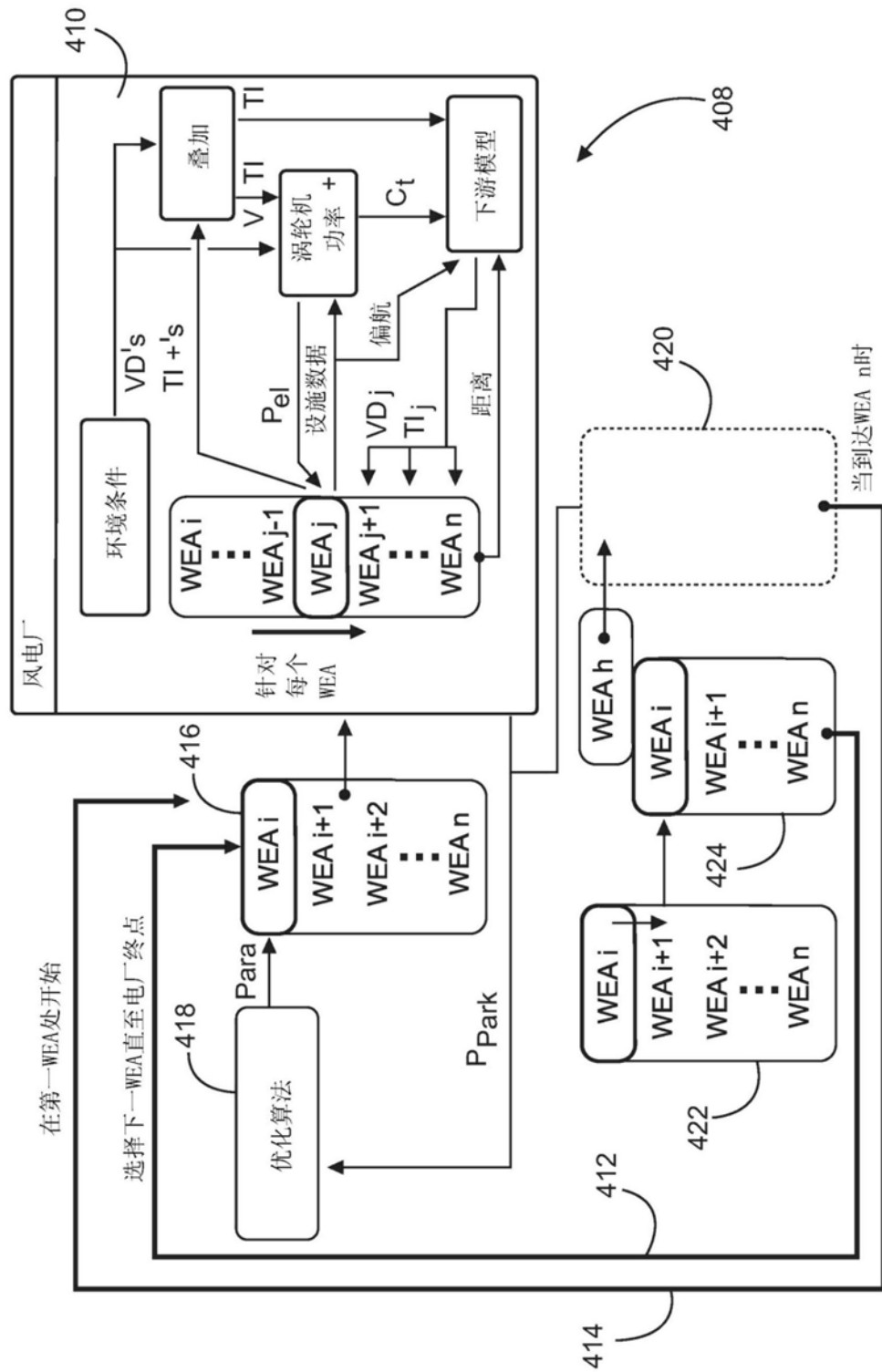


图4

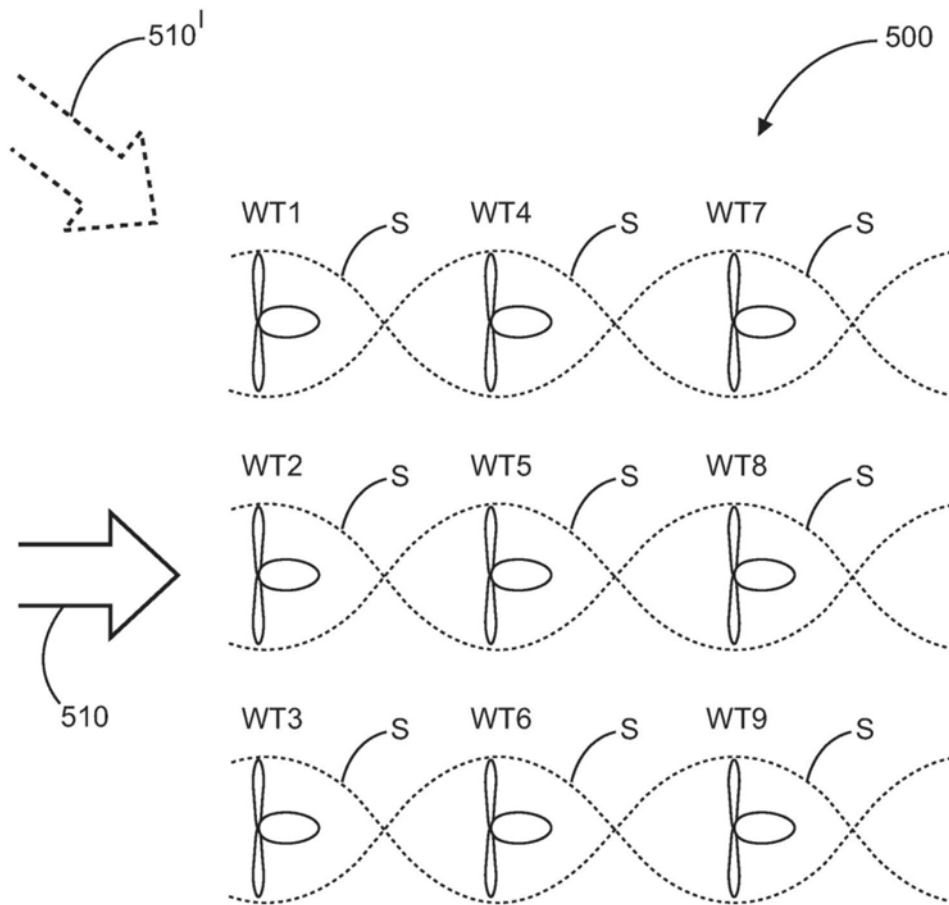


图5