



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117480320 A

(43) 申请公布日 2024. 01. 30

(21) 申请号 202280041442.3

(22) 申请日 2022.05.25

(30) 优先权数据

21382512.8 2021.06.09 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.12.08

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2022/064152 2022.05.25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/258373 EN 2022.12.15

(71) 申请人 西门子歌美飒可再生能源创新与技术有限公司

地址 西班牙萨里乌伦

(72) 发明人 A·梅尼克 I·费尔南德斯罗梅罗
P·D·桑托斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理师 李晨 后云钟

(51) Int.Cl.

F03D 7/04 (2006.01)

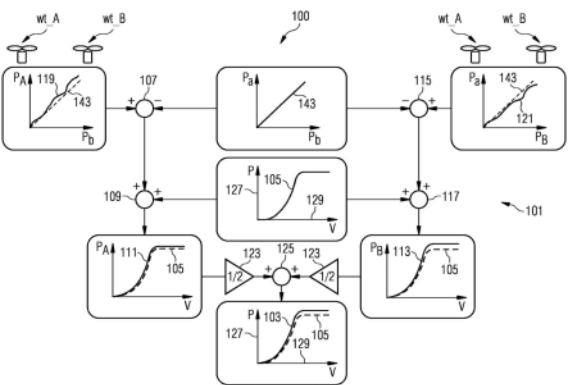
权利要求书5页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

估计升级的功率曲线

(57) 摘要

描述了一种估计风力涡轮机(wt_A、wt_B)的关于第二操作构型的第二功率曲线(103、237)的方法,该方法包括:接收与第一操作构型、特别是参考操作构型有关的功率输出数据(a、b);接收涉及与第二操作构型有关的功率输出的功率数据(A、B);使用与第一操作构型有关的功率输出数据(a、b)、与第二操作构型有关的功率输出数据(A、B)、以及第一操作构型的第一功率曲线(105)来导出第二功率曲线(103、237)。



1. 估计风力涡轮机 (wt_A、wt_B) 的关于第二操作构型的第二功率曲线 (103、237) 的方法, 所述方法包括:

接收与第一操作构型、特别是参考操作构型有关的功率输出数据 (a、b);

接收涉及与所述第二操作构型有关的功率输出的功率数据 (A、B);

使用与所述第一操作构型有关的所述功率输出数据 (a、b)、与所述第二操作构型有关的所述功率输出数据 (A、B)、以及所述第一操作构型的第一功率曲线 (105) 来导出所述第二功率曲线 (103、237),

其中, 接收涉及与所述第二操作构型有关的功率输出的功率数据包括:

接收涉及在第一时间间隔内根据所述第二操作构型操作的至少一个第一风力涡轮机 (wt_A) 的功率输出的功率数据 (A);

接收与所述第一操作构型有关的功率输出数据包括:

接收涉及在所述第一时间间隔内根据所述第一操作构型操作的至少一个第二风力涡轮机 (wt_B) 的功率输出的功率数据 (b),

所述方法还包括:

接收涉及在第二时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第一风力涡轮机 (wt_A) 的功率输出的功率数据 (a),

接收涉及在所述第二时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第二风力涡轮机 (wt_B) 的功率输出的功率数据 (B);

其中, 导出所述第二功率曲线是基于:

涉及在所述第一时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第一风力涡轮机 (wt_A) 的功率输出的所述功率数据 (A);

涉及在所述第一时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第二风力涡轮机 (wt_B) 的功率输出的所述功率数据 (b);

涉及在所述第二时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第一风力涡轮机 (wt_A) 的功率输出的所述功率数据 (a);

涉及在所述第二时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第二风力涡轮机 (wt_B) 的功率输出的所述功率数据 (B); 以及

所述第一功率曲线 (105),

其中, 特别地, 所述第一风力涡轮机 (wt_A) 和所述第二风力涡轮机 (wt_B) 在相同时间间隔总是以不同的操作构型操作,

其中, 导出所述第二功率曲线包括:

采用计算方案来导出所述第二功率曲线的第一估计 (111),

所述计算方案将涉及在所述第一时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第一风力涡轮机 (wt_A) 的功率输出的所述功率数据 (A) 作为第一输入 (250);

所述计算方案将涉及在所述第一时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第二风力涡轮机 (wt_B) 的功率输出的所述功率数据 (b) 作为第二输入 (251),

其中, 所述计算方案进一步使用所述第一功率曲线来导出所述第二功率曲线的所述第一估计 (111),

其中, 所述第二功率曲线 (103) 是进一步基于所述第二功率曲线的所述第一估计 (111)

导出的,其中,所述计算方案特别地导出供应给所述第一输入的数据和供应给所述第二输入的数据之间的差异。

2.根据前一权利要求所述的方法,

其中,导出所述第二功率曲线还包括:

采用所述计算方案来导出所述第二功率曲线的第二估计(113),

所述计算方案将涉及在所述第二时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的所述功率数据(B)作为第四输入(253);

所述计算方案将涉及在所述第二时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的所述功率数据(a)作为第三输入(252),

其中,所述计算方案进一步使用所述第一功率曲线来导出所述第二功率曲线的所述第二估计(113),

其中,所述第二功率曲线是进一步基于所述第二功率曲线的所述第二估计导出的。

3.根据前一权利要求2所述的方法,其中,导出所述第二功率曲线包括:

将所述第二功率曲线(103)导出作为所述第二功率曲线的所述第一估计(111)和所述第二功率曲线的所述第二估计(113)的均值、特别是加权均值。

4.根据权利要求2所述的方法,其中,导出所述第二功率曲线包括:

采用所述计算方案来导出所述第二功率曲线的第三估计(233),

所述计算方案将涉及在所述第一时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的所述功率数据(a)作为所述第一输入(250);

所述计算方案将涉及在所述第一时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的所述功率数据(B)作为所述第二输入(251),

其中,所述计算方案进一步使用所述第一功率曲线来导出所述第二功率曲线的所述第三估计(233),

其中,所述第二功率曲线是进一步基于所述第二功率曲线的所述第三估计导出的,和/或

其中,导出所述第二功率曲线包括:

采用所述计算方案来导出所述第二功率曲线的第四估计(235):

所述计算方案将涉及在所述第二时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的所述功率数据(A)作为所述第三输入(252);

所述计算方案将涉及在所述第二时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的所述功率数据(b)作为所述第四输入(253),

其中,所述计算方案进一步使用所述第一功率曲线来导出所述第二功率曲线的所述第四估计(235),

其中,所述第二功率曲线(237)是进一步基于所述第二功率曲线的所述第四估计(235)导出的。

5.根据前一权利要求4所述的方法,其中,导出所述第二功率曲线包括:

将所述第二功率曲线(237)导出作为所述第二功率曲线的所述第一估计(211)、所述第二功率曲线的所述第二估计(213)、所述第二功率曲线的所述第三估计(233)和从所述第二功率曲线的所述第四估计(235)导出的第四估计导出曲线、以及所述第一功率曲线的均值、

特别是加权均值,所述第四估计导出曲线特别地是通过使所述第四估计在所述第一功率曲线处镜像来获得的。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,

其中,所述第一时间间隔和/或所述第二时间间隔的范围在30秒和一分钟之间、或在1h和36h之间或在一天和一年之间,其中,所述第一时间间隔和所述第二时间间隔之间的中间时间间隔的范围在0.05h和0.5h之间,和/或

其中,在获取功率数据并将其用于计算所述第二功率曲线的任何时间,所述第一风力涡轮机和所述第二风力涡轮机以所述第一操作构型和所述第二操作构型中的不同操作构型操作,和/或

其中,所述第一操作构型表示非升级的构型或参考构型,并且所述第二操作构型表示升级的操作构型。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,还包括:

接收涉及在多个另外的第一时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的功率数据;

接收涉及在所述多个另外的第一时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的功率数据;

接收涉及在多个另外的第二时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的功率数据;

接收涉及在所述多个另外的第二时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的功率数据;

其中,导出所述第二功率曲线是进一步基于:

涉及在所述多个另外的第一时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的所述功率数据;

涉及在所述多个另外的第一时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的所述功率数据;

涉及在所述多个另外的第二时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的所述功率数据;

涉及在所述多个另外的第二时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的所述功率数据;以及

所述第一功率曲线。

8. 根据前一权利要求所述的方法,

其中,使用所述计算方案,针对所述多个另外的第一时间间隔中的每一个,导出所述第二功率曲线的相应的另外的第一估计,

其中,使用所述计算方案,针对所述多个另外的第二时间间隔中的每一个,导出所述第二功率曲线的相应的另外的第二估计,

其中,所述第二功率曲线被导出作为所述第一估计、所述第二估计、所述另外的第一估计和所述另外的第二估计的均值、特别是加权均值。

9. 根据前一权利要求所述的方法,

其中,使用所述计算方案,针对所述多个另外的第一时间间隔中的每一个,导出所述第

二功率曲线的相应的另外的第三估计,

其中,使用所述计算方案,针对所述多个另外的第二时间间隔中的每一个,导出所述第二功率曲线的相应的另外的第四估计,

其中,所述第二功率曲线(237)被导出作为所述第一估计、所述第二估计、所述第三估计、所述第四估计、所述另外的第一估计和所述另外的第二估计、所述另外的第三估计和所述另外的第四估计的均值、特别是加权均值。

10.根据前述权利要求2至9中任一项所述的方法,

其中,所述计算方案导出供应给所述第一输入(250)的数据和供应给所述第二输入(251)的数据之间的功率差异,

其中,所述计算方案导出供应给所述第三输入(252)的数据和供应给所述第四输入(253)的数据之间的功率差异,

其中,所述计算方案使用涉及根据所述第一操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的所述功率数据和所述第一功率曲线,以将所述功率差异分配给不同的风速箱,和/或

其中,所述计算方案使用涉及根据所述第一操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的所述功率数据和所述第一功率曲线,以将所述功率差异分配给不同的风速箱,

其中,所述计算方案对每个风速箱中的所述功率差异求平均,以导出每个风速箱的功率变化,以便导出所述第二功率曲线的差分形式,

其中,所述计算方案特别地适于根据局部或参考风速分布对所有风速箱的所述功率变化求积分或求和,以导出总能源生产量的差异。

11.根据前述权利要求中任一项所述的方法,

其中,当所述第一和/或第二风力涡轮机根据所述第一操作构型操作时,所述第一功率曲线(105)指定依赖于风速的有功功率输出,

其中,当所述第一和/或第二风力涡轮机根据所述第二操作构型操作时,所述第二功率曲线(103、237)指定依赖于风速的有功功率输出。

12.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述第一操作构型与所述第二操作构型在以下各方面中的至少一个方面不同:

硬件构型;

软件构型、特别是控制软件构型,特别地取决于包括旋转速度和/或风速在内的至少一个操作参数来指定桨距角和/或转矩和/或偏航角。

13.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述方法应用于N个风力涡轮机,特别是暴露于自由的未受干扰的风的前向风力涡轮机,其中,限定了多个风力涡轮机对、特别是N-1个重叠对,每一对包括紧邻的风力涡轮机,其中,对于每一对,在任何时间间隔内根据所述第一操作构型操作所述风力涡轮机中的一个并且根据所述第二操作构型操作另一风力涡轮机以产生所述功率相关数据,其中,如使用来自任一对的功率数据获得的所述第二功率曲线的结果被求平均以导出所述第二功率曲线。

14.用于估计风力涡轮机的关于第二操作构型的第二功率曲线(103、237)的装置(101、201),所述装置包括处理器,所述处理器具有:

适于进行以下操作的输入(250、251、252、253):接收与第一操作构型、特别是参考操作构型有关的功率输出数据(a、b);

接收涉及与所述第二操作构型有关的功率输出的功率数据(A、B);

使用与所述第一操作构型有关的所述功率输出数据(a、b)、与所述第二操作构型有关的所述功率输出数据(A、B)、以及所述第一操作构型的第一功率曲线(105)来导出所述第二功率曲线(103、237),

其中,导出所述第二功率曲线包括:采用计算方案来导出所述第二功率曲线的第一估计(111),

所述计算方案将涉及在所述第一时间间隔内根据所述第二操作构型操作的所述第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的所述功率数据(A)作为第一输入(250);

所述计算方案将涉及在所述第一时间间隔内根据所述第一操作构型操作的所述第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的所述功率数据(b)作为第二输入(251),

其中,所述计算方案进一步使用所述第一功率曲线来导出所述第二功率曲线的所述第一估计(111),

其中,所述第二功率曲线(103)是进一步基于所述第二功率曲线的所述第一估计(111)导出的,所述装置适于控制或实施根据前述权利要求中任一项所述的方法。

15. 测试系统(100、200),包括:

根据前一权利要求所述的装置(101、201);

至少一个第一风力涡轮机(wt_A);

至少一个第二风力涡轮机(wt_B),

所述装置通信地连接到所述风力涡轮机,以便接收功率相关数据和/或控制所述风力涡轮机。

估计升级的功率曲线

技术领域

[0001] 本发明涉及一种估计风力涡轮机的关于第二操作构型、特别是升级的操作构型的第二功率曲线的方法。此外,本发明涉及一种用于估计第二功率曲线的对应装置(arrangement),并且还涉及一种包括该装置和至少两个风力涡轮机的系统。

背景技术

[0002] 在风力涡轮机的寿命期间,风力涡轮机可接收关于硬件和/或软件的升级。特别地,升级可旨在增加风力涡轮机的功率输出。因此,需要确定在升级之后风力涡轮机的性能。特别地,可能需要以客户可信的方式对能源改善进行量化。

[0003] EP 2679813B1公开了一种用于优化风力涡轮机的参数设定的方法和装置。

[0004] 出版物“Sideby Side Testing to Verify Improvements of Power Curves (并排测试以验证功率曲线的改善)”(Deutsche Windguard, 2014年,斯德哥尔摩北欧风电会议)公开了并排测试以验证功率曲线的改善。其中所公开的方法需要相对长的测量时间并且在所有情况下都不够高效(例如,关于测量时间)。

[0005] EP 3380725B1公开了一种用于监测和评估风电场的一个或多个风力涡轮机的功率性能变化的方法。

[0006] US10815972B2公开了一种用于评估或验证由一个或多个升级产生的风力涡轮机或风电场性能的方法,其中,来自风电场中的风力涡轮机的操作数据的测量结果被获得。

[0007] 在常规方法中,已观察到,特别是在部分功率生产模式下,可能难以评估升级的效果。使用基于气象桅杆或激光雷达的风速测量数据进行常规功率曲线分析可能不够准确。常规地,可能已经采用了比较升级前后的能源输出的差分方法。然而,已经观察到必要的准确度是难以实现的,并且常规方法需要相对长的测量时间。

[0008] 因此,可能需要一种确定风力涡轮机的关于第二操作构型(特别是升级的操作构型)的升级的功率曲线(特别是或通常为第二功率曲线)的方法,其中,准确度得以改善和/或测量时间得以缩短。

发明内容

[0009] 该需求可通过根据独立权利要求的主题来满足。本发明的有利实施例由从属权利要求描述。

[0010] 根据本发明的实施例,提供了一种估计风力涡轮机的关于第二操作构型的第二功率曲线的方法,该方法包括:接收与第一操作构型、特别是参考操作构型有关的功率输出数据;接收涉及与第二操作构型有关的功率输出的功率数据;使用与第一操作构型有关的功率输出数据、与第二操作构型有关的功率输出数据、以及第一操作构型的第一功率曲线来导出第二功率曲线。

[0011] 由此,接收涉及与第二操作构型有关的功率输出的功率数据包括:接收涉及在第一时间间隔内根据第二操作构型操作的至少一个第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出

的功率数据;接收与第一操作构型有关的功率输出数据包括:接收涉及在第一时间间隔内根据第一操作构型操作的至少一个第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据,该方法还包括:接收涉及在第二时间间隔内根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据、接收涉及在第二时间间隔内根据第二操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据;其中,导出第二功率曲线是基于:涉及在第一时间间隔内根据第二操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据;涉及在第一时间间隔内根据第一操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据;涉及在第二时间间隔内根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据;涉及在第二时间间隔内根据第二操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据;以及第一功率曲线。

[0012] 该方法可例如以软件和/或硬件来实施,并且可例如由风电园控制器的模块或者一个或多个风力涡轮机的模块来执行。

[0013] 第一/第二功率曲线可指示当风力涡轮机根据第一/第二操作构型操作时取决于风速的风力涡轮机的功率输出。该方法可以是差分方法的特定变体,其中,比较一个或至少两个风力涡轮机在根据第一操作构型和第二操作构型操作时的性能、特别是有功功率输出。

[0014] 可接收来自至少两个不同的风力涡轮机(根据第一操作构型和第二操作构型操作,特别是在相同时间间隔内)的功率输出数据,所述至少两个不同的风力涡轮机可例如布置成彼此靠近(诸如,例如在100m和5km之间的距离范围内),所述至少两个不同的风力涡轮机可例如被包括在单个风电园中。

[0015] 当考虑至少两个不同的风力涡轮机时,它们可经受类似或甚至相同的风力条件。特别地,可避免唤醒条件。该方法特别地可能不需要考虑任何风速测量数据就能最终导出第二功率曲线。当采用至少两个不同的风力涡轮机时并且当考虑它们各自的功率输出数据并将其用于确定第二功率曲线时,两个不同的风力涡轮机可具有相同的类型和一般的构造设计。

[0016] 当考虑多个风力涡轮机时,可执行多次切换,并且在每次切换之后(例如,在足够的等待时间之后,以便稳定到新近设定的操作构型),可收集相应的功率输出数据。当存在或正在检查单个风力涡轮机时,在根据第一操作构型操作风力涡轮机时提供多个测量间隔,并且在根据第二操作构型操作风力涡轮机的同时提供多个其他测量间隔。由此,可将风力条件、特别是风速的变化平均化。

[0017] 功率输出数据可涉及风力涡轮机的发电机的功率输出,功率输出数据可例如基于风力涡轮机的输出端子处的电压和/或电流的测量结果。因此,风力涡轮机可配备有测量传感器,特别是电压传感器和电流传感器。

[0018] 第一功率曲线可表示或者是预期的原始或参考功率曲线或保证的原始功率曲线,例如在将风力涡轮机升级到第二操作构型之前应用的功率曲线。然而,本发明的实施例还允许评估任何两个操作构型,因此不一定限于参考操作构型和升级的操作构型。

[0019] 当采用差分方法时,不需要进行风速测量。此外,该方法可能不需要获取和利用以相同的操作构型操作的两个不同的风力涡轮机的任何功率输出数据。在常规方法中,两个不同的风力涡轮机可能已经以参考操作构型操作,并且已经考虑从两个风力涡轮机获得的

输出数据以便导出升级的操作构型的功率曲线。根据本发明的实施例,这不再是必要的。由此,可减少测量时间,同时最终导出的第二功率曲线的准确度可足够高。

[0020] 该方法不仅可应用于风力涡轮机,而且可应用于需要关于不同操作构型进行评定的任何能源生产设施或发电设施。例如,该方法可应用于太阳能生产设施、潮汐水能生产设施或其他生产设施。例如,作为附加步骤,该方法还可通过根据例如本地或参考风速分布对第二功率曲线求积分来导出年能源生产量(AEP)的估计的变化或改善。

[0021] 随后的实施例涉及采用可并排布置或至少在空间上彼此靠近布置的至少两个风力涡轮机(或多对风力涡轮机)。

[0022] 由此,两个风力涡轮机根据两种不同的操作构型操作,并且它们各自的功率输出数据被获取。因此,该方法采用差分方法来最小化年能源生产量(AEP)的估计的改善或者功率曲线的改善(或变化)中的剩余不确定性。在第一测量周期或第一时间间隔中,涡轮机“a”可被视为参考涡轮机(非升级的),而涡轮机“B”已升级并且也根据升级的操作构型(一般地,第二操作构型)操作。该测量阶段可缩写为“aB”。在第二测量周期或第二时间间隔中,涡轮机两者都改变它们的模式或它们各自的操作构型。该测量阶段然后可缩写为“Ab”。可重复切换方案,直到可达到足够的准确度:aB、Ab、aB、Ab、aB、Ab、...。

[0023] 这种切换方案与适当的评定算法(见下文)一起可产生关于第二功率曲线的优异的准确度。优异的准确度可由最大化的对称性造成,最大化的对称性可产生最大化的误差消除。可能不需要比如“ab”或“AB”之类的测量阶段,即其中两个涡轮机根据相同的操作构型操作的测量阶段,因为它可能产生较差的准确度。

[0024] 如果使用多于两个的风力涡轮机,则可通过将相邻涡轮机保持处于不同的操作构型来改善准确度。

[0025] 可尽可能频繁地执行不同操作构型之间的切换,因为这可抵消测量误差、环境条件、设备退化中的漂移的影响。关于就在切换之前和尤其是就在切换之后的功率输出的测量结果可能会被丢弃。这可避免由于时间同步误差所致的损坏,并且可允许发电厂或风力涡轮机稳定处于它们各自的操作构型。为了避免丢弃有意义的比例的测量时间或测量数据,可将切换周期选择为与丢弃周期相比相对长。例如,每日切换并丢弃切换前10分钟的测量结果和切换后30分钟的测量结果可能是方便的。

[0026] 对于两个或更多个涡轮机的任何对(组合),可计算参考(例如,第一)操作构型和升级的(例如,第二)操作构型之间的差异。对于同时进行测量的多对来说,可确保更相似的环境条件,这可产生更高的准确度。因此,可能仅需要考虑成对的两个不同的涡轮机。显然,可以总是避免唤醒条件。考虑到每一对的测量时间,可将总体结果计算为加权平均。来自不同对的结果之间的差异可产生不确定性度量。

[0027] 根据本发明的实施例,导出第二功率曲线包括:采用计算方案来导出第二功率曲线的第一估计,该计算方案将涉及在第一时间间隔内根据第二操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据作为第一输入;该计算方案将涉及在第一时间间隔内根据第一操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据作为第二输入,其中,该计算方案进一步使用第一功率曲线来导出第二功率曲线的第一估计,其中,第二功率曲线是进一步基于第二功率曲线的第一估计导出的,其中,该计算方案特别地导出供应给第一输入的数据和供应给第二输入的数据之间的差异。

[0028] 根据本发明的实施例,导出第二功率曲线还包括:采用计算方案来导出第二功率曲线的第二估计,该计算方案将涉及在第二时间间隔内根据第二操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据作为第四输入;该计算方案将涉及在第二时间间隔内根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据作为第三输入,其中,该计算方案进一步使用第一功率曲线来导出第二功率曲线的第二估计,其中,第二功率曲线是进一步基于第二功率曲线的第二估计导出的。

[0029] 该计算方案可被实施为数学算法,例如软件程序中的子例程。该计算方案可能需要作为第一输入的数据和作为第二输入的数据。第一输入和第二输入可能需要相同类型(基本类型或对象类型)的输入数据,诸如计算机变量的类型。第一输入以及第二输入可能例如需要例如浮点数的数组,或者封装浮点值数组的任何特定对象,特别地表示在相应的第一和/或第二时间间隔内的不同时间点的功率输出。可将相同的计算方案应用于第一输入和第二输入的不同表示。当用不同的输入数据供应给相同的计算方案时,该方法可被简化。

[0030] 第一输入和第二输入以及第三输入和第四输入可能不一定位于软件功能的第一和第二或者第三和第四输入位置处,而是可位于软件功能的任何输入位置处。功率数据可例如被表示为浮点数组或任何其他基本数字类型。功率数据还可以以软件的任何其他对象或结构来表示。计算方案可被构造成导出供应给第一输入的数据和供应给第二输入的数据之间的差异。因此,例如,计算方案可计算第一风力涡轮机在根据第二操作构型操作时的功率输出和第二风力涡轮机在根据第一操作构型操作时的功率输出之间的差异。该差异在为正时可反映关于与第一操作构型相比第二操作构型的功率输出的改善。

[0031] 功率输出数据可包括低于标称功率以及还包括高于标称功率的功率输出数据。特别地,功率输出数据可包括在部分负载状态下低于标称功率输出的数据。

[0032] 因此,第二功率曲线的第一估计可涉及当第一涡轮机根据第二操作构型操作时并且当第二风力涡轮机根据第一操作构型操作时的功率输出测量数据或者可从该功率输出测量数据导出。相比之下,第二功率曲线的第二估计可从当第一风力涡轮机根据第一操作构型操作并且第二风力涡轮机根据第二操作构型操作时的功率输出数据导出。当考虑第二功率曲线的第一估计以及第二估计时,导出的第二功率曲线可较少地受到两个不同的风力涡轮机之间的系统误差的影响,特别是关于总体性能差异。

[0033] 根据本发明的实施例,导出第二功率曲线包括将第二功率曲线导出作为第二功率曲线的第一估计和第二功率曲线的第二估计的均值、特别是加权均值。求平均或导出均值可减少系统误差。例如,可根据第一时间间隔和第二时间间隔的相应长度来应用权重。

[0034] 根据本发明的实施例,导出第二功率曲线包括:采用计算方案来导出第二功率曲线的第三估计,该计算方案将涉及在第一时间间隔内根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据作为第一输入;该计算方案将涉及在第一时间间隔内根据第二操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据作为第二输入,其中,该计算方案进一步使用第一功率曲线来导出第二功率曲线的第三估计,其中,第二功率曲线是进一步基于第二功率曲线的第三估计导出的,和/或其中,导出第二功率曲线包括:采用计算方案来导出第二功率曲线的第四估计:该计算方案将涉及在第二时间间隔内根据第二操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据作

为第三输入;该计算方案将涉及在第二时间间隔内根据第一操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据作为第四输入,其中,该计算方案进一步使用第一功率曲线来导出第二功率曲线的第四估计,其中,第二功率曲线是进一步基于第二功率曲线的第四估计导出的。

[0035] 为了导出第三估计和第四估计,除了如在第一时间间隔和第二时间间隔期间获取的输出数据之外,不需要关于功率输出的另外的测量数据。然而,为了分别导出第三估计和第四估计,如与第一估计和第二估计的导出相比较,用关于第一输入和第二输入的交换的输入数据供应给计算方案。发明人发现,出乎意料地,第三估计和第四估计分别与第一估计和第二估计不同(并且不是第一估计和第二估计的负数)。而且,当考虑差分第二功率曲线(因此是第二功率曲线和第一功率曲线之间的差异)时,它们不只是第一估计或第二估计的负数。相反,当基于第二功率曲线的第一、第二、第三以及还有第四估计来导出第二功率曲线时,可改善第二功率曲线的准确度,并且特别地可减少系统误差。

[0036] 出于以下原因,通过利用交换输入(“后向”)重复整个计算并最终对第一(“前向”)和第二(“后向”)上的结果求平均,可改善准确度:

[0037] 当整个前向计算被简化为 $\Delta F = [(A-b) + (B-a)]/2$ 时,后向计算 $\Delta B = [(a-B) + (b-A)]/2$ 除了符号反转之外可能不会完全产生相同的结果,因为实际计算是一个复杂的算法,其需要例如数据分箱(binching)、内插(用多边形逼近曲线)和额定功率下的功率封顶(capping)。由于这种复杂性所致,在“(A-b)”后面的过程和“(B-a)”后面的过程中可能出现微小不对称。这导致误差消除不完全,这会使准确度降级并且可被视为高阶误差。向后重复整个计算允许最多地抵消甚至这些高阶误差。

[0038] 相比之下,常规方法具有一个阶段,其中两个涡轮机都没有升级,这充当“零参考”并有助于从一开始就减少微小不对称的影响。付出的代价是以测量时间增加(或者如果测量持续时间有限,则准确度降低)的形式出现。

[0039] 在对来自第一(前向)和第二(后向)计算的结果求平均之前,可将来自后向计算的结果反转。这意味着,并不是反转整个功率曲线,而是仅与参考曲线(例如,第一功率曲线)的(竖直)差异。

[0040] 根据本发明的实施例,导出第二功率曲线包括将第二功率曲线导出作为第二功率曲线的第一估计、第二功率曲线的第二估计、第二功率曲线的第三估计和第二功率曲线的第四估计的均值、特别是加权均值。

[0041] 导出均值可进一步减少系统误差或噪声贡献。可根据相应的第一时间间隔和第二时间间隔的相应长度来应用权重。

[0042] 根据本发明的实施例,第一时间间隔和/或第二时间间隔的范围在例如30秒和1天之间或在1周和1年之间、或在30s和5分钟之间或在1h和36h之间或在1天和一年之间,其中,第一时间间隔和第二时间间隔之间的中间时间间隔的范围在0.05h和0.5h之间,和/或其中,在获取功率数据并将其用于计算第二功率曲线的任何时间,第一风力涡轮机和第二风力涡轮机以第一操作构型和第二操作构型中的不同操作构型操作,和/或其中,第一操作构型表示非升级的构型或参考构型,并且第二操作构型表示升级的操作构型。

[0043] 可采用其他长度的时间间隔和/或中间时间间隔。该方法不要求第一风力涡轮机和第二风力涡轮机在任何时间均以相同的操作构型操作,并且该方法不需要从以相同的操

作构型操作的这两个不同的风力涡轮机获取输出数据。因此,与常规方法相比,可减少测量时间。

[0044] 与非升级的构型或参考构型相比较,升级的操作构型可在硬件和/或软件方面进行升级。由此,可支持常规采用的升级。

[0045] 当存在足够的中间时间间隔时,风力涡轮机可适当地稳定到它们各自的新近设定的操作构型。

[0046] 根据本发明的实施例,该方法还包括:接收涉及在多个另外的第一时间间隔内根据第二操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据;接收涉及在所述多个另外的第一时间间隔内根据第一操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据;接收涉及在多个另外的第二时间间隔内根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据;接收涉及在所述多个另外的第二时间间隔内根据第二操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据;其中,导出第二功率曲线是进一步基于:涉及在所述多个另外的第一时间间隔内根据第二操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据;涉及在所述多个另外的第一时间间隔内根据第一操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据;涉及在所述多个另外的第二时间间隔内根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机(例如,wt_A)的功率输出的功率数据;涉及在所述多个另外的第二时间间隔内根据第二操作构型操作的第二风力涡轮机(例如,wt_B)的功率输出的功率数据;以及第一功率曲线。

[0047] 由此,可在相应的另外的第一时间间隔和另外的第二时间间隔之间执行多次切换。所考虑的输出数据(来自更多的时间间隔)越多,所导出的第二功率曲线的准确度就可能越高。特别地,可减少系统误差和噪声。

[0048] 根据本发明的实施例,使用计算方案,针对所述多个另外的第一时间间隔中的每一个,导出第二功率曲线的相应的另外的第一估计,其中,使用计算方案,针对所述多个另外的第二时间间隔中的每一个,导出第二功率曲线的相应的另外的第二估计,其中,第二功率曲线被导出作为第一估计、第二估计、另外的第一估计和另外的第二估计的均值、特别是加权均值。

[0049] 可与上文提到的第一估计类似地导出相应的另外的第一估计。而且,可与上文提到和解释的第二估计类似地计算另外的第二估计。由此,可进一步改善准确度。

[0050] 根据本发明的实施例,使用计算方案,针对所述多个另外的第一时间间隔中的每一个,导出第二功率曲线的相应的另外的第三估计,其中,使用计算方案,针对所述多个另外的第二时间间隔中的每一个,导出第二功率曲线的相应的另外的第四估计,其中,第二功率曲线被导出作为第一估计、第二估计、第三估计、第四估计、另外的第一估计和另外的第二估计、另外的第三估计和另外的第四估计的均值、特别是加权均值。

[0051] 本文中再次,不需要附加的测量时间间隔,但是另外的第三估计和另外的第四估计是基于与在另外的第一时间间隔和另外的第二时间间隔内获取的相同的功率输出数据来导出的。

[0052] 根据本发明的实施例,计算方案导出供应给第一输入的数据和供应给第二输入的数据之间的功率差异,和/或计算方案导出供应给第三输入的数据和供应给第四输入的数据之间的功率差异,其中,计算方案使用涉及根据第一操作构型操作的第二风力涡轮机(例

如,wt_B)的功率输出的功率数据和第一功率曲线,以将功率差异分配给不同的风速箱(bin),和/或其中,计算方案使用涉及根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的功率数据和第一功率曲线,以将功率差异分配给不同的风速箱,

[0053] 其中,计算方案对每个风速箱中的功率差异求平均,以导出每个风速箱的功率变化,以便导出第二功率曲线的差分形式,其中,计算方案特别地适于根据局部或参考风速分布对所有风速箱的功率变化求积分或求和,以导出总能源生产量的差异。

[0054] 第一功率曲线包括当风力涡轮机根据第一操作构型操作时针对多个风速值的功率输出的信息。因此,第一功率曲线可使得能够从根据第一操作构型操作的风力涡轮机的功率输出推断相应的风速值。风速箱可被定义为从例如风速0到标称风速的多个风速范围。例如,可在例如风速零和标称风速之间提供5至20个风速箱。

[0055] 因此,第二功率曲线的差分形式可表示与第一功率曲线相比的功率曲线的变化,该变化在风力涡轮机根据第二操作构型操作时产生。根据本发明的实施例,该方法可输出第二功率曲线的差分形式,而不以绝对形式提供第二功率曲线。为了导出单个评估或性能值,还可提供第二功率曲线或甚至第二功率曲线的差分形式的积分。该单个值可指示性能增益。

[0056] 根据本发明的实施例,当第一和/或第二风力涡轮机根据第一操作构型操作时,第一功率曲线指定依赖于风速的有功功率输出,其中,当第一和/或第二风力涡轮机根据第二操作构型操作时,第二功率曲线指定依赖于风速的有功功率输出。由此,常规利用的性能数据被提供或被支持。

[0057] 根据本发明的实施例,第一操作构型与第二操作构型在以下各方面中的至少一个方面不同:硬件构型;软件构型、特别是控制软件构型,特别地取决于包括旋转速度和/或风速在内的至少一个操作参数来指定桨距角和/或转矩和/或偏航角。

[0058] 硬件构型可例如关于所使用的风力涡轮机叶片或风力涡轮机叶片附加件、关于功率转换器、关于滤波器电子器件、关于控制硬件或计算机硬件等等是不同的。

[0059] 软件构型可例如关于正常操作控制软件、部分负载控制软件、参考曲线、工作点、标称功率输出、标称旋转速度、标称风速、桨距角参考曲线、转矩参考曲线或偏航角参考曲线是不同的。由此,不同的构型变化被支持。

[0060] 根据本发明的实施例,该方法应用于N个风力涡轮机,特别是常常面向自由的、未受干扰的风的前向风力涡轮机,其中,限定了多个风力涡轮机对、特别是N-1个重叠对,每一对包括紧邻的风力涡轮机,其中,对于每一对,在任何时间间隔内根据第一操作构型操作风力涡轮机中的一个并且根据第二操作构型操作另一风力涡轮机以产生功率相关数据,其中,如使用来自任何一对的功率数据获得的第二功率曲线的结果被求平均以导出第二功率曲线。

[0061] 例如,可选择四个涡轮机来计算AEP改善:称为#1、#2、#3、#4。这些可位于风电园的前排中,在该前排中,涡轮机是最常常具有自由风的涡轮机。这意味着自由流入并且没有来自其他涡轮机的干扰。这些涡轮机可位于稍微笔直的线上。这使#2最靠近#1和#3。并且#3最靠近#2和#4。对于切换方案,可以不仅定义两对相邻的涡轮机,例如(#1,#2)和(#3,#4),而且还可以定义第三对(#2,#3)相邻的涡轮机。这再次改善了最终AEP估计的准确性,该最终AEP估计是通过对所有涉及的涡轮机对的AEP改善求平均(作为最后的步骤)来计算的。

[0062] 根据本发明的实施例,提供了一种基于基线构型的现有的功率曲线获得改变的涡轮机构型的功率曲线并且测量至少一对涡轮机中的功率的方法,其中,两个涡轮机在测量时间内在两种构型“基线”和“改变”之间切换至少一次。完全避免了风测量。可以避免的是,在构型切换期间,形成一对的两个涡轮机始终处于相同的构型。

[0063] 根据本发明的实施例,切换方案总是保持邻近的涡轮机处于不同的构型。这允许产生大量的具有如下情况的对:其是邻近的(靠近在一起->相同的风)并且总是具有不同的构型。对于例如成一排的四个涡轮机,该方法允许形成和计算不只是2个而是3个最佳涡轮机对。最终得到的功率曲线(或基于已知的风分布导出的AEP)是从对所有可获得的对求平均来获得的。

[0064] 应理解,单独地或以任何组合公开、解释、提供或应用于估计风力涡轮机的关于第二操作构型的第二功率曲线的方法的特征可单独地或以任何组合适用于根据本发明的实施例的用于估计风力涡轮机的第二功率曲线的装置,并且反之亦然。

[0065] 根据本发明的实施例,提供了一种用于估计风力涡轮机的关于第二操作构型的第二功率曲线的装置,该装置包括处理器,该处理器具有适于进行以下操作的输入:接收与第一操作构型、特别是参考操作构型有关的功率输出数据;接收涉及与第二操作构型有关的功率输出的功率数据;使用与第一操作构型有关的功率输出数据、与第二操作构型有关的功率输出数据、以及第一操作构型的第一功率曲线来导出第二功率曲线。

[0066] 该装置可特别地被构造成实施根据本发明的实施例的估计第二功率曲线的方法。

[0067] 该装置可以以软件和/或硬件来实施。该装置可还包括适于测量一个或多个风力涡轮机的功率输出的测量传感器。该装置还可包括控制模块,该控制模块可以能够关于相应的操作构型来控制第一风力涡轮机和第二风力涡轮机。

[0068] 根据本发明的实施例,提供了一种测试系统,该测试系统包括:根据前面的实施例的装置;至少一个第一风力涡轮机;至少一个第二风力涡轮机,该装置通信地连接到所述风力涡轮机,以便接收功率相关数据和/或控制所述风力涡轮机。

[0069] 本发明的上文定义的方面和进一步的方面从下文中要描述的实施例的示例显而易见,并且参考实施例的示例来解释。下文中将参考实施例的示例来更详细地描述本发明,但本发明并不限于此。

附图说明

[0070] 现在参考附图来描述本发明的实施例。本发明不限于所图示或描述的实施例。

[0071] 图1示意性地图示了根据本发明的实施例的测试系统,并且还图示了根据一方法的方法步骤,该方法根据本发明的实施例;以及

[0072] 图2示意性地图示了根据本发明的实施例的测试系统,并且还图示了根据一方法的方法步骤,该方法根据本发明的实施例。

具体实施方式

[0073] 附图中的图示呈示意形式。应注意,在不同的图中,结构和/或功能上类似或相同的元件具备相同的附图标记或仅在第一位数字上不同的附图标记。对一个实施例中未描述的元件的描述可从对该元件关于另一个实施例的描述中得到。

[0074] 图1中示意性地图示的测试系统100包括根据本发明的实施例的用于估计风力涡轮机wt_A、wt_B的关于第二操作构型(例如,升级的操作构型)的第二功率曲线103的装置101。装置101包括未详细图示的处理器,该处理器具有适于进行以下操作的输入区段:接收风力涡轮机wt_A、wt_B的关于第一操作构型以及关于第二操作构型的功率输出数据。

[0075] 在图1中图示的实施例中,字母“A”(或P_A)表示根据第二操作构型操作的风力涡轮机wt_A的功率输出,并且字母“b”(或P_b)表示当第二风力涡轮机wt_B根据第二操作构型操作时由其输出的功率输出。装置101被构造成使用与第一操作构型有关的功率输出数据“b”、与第二操作构型有关的功率输出数据“A”、以及第一操作构型的第一功率曲线105来导出第二功率曲线103。

[0076] 测试系统100还包括至少一个第一风力涡轮机wt_A和至少一个第二风力涡轮机wt_B。由此,装置101通信地连接到风力涡轮机wt_A、wt_B,以便接收“A”和“b”的功率相关数据并且还接收功率输出数据“a”和“B”。在图1中图示的实施例中,装置101接收涉及在第一时间间隔内根据第二操作构型操作的第一风力涡轮机(wt_A)的功率输出的功率输出数据“A”。此外,装置101接收涉及在第一时间间隔内根据第一操作构型操作的第二风力涡轮机(wt_B)的功率输出的功率数据“b”。

[0077] 此外,装置101接收涉及在第二时间间隔内根据第一操作构型操作的第一风力涡轮机wt_A的功率输出的功率数据“a”(或P_a),该第二时间间隔不同于第一时间间隔。此外,装置接收涉及在第二时间间隔内根据第二操作构型操作的第二风力涡轮机wt_B的功率输出的功率数据“B”(或P_B)

[0078] 基于接收到的功率数据“Ab”和“aB”,装置导出第二功率曲线103。特别地,包括差分元件107和加法元件109以及未图示的处理器,该处理器从功率输出数据Ab导出第二功率曲线的第一估计111。由此,使用减法元件107从功率数据Ab中减去预期行为143。由减法元件107输出的结果被引导或供应给加法元件109,该加法元件109向其添加预期的原始功率曲线,即第一功率曲线105。加法元件109的输出是第二功率曲线的第一估计111。虚线指示预期的原始功率曲线105。如从图1中可以了解,第一估计111在功率曲线105上方。

[0079] 以类似的方式,装置101通过使用类似的减法元件115和加法元件117处理功率输出数据aB来计算第二功率曲线的第二估计113。在图1中,功率输出数据A、b以组合的方式被描绘为功率曲线119。输出数据aB以组合的方式被描绘为曲线121。

[0080] 使用增益因子元件123和加法元件125,对第一估计111和第二估计113求平均,以便得到第二功率曲线103。第二功率曲线103定义了纵坐标127上的功率依赖于横坐标129处的风速v的关系。可根据以下公式计算年能源生产量的变化OverallDeltaAEP:

[0081]
$$\text{OverallDeltaAEP} = (\text{DeltaAEP}(B-a) + \text{DeltaAEP}(A-b)) / 2$$

[0082] 其中,OverallDeltaAEP可表示第二功率曲线103,DeltaAEP(B-a)可表示第二估计113,并且DeltaAEP(A-b)可例如表示第一估计111,或相应的积分值。

[0083] 图2示意性地图示了根据本发明的实施例的测试系统200,其中,结构和/或功能上类似的元件在图1和图2中用仅在第一数字上不同的附图标记来标记。对在一个特定图中或参考一个特定图未明确描述的一个元件的解释可从对该元件关于另一个图的描述中得到。

[0084] 图2的左手侧对应于图1。右手侧示意性地图示了根据本发明的实施例应用的相对

于左手侧具有交换输入的计算方案的应用。如可以例如从图2的左手侧了解,组合地描绘功率输出Ab的功率曲线219是通过将输出功率A(即,由风力涡轮机wt_A在根据第二操作构型操作时输出的输出功率)提供作为第一输入250而获得的。将b(即第二风力涡轮机wt_B在根据第一操作构型操作时的功率输出)提供作为第二输入251。

[0085] 如可以例如从图2的左手侧了解,组合地描绘功率输出aB的功率曲线243是通过将输出功率a(即,由风力涡轮机wt_A在根据第一操作构型操作时输出的输出功率)提供作为第三输入252而获得的。将B(即,第二风力涡轮机wt_B在根据第二操作构型操作时的功率输出)提供作为第四输入253。

[0086] 与此形成对比,在右手侧,当输出数据a(即,第一风力涡轮机wt_A在根据第一操作构型操作时的输出数据)被提供作为第一输入250的数据时,产生功率曲线231。输出数据B(即,第二风力涡轮机wt_A在根据第二操作操作时的功率输出)被提供作为第二输入251的数据。

[0087] 在左手侧描绘的第一估计211和第二估计213分别等于图1中描绘的第一估计111和第二估计113。从交换输入操作的计算方案中,装置201以与从功率输出数据Ab导出第一估计211类似的方式从功率输出数据aB导出第三估计233。装置201从功率输出数据aB计算第二功率曲线的第二估计213。相比之下,通过交换计算方案的输入,装置从功率输出数据Ab计算第二功率曲线的第四估计235。使用另外的增益元件223(具有1/2的增益),对第一估计211、第二估计213、第三估计233和第四估计235导出的曲线求平均,以便导出第二功率曲线237。

[0088] 注意,在图2中,在求和225处,在右手侧存在“减”号。此处,这意味着不是整条功率曲线204被简单地反转,而是仅204相比于(against)参考205的差异被反转。

[0089] 根据本发明的实施例,通过计算功率曲线“前向”(具有非交换输入)和“后向”(具有交换输入)并对这两个获得的结果求平均来改善误差消除,从而改善准确度。由此,“前向”是左侧的过程,其以初步功率曲线估计203结束。“后向”是右侧的过程,其以初步功率曲线估计205结束。除了交换输入之外,“前向”和“后向”中使用的过程完全相同。这意味着,对于“后向”,来自“基线”构型的数据被视为就好像它来自“改变的”构型。并且反之亦然。因此,映射是:a→A、A→a和b→B、B→b。

[0090] 图1和2中图示的方法可以通过仅考虑两个测量时间间隔(即,获取输出数据Ab的第一时间间隔和获取功率输出数据aB的第二时间间隔)来执行。为了改善第二功率曲线,可考虑多个另外的第一和第二时间间隔(在这些时间间隔中测量另外的功率输出数据)并将其考虑在内以导出改善的第二功率曲线(例如,通过求平均)。

[0091] 因此,在图2上的左手侧和右手侧的评定在采用交换输入的情况下应用了相同的计算方案。这可意味着,来自第一操作构型的测量结果被视为来自第二操作构型,并且反之亦然。交换计算的结果可以是OverallDeltaAEP_Swap。无偏估计的期望可以是 $-1 * \text{OverallDeltaAEP_Swap} = \text{OverallDeltaAEP}$ 。

[0092] 然而,发现该期望存在微小偏差。这些偏差由复杂算法中的不完全误差消除造成,该复杂算法包括数据分箱(binning)、内插和额定功率下的封顶。这导致中间功率曲线111和113的误差中的微小不对称,并因此导致误差消除不完全。通过利用交换输入来重复整个计算,对称性及因此误差消除得到了极大的改善。

[0093] 蒙特卡罗模拟表明,与常规方法相比,所描述的解决方案产生了优异的准确度。当与已公布的解决方案相比时,剩余不确定性的标准偏差减少了约20%。

[0094] 应注意,术语“包括”并不排除其他元件或步骤,并且术语“一”或“一个”并不排除多个。而且,可组合联合不同实施例描述的元件。还应注意,权利要求中的附图标记不应被解释为限制权利要求的范围。

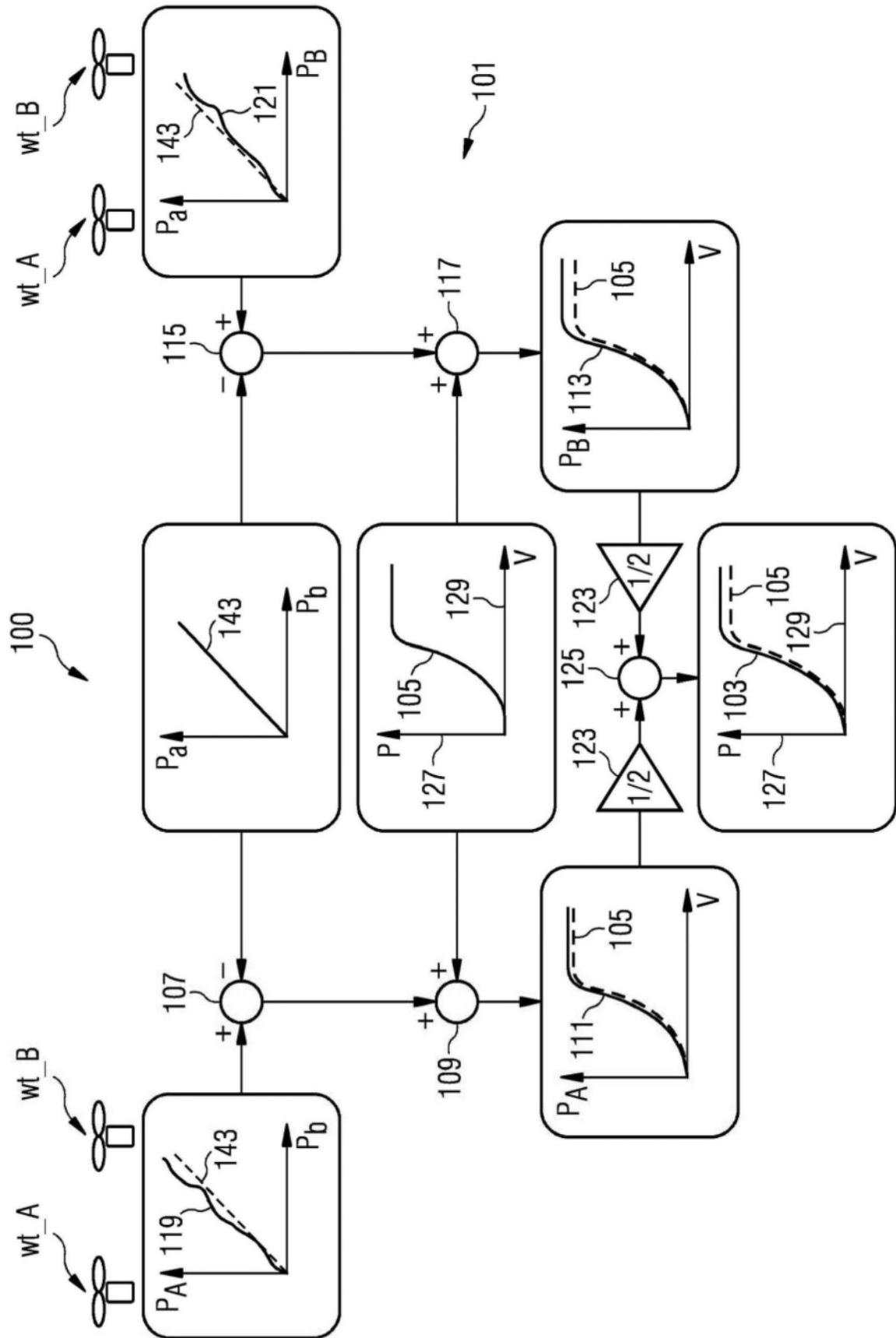


图1

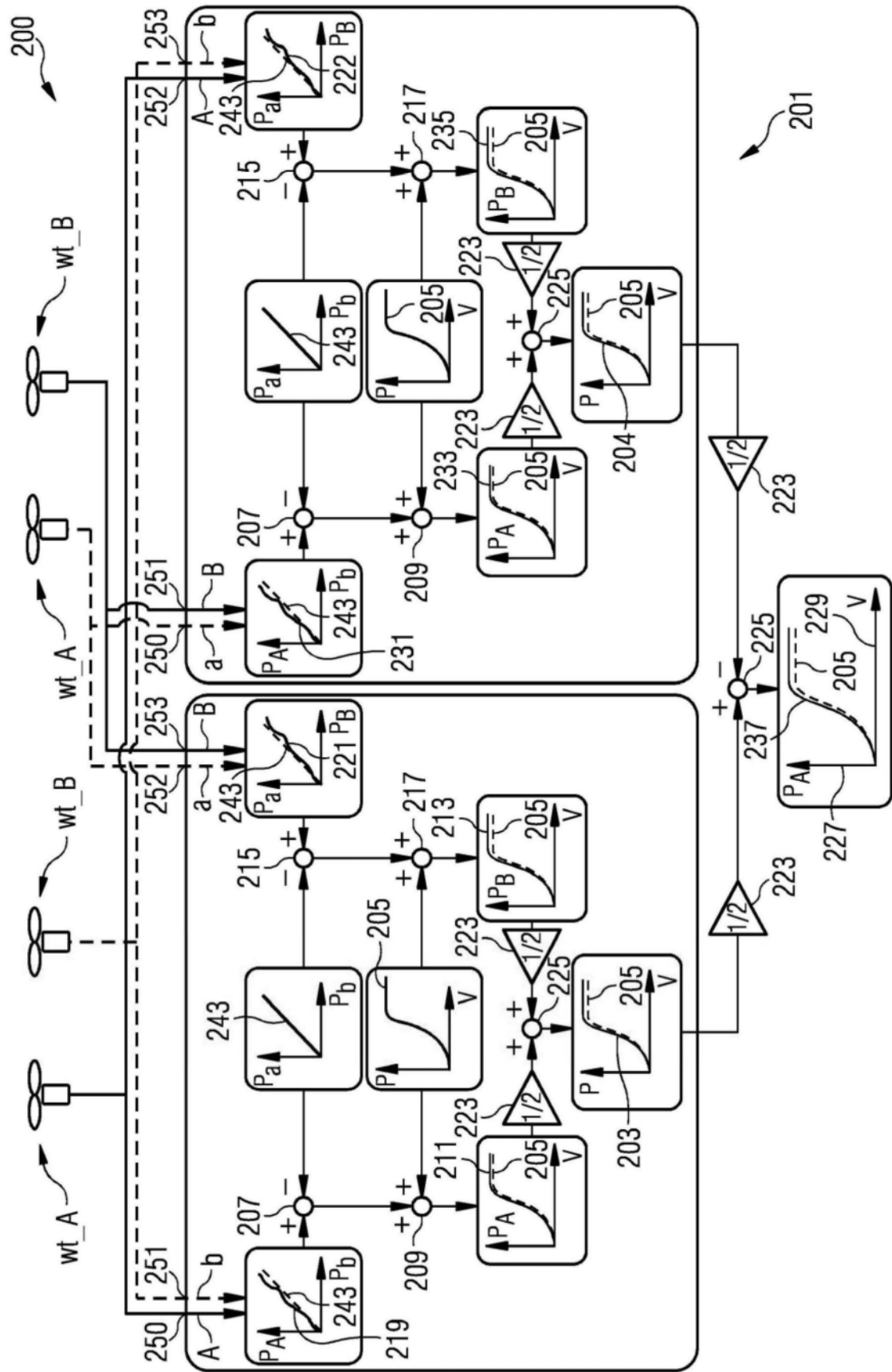


图2