



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710127327.5

[43] 公开日 2008 年 1 月 2 日

[11] 公开号 CN 101096942A

[22] 申请日 2007.7.2

[21] 申请号 200710127327.5

[30] 优先权

[32] 2006.6.30 [33] US [31] 11/428035

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 V·谢林斯

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 刘杰 王小衡

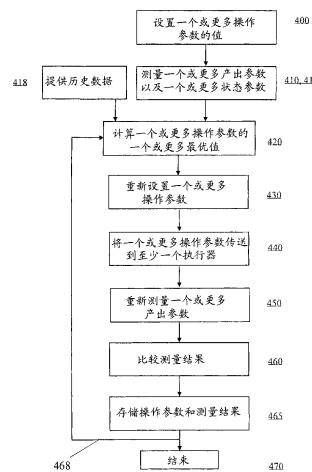
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称

风能系统及其操作方法

[57] 摘要

操作风能系统的方法包括：设置风能系统操作参数值，测量风能系统产出参数，和测量状态参数。另外，该方法包括基于历史数据和测量结果计算操作参数最优值的步骤。该方法还包括重新设置操作参数为操作参数最优值的步骤，其中该设置使产出参数最优。还提供了一种风能系统，具有：测量风能系统产出参数的传感器单元和测量状态参数的传感器；调节风能系统至少一个可调部件的执行器；和自学习控制器。自学习控制器连接至传感器单元和执行器，并且从传感器单元接收测量数据。自学习控制器基于测量数据执行优化计算，基于调节风能系统可调部件的优化计算结果向执行器发送指令信号。该指令信号使得产出参数最优。



1. 一种用于操作风能系统的方法，包括下面的步骤：

将风能系统的至少一个操作参数设置为一个值；

测量风能系统的至少一个产出参数；

测量至少一个状态参数；

基于测量至少一个产出参数的结果、测量至少一个状态参数的结果以及历史数据，计算所述至少一个操作参数的至少一个最优值，其中相对于至少一个产出参数优化最优值；和

将至少一个操作参数重新设置为所述至少一个操作参数的至少一个最优值，所述重新设置使得产出参数最优。

2. 根据权利要求1所述的方法，其中所述至少一个操作参数从由螺距角、转矩需求曲线、旋转速度、尖速比、部件上的负载、方位角位置以及振动等级构成的组中选择。

3. 根据权利要求1或2所述的方法，其中所述至少一个产出参数从由功率曲线、振动等级、部件上的负载以及部件温度构成的组中选择。

4. 根据前述权利要求任一项所述的方法，其中所述方法还包括步骤：

从数据库检索历史数据；以及

将计算得到的数据存储在数据库中。

5. 根据前述权利要求任一项所述的方法，还包括步骤：

确定至少一个现场参数和/或确定时间参数；

其中计算至少一个操作参数的至少一个最优值是进一步基于确定至少一个现场参数和/或确定时间参数的结果。

6. 根据前述权利要求任一项所述的方法，其中所述至少一个状态参数为从由风速、紊流强度、风向、气压、温度和自上一次下雨的天数构成的组中选择的一个或更多参数。

7. 根据前述权利要求任一项所述的方法，进一步包括步骤：

重复测量风能系统的产出参数，从而得到重复产出参数测量结果；

以及

比较产出参数测量结果与重复的产出参数测量结果。

8. 根据前述权利要求任一项所述的方法，进一步包括步骤：

从除了该风能系统的其它风能系统接收数据；

其中

进一步基于所述数据来计算至少一个操作参数的至少最优值。

9. 一种风能系统 (100) 包括:

第一传感器单元 (215), 用于测量风能系统的至少一个产出参数;

第二传感器单元 (202), 用于测量至少一个状态参数;

至少一个执行器 (225), 用于调节风能系统的至少一个可调部件;

连接至第一传感器单元、第二传感器单元以及至少一个执行器的自学习控制器 (200), 所述自学习控制器接收来自第一传感器单元和第二传感器单元的测量数据以及来自数据库 (235) 的历史数据, 所述自学习控制器基于所述测量数据和历史数据执行优化计算, 并基于用于调节风能系统的至少一个可调部件的优化计算结果将指令信号发送至所述至少一个执行器 (225), 其中所述指令信号使得所述至少一个产出参数上升。

10. 根据权利要求 9 所述的风能系统, 进一步包括历史数据库 (235), 连接至自学习控制器 (200), 用于提供历史数据。

风能系统及其操作方法

技术领域

本发明涉及风能系统及其操作方法。

背景技术

现代风能系统的操作承受着巨大的经济压力。通常，风能系统的制造者不得不保证风能系统的能量产出。如果操作中的风能系统的产出经证实低于许诺的产值，那么制造者不得不向风能系统的操作者支付高额的合同违约金。

因此通常的情况是，操作风能系统以能够预期到高产出。为了这样做，在风能系统操作时将可以设置和调节的风能系统的多个操作参数设置为预期提供最大产出的值。然而，尽管这样设置，但是经验表明，风能系统通常仍然在次最优下运行。

发明内容

鉴于上述情况，提供了一种操作风能系统的方法，所述方法包括以下步骤：设置风能系统的至少一个操作参数的值；测量所述风能系统的至少一个产出参数，测量至少一个状态参数。另外，所述方法还包括基于至少一个产出参数的测量结果、至少一个状态参数的测量结果以及历史数据，计算操作参数的至少一个最优值的步骤。另外，所述方法还包括将至少一个操作参数重新设置为所述至少一个操作参数的至少一个最优值的步骤，其中重新设置使得产出参数最优。

根据本发明的第一方面，根据本发明用于操作风能系统的方法包括以下步骤：

测量风能系统的产出参数，从而得到产出参数测量结果；

测量状态参数，从而得到状态参数的测量结果；

基于产出参数测量结果、状态参数测量结果以及历史数据，计算一个或更多操作参数的一个或更多最优值；

将一个或更多操作参数的一个或更多最优值传送给执行器，所述执行器连接至风能系统的可调部件；

重复测量风能系统的产出参数，从而得到重复产出参数测量结果；以及

将一个或更多操作参数的一个或更多最优值以及重复产出参数测量结果存储在数据库中。

这样，在经过特定的学习周期后，风能系统以最优模式运行。因此，平均年产出可以显著提高很多。

通常，将重复产出参数测量结果与产出参数测量结果进行比较，以确定操作参数的修改是否引起产出参数增加。如果导致产出参数增加，则控制器检测认为最优化成功。即，风能系统的操作可以继续使用该操作参数，或者可以在另外的最优循环中进一步提高该操作参数。如果没有导致产出参数增加，即如果当风能系统使用操作参数的最优值操作时产出参数降低，则自学习控制器检测认为最优化不成功。在这种情况下，重复本发明的方法，其中当计算最优操作参数时可以考虑不成功的优化结果。通常的做法还可以是在特定时间间隔内重复本发明的方法。例如，在不同的时间间隔内使得操作参数改变，诸如10分钟或者更长时间，例如一个月。通常重复该方法的时间间隔在30分钟和120分钟之间。根据其它实施例，当观察到产出参数降低时，则重复启动该方法。

根据本发明的另一方面，提供了一种风能系统，该系统具有：用于测量风能系统的至少一个产出参数的传感器单元；用于测量至少一个状态参数的传感器单元；用于调节风能系统的至少一个可调部件的一个或更多执行器；和自学习控制器。所述自学习控制器连接到至少一个传感器单元和至少一个执行器，并从至少一个传感器单元接收测量数据。另外，自学习控制器基于测量数据执行优化计算，并基于用于调节风能系统的至少一个可调部件的优化计算结果，将指令信号发送到所述至少一个执行器。该指令信号使得至少一个产出参数最优。

根据本发明的典型实施例，用于测量至少一个产出参数的传感器单元可以为电流测量装置、功率测量装置或者振动测量装置。另外，用于测量至少一个状态参数的传感器单元可以是风速测量装置、方位角位置测量装置、位移传感器、风向测量装置、温度测量装置、压力测量装置以及空气密度测量装置。另外，根据典型实施例，执行器可以为螺距驱动、机舱驱动（nacelle drive）、发电机控制、变频器控制或者主控制器。

根据本发明的另一方面，提供了一种风场（wind park），其具有

根据本发明的至少两个风能系统以及风能系统之间的连接。所述连接包括用于交换数据的数据连接，尤其是交换历史数据。一般而言，通常并不限于风场的做法是风能系统从其它的风能系统接收历史数据。因此，每个风能系统的优化计算可以因其它风能系统处搜集的经验而受益。

本发明的方法可以在任何风能系统中使用。另外，根据本发明的自学习控制器可以在现有的风能系统中使用，以提高风能系统的性能。为了这样做，根据本发明的自学习控制器可以作为改型组件安装在现有的风能系统中。

从从属权项、说明书以及附图中，本发明另外的方面、优点以及特征将会很清楚。

附图说明

在说明书的剩余部分中，将参考附图向本领域技术人员更加具体地陈述本发明的整个有效的公开，包括其最佳实施例，其中：

图 1 示出了根据本发明的具有自学习控制器的风轮机的示意图；

图 2 示出了根据本发明的第一实施例的方框图；

图 3 示出了根据本发明的第二实施例的方框图；

图 4 示出了根据本发明的第三实施例的方框图；

图 5 示出了根据具有多个风能系统的本发明第四实施例的示意图；

图 6 示出了根据本发明的第一方法实施例的流程图；

图 7 示出了根据本发明的第二方法实施例的流程图；

图 8 示出了根据本发明的第三方法实施例的流程图；

图 9 示出了各种功率曲线图。

具体实施方式

现在将详细参考本发明的各个实施例，在附图中示出了所述各个实施例的一个或者更多实例。通过解释本发明的方式提供了每个实例，但是并不是要限制本发明。例如，示出或者描述为一个实施例的部件的特征可以用于其它实施例或者与其它实施例结合使用，以产生另一实施例。本发明意图在于包括这样的变型和更改。

图 1 是风轮机的示意图。风轮机 100 包括塔架 110，机器机舱 120 安装在其端部。机舱容纳了驱动链，主电力发电机连接至所述驱动链

(未示出)。承载了三片转动叶片 140 的轮轴 (hub) 130 安装在机器机舱 120 的横向端部。可以通过通常容纳在轮轴 130 内的螺距驱动来调节转动叶片 140。转动叶片 140 应正确地安装并对准。通常将转动叶片对准，以使在低风速时叶片定位在空气动力学 0 度位置。自学习控制器 200 可以定位在机舱内。备选地，自学习控制器可以定位在塔架内，例如与其它电子设备集成在控制箱中。

图 2 示出了本发明的一个实施例的方框图。此处，自学习控制器 200 经过传感器连接 210 连接至传感器 215。传感器测量风能系统的至少一个产出参数，诸如实际功率输出。这些测量的结果信息经过传感器连接 210 传递到自学习控制器。自学习控制器还经过执行器连接 220 连接至执行器 225。执行器 225 驱动风能系统的可调部件。在本发明的一个实例实施例中，执行器为控制转动叶片螺距角的螺距驱动。自学习控制器 200 进一步经过状态参数传感器连接 205 连接至状态参数传感器 202。状态参数传感器可以是风速测量装置、方位角位置测量装置、位移传感器、风向测量装置、温度测量装置、压力测量装置或空气密度测量装置。

图 3 为根据本发明另一实施例的方框图。除对于图 2 已经描述的元件之外，数据库 235 通过数据库连接 230 连接至自学习控制器 200。可以以各种方式来使用该数据库。通常，将优化计算的数据存储在数据库中。即，可以将优化计算的结果以及各个输入数据，诸如状态参数、操作参数等的各个值，存储在数据库中。

在一个实施例中，将现场参数存储在数据库中。在这种应用中，应将现场参数定义为不随时间改变的风能系统的参数。通常，现场参数可以包括风能系统塔架高度信息、风能系统位置信息、位置的海拔和/或年平均温度信息。风能系统的位置与诸如功率曲线或者功率的产出参数的优化相关。例如，作为独立的风能系统或者在风力农场 (wind farm) 中，风能系统的现场参数位置可以根据风能系统是否位于山区地带、平原、近海处、海滨而设置为不同值。通常，现场参数与风能系统安装一起进行设置。

存储在数据库中的其它信息可以是历史数据。通常，历史数据包括操作参数和各个产出参数的众多值。在该应用中，术语“操作参数”应理解为可以设置且可以指示风能系统可调部件的执行器必须执行什

么操作的参数。例如，机舱驱动负责旋转机舱，使得转动叶片垂直于风向延伸。当风向改变时，必须调节机舱风向。为了这样做，必须改变机舱位置的操作参数。机舱驱动受已调节的机舱位置操作参数指导，该机舱驱动将机舱移动至正确的位置。除机舱位置之外，通常的操作参数有转动叶片的螺距角、转矩需求曲线（torque demand curve）、每分钟转数（rpm）、尖速比、风能系统各个元件的负载、方位角位置或者振动等级。

根据本发明，还可以将产出参数的历史数据存储在数据库中。术语“产出参数”应理解为与风能系统的输出相关的任何参数。通常，功率曲线是产出参数之一。功率曲线指示了风能系统的功率输出与风速。另外的通常产出参数实例有能量、功率、电流、振动等级、部件负载和部件温度。风能系统部件的实例有塔架、叶片、发电机、驱动等。本发明的典型实例还使得可以对风能系统的一个产出参数进行优化或者同时对风能系统的若干产出参数进行优化。通过给出的实例将很清楚，风能系统的一些参数既是产出参数又是操作参数。例如，振动等级可以用于优化风能系统的能量输出的操作参数。在另外的实施例中，振动等级可以是待优化的产出参数，由于振动等级的降低将使得寿命更长，并因此使得每次安装的产出能量与维护成本之间的比率更高。

根据本发明的另一实施例，可以将状态参数存储在数据库中。在该应用中，术语“状态参数”应理解为与风能系统的环境相关且随时间而改变的任何参数。例如，通常的状态参数有风速、风向、紊流强度、温度、气压或者自从最后一次下雨的天数。应当理解，尽管可以将前面描述的所有类型的参数都存储在数据库中，但是为了实施本发明并不需要存储所有的这些参数。

图 4 是本发明的另一实施例的方框图。除了图 2 和图 3 中示出的元件之外，时钟 245 通过时钟连接 240 连接至自学习控制器 200。在一个实施例中，时钟为自学习控制器提供了实际时间。根据本发明的另一实施例，时钟为自学习控制器提供了时刻、日期、星期几、月份和/或季节。这些时间参数可能在优化不同季节的风能系统操作时是有用的。例如，因秋季下雨，冬季清洁叶片时，季节可以是感兴趣的时间参数，因为这样可以提高风能系统的能量产出和功率曲线。另外的

实例有时刻。可以通过法定噪声规则来限制风能系统的操作，所述法定噪声规则晚上允许的噪声水平比白天允许的噪声水平更小。在这样的情况下，重要的是满足法定噪声要求且同时使得风能系统的能量产出最优。

图 5 示出了根据本发明的多个风能系统的示意图。风能系统通过数据连接 300 彼此连接。尽管不是必须的，但可能的是将每个风能系统与每个其它的风能系统彼此连接。数据连接可以是允许在若干风能系统之间交换信息的任意网络。特别地，数据连接可以是用于在风能系统之间传送数据的无线连接或者电缆连接。数据连接直接或者间接链接至每个风能系统的控制器 200。当计算操作参数的最优值时，自学习控制器还可以基于由其它风能系统提供且通过数据连接 300 传送的信息的优化计算。为了简化起见，在下面，将“操作参数的最优值”称为“最优操作参数”。通常，相同类型的风能系统可以以这种方式彼此链接。通过这样做，可以基于综合的经验数据进行优化。例如在风力农场级或者通过存储世界范围内所有相同类型的风能系统的数据，可以实施经验的组合。在后一种情况，所有风能系统之间的直接或者间接连接是不必要的。例如，可以在安装另一风能系统时将在特定时间周期期间（诸如半年或一年）在一个风能系统中得到的数据早已存储在该另一风能系统的数据库中。另外，还可能的是，选择一个风能系统作为中心控制站，所述中心控制站从所有被连接的风能系统搜集数据并向其它的风能系统提供这些数据和/或已经经过分析和评估的数据。

根据本发明的典型实施例，风能系统包括用于提供历史数据的数据库。基于历史数据，来计算最优操作参数。根据本发明另一典型实施例，风能系统链接至不是风能系统部件的数据库。例如，风能系统可以链接至中心数据库，所述中心数据库从连接至中心数据库的所有风能系统搜集数据。中心数据库还可以向其它风能系统提供历史数据和/或另外的已经经过分析和评估的数据。在这样的情况下，可能的是风能系统本身并不包括数据库。中心数据库可以连接至 10、50、100 甚至更多的风能系统。中心数据库可以包括处理单元（未示出），用于评估风能系统所接收的所有数据。中心数据库在风能系统处并不是必要的，但是可以是例如制造者现场处的独立数据库。

图 6 示出了根据本发明方法的实施例的流程图。在步骤 400，设置风能系统的至少一个操作参数。根据本发明的方法实施例，操作参数的设置值可以从数据库中提取，或者先前已经作为最优操作参数进行计算。例如，所讨论的操作参数可以是每分钟的转数。

在步骤 410，测量风能系统的一个或更多产出参数。例如，可以测量风能系统的功率输出。将在步骤 400 设置的至少一个操作参数值和步骤 410 测量的产出参数都提供给自学习控制器。在步骤 415，测量风能系统的一个或更多状态参数。例如，可以测量实际风速、紊流强度、风向、气压或者温度。将在步骤 400 设置的至少一个操作参数值和步骤 410 测量的产出参数、测量的状态参数以及历史参数 418 提供至自学习控制器。基于这些值，尤其是基于历史数据和测量结果，在步骤 420 由自学习控制器计算一个或更多最优操作参数。为了这样做，通常的做法是自学习控制器使其计算基于另外的信息，诸如另外的操作参数的实际值、时间参数、现场参数或者状态参数。例如除了诸如发电机处能量输出的产出参数测量结果之外，优化计算可以进一步基于最近两小时测量的紊流强度、实际风速、塔架高度、天气情况（即晴天还是雨天）以及季节。

在步骤 430，将所讨论的一个或更多操作参数重新设置为在步骤 420 计算的最优操作参数。通过将操作参数设置为最优操作参数，风能系统的能量产出得到提高。因此，在上面给出的实例中，发电机处的能量输出增加。根据本发明的一些实施例，风能系统继续使用所述最优操作参数一段时间，诸如 1 分钟、10 分钟、15 分钟、30 分钟、1 小时或者更长时间来进行操作。根据本发明的其它实施例，最优操作参数是另一优化循环的起始点。将相对于图 7 和图 8 来示例性地说明这种情况。

根据本发明的典型实施例，风能系统的操作并非对改变的状态参数即刻做出反应。自学习控制器可以使用历史数据库来确定其最优参数设置。因而间接对状态参数做出反应。

图 7 示出了根据本发明方法的实施例的流程图。如在相对于图 6 所描述的实施例中，步骤 400 是指设置至少一个操作参数，步骤 410 是指测量至少一个产出参数，步骤 415 是指测量至少一个状态参数，步骤 418 是指提供历史数据，步骤 420 是指计算至少一个最优操作参

数，并且步骤 430 是指将所述至少一个操作参数重新设置为在计算步骤 420 计算的一个或更多最优操作参数。为了简化起见，步骤 410 和步骤 415 以一个方框示出。在本发明所有的实施例中，产出参数和状态参数可以同时测量或者相继测量。还可以在测量状态参数之前测量产出参数。通常的做法是，将历史数据不断地提供给自学习控制器，而自学习控制器在任何时候当计算需要时接收历史数据。除这些步骤外，在步骤 440，将一个或更多计算的最优操作参数传送给一个或更多执行器，所述每个执行器与风能系统的可调部件连接。执行器及其各个可调部件的实例有：螺距驱动和转动叶片；机舱驱动和机舱；断路器执行器和断路器；以及磁场控制和发电机。诸如螺距驱动的执行器将诸如转动叶片的风能系统各个可调部件调节为最优操作参数。

在步骤 450，测量一个或者更多产出参数。通常，在步骤 450 测量的参数与在步骤 410 测量的参数相同。在步骤 460，由自学习控制器将步骤 410 的测量结果与步骤 450 的测量结果进行比较。附加地或者备选地，还可将测量值与存储在数据库中并从中检索出的历史数据进行比较。当风能系统使用一个或更多最优操作参数操作时产出参数恶化的情况下，自学习控制器可以在重复的步骤 420 中使用该信息用于重复计算。更加详细地，根据本发明的典型实施例，当在步骤 460 没有检测到产出参数增加时，强制性执行循环 468。通常，如果当使用操作参数的最优值操作风能系统时产出参数可以增加，则产出参数得到优化。另外，如果产出参数不能再增加但是却保持在给定实际环境下的高水平时，产出参数也得到优化。

另外，在步骤 465，将所设置的一个或更多操作参数与以供随后检索和比较的产出参数测量结果一起存储在数据库中。根据在步骤 460 搜集的比较结果，如图 7 中由附图标记 470 所指，在该阶段停止优化，或者继续优化循环。在这样的情况下，如图 7 中由线 468 所示，从步骤 420 重复该方法。即，如步骤 420 所述再次计算一个或更多新的最优操作参数。每当必要时和/或有意义时，就重复已经描述的那些另外的步骤。由于操作参数的优化可以很大程度上取决于实际状态参数，因此可能的是在风能系统的操作期间，上述的优化循环从不停止。另一方面，根据其它实施例，可以将诸如图 7 所描述方法的本发明方法中的循环数目限制为给定数目，诸如 5 次重复循环。备选地，当步骤

460 的比较没有得到产出参数的改善，或者仅仅得到微不足道的产出参数的改善时，通过进行至步骤 470 来停止该方法，而不是再次开始循环。另外，可以在不同的时间间隔重复执行本发明的方法，诸如 10 分钟，30 分钟、1 小时或者一天。

图 8 示出了根据本发明方法的另一实施例。在步骤 500，可以测量一个或更多产出参数。在步骤 520，自学习控制基于在步骤 500 接收的测量结果并且还基于在步骤 510 从数据库检索的数据，计算一个或更多最优操作参数。在步骤 530 命令相关执行器将其各个操作参数重新设置为计算的最优操作参数。在步骤 540，再次测量在步骤 500 已经测量过的产出参数。在该阶段，可以将步骤 540 测量的产出参数与来自数据库的历史产出参数进行比较。在步骤 560，将测量的产出参数与步骤 520 中计算的最优操作参数一起存储在数据库中以供随后检索。在该阶段，可以如附图标记 570 所指示，停止该方法。备选地，在典型的实施例中，该方法继续步骤 510 或者步骤 520。如果该方法继续步骤 520，还可以将测量的产出参数的信息存储在诸如随机存取存储器的某个临时存储器中。

图 9 为三条功率曲线 610、620 和 630 的实例图。X 轴 600 代表风速，而 y 轴 605 代表风能系统的功率产出。功率曲线 610 示出了现有技术中公知的风能系统的功率曲线。在执行了本发明的方法实施例后，就可能将功率曲线改变为更好更高的产出值，如功率曲线 620 所示。功率曲线 630 是指另外提高的产出参数功率曲线。例如，可以通过反复执行本发明的方法实施例 10 天来实现功率曲线从 610 至 620 的改善。到功率曲线 630 的进一步改善可以基于执行本发明的方法实施例一个月。这是由于这样的事实，即，搜集的经验和历史数据越多，优化计算越好。

该说明书使用包括最优模式的实例来公开本发明，还使得本领域的任何技术人员可以实施和利用本发明。虽然已经以各种具体实施例的方式对本发明进行了描述，但是本领域技术人员应当认识到，在权利要求书的精神和范围内，可以使用变型形式来实施本发明。特别是，上述实施例中的相互非排他性的特征可以彼此结合。本发明可取得专利的范围由权利要求书限定，并可以包括本领域技术人员可以想到的其它实例。如果这些其它实例的结构元件并非与权利要求书的文字语

言不同，或者它们包括与权利要求书的文字语言没有本质区别的等效结构元件，则这样的其它实例在权利要求书的范围之内。

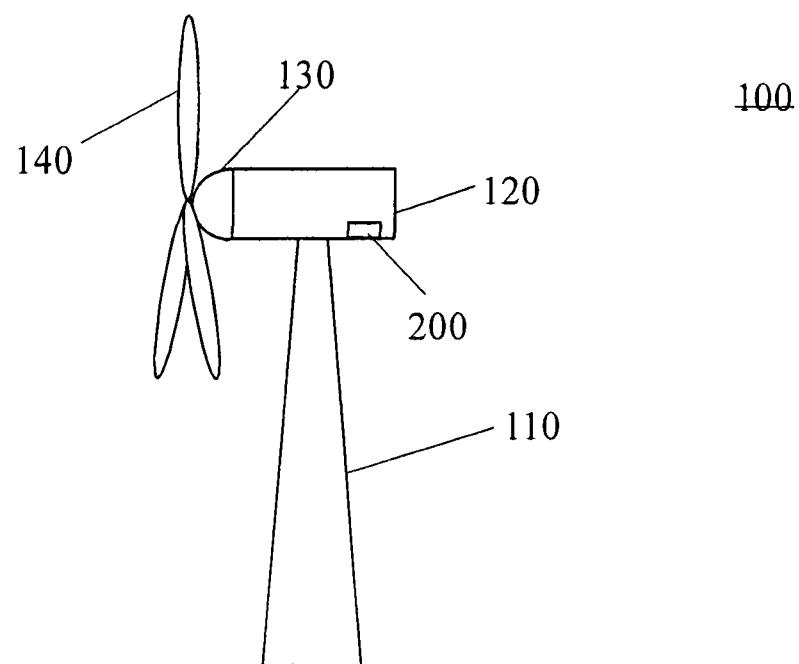


图 1

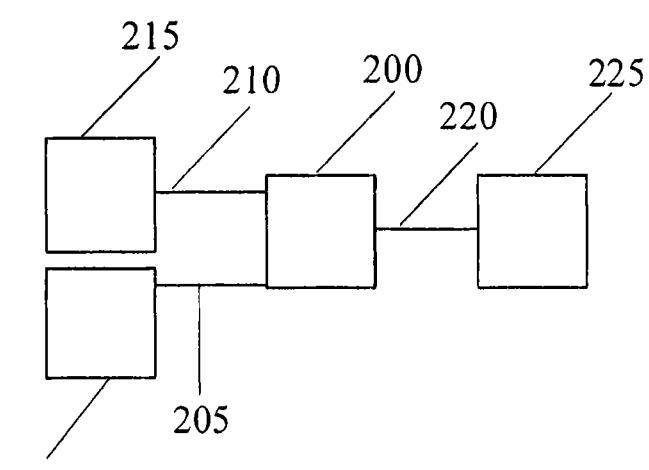


图 2

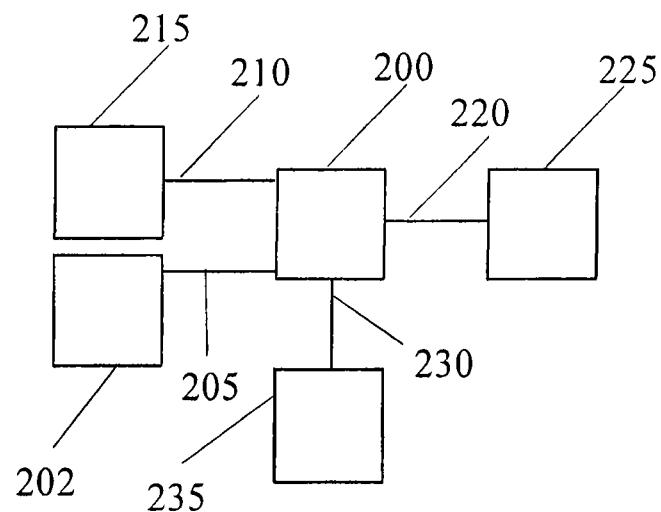


图 3

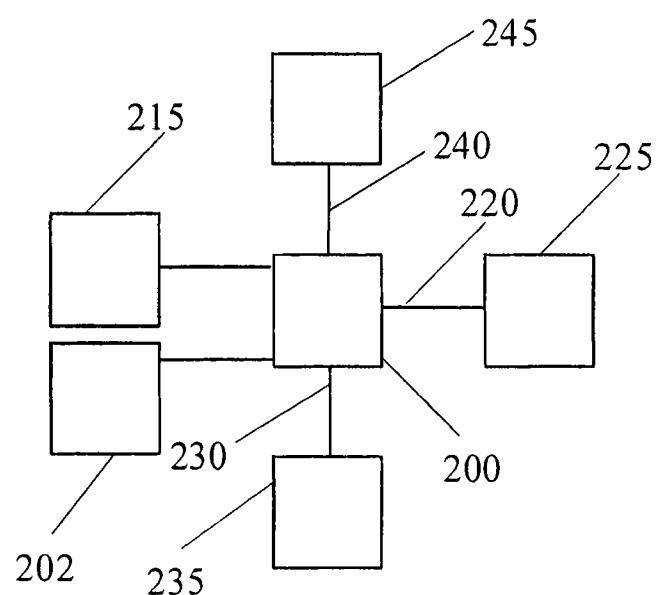


图 4

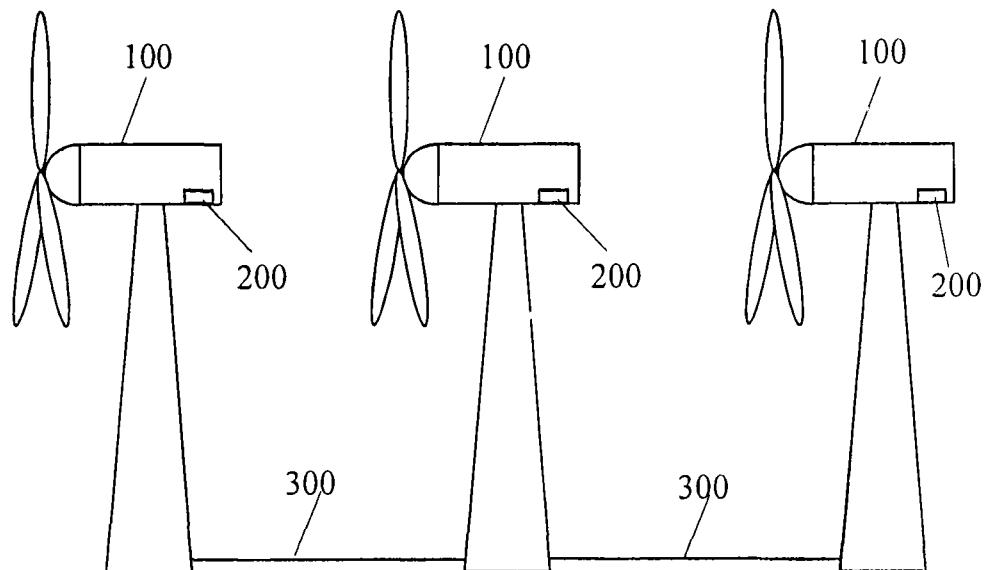


图 5

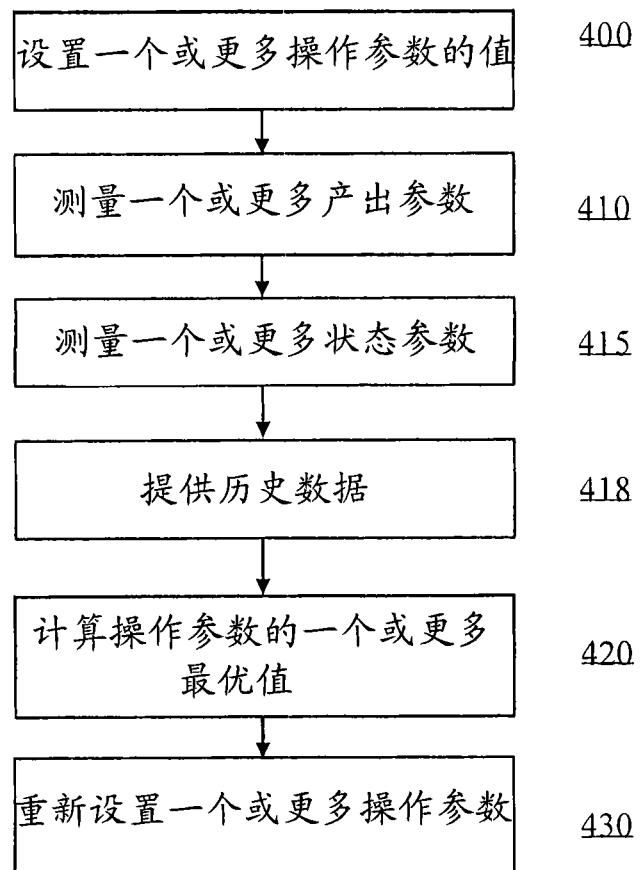


图 6

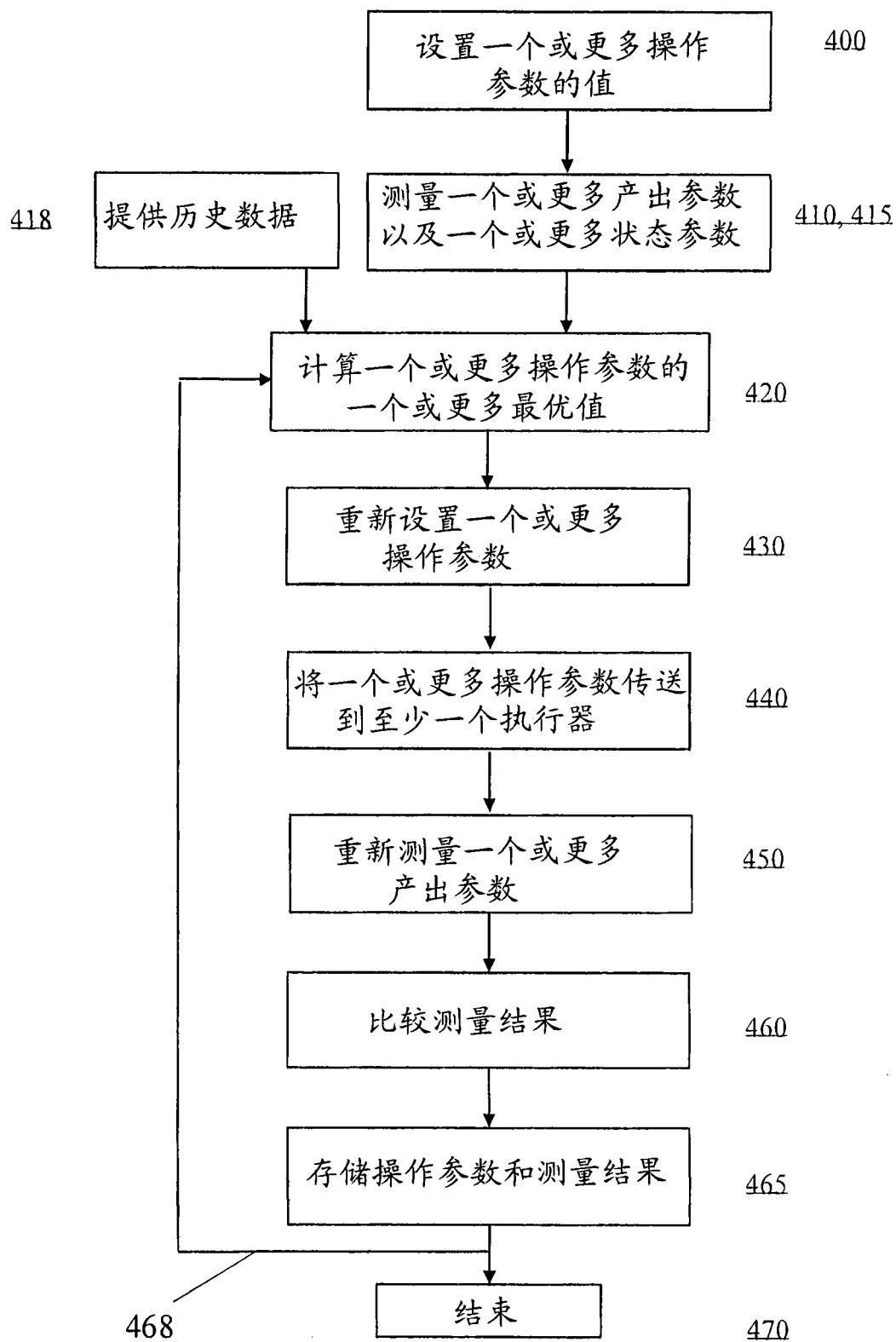


图 7

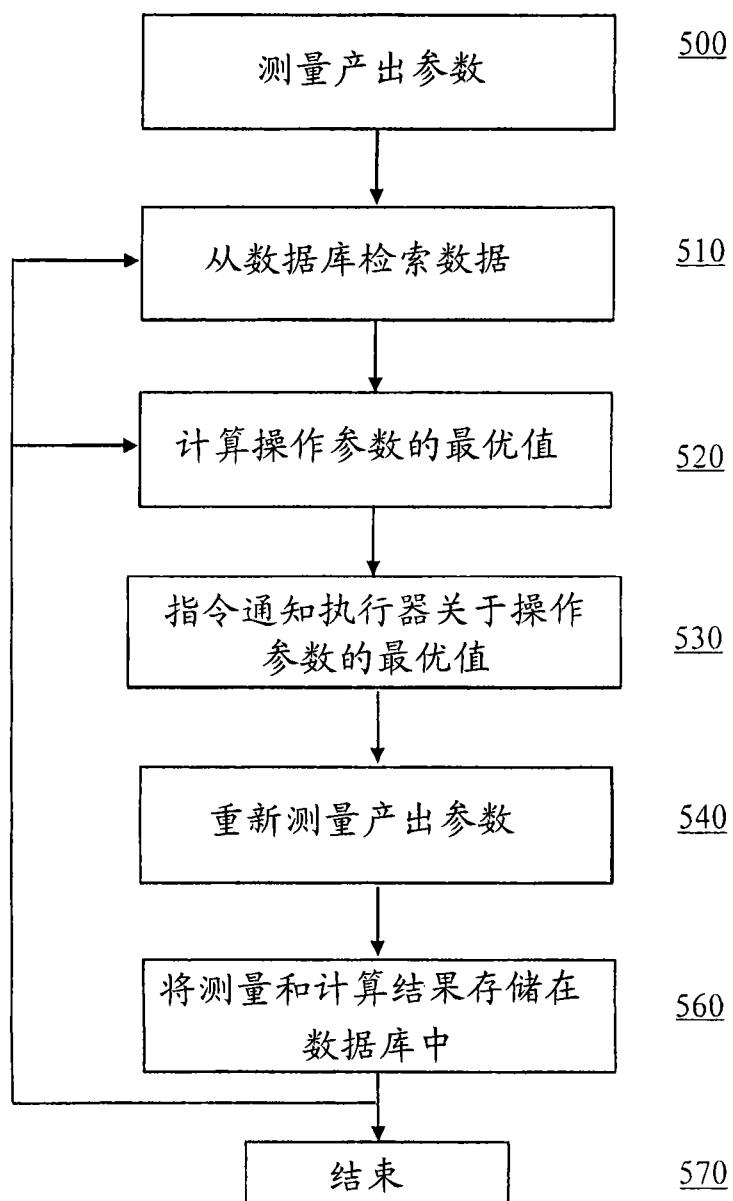


图 8

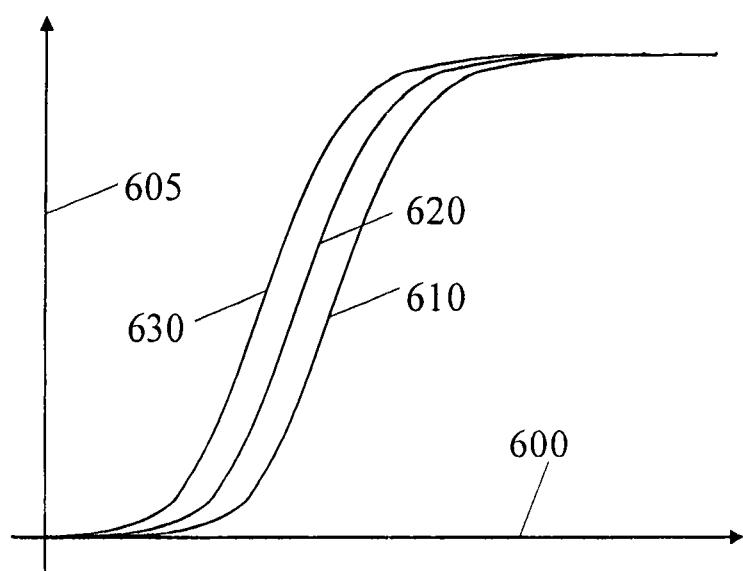


图 9