



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103403346 B

(45) 授权公告日 2016. 06. 22

(21) 申请号 201180066945. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 12. 06

F03D 7/04(2006. 01)

(30) 优先权数据

F03D 7/02(2006. 01)

12/962, 218 2010. 12. 07 US

F03D 9/11(2016. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

H02J 3/38(2006. 01)

2013. 08. 06

H02J 3/32(2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

H02J 3/46(2006. 01)

PCT/DK2011/050464 2011. 12. 06

审查员 朱钰荣

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/076014 EN 2012. 06. 14

(73) 专利权人 维斯塔斯风力系统集团公司

地址 丹麦奥胡斯

(72) 发明人 K·H·索布里克

M·哈贾-马哈尔斯 S·辛格

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 陈松涛 夏青

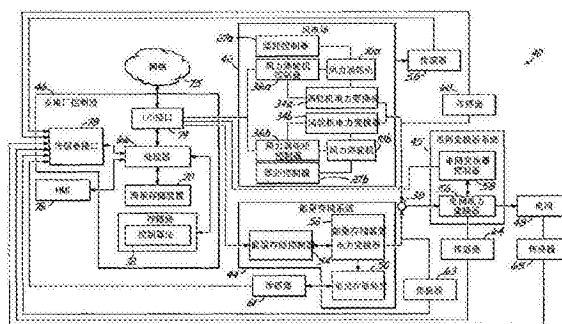
权利要求书4页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

基于电网特性动态调节发电厂输出

(57) 摘要

在控制发电厂输出的电力中使用的方法、发电厂和计算机程序产品。该发电厂包括具有多个风力涡轮机的风电场、电网电力变换器(例如一个或多个 HVDC 链路)、测量电网频率的传感器和监督控制器。监督控制器响应于所述电网的频率降低到第一目标频率,通过以下方式实施调节发电厂电力输出的控制算法:改变至少一个相应风力涡轮机的叶片桨距,增大至少一个风力涡轮机贡献的电力部分的电平,或增大所述电网电力变换器输出的电力的电平。



1. 一种用于控制输出到电网的电力的发电厂,所述发电厂包括:

包括多个风力涡轮机的风电场,所述风力涡轮机被配置成产生并且向公共连接点输出风电场电力信号,每个风力涡轮机包括用于改变相应风力涡轮机的叶片的桨距的桨距机构,以及用于输出由所述相应风力涡轮机产生的所述风电场电力信号的一部分的涡轮机电力变换器;

电网电力变换器,其连接到所述公共连接点并且被配置成接收所述风电场电力信号并且输出用于所述电网的电力信号;

传感器,其用于测量所述电网的频率;以及

与所述风电场的每个风力涡轮机、所述电网电力变换器和所述传感器通信耦合的监督控制器,所述监督控制器被配置成实施控制算法以响应于所述传感器测量的频率下降至低于第一目标频率,而通过以下方式动态地调节所述电力信号:改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述叶片的桨距,增大所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平,以及增大所述电网电力变换器输出的所述电力信号的电平。

2. 根据权利要求1所述的发电厂,其中所述电网电力变换器还包括:

斩波器电路,所述斩波器电路的增益能够动态调节,以增大由所述电网电力变换器输出的电力信号的电平。

3. 根据权利要求1所述的发电厂,其中所述涡轮机电力变换器还包括:

斩波器电路,所述斩波器电路的增益能够动态调节,以增大由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平。

4. 根据权利要求1所述的发电厂,还包括:

具有能量存储装置的能量存储系统,所述能量存储系统连接到所述公共连接点以通过所述风电场电力信号进行充电,

其中所述控制算法还被配置成响应于所述传感器测量的所述频率下降至低于所述第一目标频率而使所述能量存储装置放电。

5. 根据权利要求1所述的发电厂,还包括:

具有能量存储装置和能量存储装置电力变换器的能量存储系统,所述能量存储装置电力变换器被配置成向所述公共连接点输出能量存储系统电力信号,

其中所述控制算法还被配置成响应于所述传感器测量的所述频率下降至低于所述第一目标频率而增大由所述能量存储装置电力变换器输出的能量存储系统电力信号的电平。

6. 根据权利要求1所述的发电厂,其中所述控制算法还被配置成响应于所述传感器测量的所述频率升高到第二目标频率以上,通过减小由所述电网电力变换器输出的所述电力信号的所述电平来动态调节所述电力信号。

7. 根据权利要求6所述的发电厂,其中所述电网电力变换器还包括:

斩波器电路,所述斩波器电路的增益能够动态调节,以减小由所述电网电力变换器输出的所述电力信号的电平。

8. 根据权利要求6所述的发电厂,其中所述控制算法还被配置成响应于所述传感器测量的所述频率升高到所述第二目标频率以上,通过以下方式来动态调节所述电力信号:改

变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述叶片的桨距并且减小由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平。

9. 根据权利要求8所述的发电厂, 其中所述涡轮机电力变换器还包括:

斩波器电路, 所述斩波器电路的增益能够动态调节, 以减小由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平。

10. 根据权利要求1所述的发电厂, 其中所述控制算法还被配置成在改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述叶片的所述桨距或增大由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平之前, 增大所述电网电力变换器输出的所述电力信号的电平。

11. 根据权利要求1所述的发电厂, 其中所述控制算法还被配置成动态地调节所述电力信号以使所述电网的频率到达与其相关联的电力公司频率。

12. 一种用于控制发电厂向电网输出的电力的计算机实施的方法, 所述发电厂包括电网电力变换器, 所述电网电力变换器从风电场接收风电场电力信号并且输出用于所述电网的电力信号, 所述方法包括:

响应于所述电网的测量频率下降至低于第一目标频率, 使用控制算法通过以下方式动态地调节所述电力信号: 改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片的桨距, 增大所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的一部分的电平, 以及增大所述电网电力变换器输出的电力信号的电平。

13. 根据权利要求12所述的计算机实施的方法, 其中增大所述电网电力变换器输出的电力信号的电平包括:

增大所述电网电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益。

14. 根据权利要求12所述的计算机实施的方法, 其中增大由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力的所述一部分的电平包括:

增大所述涡轮机电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益。

15. 根据权利要求12所述的计算机实施的方法, 其中所述发电厂包括具有能量存储装置的能量存储系统, 所述能量存储装置被配置成由所述风电场电力信号充电, 使用所述控制算法动态调节所述电力信号包括:

响应于所述测量频率下降至低于所述第一目标频率而使所述能量存储装置放电。

16. 根据权利要求12所述的计算机实施的方法, 其中所述发电厂包括具有能量存储装置和能量存储装置电力变换器的能量存储系统, 所述能量存储装置电力变换器被配置成向所述电网电力变换器输出能量存储系统电力信号, 并且其中使用所述控制算法动态调节所述电力信号包括:

响应于所述测量频率下降至低于所述第一目标频率而增大由所述能量存储装置电力变换器输出的所述能量存储系统电力信号的电平。

17. 根据权利要求12所述的计算机实施的方法, 还包括:

响应于所述测量频率升高至第二目标频率以上, 使用所述控制算法, 以通过减小所述电网电力变换器输出的电力信号的电平来动态调节所述电力信号。

18. 根据权利要求17所述的计算机实施的方法,减小所述电网电力变换器输出的电力信号的电平包括:

减小所述电网电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益。

19. 根据权利要求17所述的计算机实施的方法,还包括:

响应于所述测量频率升高至第二目标频率以上,使用所述控制算法,以改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片的桨距;以及

减小由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平。

20. 根据权利要求19所述的计算机实施的方法,其中减小由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力的所述一部分的电平包括:

减小所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益。

21. 根据权利要求12所述的计算机实施的方法,其中所述控制算法还被配置成在改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片的桨距或增大由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平之前,增大所述电网电力变换器输出的所述电力信号的电平。

22. 根据权利要求12所述的计算机实施的方法,其中使用所述控制算法动态调节所述电力信号包括:

调节所述电力信号以使所述电网的频率到达与其关联的电力公司频率。

23. 一种用于控制发电厂向电网输出的电力的计算机实施的设备,所述发电厂包括电网电力变换器,所述电网电力变换器从风电场接收风电场电力信号并且输出用于所述电网的电力信号,所述设备包括:

用于响应于所述电网的测量频率下降至低于第一目标频率,使用控制算法通过以下方式动态地调节所述电力信号的模块:改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片的桨距,增大所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的一部分的电平,以及增大所述电网电力变换器输出的电力信号的电平。

24. 根据权利要求23所述的计算机实施的设备,其中增大所述电网电力变换器输出的电力信号的电平包括:

增大所述电网电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益。

25. 根据权利要求23所述的计算机实施的设备,其中增大由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力的所述一部分的电平包括:

增大所述涡轮机电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益。

26. 根据权利要求23所述的计算机实施的设备,其中所述发电厂包括具有能量存储装置的能量存储系统,所述能量存储装置被配置成由所述风电场电力信号充电,用于使用所述控制算法动态调节所述电力信号的模块包括:

用于响应于所述测量频率下降至低于所述第一目标频率而使所述能量存储装置放电的模块。

27. 根据权利要求23所述的计算机实施的设备,其中所述发电厂包括具有能量存储装置和能量存储装置电力变换器的能量存储系统,所述能量存储装置电力变换器被配置成向

所述电网电力变换器输出能量存储系统电力信号,并且其中用于使用所述控制算法动态调节所述电力信号的模块包括:

用于响应于所述测量频率下降至低于所述第一目标频率而增大由所述能量存储装置电力变换器输出的所述能量存储系统电力信号的电平的模块。

28.根据权利要求23所述的计算机实施的设备,还包括:

用于响应于所述测量频率升高至第二目标频率以上,使用所述控制算法,以通过减小所述电网电力变换器输出的电力信号的电平来动态调节所述电力信号的模块。

29.根据权利要求28所述的计算机实施的设备,用于响应于所述测量频率升高至第二目标频率以上,使用所述控制算法,以通过减小所述电网电力变换器输出的电力信号的电平来动态调节所述电力信号的模块还包括:

用于减小所述电网电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益的模块。

30.根据权利要求28所述的计算机实施的设备,用于响应于所述测量频率升高至第二目标频率以上,使用所述控制算法,以通过减小所述电网电力变换器输出的电力信号的电平来动态调节所述电力信号的模块还包括:

用于响应于所述测量频率升高至第二目标频率以上,使用所述控制算法,以改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片的桨距;以及用于减小由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平的模块。

31.根据权利要求30所述的计算机实施的设备,其中用于减小由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力的所述一部分的电平的模块包括:

用于减小所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器的斩波器电路的动态可调节增益的模块。

32.根据权利要求23所述的计算机实施的设备,其中所述控制算法还被配置成在改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片的桨距或增大由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的所述涡轮机电力变换器输出的所述风电场电力信号的所述一部分的电平之前,增大所述电网电力变换器输出的所述电力信号的电平。

33.根据权利要求23所述的计算机实施的设备,其中用于使用所述控制算法动态调节所述电力信号的模块包括:

用于调节所述电力信号以使所述电网的频率到达与其关联的电力公司频率的模块。

基于电网特性动态调节发电厂输出

技术领域

[0001] 本申请总体涉及发电,更具体而言,涉及调节发电所得电力输出中使用的方法、系统和计算机程序产品。

背景技术

[0002] 风电场包括一组风力涡轮机,它们一起作为发电厂而工作,产生供应给电网的电力输出。风力涡轮机可以用于产生电能而无需化石燃料。通常,风力涡轮机是一种将风的动能转换为机械能,机械能随后转换为电力的旋转机械。传统水平轴风力涡轮机包括塔架、位于塔架顶端的吊舱和由转轴支承于吊舱中的转子。发电机容纳于吊舱内部,通过转轴与转子耦合。风流激活转子,从而向发电机传递转矩。发电机产生的电力最终输出给电网。

[0003] 由于风的天然间歇性以及因源自风力涡轮机的输电线路或其本身出现故障而发生停运,特定风力涡轮机或风电场电力输出的一贯性不如传统化石燃料发电厂的电力输出。结果,风电场的风力涡轮机在额定条件下运行发出的电力可能达不到电网的输出需求,从而导致电网频率减小。例如,由于风力预报、输电线路或者风力涡轮机的错误,风电场的电力通常不会遵循预测的电力。作为另外一个范例,风电场的电力变化率因为阵风而达到期望范围以外。用来处理这些及其他类似情况的传统方法是用风力涡轮机控制来管理风电场的运行,比如利用转子桨叶的变桨控制,以在某种极限之内,增加或减少个体风力涡轮机产生的电力,以及运用制动系统,以在某种极限之内,减少个体风力涡轮机产生的电力。

[0004] 此外,举例来说,由于电网的负荷增加和撤回,特定风力涡轮机或风电场的电力输出需要做出调整以将电网维持在其额定电力和频率范围内。结果,来自风力涡轮机的电力可能无法满足电网的输出需求。例如,可能向电网增加负荷,并导致电网频率减小。另一方面,突然撤回负荷可能会导致电网频率增加。虽然一些传统系统可以简单做到甩负荷(如果电网频率减少超过预定阈值,增加电网频率)或切机(如果电网频率增加超过预定阈值,减少电网频率),但处理这些及其他类似情况的更加传统的方法还是利用风力涡轮机控制来管理风电场运行,比如利用转子桨叶变桨控制,以在某种极限之内,增加或减少个体风力涡轮机产生的电力。

[0005] 这样一来,以缩减(curtailed)模式操作风力涡轮机。在缩减模式中,风力涡轮机不会将风或其他方式提供的能量全部发电。所产生电力和最大可用电力之间的差别,或者叫“控制裕量”,可能相当宽,例如大约.5MW宽,并用于紧急额外的电力输出。

[0006] 电网频率的增加或减少经常发生在几分之一秒内。通过改变叶片桨距调整缩减模式下风力涡轮机的运行往往需要不低于几秒,这是由于存在与确定或向风力涡轮机传送命令以调整叶片桨距相关联的延迟,以及实际改变叶片桨距的任意桨距调节机制的延迟。此外,还存在与风力涡轮机叶片速度响应于叶片桨距的调节而增加或减小相关联的延迟,于是就有了在风力涡轮机实际电力输出增大或减小时的延迟。此外,在缩减模式下运行风力涡轮机必然会导致风力涡轮机产生低于本来可用的电力。具体而言,缩减模式可能会要求向风力涡轮机应用制动,以将发电量维持在控制裕量的中间。再者,风力涡轮机以低于所能

达到速度运行经常会增加其叶片、转子以及其他机械部件的应力。这样会导致增大风力涡轮机部件磨损以及增加维护、更换和运行的成本。

[0007] 协调风电场风力涡轮机的发电需要改进的方法，系统和计算机程序产品。

发明内容

[0008] 通常，本发明实施例的控制算法接收关于从发电厂接收电力的电网频率的信息，并在频率下降过低或升高过高时调节发电厂的电力输出水平。

[0009] 在本发明的实施例中，提供了一种用于控制输出到电网的电力的发电厂。该发电厂包括具有多个风力涡轮机的风电场，所述风力涡轮机被配置成产生并且向公共连接点输出风电场电力信号，每个风力涡轮机包括桨距机构，以控制相应风力涡轮机和涡轮机电力变换器的叶片桨距，以输出由相应风力涡轮机产生的风电场电力信号的一部分。该发电厂还包括电网电力变换器，其连接到公共连接点并且被配置成接收风电场电力信号且输出用于电网的电力信号，以及用于测量电网的频率的传感器。发电厂还包括与风电场的每个风力涡轮机通信耦合的监督控制器、电网电力变换器和传感器。监督控制器被配置成实施控制算法，所述控制算法又响应于传感器测量的频率下降到低于预定频率，动态调节电力信号。所述控制算法通过以下方式动态调节电力信号：改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片桨距，增大由所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的涡轮机电力变换器输出的风电场电力信号部分的电平，以及增大所述电网电力变换器输出的电力信号的电平。

[0010] 在本发明的另一实施例中，提供了一种计算机实施的方法，用于控制发电厂输出到电网的电力。该发电厂是如下类型的：包括输出风电场电力信号的风电场，以及接收风电场电力信号并且输出用于电网的电力信号的电网电力变换器。该方法包括：响应于所述电网的测量频率降低到低于第一目标频率，使用控制算法通过以下方式动态地调节所述电力信号：改变所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的叶片桨距，增大所述风电场的至少一个相应风力涡轮机的涡轮机电力变换器输出的风电场电力信号部分的电平，以及增大所述电网电力变换器输出的电力信号的电平。

[0011] 可以将该方法实现为计算机程序产品，其中在计算机可读存储介质上存储用于执行方法的指令。

附图说明

[0012] 附图被并入本说明书并构成其一部分，例示了本发明的各实施例，并与上文给出的本发明一般描述和下文给出的实施例详细描述一起用于解释本发明的实施例。

[0013] 图1是一种风力涡轮机的透视图。

[0014] 图2是图1的风力涡轮机一部分的透视图，其中吊舱被部分剖开以露出安置在吊舱内部的结构。

[0015] 图3是发电厂的示意图，其包括带有多个像图1和图2那种风力涡轮机的风电场、能量存储装置，以及根据本发明实施例的发电厂控制器。

[0016] 图4是图1和图2的风力涡轮机的电力变换器的示意图。

[0017] 图5是图3的发电厂的电力变换器的示意图。

[0018] 图6为流程图，示出了图3的发电厂控制器的操作序列，以响应于连接到其上的电

网频率增加而调节发电厂的电力输出。

[0019] 图7为流程图,示出了图3的发电厂控制器的操作序列,以响应于连接到其上的电网频率减小而调节发电厂的电力输出。

[0020] 图8是示出了调节图1和图2的风力涡轮机叶片桨距、调节图4的电力变换器电力输出,和调节图5的电力变换器对电网频率变化以及与其关联的时间延迟的独立影响的图示。

[0021] 图9是示出了调节图1和图2的风力涡轮机叶片桨距、调节图4的电力变换器电力输出,和调节图5的电力变换器对电网频率随时间变化的组合影响的图示。

具体实施方式

[0022] 参考图1和2,根据本发明的实施例,被图示为水平轴机器的风力涡轮机10包括塔架12、设置于塔架12顶点的吊舱14以及可操作耦合到吊舱14内部容纳的发电机20的转子16。除了发电机20之外,吊舱14还容纳了用于将风能转换成电能所需的其他部件以及操作、控制和优化风力涡轮机10性能所需的各种部件。塔架12支撑着由吊舱14、转子16和风力涡轮机10中容纳在下方基础上吊舱14内部的其他部件带来的负载。风力涡轮机10的塔架12还用于将吊舱14和转子16提升到地平面或海平面以上的高度,可能的情况是,在该高度上通常会有紊流较低的更快空气流。

[0023] 转子16包括中心轮毂22以及在绕中心轮毂22圆周分布的位置处附着于中心轮毂22的多个叶片24。在代表性实施例中,转子16包括多个,即三个叶片24,但数量可以变化。叶片24沿径向从中心轮毂22突出,被配置成与通过的空气流交互作用,以产生气动升力,使中心轮毂22绕其纵轴旋转。叶片24的设计、构造和操作是本领域普通技术人员熟知的。例如,叶片24的每一个都连接到中心轮毂22并耦合到叶片桨距控制机构25(或更简单地讲,“桨距机构”25),其允许叶片24变桨。桨距机构25又在一个或多个变桨控制器27的控制之下(图3)。吊舱14和转子16通过轴承与塔架12耦合,使用带电动机摇动系统(未示出)维持转子16与风向对准。

[0024] 低速驱动轴26在一端与转子16的中心轮毂22机械耦合,并延伸到吊舱14中。低速驱动轴26可旋转地由主轴承组件28支撑,主轴承组件28耦合到吊舱14的框架。低速驱动轴26耦合到齿轮箱30,齿轮箱30以低速驱动轴26为输入,以可操作耦合到发电机20的高速驱动轴32为输出。发电机20可以是任何类型的同步发电机或异步发电机,如本领域普通技术人员所知道的那样,一般被理解为旋转电机,其通过生成磁场和导体之间的相对运动来将机械能转换成电能。发电机20的输出耦合到涡轮机电力变换器34,以接收风力涡轮机10的发电机20产生的交流电压并且通过公共连接点38向能量存储系统44和/或电网变换器系统45(图3)供应交流电压。

[0025] 超过最低水平的风激活转子16并且使叶片24在基本垂直于风向的平面中旋转。从转子16传递到发电机20的正转矩导致发电机20将机械能转换成交流电力,使得风的动能由风力涡轮机10用于发电。风力涡轮机10的特征是描述根据风速产生的输出电力的电力曲线,利用对切入、额定和切出风速的识别操作风力涡轮机10。

[0026] 参考图3,发电厂40包括:风电场或风场42,其包含一组位于公共物理位置的风力涡轮机10a、10b;能量存储系统44和电网变换器系统45,以及为发电厂40提供监督控制的发电厂控制器46。发电厂40,尤其是发电厂40的电网变换器系统45与电网48电耦合,电网48可

以是三相电网。风力涡轮机10a,10b均具有与代表性风力涡轮机10构造相似或相同的构造。风电场42可以包含像代表性风力涡轮机10a,10b类似的额外风力涡轮机(未示出),使得风电场42中的风力涡轮机总数在合理的前提下是任意的。在各实施例中,风电场42可以包括分布于数十平方公里陆地和/或海域上的十(10)到一百个(100)风力涡轮机。

[0027] 涡轮机电力变换器34a,34b被配置成接收由相应风力涡轮机10a,10b中的每一个的发电机20产生的交流电压,并通过公共连接点38向能量存储系统44和/或电网变换器系统45供应交流电压。风力涡轮机10a,10b中的每一个都包括相应的风力涡轮机控制器36a,36b,其通过实施例如变桨控制、摇摆控制、发电机控制、涡轮机电力变换器控制等来管理风力涡轮机部件和子系统的运行。在涡轮机管理的一个方面中,风力涡轮机控制器36a,36b中的每一个都与涡轮机电力变换器34a,34b中的相应一个通信耦合,并且产生控制信号以控制涡轮机电力变换器34a,34b输出的电力。响应于控制信号,每个涡轮机电力变换器34a,34b对来自风力涡轮机10a,10b的相应发电机20的交流电压进行整流,以获得经滤波的直流电压,动态地调节经滤波的直流电压电平,然后将直流电压转换成期望恒定频率(例如50Hz或60Hz)的交流电压,将其作为三相交变电流(AC)输出到能量存储系统44和电网变换器系统45。风力涡轮机控制器36a,36b可以控制其他子控制器的功能,子控制器在本地控制每个风力涡轮机10a,10b的部件,例如对转子16的叶片24进行变桨控制27。

[0028] 能量存储系统44包括能量存储装置50、能量存储装置电力变换器52以及能量存储控制器54,能量存储控制器54管理能量存储装置电力变换器52的运行。能量存储装置50与电网变换器系统45耦合并且与风电场42中风力涡轮机10a,10b的发电机20并行布置。能量存储控制器54与能量存储装置电力变换器52通信耦合,并产生控制信号,将控制信号作为命令供应给能量存储装置电力变换器52。

[0029] 在代表性实施例中,能量存储装置50包括一个或多个可充电电池。示范性的电池基于电化学储藏电池,并且包括但不限于铅酸、锂离子和钒氧化还原电池。其他示范性电池包括但不限于金属-空气、镍-镉、钠-硫和锌-溴电池。在替代实施例中,能量存储装置50可以是不同类型的装置,例如能够接收并稳定存储电能,还能够在发电厂控制器46的控制下释放所存电能的飞轮或电容器组(例如电解质电容器)。在另一替代实施例中,能量存储装置50可以是混合式的,即能量存储装置50可以包括不同类型的装置,例如一个或多个飞轮、一个或多个电容器组、一个或多个可充电电池或这些装置的组合。

[0030] 能量存储控制器54协同风力涡轮机控制器36a,36b,来控制能量存储装置50从风电场42中的风力涡轮机10a,10b接收并存储能量的能力。风力涡轮机10a,10b产生的过剩能量可以存储于能量存储装置50中。响应于来自相应风力涡轮机控制器36a,36b的控制信号,将涡轮机电力变换器34a,34b配置成将风力涡轮机10a,10b的发电机20产生的电能转向到能量存储装置50的能量存储装置电力变换器52。能量存储装置电力变换器52被配置成将来自风电场42的相应风力涡轮机10a,10b的涡轮机电力变换器34a,34b的交流电压变换成直流电压,调节直流电压的电压电平以与能量存储装置50兼容,并将直流电压引导到能量存储装置50,能量存储装置50存储直流电压中包含的电能。

[0031] 在从能量存储控制器54接收的控制信号的方向上,可以指示能量存储装置电力变换器52以受控方式从能量存储装置50向能量存储装置电力变换器52将存储的能量释放为直流电压。能量存储装置电力变换器52可以与涡轮机电力变换器34a,34b类似,被配置成从

能量存储装置50接收直流电压输出,过滤直流电压,然后将经滤波的直流电压转换成适当恒定频率的交流电压。然后从能量存储系统44将交流电压作为三相交流电力输出到电网变换器系统45。

[0032] 电网变换器系统45包括电网电力变换器(HVDC链路)56和电网变换器控制器58,其管理电网电力变换器(HVDC链路)56的运行。电网电力变换器(HVDC链路)56被配置成从风电场42和/或能量存储系统44接收交流电压,变换来自风电场42的交流电压和/或来自能量存储系统44的交流电压以获得经滤波的直流电压,动态地调节经滤波直流电压的电平,从而产生高压直流(HVDC)信号,然后将HVDC信号转换成期望恒定频率的交流电压,将其作为三相交流输出到电网48。

[0033] 发电厂控制器46与风电场42中的风力涡轮机控制器36a,36b通信连接。风与风力涡轮机10a,10b交互作用,如上所述,以利用从转子16供应给发电机20的转矩产生电力。每个风力涡轮机控制器36a,36b利用来自发电厂控制器46的控制信号动态地改变风电场42中相应风力涡轮机10a,10b的输出,以满足对所产生电力的一定输出要求。响应于从发电厂控制器46接收的控制信号,例如,风力涡轮机控制器36a,36b中的每一个能够控制吊舱14和转子16的摇摆。同样响应于从发电厂控制器46接收的控制信号,风力涡轮机控制器36a,36b中的每一个能够控制相应的变桨控制器27a,27b,以控制叶片24的桨距,限制相应风力涡轮机10a,10b的旋转速度。此外,响应于从发电厂控制器46接收的控制信号,风力涡轮机控制器36a,36b中的每一个例如能够控制相应涡轮机电力变换器34a,34b的操作,以调节相应风力涡轮机10a,10b的交流电压输出。

[0034] 发电厂控制器46还与为能量存储系统44服务的能量存储控制器54通信连接。能量存储控制器54使用来自发电厂控制器46的控制信号调节能量存储装置50和能量存储装置电力变换器52的操作。具体而言,使用来自发电厂控制器46的控制信号调节从能量存储系统44的能量存储装置50释放能量以及能量存储装置50的充电。

[0035] 发电厂控制器46被配置成控制从发电厂40向电网48输出的电力。这样一来,发电厂控制器46就与电网变换器系统45通信连接。电网变换器控制器58使用来自发电厂控制器46的控制信号调节电网电力变换器(HVDC链路)56的操作。响应于从发电厂控制器46接收的控制信号,例如,电网变换器控制器58可以控制电网电力变换器(HVDC链路)56的操作,以调节输出到电网48的交流电压。来自发电厂40的电力输出典型地包括来自风电场42中的每个风力涡轮机10的贡献,可以包括来自能量存储系统44的贡献,但能量存储系统44在充电时可能消耗电力。电网电力变换器(HVDC链路)56可以包括变压器,以增大从风电场42和/或能量存储系统44到达的电流的电压,用于通过高压传输线连接到电网48。

[0036] 至少一个传感器60测量来自风电场42中的风力涡轮机10的时变数据,以为与那些风力涡轮机10的操作相关的变量提供信息。至少一个传感器60能够监测各种可测量参数,并可以包括风力传感器、用于风力涡轮机10的机械操作的传感器、电压传感器、电流传感器、桨距传感器和/或用于监测与操作风力涡轮机10(例如,包括发电机20和/或涡轮机电力变换器35)相关的数据或来自风力涡轮机10环境的数据的任何其他传感器。来自至少一个传感器60的状态信息被发送到发电厂控制器46并且在发电厂控制器46处与风电场42的状态相关。

[0037] 至少一个其他传感器61测量来自能量存储系统44的时变数据,以为与能量存储装

置50的操作相关的变量产生时变信息。至少一个传感器61能够监测能量存储装置50的各种可测量参数,可以包括电压传感器、电流传感器和/或检测与操作能量存储系统44(例如包括能量存储装置50和能量存储装置52)相关的数据的任何其他传感器。来自至少一个传感器61的状态信息被发送到发电厂控制器46并且在发电厂控制器46处与能量存储系统44的状态相关。

[0038] 除了至少一个传感器60、61测量来自风电场42和/或能量存储系统44的信息之外,发电厂40可以包括额外的传感器62,63,64,以测量来自风电场42、能量存储系统44和电网变换器系统45的交流电压。具体而言,至少一个传感器62测量用于与从风电场42到公共连接点38的实际时变电力输出相关的变量的数据,至少一个传感器63测量用于与从能量存储系统44到公共连接点38的实际时变电力输出相关的变量的数据,至少一个传感器64测量与来自电网变换器系统45,从而来自发电厂40的实际时变电力输出相关的变量的数据。电力生产周期期间来自发电厂40的实际时变电力输出包括来自风电场和能量存储系统的时变电力的贡献。时变电力可以包括无功和有功分量。传感器62,63,64能够包括用于测量电压作为变量的电压传感器,用于测量电流作为变量的电流传感器和/或检测用于与电力检测和测量相关的变量的数据的其他传感器。来自传感器62、63、64的数据可以被发送到发电厂控制器46并且被连续更新,以计算不同时刻的时变电力,用于实施本发明实施例的实时控制方案。

[0039] 发电厂控制器46还被配置成监测电网48的不平衡,例如电网之内的交流信号频率下降到指定范围之外。发电厂40被配置成将电网48维持在期望或实用的频率(例如,50Hz或60Hz)。在向电网48引入额外需求或负载时,频率可能减小。在从电网48去除需求或负载时,频率可能增大。不过,过度偏离电力公司频率可能导致电网48的至少一部分故障或损坏电力转换和/或连接到电网48的耗电装置。这样一来,发电厂控制器46被配置成通过至少一个传感器65监测电网48并且控制发电厂40的部件以在有不平衡时调节供应给电网48的交流电压。根据本发明的实施例,发电厂控制器46被配置成响应于电网48中的不平衡来动态调节风力涡轮机10a,10b,能量存储系统44或电网变换器系统45中一个或多个的操作。

[0040] 发电厂控制器46是监督控制系统,其可以利用从微处理器、微控制器、微型计算机、数字信号处理器、中央处理单元、现场可编程门阵列、可编程序逻辑器件、状态机、逻辑电路、模拟电路、数字电路中选择的至少一种处理器66和/或基于存储器68中存储的操作指令来操控(模拟和/或数字)信号的任何其他装置。存储器68可以是单个存储装置或多个存储装置,包括,但不限于随机存取存储器(RAM)、易失性存储器、非易失性存储器、静态随机存取存储器(SRAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、闪存存储器、高速缓冲存储器和/或任何其他能够存储数字信息的装置。发电厂控制器46包括大容量存储装置70,可以包括一个或多个硬盘驱动器、软盘或其他可移除磁盘驱动器、直接存取存储装置(DASD)、光驱动器(例如CD驱动器、DVD驱动器等)和/或磁带驱动器等。

[0041] 发电厂控制器46的处理器66在操作系统的控制下运行,执行或以其他方式依赖于各种计算机软件应用、部件、程序、对象、模块、数据结构等中包含的计算机程序代码。存在于存储器68中并存储于海量存储装置70中的计算机程序代码还包括控制算法72,在处理器66上执行控制算法72时,其利用数值计算和运算逻辑控制和管理输出到电网48的电力,以控制从电源系统40输出的电力。计算机程序代码典型地包括存储器68中在各个时间存在的

一条或多条指令,在由处理器66读取并执行时,指令使发电厂控制器46执行实施体现本发明各实施例和各方面的步骤或元件所需的步骤。

[0042] 可以基于在本发明的具体实施例中实施的应用来识别这里所述的各种程序代码。不过,应当认识到,使用以下任何特定程序术语仅仅是为了方便,因此本发明不应限于仅用于由这种术语标识和/或暗示的任何特定应用中。此外,考虑到通常有无限多数量的方式可以将计算机程序组织成例程、程序、方法、模块、对象等,以及有各种方式可以在典型计算机之内存在的各个软件层(例如,操作系统、库、API的应用、小应用程序等)间分配程序功能,应当认识到本发明不限于这里所述的程序功能的具体组织和分配。

[0043] 为了进行能量管理和调整控制,可以为发电厂控制器46配置输入/输出(I/O)接口74,以通过适当的网络75从发电厂40外部的源接收各种输入数据,适当网络例如是采用适当通信协议的局域网(LAN)、广域网(WAN)、因特网、无线网络等。具体而言,发电厂控制器46可以从外源,例如SCADA,通过网络75,利用适当的SCADA协议,接收用于电力生产的全局设定点。

[0044] 发电厂控制器46包括人机接口(HMI)76,其以常规方式可操作地连接到处理器66。HMI76可以包括输出装置,例如字母数字显示器、触摸屏、扬声器和其他可视或可听的指示器,以及输入装置和控制器,例如字母数字键盘、定点装置、小键盘、按钮、控制旋钮等,其能够从操作员接受命令或输入。

[0045] 发电厂控制器46包括传感器接口78,其允许发电厂控制器46与传感器60、61、62、63、64、65通信。传感器接口78可以是或可以包括一个或多个模拟到数字转换器,所述数字转换器被配置成将来自传感器60、61、62、63、64、65的模拟信号转换成供发电厂控制器46的处理器66使用的数字信号。

[0046] 图4和5分别示出了涡轮机电力变换器34和电网电力变换器(HVDC链路)56。具体而言,涡轮机电力变换器34包括耦合到风力涡轮机10的发电机20的交流到直流电压变换器80,以对这样产生的交流电压进行滤波并转换成经滤波的直流电压。然后由直流链路和斩波器电路82对经滤波的直流电压进行电平调节。直流链路和斩波器电路82是动态可调可变增益斩波器电路,距正常的额定电压具有大约 $\pm 30\%$ 的过压/欠压容量,在额定电压处其被配置成维持经滤波的直流电压。于是,响应于来自发电厂控制器46的控制信号,可以操作直流链路和斩波器电路82以将由此输出的直流电压增大大约30%(例如,增大从输入到输出的增益)或将由此输出的直流电压降低大约30%(例如,减小从输入到输出的增益)。在任何情况下,都由直流链路和斩波器电路82向直流到交流转换器84输出直流电压,在此将其转换成交流信号并且输出到公共连接点38。

[0047] 电网电力变换器(HVDC链路)56类似于涡轮机电力变换器34,但因为它通常从多个风力涡轮机接收信号,所以包括能够处理比涡轮机电力变换器34的那些部件更高电压的部件。电网电力变换器(HVDC链路)56包括耦合到公共连接点38的交流到直流转换器86。交流到直流转换器86被配置成对交流电压滤波并且转换成经滤波的高压直流(HVDC)信号,接下来由HVDC链路和斩波器电路88对其进行电平调节。HVDC链路和斩波器电路88是动态可调可变增益斩波器电路,距正常的额定电压也具有大约 $\pm 30\%$ 的过压/欠压容量,在额定电压处其被配置成维持经滤波的HVDC信号。响应于来自发电厂控制器46的控制信号,可以操作HVDC链路和斩波器电路88以将由此输出的HVDC增大大约30%(例如,增大从输入到输出的增

益)或将由此输出的HVDC降低大约30%(例如,减小从输入到输出的增益)。在任何情况下,都由直流到交流转换器90将来自HVDC链路和斩波器电路88的HVDC输出转换成用于电网48的交流信号(即,高压交流信号)。

[0048] 在操作中,发电厂控制器46上执行的控制算法72允许发电厂控制器46通过调节来自风电场42、能量存储系统44和电网变换器系统45中的至少一个的电力产生或生产来对电网48中的不平衡做出响应。在一个实施例中,发电厂控制器46调节风电场42的所有风力涡轮机10a,10b的电力产生或生产。在替代实施例中,发电厂控制器46调节风电场42的个体风力涡轮机10a,10b的电力产生或生产。

[0049] 发电厂控制器46上执行的控制算法72通过判断电网48的频率是否偏离期望频率超过预定范围来判断电网48中是否有不平衡。作为范例,一般希望将电网48的频率维持在其电力公司频率(例如50Hz或60Hz)大约.5Hz的临界范围之内。临界范围之外的频率一般导致电网48的至少一部分故障或损坏电力转换和/或连接到电网48的耗电装置。这样一来,将电网48的频率维持在距其电力公司频率的预定范围可以与临界范围相同或更小。或者,预定范围可以超过临界范围,以充当电网48运行的故障保险。

[0050] 图6示出了流程图100,其示出了发电厂控制器46响应于检测到电网48频率增大而调节发电厂40的至少一部分的操作序列。具体而言,发电厂控制器46判断电网48的频率是否增大超过预定阈值,例如在电网48中突然撤除负载或增加风力涡轮机10时(方框102)。在发电厂控制器46未检测到电网48频率增大超过预定阈值时(判决框102的“否”分支),操作序列返回方框102。不过,在发电厂控制器46检测到电网48频率增大超过预定阈值时(判决框102的“是”分支),发电厂控制器46选择性地减小电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出(方框104),例如通过消耗HVDC链路和斩波器电路88中HVDC信号的至少一部分,通过对HVDC信号进行电平调节,调节到比正常额定电压低大约30%(在电网48处于其电力公司频率时,在额定电压下维持电网电力变换器(HVDC链路)56中的HVDC信号)。

[0051] 在一些情况下,减小电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出,从而减小电网48的频率可能不够快,无法防止电网48至少一部分的故障或损坏连接到电网48的电力变换和/或耗电装置。例如,因为电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出减小而导致的电网48频率减小可能不够快,无法克服电网48中频率的增大。于是,发电厂控制器46判断电网48的频率是否充分减小(方框106)。在电网48频率减小不够大时(判决框106的“否”分支),发电厂控制器46选择性地减小由一个或多个相应风力涡轮机10的一个或多个涡轮机电力变换器输出的电力(方框108),例如通过消耗DC链路和斩波器电路82中直流电压的至少一部分,通过对直流电压进行电平调节,调节到比正常额定电压低大约30%(在电网48处于其电力公司频率时,在额定电压下维持涡轮机电力变换器34中的直流电压)。在任选步骤中,发电厂控制器46还可以对能量存储装置50充电或选择性地降低能量存储装置电力变换器52输出的电力(方框110)。在方框108和/或方框110之后,操作序列可以返回方框102。

[0052] 不过,在不平衡是电网48的频率下降时,将发电厂控制器配置成增大发电厂40输出的电力。图7示出了流程图120,其示出了发电厂控制器46响应于检测到电网48频率降低而调节发电厂40的至少一部分的操作序列。具体而言,发电厂控制器46判断电网48的频率是否减小超过预定阈值,例如在电网48中突然增加负载,风力涡轮机10停运或来自风力涡轮机10的传输线故障时(方框122)。在发电厂控制器46未检测到电网48频率减小超过预定

阈值时(判决框122的“否”分支),操作序列返回方框122。

[0053] 不过,在发电厂控制器46检测到电网48的频率减小超过预定阈值时(判决框122的“是”分支),发电厂控制器46选择性地增加电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出(方框124),选择性地增大至少一个涡轮机电力变换器34的电力输出(方框126),并选择性地改变至少一个风力涡轮机10的叶片24的桨距以增大其速度(方框128)。在方框124中,发电厂控制器46可以通过以下方式选择性地增大电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出:向电网变换器控制器58发送适当的命令,供电网电力变换器(HVDC链路)56利用HVDC链路和斩波器电路88将HVDC信号的电平调节降低到比正常额定电压高大约30%,在电网48处于其电力公司频率时,在额定电压下维持电网电力变换器(HVDC链路)56中的HVDC信号。在方框126中,发电厂控制器46可以通过以下方式选择性地增大涡轮机电力变换器34的电力输出:向风力涡轮机控制器36发送适当的命令,供涡轮机电力变换器34利用DC链路和斩波器电路82将DC电压的电平调节降低到比正常额定电压高大约30%,在电网48处于其电力公司频率时,在额定电压下维持涡轮机电力变换器34中的DC电压。在方框128中,发电厂控制器46可以通过以下方式选择性地调节叶片24的桨距:针对与那些叶片24相关联的适当风力涡轮机10,向相应的风力涡轮机控制器36发送调节叶片24桨距的适当命令。相对于方框128,发电厂控制器46可以向风力涡轮机控制器36的一个或多个发送命令,使得风力涡轮机控制器36能够接下来控制相应的变桨控制器27,以调节风电场42的一个或多个风力涡轮机10的叶片24桨距。在任选步骤中,发电厂控制器46可以通过对能量存储装置50放电或选择性地增大能量存储装置电力变换器52输出的电力来进一步增大发电厂40的电力输出(方框130)。

[0054] 相对于图6,发电厂控制器46基于输出到电网48的电力的动态测量和/或电网48的频率的动态测量,选择性地减小一个或多个电力变换器34、52、56的电力输出,并对能量存储装置50充电。类似地,相对于图7,发电厂控制器46基于输出到电网48的电力的动态测量和/或电网48的频率的动态测量,选择性地增大一个或多个电力变换器34、52、56的电力输出,并使得能量存储装置50放电。相应地,配置本发明的实施例以解决电网48频率的增大或减小,使频率大约回到电力公司的频率,但并非意在使频率显著低于或高于电力公司频率。于是,发电厂控制器46“选择性地”减小或增大输出到电网48的电力,使得电力输出的减小或增大成为必须。例如,参考图6,在方框104中通过减小电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出实现足够大的电力减小时,发电厂控制器46可以在方框108和110中不减小涡轮机电力变换器34或能量存储装置电力变换器52输出的电力,或为能量存储装置50充电。再例如,参考图7,在方框124和126中通过增大电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出实现足够大的电力增大时,发电厂控制器46可以在方框130中不使能量存储装置50放电或增大能量存储装置电力变换器52输出的电力。

[0055] 发电厂控制器46还被配置成将电力变换器34、52、56输出的电力调节大约 $\pm 30\%$ 。于是,发电厂控制器46“选择性地”减小或增大电力变换器34、52、56输出到电网48的电力,使得电力输出的减小或增大成为必须。例如,参考图6,如果用于增大电网48频率的预定阈值低(例如,大约0.01Hz),发电厂控制器46将一个或多个电力变换器34,52,56输出的电力减小适当量,以解决频率增大问题。再例如,参考图7,如果用于减小电网频率的预定阈值低(例如,同样为大约0.01Hz),发电厂控制器46将一个或多个电力变换器34,52,56的电力输出增大适当量,以解决频率减小问题。

[0056] 虽然如此,可能有利的是协同利用对一个或多个电力变换器34、52、56的调节以及风电场42一个或多个风力涡轮机10的叶片24桨距的调节。调节电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出可能是最快的,因为发电厂控制器46典型地最接近电网变换器系统45,甚至与其共处一地。不过,通信延迟 t_0 常常与电力变换器34和/或52的调节相关联。例如,通信延迟 t_0 对应于发电厂控制器46判断是否调节电力变换器34和/或52输出的电力所需的时间,在判定调节那些电力变换器34和/或52时发送这样的命令,以及由AQ相应的控制器36和/或54接收并处理命令。不过,最大延迟常常与变桨控制器27的通信延迟 t_0 和机械延时的组合相关联,以控制一个或多个桨距机构25调节叶片24的桨距。这种机械延迟被表示为 t_{WTG} 。

[0057] 图8示出了组合曲线图200,其示出了调节发电厂40三种资源的响应时间以及响应于它们那些响应时间对电网48频率变化的影响的一个范例(图示为“ Δf ”)。第一种资源(图示为“资源1”)对应于电网电力变换器(HVDC链路)56。如上所述,调节电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出常常是最快的,于是曲线图200的202段示出了这种效果:调节电网电力变换器(HVDC链路)56可能是最快的,还对电网48的频率有显著影响。第二种资源(图示为“资源2”)对应于风电场42风力涡轮机10的涡轮机电力变换器34。如上所述,存在与调节涡轮机电力变换器34的电力输出相关联的通信延迟 t_0 。此外,调节风电场42的风力涡轮机10的涡轮机电力变换器34对电网48频率的总体影响可能小于来自调节电网电力变换器(HVDC链路)56的影响。因此,组合曲线图200的204段示出了调节风电场42的风力涡轮机10涡轮机电力变换器34可能对电网48频率具有的影响。第三种资源(图示为“资源3”)对应于风电场42的风力涡轮机10的叶片24桨距。如上所述,存在与导致变桨控制器27改变风力涡轮机10的叶片24的桨距相关联的通信延迟 t_0 和机械延时 t_{WTG} (例如, t_0+t_{WTG})。改变风电场42的风力涡轮机10的叶片24的桨距的总影响也会花费最长的时间量,但可能对电网48的频率具有最大影响。因此,组合曲线图200的206段示出了调节风电场42的风力涡轮机10的叶片24的桨距可能对电网48频率具有的影响。

[0058] 图9示出了曲线图210,其示出了联合调节发电厂40全部三种资源的响应以及响应于它们那些调节随时间对电网48频率变化(Δf)的影响的组合的一个范例。如图9中所示,调节三种资源导致水平虚线在“ Δf ”处所示的电网48频率的决定性变化。通过由发电厂控制器46选择性地调节三种资源来实现频率的这种特定变化。这样一来,发电厂控制器46可以选择性地将电网电力变换器(HVDC链路)56和风电场42的风力涡轮机10的涡轮机电力变换器34的电力输出调节到其最大值(例如 $\pm 30\%$),但选择性地使风力涡轮机控制器36和叶片变桨控制器27调节那些风力涡轮机10的叶片24的桨距,以实现电网48频率变化的期望水平。

[0059] 本领域的技术人员将要认识到,本发明的实施例也可以实现于计算机程序产品中,该计算机程序产品嵌入在其上具有非暂态计算机可读程序代码的至少一种计算机可读存储介质中。计算机可读介质可以是包含或存储程序的电子、磁、光、电磁、红外或半导体系统、设备或装置,或其任意适当组合,所述程序供指令执行系统、设备或装置使用或结合它们使用。示范性计算机可读存储介质包括,但不限于硬盘、软盘、随机存取存储器、只读存储器、可擦除可编程只读存储器、闪速存储器、便携式紧致盘只读存储器、光存储装置、磁存储装置或其任何适当组合。可以用一种或多种面向对象的和过程程序设计语言编写包含用于指导处理器以特定方式工作以执行本发明实施例的操作的指令的计算机程序代码。可

以从计算机可读存储介质向任何类型计算机的处理器,例如发电厂控制器46的处理器66,供应计算机程序代码,以制造具有处理器的机器,所述处理器执行指令以实施用于本文指定的传感器数据收集的计算机实施的过程的功能/动作。

[0060] 这里使用的术语仅仅用于描述特定实施例的目的,并非意在限制本发明。如这里使用的,单数形式“一”和“该”意在包括复数形式,除非上下文明确指出其他含义。还要理解,在用于本说明书中时,术语“包括”表示存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或部件,但不排除存在或增加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、部件和/或其组合。此外,在术语“包括”、“具有”、“带有”、“由……构成”或其变体用于详细描述或权利要求中的程度内,这样的术语意在与术语“包括”以类似方式是包含性的。

[0061] 尽管已经通过各实施例的描述例示了本发明,并且尽管已经非常详细地描述了这些实施例,但申请人的意图并非要以任何方式将所附权利要求的范围限制到这样的细节。对于本领域的技术人员而言,额外的优点和修改将是显而易见的。例如,根据本发明的原理,可以对以上流程图的任何方框进行删除、扩充、使之与另一方框同步、组合或以其他方式改变。例如,参考图6,还可以配置发电厂控制器46以与结合图7的方框128所示所述的类似方式改变一个或多个风力涡轮机10叶片24的桨距。还参考图6,还可以配置发电厂控制器46以判断是否选择性地减小电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出(在这一选项不是减小电网48频率的第一选项时,为能量存储装置50充电,和/或通过以结合方框106所示所述类似的方式判断电网48是否有足够减小,选择性地减小能量存储装置电力变换器52的电力输出。此外,参考图7,还可以配置发电厂控制器46以判断是否选择性地增大电网电力变换器(HVDC链路)56的电力输出(在这一选项不是增大电网48频率的第一选项时),选择性地增大涡轮机电力变换器34的电力输出,选择性地调节一个或多个风力涡轮机10的叶片24桨距,从能量存储装置50释放能量,和/或通过判断电网48的频率是否有足够增大,选择性地增大能量存储装置电力变换器52的电力输出。

[0062] 于是,因此本发明在其更宽方面中不限于所示所述的具体细节、代表性方法和例示性范例。因此,可以偏离这样的细节而不脱离申请人总体发明构思的精神或范围。

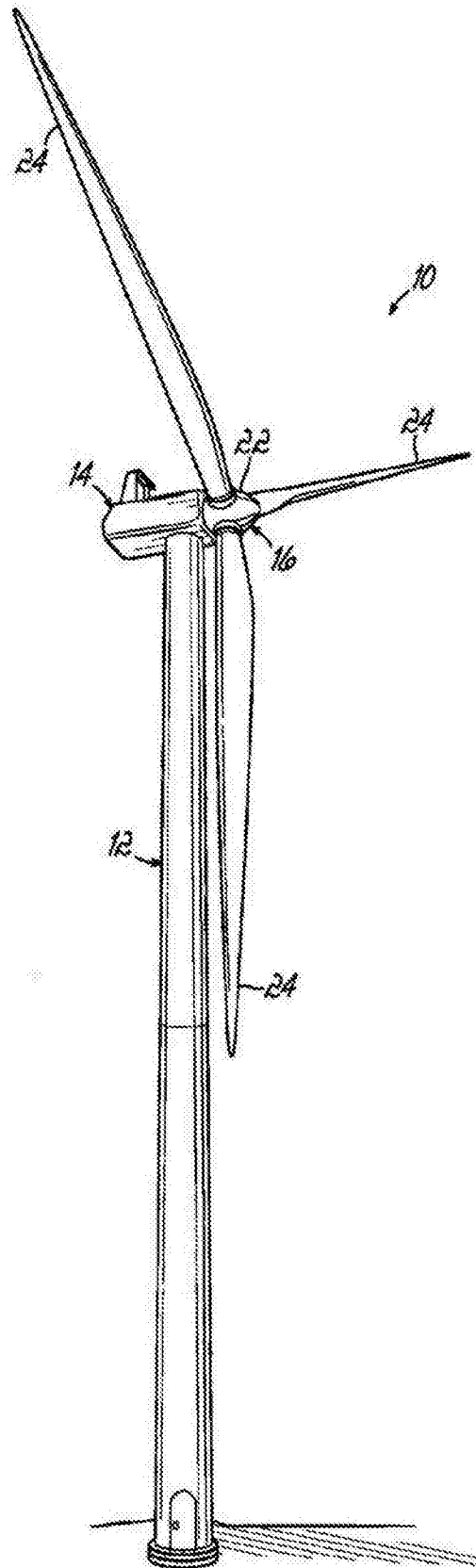


图1

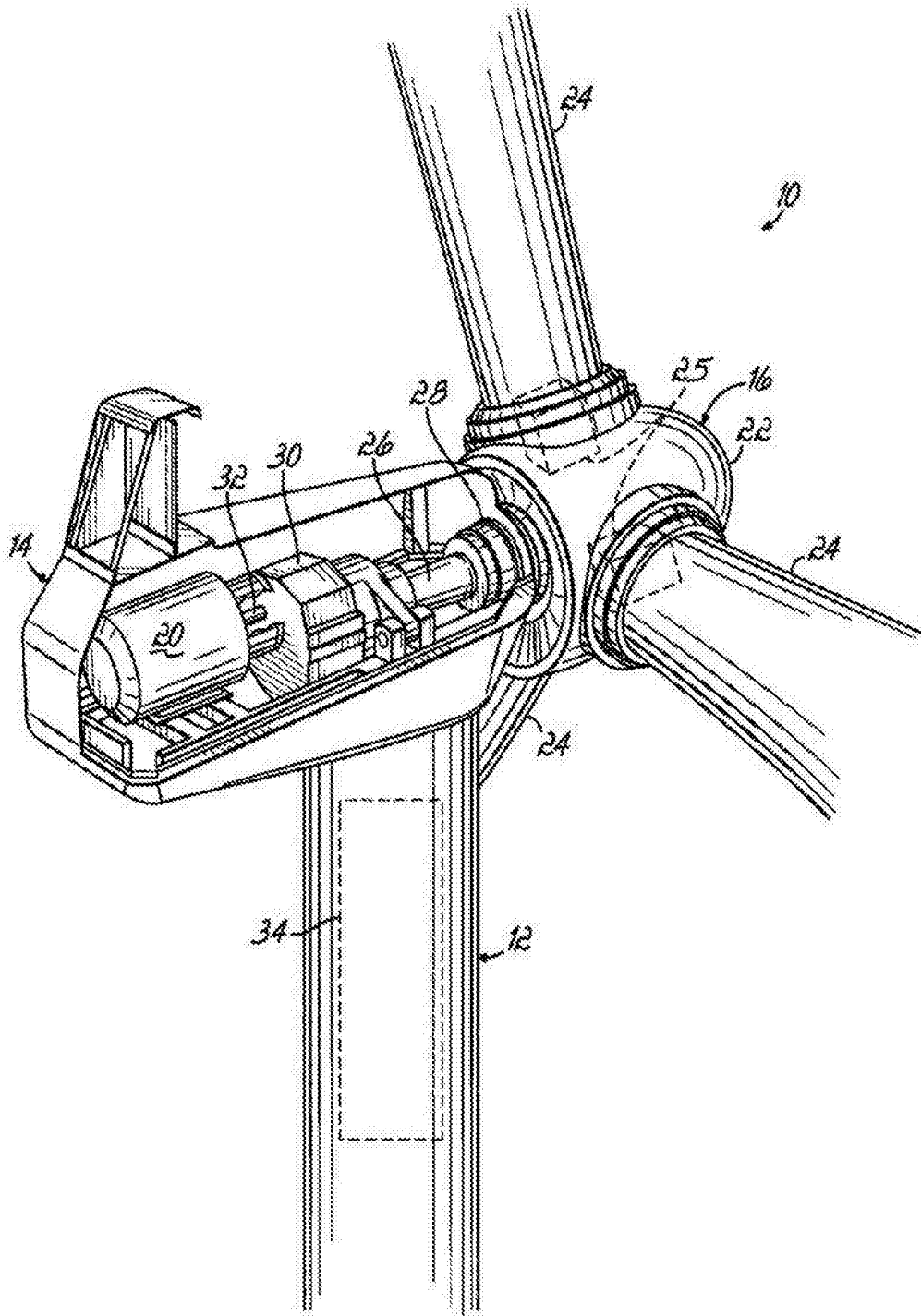


图2

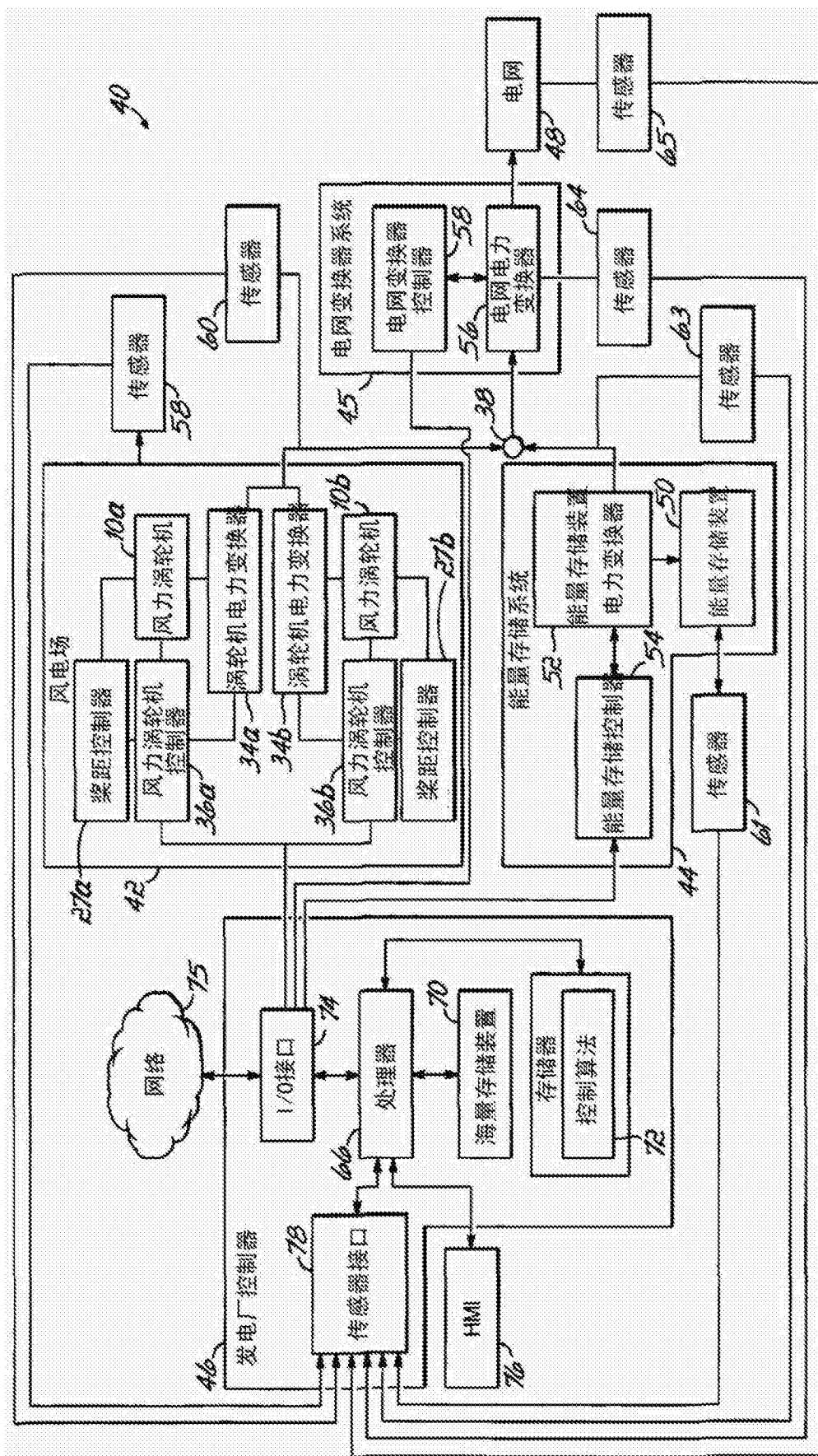


图3

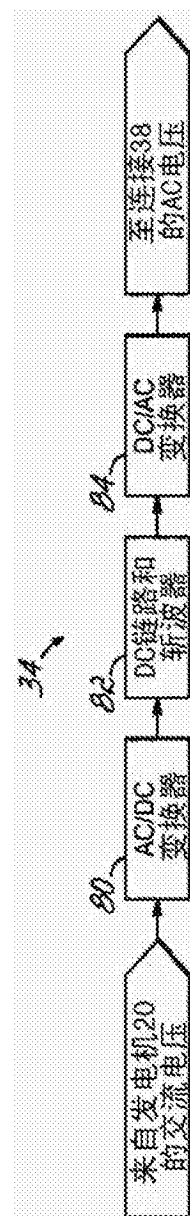


图4

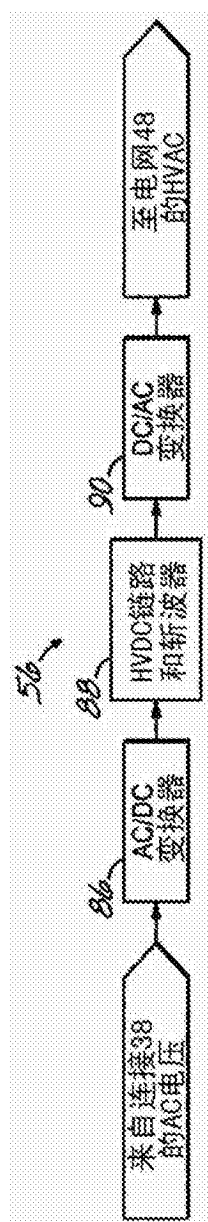


图5

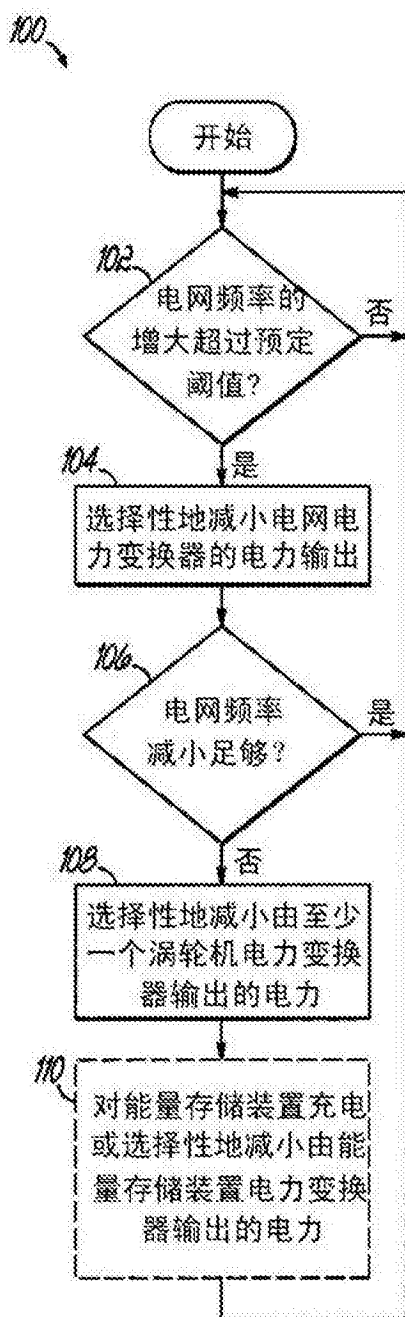


图6

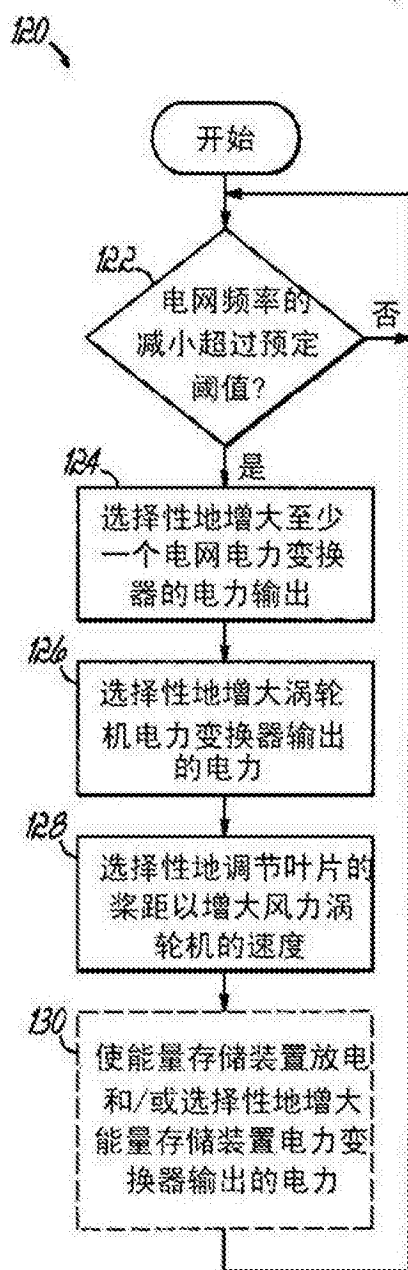


图7

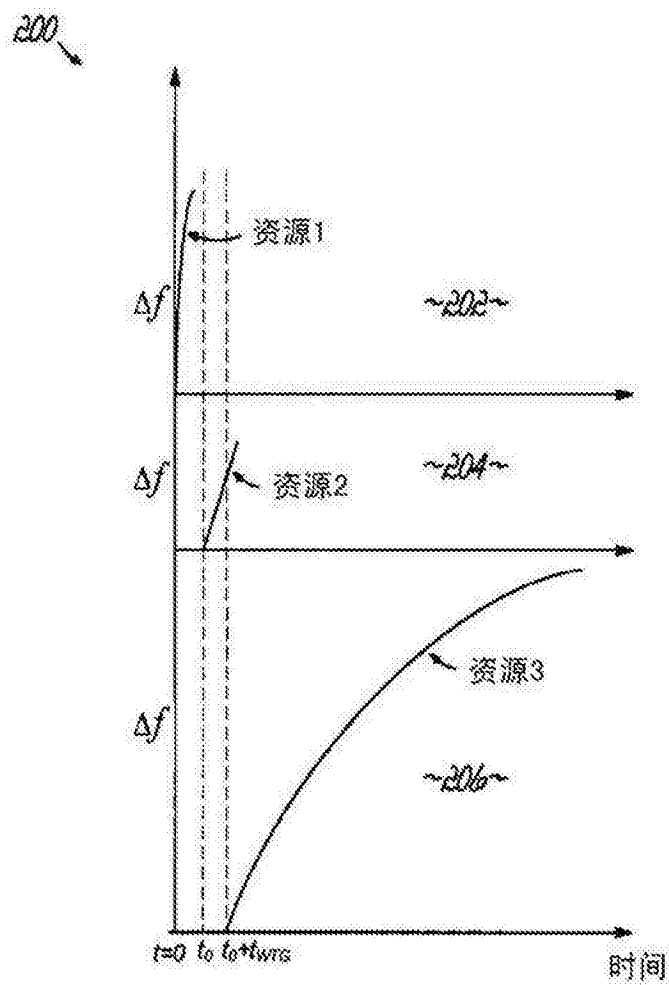


图8

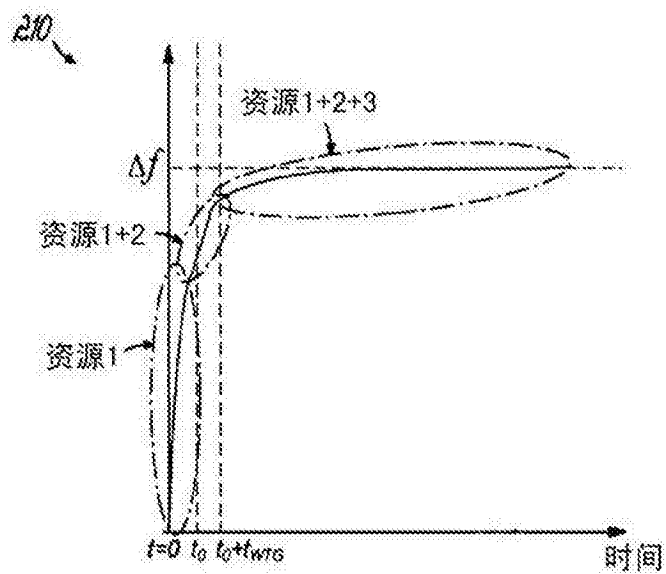


图9