



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101401294 B

(45) 授权公告日 2013.04.17

(21) 申请号 200780009093.2

(22) 申请日 2007.02.28

(30) 优先权数据

60/783,029 2006.03.17 US

11/477,593 2006.06.30 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008.09.12

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2007/002325 2007.02.28

(87) PCT申请的公布数据

W02007/141660 EN 2007.12.13

(73) 专利权人 英捷电力技术有限公司

地址 西班牙扎姆迪奥比兹卡亚

(72) 发明人 格雷戈里奥·里瓦斯

伊凯尔·加门迪亚

约苏·埃洛里亚加 赫苏斯·马约尔

哈维尔·佩雷斯·巴瓦查诺

大卫·舒莱 约根·阿塞多

(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 康建峰 高少蔚

(51) Int. Cl.

H02P 9/00 (2006.01)

(56) 对比文件

BAUER P ET AL. Evaluation of electrical systems for offshore windfarms.

《INDUSTRY APPLICATIONS CONFERENCE, 2000. CONFERENCE RECORD OF THE 2000 IEEE》. 2000, 1416-1423.

KHATOUNIANF ET AL. Control of a doubly fed induction generator for aircraft application. 《IECON-2003. PROCEEDINGS OF THE 29TH》. 2003, 2711-2716.

PATIN N ET AL. Analysis and control of a cascaded doubly-fed induction generator. 《INDUSTRIAL ELECTRONICSSOCIETY, 2005. IECON 2005. 32ND ANNUAL CONFERENCE》. 2005, 2481-2486.

审查员 马永祥

权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 11 页

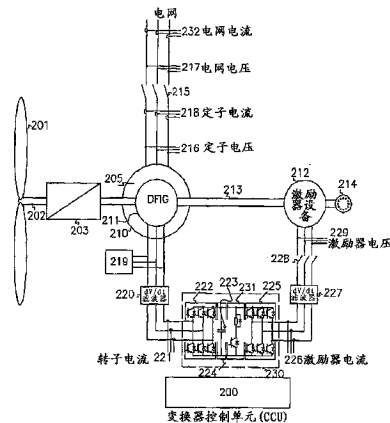
(54) 发明名称

具有激励器设备和不连接至电网的功率变换器的变速风机

(57) 摘要

本发明公开了一种具有双馈感应发电机 (DFIG) 的变速风机, 包括机械地耦合至 DFIG 的激励器设备 (212) 以及布置在 DFIG 的转子 (211) 和激励器设备之间的功率变换器 (230)。因此, 功率变换器不直接连接至电网, 从而避免引入不希望的谐波畸变, 并获得馈入公共电网的更好的电能质量。此外, 该变速风机包括功率控制和桨距调节。

CN 101401294 B



1. 一种变速风机,包括:
第一转轴,包括至少一个叶片;
双馈感应发电机,耦合至所述第一转轴,具有可连接至电网的定子,并具有轴;
激励器设备,耦合至所述双馈感应发电机轴;以及
功率变换系统,与电网隔离,并电连接至所述双馈感应发电机的转子和所述激励器设备,用于控制所述双馈感应发电机。
2. 根据权利要求1所述的变速风机,还包括功率控制系统,用于控制传送至电网的风机功率输出。
3. 根据权利要求1所述的变速风机,还包括变桨控制器,用于限制所述激励器需要的功率。
4. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述发电机是无滑差环感应发电机。
5. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述激励器是可逆电机。
6. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述激励器是同步电机。
7. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述激励器是异步电机。
8. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述激励器是直流电机。
9. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述功率变换系统包括由直流链路母线连接的两个有源功率变换器,其中一个有源功率变换器的交流侧连接至所述双馈感应发电机的转子电路,另一个有源功率变换器的AC侧连接至所述激励器设备。
10. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述功率变换系统是与电网隔离的双向功率变换器。
11. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述功率变换系统是与电网隔离的周波变换器。
12. 根据权利要求1所述的变速风机,其中所述功率变换系统是与电网隔离的矩阵变换器。
13. 根据权利要求1所述的变速风机,其中对所述双馈感应发电机的控制基于电网磁通定向。
14. 根据权利要求1所述的变速风机,其中对所述激励器设备的控制基于直流母线电压调节。
15. 一种变速风机,包括:
转动体,包括至少一个叶片;
驱动机构,耦合至所述转动体,所述驱动机构包括至少一个双馈感应发电机,所述双馈感应发电机具有可连接至电网的定子;
激励器装置,用于在超同步模式下消耗在所述双馈感应发电机的转子中产生的功率,在次同步模式下产生用于所述双馈感应发电机的转子的功率,并且耦合至所述驱动机构;以及
功率变换装置,与电网隔离,用于对在所述双馈感应发电机的转子和所述激励器装置之间传送的功率进行变换。
16. 根据权利要求15所述的变速风机,还包括:
功率控制装置,用于控制传送至电网的风机功率输出。

17. 根据权利要求 15 所述的变速风机,还包括:
变桨控制装置,用于进行桨距调节。
18. 一种用于变速风机的方法,包括:
通过驱动转动体将风能转换成机械功率;
利用驱动机构中的双馈感应发电机将机械功率转换成电力;
从所述双馈感应发电机的定子将功率供给电网;以及
使用耦合至驱动机构的激励器设备和与电网隔离的功率变换系统,接收所述双馈感应发电机的转子产生的功率,或者提供所述双馈感应发电机的转子所需的功率。
19. 根据权利要求 18 所述的方法,还包括:基于电网磁通定向控制定子功率供给。
20. 根据权利要求 18 所述的方法,还包括:基于直流母线电压调节控制所述激励器设备的功率。
21. 根据权利要求 18 所述的方法,其中当所述双馈感应发电机在次同步模式下工作时,所述转子接收来自所述激励器设备的功率。
22. 根据权利要求 18 所述的方法,其中当所述双馈感应发电机在超同步模式下工作时,所述转子向所述激励器设备提供功率。
23. 一种变速风机,包括:
转动体,包括至少一个叶片;
驱动机构,耦合至所述转动体,所述驱动机构包括至少一个双馈感应发电机,所述双馈感应发电机具有至少一个可连接至电网的定子;
至少一个激励器设备,耦合至所述驱动机构;以及
至少一个功率变换装置,与电网隔离,并电耦合至所述双馈感应发电机的转子和所述激励器设备,用于在所述转子和所述激励器设备之间传送电力。
24. 根据权利要求 23 所述的变速风机,还包括功率控制系统,用于控制传送至电网的风机功率输出。
25. 根据权利要求 23 所述的变速风机,还包括变桨控制器,用于限制所述激励器需要的功率。
26. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述发电机是无滑差环感应发电机。
27. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述激励器是可逆电机。
28. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述激励器是同步电机。
29. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述激励器是异步电机。
30. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述激励器是直流电机。
31. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述功率变换系统包括由直流链路母线连接的两个有源功率变换器,其中一个有源功率变换器的 AC 侧连接至所述双馈感应发电机的转子电路,另一个有源功率变换器的 AC 侧连接至所述激励器设备。
32. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述功率变换系统是与电网隔离的双向功率变换器。
33. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述功率变换系统是与电网隔离的周波变换器。
34. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中所述功率变换系统是与电网隔离的矩阵变

换器。

35. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中对所述双馈感应发电机的控制基于电网磁通定向。

36. 根据权利要求 23 所述的变速风机,其中对所述激励器设备的控制基于直流母线电压调节。

具有激励器设备和不连接至电网的功率变换器的变速风机

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2006 年 3 月 17 日提交的美国临时申请第 60/783029 号和 2006 年 6 月 30 日提交的美国申请第 11//477, 593 号的优先权,其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

[0003] 本发明涉及变速风机 (wind turbine) 领域,更特别地涉及一种变速风机,包括:双馈感应发电机 (DFIG, doubly fed induction generator)、激励器设备、不连接至电网的中间静态变换器、功率控制和桨距 (pitch) 调节。

背景技术

[0004] 在最近几年间,风力发电在世界范围内显著增长。即使在本领域中产业和技术已上升到成熟水平,仍广泛预测这种成长将在下一个十年中持续。随着风场规模的增大、以及风电装机容量的总基数持续增长,改善电能输出质量的重要性成为了风电研发者乃至使用顾客所面对的举足轻重的挑战。

[0005] 电力传输是将电传送至顾客的一个过程。电力传输系统经常被称作“电网”。输电公司必须满足从每一个输电线得到最大可靠容量的挑战。然而,由于对系统稳定性的考虑,实际容量可能低于线路的物理极限。因此,需要良好的清洁能源来改善系统稳定性。

[0006] 在多数应用中,风机发出电力并将电流馈入电网。这可能造成诸如稳态电压水平改变、动态电压变化、闪变 (flicker)、注入非正弦波电流 (即谐波) 等局部电网电压的偏差。

[0007] 这些现象对于端用户设备和其它发电机或诸如变压器的连接至电网的部件可能是不希望的。随着电力容量的增加,出现了对于改善涡轮机输出的电能质量特性的明显需要。风机的电能质量影响取决于其所牵涉的技术。尽管如此,风机制造商却不将电能质量作为主要设计特征来考虑。

[0008] 起初,最初的风机被设计为以固定转速工作。根据这种模型,风机的发电机直接连接至电网并以确定的速度工作,这允许非常小的速度变化。在异步发电机的情况下,仅允许发电机的滑差 (slip) 范围。滑差是转子的转速与定子的旋转磁场相比的差。发电机的滑差随着发电的量而略微变化,因此不完全是恒定的。此外,这些风机在正常工作期间需要启动电流限制策略和无功能量补偿元件。风湍流 (turbulence) 产生不希望的转矩变化,该转矩变化被直接传输至风机的驱动机构,因此传输至馈入电网的有功功率。

[0009] 保持旋转发电机速度与风速成比例的一种风机是变速风机。为了获得风机的最大效率,发电机转速适应波动的风速。这种风机包括连接至电网的电力电子变换器。由于这种接口,致使从涡轮机的电力电子变换器发出的谐波被馈入电网。

[0010] 目前,使用电力电子变换器的变速型风机已得到广泛使用。在美国专利第 5, 083, 039 号、美国专利第 5, 225, 712 号或美国已公开申请 2005/0012339 中描述了这种变速风机的示例。这些基于完全变换器系统的涡轮机包括发电机、发电机侧变换器、DC 链路

母线、以及连接至电网的有源变换器。发电机的可变频率能量通过发电机侧变换器传送至 DC 链路母线,稍后通过电网侧有源变换器转换成固定频率。一些缺点是所有完全变换器系统共有的。电网侧变换器的半导体有源开关将不希望的高频谐波注入电网。为了避免这些谐波引起问题,必须安装大量滤波器。此外,由于电网的不同阻抗值和先前存在的谐波,需要根据风场位置的特性对滤波器进行不同的调整。

[0011] 在美国专利第 6, 137, 187 号中描述了另一种变速风机。如图 1 所示,这种风机结构包括:双馈感应发电机 (1);包含转子侧有源变换器 (5)、DC 母线 (8) 和电网侧有源变换器 (7) 的功率变换器 (4)。在这种结构中,总功率中只有极少的一部分通过变换器 (5、7) 传送到电网 (9)。功率可以直接由定子 (3) 传送到电网 (9),同时转子 (2) 可以根据双馈感应发电机是处于次同步还是超同步操作而经由功率变换器 (4) 吸收功率或将功率供给电网 (9)。转子的变速操作具有如下优点:许多更快的功率变化不传输至网络,而通过转子的飞轮动作使其变平滑。然而,使用连接至电网 (9) 的电力电子变换器 (4) 引起网络电压的谐波畸变。

[0012] 其它文献也描述了变速风机。例如,美国专利第 6, 933, 625 号描述了一种变速系统,包括双馈感应发电机、具有标量 (scalar) 功率控制和从属变桨控制的无源电网侧整流器。在这种情况下,存在转子侧有源变换器、无源电网侧整流器和连接在 DC 链路母线上的可切换功率耗散元件。在超同步操作期间,从转子提取的能量在可切换功率耗散元件中被耗散,从而降低了风机的效率;在风机处于次同步模式下的操作期间,无源电网侧整流器对能量进行整流,这在电网中产生不希望的低频谐波。因此,需要复杂的衰减滤波器。美国专利第 6, 566, 764 号和美国专利第 6, 856, 038 号描述了具有矩阵变换器的变速风机。这两种情况都包括连接至电网的电力电子变换器,这可能产生不希望的谐波电压。

[0013] 所有与包括电力电子装置的变速风机有关的前面提到的美国专利和其它现有解决方案都具有连接至电网的变换器。根据变换器所使用的技术,在电网上引入了不同范围的谐波,这些谐波必须使用滤波器来进行衰减并被调整至最终的应用位置,这使系统更昂贵而且更不可靠。

[0014] 考虑到现有技术中的这些问题,需要提供一种可应用于变速风机的改进的电力解决方案。

[0015] 另一个不希望的问题,特别在弱电网的情况下,是在发电机的同步期间的无功功率消耗。例如,在美国专利第 6, 600, 240 号中描述了一种同步方法。在禁用功率变换器并且转子到达预定速度时,该方法开始将发电机定子连接至电网。此时,由电网来供给完全磁化电流,这引起无功功率消耗。该无功功率消耗有时是一些新的电网强制规定所不允许的。该专利还描述了断开过程。该过程开始减小转子电流并禁用转子变换器。此时,由电网来供给无功磁化电流。为了断开发电机,利用无功电流来断开接触器,从而降低了接触器的工作寿命。因此,需要提供一种方法用于使双馈感应发电机与电网同步、连接和断开,这避免了无功功率的消耗并增加连接装置的寿命。

[0016] 决定注入电网的电能质量的另一方面是对发电机的控制。一种已知的对发电机侧变换器的控制是“磁场定向控制”(FOC, field orientated control)。FOC 方法基于电气模型和设备的参数。由于设备参数的分散性,无法精确计算转矩,并且需要附加的在线调节环。此外,当电网中出现故障时,所使用的 FOC 方法在磁通位置识别中引入延迟,使得更难

以满足新的电网强制规定。

[0017] 在具有 DFIG 结构的现有技术的变速风机中,尽管定子功率保持恒定,但转子功率也通过功率变换器馈入电网。由于转子功率脉动,馈入电网的总功率也脉动,从而影响风机的输出电能质量。

[0018] 仅使用双馈感应发电机的变速风机不能使用电气制动。如上所述,在这种结构中,功率直接由定子传送至电网,总功率中的极小一部分从转子通过变换器传送至电网。当例如在电网的持续故障期间出现风机的意外停止时,发电机的功率急剧降低。仅可应用诸如叶片桨距调节的快速非电气制动来使风机停止。这种操作模式在风机部件中产生大的机械强度,可能造成过早的损坏。因此,需要附加的制动来防止这种机械应力。

[0019] 在专利第 W001/25628 号中描述了风场中高压直流链路输电 (HVDC, high voltage DC link transmission) 的使用,包括同步发电机作为主发电装置。由于使用同步设备,输出频率随着风变化,因此特别是在弱风条件下,输出 DC 电压的纹波含量变高。此外,因为输出变压器和整流器必须能够在低频下工作,所以它们的尺寸必须很大。诸如具有低电感的转子电路的特殊构造等附加细节是输出功率的精确调节所必需的。

发明内容

[0020] 根据本发明的示例性实施例的一个方面,提供了一种具有双馈感应发电机的变速风机,具有:至少一个或更多个叶片;一个或更多个发电机;一个或更多个耦合至驱动机构的激励器设备;通过 DC 链路母线连接的一个或更多个有源电力电子变换器,其中一个的 AC 侧连接至双馈感应发电机的转子电路,另一个的 AC 侧连接至激励器设备。本发明还描述了功率控制和桨距调节。

[0021] 根据本发明的非限制性示例性实施例的这一方面,电力电子装置不连接至电网。因此,功率仅通过双馈感应发电机的定子传送至电网,从而避免不希望的谐波畸变,并获得更好的电能质量馈入公共电网。此外,可以避免使用复杂的滤波器以及根据不同位置对它们进行调节,使得系统更经济而且可靠。

[0022] 本发明的实施例的另一方面是在额定速度以上使功率输出保持恒定,从而避免功率随着速度变化而波动。由于本发明的拓扑结构,功率仅通过双馈感应发电机的定子传送至电网。因此,避免了转子功率脉动,并且改善了风机的输出电能质量。

[0023] 本发明的示例性实施例的另一方面描述了一种变速风机,其使用电网磁通定向 (GFO, Grid Flux Orientation) 来精确地控制注入电网的功率。这种控制系统的优点是其不取决于可能显著变化的设备参数、以及理论设备模型,从而避免使用附加的调节环,并且获得更好的电能质量馈入公共电网。

[0024] 本发明的示例性实施例的再一方面是用于双馈感应发电机的同步的方法避免在连接到电网/从电网断开期间消耗无功功率,从而符合新的电网强制规定。此外,该方法可以避免通过连接装置的连接电流峰值,从而增加了这些部件的寿命。

[0025] 本发明的示例性实施例的再一方面提供了一种控制方法,用于当 DC 电机用来驱动叶片的变桨运动时避免该 DC 电机的集流器的“磨损”,并且改善对叶片轴承的润滑。

[0026] 本发明的示例性实施例的另一方面是在风机的意外停止的情况下,尽管使用双馈感应发电机,但可以应用电气制动。在诸如持续电网故障的紧急情况下,可能发生风机的意

外停止。然后,激励器设备用作发电机,功率可以从激励设备传送至直流母线。然后,可以启动电气制动,一部分电力在断路器的可变电阻器中耗尽,从而协助发电机逐步停止并且避免风机部件中大的机械强度。

[0027] 本发明的另一方面是其可以用于变速发电系统中的高压直流链路输电 (HVDC)。

[0028] 根据另一方面,由于本发明的拓扑结构,可以使 AC 电压的输出频率固定,从而允许需要的整流器和变压器的尺寸更小,并减少弱风条件下的 DC 输出电压的纹波含量,改善输出电能质量。

[0029] 应当理解,前面的一般性说明和以下的详细说明都仅是示例和解释性的,而不是对请求保护的本发明的限制。

附图说明

[0030] 包含的附图构成本发明的一个或更多实施例的一部分。然而,这些附图不应被用来将本发明限制于特定实施例。当与包含的附图相结合时,根据以下详细说明,将更完整地理解本发明及其工作模式,在附图中:

[0031] 图 1 示出传统的变速风机系统,其中双馈感应发电机和功率变换器连接至电网。

[0032] 图 2 示出根据一个示例性实施例的具有激励器设备和不连接至电网的功率变换器的变速风机的电路图的一个实施方式。

[0033] 图 3 示出用于变速风机的功率控制和变桨控制的方框图。

[0034] 图 4 示出最佳功率追踪控制 (OPTC, Optimum Power Tracking Control) 方法的一个实施例的方框图。

[0035] 图 5 示出 GFO 和双馈感应发电机的控制器的一个实施例的方框图。

[0036] 图 6 示出激励器设备控制器的一个实施例的方框图。

[0037] 图 7 示出同步、连接和断开序列的一个实施例的流程图。

[0038] 图 8 示出变桨控制系统的一个实施例的方框图。

[0039] 图 9 示出在同步期间使用的电压调节模式的一个实施例的方框图。

[0040] 图 10 示出具有高电压发电机和整流器的 HVDC 风机的一个实施例的方框图。

[0041] 图 11 示出具有低电压发电机、变压器和整流器的 HVDC 风机的一个实施例的方框图。

具体实施方式

[0042] 下面说明根据各个示例性实施例的变速风机。为了更好地理解说明书,仅参照几个附图用于进行说明。此外,在说明书中使用相同附图标记来指示相同或相似部分。

[0043] 概述

[0044] 通常,根据本发明的各个示例性实施例的变速风机发电机将转子在双馈感应发电机的超同步操作期间发出的电力导入激励器设备。然后,激励器设备将该电能变换回机械旋转能,然后其可以用于进一步增加由定子发出的传送至电网的电力。仅由 DFIG 的定子将电力传送至电网,以避免通过功率变换器将电力传送至电网。因此,改善了供给电网的电能的的质量。

[0045] 此外,在次同步操作期间,当转子不发电而是需要电源时,风力产生的旋转能量的

一部分被激励器设备用来发出转子所需的电力。

[0046] 在图 2 中广义地示出变速风机发电机系统。在该实施例中,变速系统包括一个或更多转动体叶片 (201) 和连接至驱动机构的转动体轮轴。驱动机构主要包括涡轮机轴 (202)、齿轮箱 (203) 和双馈感应发电机 (205)。双馈感应发电机的定子 (210) 可使用一个或更多接触器 (215) 连接至电网。该系统还包括:诸如异步电机、DC 电机、同步(例如永磁)电机、或用作电动机或发电机的可逆电机的激励器设备 (212),其机械地耦合至驱动机构;以及由 DC 链路母线 (224) 连接的两个有源电力电子变换器 (222、225) (即,背靠背变换器),其 AC 侧中的一个连接至双馈感应发电机的转子电路,另一 AC 侧连接至激励器设备 (212)。调节激励器设备的有源功率变换器 (225) 不连接至电网,以使有源功率变换器与电网隔离。可选地,可连接周波变换器 (cycloconverter)、矩阵变换器或任何其它种类的双向变换器来代替背靠背变换器。该系统还可包括连接至 DC 母线的诸如 DC 断路器的电气制动电路 (231)。变换器控制单元 (CCU, converter control unit) 200 执行双馈感应发电机和激励器设备的功率调节。该系统包括诸如 dV/dt 滤波器 (220) 的滤波器,其连接至双馈感应发电机的转子电路,以保护其不受电力电子变换器的有源开关产生的电压的突然变化。此外, dV/dt 滤波器 (227) 连接在电力电子变换器和激励器设备之间。在一个实施例中,将防止电网故障的保护模块 (219) 连接至双馈感应发电机的转子。

[0047] 在本实施例中说明的变速风机发电机系统可在同步速度以下(即次同步)和同步速度以上(即超同步)工作。在次同步操作期间,功率从激励器设备 (212) 流至双馈感应发电机 (205) 的转子 (211),因此激励器设备 (212) 用作发电机。另一方面,在超同步操作期间,功率从双馈感应发电机 (205) 的转子 (211) 流至激励器设备 (212),因此激励器设备 (212) 用作电动机。全范围速度期间的功率平衡使得除了不同元件中的损耗以外,在双馈感应电机的转子 (211) 中消耗/产生在激励器设备 (212) 中产生/消耗的功率。

[0048] 由于所描述的变速风机发电机系统的拓扑结构,功率仅通过双馈感应发电机 (205) 的定子 (210) 传送到电网。没有电力电子变换器连接至电网。结果,避免了不希望的谐波畸变,并实现馈入公共电网的更好的电能质量。此外,还避免了使用复杂的滤波器以及根据不同位置的调节需要,使得系统更经济而且可靠。

[0049] 这种拓扑结构还使得可在双馈感应发电机结构中使用电气制动。在例如由于电网完全停电而导致风机紧急停止的情况下,定子断开并且无法将发电机产生的电力馈入电网。然而,激励器设备 (212) 可用作发电机,因此电力可从激励器设备 (212) 传送到直流母线 (224)。因此,一部分电力在断路器的可变电阻器中耗尽。最终,应用诸如叶片变桨的机械或空气动力学制动使风机停止。本发明的这一实施例使得发电机可在 DFIG 结构中应用电气制动,以协助风机停止并避免在风机部件中出现可能造成过早损坏的大的机械强度。

[0050] 如图 3 所示,变速风机控制系统包括总控制器 (302)、功率控制器和桨距调节器。基于测得的风速通过最佳功率追踪控制器 (OPTC) (303) 计算功率设定点。将该设定点发送至总控制器 (302) 并由此发送至 DFIG 控制器 (300)。DFIG 控制器 (300) 控制双馈感应发电机 (205) 传送到电网的电力,从而通过有源电力电子变换器 (222) 有效地调节总有功功率和总无功功率。双馈感应发电机 (205) 的电力电子控制基于电网磁通定向 (GFO)。激励器设备 (212) 由有源电力电子变换器 (225) 来调节并由激励器控制器 (301) 控制。有源电力电子变换器使用通过 DC 母线电压传感器 (223) 测得的 DC 母线电压水平作为主调节变量

来控制向 / 从激励器设备 (212) 传送的电力。

[0051] 变速风机控制系统还包括变桨控制系统,其基于对激励器所要求功率的限制。基于激励器的变桨控制器 (EBPC, Exciter Based Pitch Controller) (304) 调节叶片的变桨位置以限制空气动力功率。EBPC (304) 还根据激励器的功率偏差并通过测量变桨电机 (305) 的速度和位置对 OPTC (303) 提供桨距角设定点。此外, EBPC (304) 包括集流器防磨损和润滑系统 (CAWLS, Collector Anti-Wearing & Lubrication System), 以保护用于变桨运动的 DC 电机的集流器并改善叶片轴承的润滑。

[0052] 本发明的拓扑结构还适合变速发电系统中的高压直流链路输电 (HVDC)。如图 10 和图 11 所示, 可通过如图 10 所示的使用具有整流器 (1001) 的高压发电机、或通过如图 11 所示的低压发电机和具有一个或更多二次输出的附加变压器 (1101) 来产生 DC 输出, 其中对每一个二次输出进行整流并以串联或并联方式连接所有这些整流器。需要附加的连接装置 (1002) 和保护装置 (1003)。

[0053] 由于本发明的拓扑结构, 可以固定 AC 电压的输出频率, 从而允许需要的整流器和变压器的尺寸更小, 并减小弱风条件下 DC 输出电压的波纹含量, 改善输出电能质量。

[0054] 此外, 一旦风机开始旋转, 则可由激励器设备 (212) 馈送所有辅助系统, 而不管主发电机的操作, 从而减小了不中断电源或到 AC 变换器的 HVDC 的尺寸。

[0055] 注意, 尽管说明了电网应用, 但对于本领域技术人员很明显, 本发明还可用于诸如独立的电力系统或任何变速能量发生系统的其它应用。例如, 这些其它变速能量发生系统可包括基于波浪和潮汐能量、地热能量、太阳能应用、水力能量、内燃机引擎等的电力系统。

[0056] 最佳功率追踪控制器 (OPTC)

[0057] 最佳功率追踪控制器 (OPTC) (303) 调节 DFIG 控制器 (300) 进行的功率控制环的功率基准, 以控制发电机功率。该基准基于测得的风速作为主调节变量。

[0058] 根据本实施例, 在变速系统中, 在工作速度范围内可执行最佳功率系数 (C_p) 的追踪。该范围由速度下限 (ω_0) 和速度上限 (ω_1) 及其相应功率下限和功率上限 (分别为 P_0 和 P_1) 来确定。

[0059] 图 4 示出最佳功率追踪控制器 (OPTC) 的一个实施例的方框图。OPTC 的主输入是通过一个或更多风速计测量的风速 (u)。在一个实施例中, 对该测量值进行滤波 (401) 以避免不希望的频率通过控制系统被放大, 从而对平滑的信号进行操作。

[0060] OPTC 计算每一个特定风速的相应功率值 (402)。该关系主要根据转动体头以及风机的整体特性来确定, 其点对应于最大空气动力效率。因此, C_p 被最大化以获得最大功率输出。将获得的功率值输入到功率范围限制器 (403)。这种实施方式包括主环。

[0061] 对获得的值应用主环的辅助校正 (405), 以改善最佳 C_p 追踪的响应。根据测得并滤波的风速信号得出 (406) 双馈感应发电机最佳速度。转动体最佳速度 (低速轴) 是将最佳叶尖速度比 (λ) 和风速 (u) 的乘积除以转动体平面半径 (R) 而获得的结果。通过将该值乘以齿轮箱比来计算双馈感应发电机转速。将得到的速度值输入到速度范围限制器 (407)。将该块的输出与桨距校正速度 (PCS, pitch corrected speed) 进行比较 (408), 并在变桨适应速度块 (PASB, Pitch Adapted Speed Block) (410) 中进行计算。

[0062] 将桨距角基准、最小桨距角和测得的转速输入到 PASB。对滤波后的桨距角设定点

(β_{ref}) 和最小桨距角 (β_{min}) 之间的差施加增益 (413)。耦合时, 该项被初始化为零, 使得 $\beta_{ref} = \beta_{min}$ 。与测得的转速 (ω) 相加以计算所述校正后的速度。

[0063] 在 PASB 进行这种校正 (408) 后, 对获得的误差施加增益 (409), 以提供 ΔP 与先前计算的功率设定点相加。

[0064] 一旦校正 (404) 了获得的功率设定点, 则将该值输入到功率范围限制器 (415) 以确保该功率基准处在阈值 P_0 和 P_1 之内。获得的基准是功率设定点 (SP_P)。

[0065] 最终对该功率设定点施加转速监视 (417)。在 PCS 低于 ω_0 (419) 的情况下, 对该速度差施加增益或差分控制器 (420), 以提供 $-\Delta P$ 。另一方面, 如果 PCS 高于 ω_1 (422), 则对算出的误差施加增益 (423), 以与输入处的速度差成比例地提供 ΔP 。

[0066] 因此, 对功率设定点 SP_P 施加上述详细的校正, 另外将其输入到功率范围限制器 (424) 以确保算出的设定点不超过额定功率。由此, OPTC 的输出是有效功率基准 SP_{Pef} , 将其发送至总控制器 (302) 并由此发送至 DFIG 控制器 (300), 以控制双馈感应发电机功率。

[0067] 由于最佳功率追踪控制器, 改善了当发电机速度等于或大于出现额定功率时的发电机速度时的输出电能质量。在具有 DFIG 结构的现有技术的变速风机中, 尽管定子功率保持恒定, 但转子功率也通过功率变换器馈入电网。由于转子功率纹波, 馈入电网的总功率也脉动, 从而影响风机的输出电能质量。在本发明中, 通过使用励磁电机和不连接至电网的功率变换器, 仅通过双馈感应发电机的定子将功率传送到电网, 因此避免了纹波并改善了风机的输出电能质量。

[0068] 双馈感应发电机控制器

[0069] 由双馈感应发电机的控制器 (300) 进行 DFIG 的定子有功功率和无功功率控制。该控制器提供良好的调节性能和对传送到电网的总功率的控制。如下面进一步详细解释的, 该控制基于不同的调节环, 通过使用电网磁通定向 (GFO) 而完全独立于设备的电气参数。通过以高精度测量要调节的不同幅值, 极好地控制了双馈感应发电机 (205) 的定子 (210) 传送到电网的总功率, 获得了高质量能量。

[0070] 图 5 所示的双馈感应发电机的控制器 (300) 基于电网磁通定向 (GFO) 控制和 4 个调节环: 两个电流环 (I_{rq} , 转子电流环 (509), 以及 I_{rd} , 转子电流环 (510)) 和两个功率环 (P_s , 定子有功功率环 (505), 以及 Q_s , 定子无功功率环 (506))。

[0071] 在本发明的该示例性实施例中, 控制器将要通过调节转子电流 (Av_{Ird} 和 Av_{Irq}) 来调节 DFIG 的定子有功功率和无功功率, 因此调节传送到电网的总功率。功率控制器在电流和电压幅值参照双轴旋转系 (d, q) 的情况下工作, 因此该系统进行的不同电流和电压的测量被变换 (514, 517) 到所参照的旋转 (d, q) 系。

[0072] 在一个实施例中, 通过控制 Av_{Ird} (称作“d”轴的转子电流), 使双馈感应发电机 (205) 的磁化水平固定, 因此建立了设备中的无功功率流向。此外, 双馈感应发电机 (205) 可作为感性系统工作以消耗无功功率, 或作为容性系统工作以产生无功功率。在本实施例中, 完全独立于对 Av_{Irq} (称作“q”轴的转子电流) 的控制地进行对 Av_{Ird} 的控制。在另一个实施例中, 通过控制 Av_{Irq} , 极好地控制了双馈感应发电机发出并传送到电网的有功功率。

[0073] 因此, DFIG 的定子有功功率环 (507) 通过从 OPTC (303) 接收定子功率设定点 (Sp_{Pef}) 并由此从总控制器 (302) 接收 (Sp_{Ps}) 来调节定子功率 (Av_{Ps})。该环可基于 PI 控

制器或结构更复杂的不同的控制器。下面,更详细地说明 DFIG 的定子有功功率计算。PI 控制器 (507) 输出是转子电流设定点 ($Sp_{I_{rq}}$)。I_{rq} 转子电流环 (511) 利用前述设定点来调节 $Av_{I_{rq}}$ 电流。该 I_{rq} 电流环可基于 PI 控制器或结构更复杂的不同的控制器。调节器输出是 Ur_{q} 转子电压设定点 ($Sp_{U_{rq}}$)。

[0074] 此外,DFIG 的定子无功功率环 (508) 通过从总控制器 (302) 接收定子无功功率设定点 (Sp_{Qs}) 来调节定子无功功率 (Av_{Qs})。该 Sp_{Qs} 可基于固定值、SCADA 设定等。该无功功率环可基于 PI 控制器或结构更复杂的不同的控制器。下面,更详细地说明定子无功功率计算。PI 控制器 (508) 输出是 I_{rd} 转子电流设定点 ($Sp_{I_{rd}}$)。I_{rd} 转子电流环 (512) 利用前述设定点来调节 $Av_{I_{rd}}$ 电流。该 I_{rd} 电流环可基于 PI 控制器或结构更复杂的不同的控制器。调节器输出是 U_{rd} 转子电压设定点 ($Sp_{U_{rd}}$)。在一个实施例中,该方法允许由转子对双馈感应发电机进行磁化,以避免来自电网的无功功率消耗。此外,通过控制双馈感应发电机的磁化水平并测量电网和定子电压,该系统使双馈感应发电机 (205) 在每一时刻产生的定子电压的振幅、频率和角度与电网持续同步。下面,更详细地说明连接和断开系统。

[0075] 在一个实施例中,通过使 3 个转子电流测量值 (I_{r_L1} 、 I_{r_L2} 、 I_{r_L3}) (121) 参照具有旋转角度 ($\mu - \epsilon$) 的双轴旋转系来计算 $Av_{I_{rq}}$ 和 $Av_{I_{rd}}$ 转子电流,其中 μ 是根据 3 个电网电压 (V_{g_L1} 、 V_{g_L2} 、 V_{g_L3}) (217) 的测量值计算的电网角度, ϵ 是利用位置和速度传感器 (214) 测量的转子角度。

[0076] 使用 I_d 、 I_q 、 V_d 、 V_q 来计算 Av_{Ps} 和 Av_{Qs} :

$$[0077] \quad Av_{Ps} = \frac{3}{2}(V_{sd} \times I_{sd} + V_{sq} \times I_{sq}) \quad \text{式 1}$$

$$[0078] \quad Av_{Qs} = \frac{3}{2}(V_{sq} \times I_{sq} - V_{sd} \times I_{sd}) \quad \text{式 2}$$

[0079] 其中 V_{sd} 、 V_{sq} 、 I_{sd} 、 I_{sq} 是通过测量 3 个定子电压 (V_{L1} 、 V_{L2} 、 V_{L3}) (216) 和 3 个定子电流 (I_{L1} 、 I_{L2} 、 I_{L3}) (118) 并使用 μ 旋转角度使这些电压和电流参照双轴旋转系而获得的。

[0080] 使用旋转角度 ($\mu - \epsilon$) 将两个电流调节器输出 $Sp_{U_{rd}}$ 和 $Sp_{U_{rq}}$ 变换到固定系,以得到在双馈感应发电机 (205) 的转子 (211) 中施加的 3 个电压基准。块 414 示出转子电压从双轴旋转系到 3 相固定系的变换。在一个实施例中,可将这些转子电压用作产生电力电子变换器 (222) 的有源开关的触发信号的模块的基准。块 415 示出可使用不同的 PWM 技术的该模块。

[0081] 根据本实施例,独立于设备电气参数的基于两个功率环和两个电流环的电力电子控制系统避免了电气参数分散性或功率调节中的理论建模误差的影响。通过该方法,可避免因为温度振荡或由于非线性而导致的饱和效应所引起的电气参数变化造成的误差。因此,获得了质量非常好的能量产生,满足并改善了不同标准的需要。仅需要不同的测量值来进行调节 (I_{L1} 、 I_{L2} 、 I_{L3} 、 V_{L1} 、 V_{L2} 、 V_{L3} 、 I_{r_L1} 、 I_{r_L2} 、 I_{r_L3} 、 ϵ 、 ω)。在一个实施例中,可独立于有功功率调节来进行无功功率调节。

[0082] 激励器控制器

[0083] 在一个示例性实施例中,变速系统包括双馈感应发电机 (205),其中转子 (211) 连接至电力电子变换器 (222)。该电力电子变换器通过 DC 母线系统 (224) 耦合至第二电力电

子变换器 (225)。在一个实施例中,该频率变换器 (功率变换器) (225) 通过接触器 (228) 连接至励磁电机 (212)。诸如异步电机、DC 电机或同步 (例如永磁) 电机、或可逆电机的励磁电机机械地耦合至驱动机构。

[0084] 根据转子速度,励磁电机需要的功率根据转子能量流的方向可以是正或负的。在次同步操作即低于同步速度期间,功率从励磁电机 (212) 流向双馈感应发电机 (205) 的转子 (211),因此激励器设备 (212) 用作发电机。在超同步操作即高于同步速度期间,功率从双馈感应发电机 (205) 的转子 (211) 流向激励器设备 (212),因此激励器设备 (212) 用作电动机。全范围速度期间的功率平衡使得除了不同元件中的损耗以外,在双馈感应电机的转子中消耗 / 产生在激励器设备中产生 / 消耗的功率。

[0085] 在本发明的该实施例中,激励器设备 (212) 由电力电子变换器 (225) 来调节并由激励器控制器 (301) 控制。下面,说明激励器设备 (212) 的控制系统,其中将激励器设备称作永磁电机。对于本领域技术人员很明显,不同类型的设备可用作激励器设备 (212),因此激励器控制器可相应地进行变形。

[0086] 电力电子变换器 (225) 使用 DC 母线电压水平 Av_Ubus 作为主调节变量来控制向 / 从激励器设备 (212) 传送的功率。图 6 说明了激励器设备调节的一个实施例。变换器控制单元 (200) 使可以是可变或静态的 DC 母线设定点电压 Sp_Ubus (605) 固定。通过测量 DC 母线电压,PI 控制器 (607) 或结构更复杂的不同控制器调节该 DC 母线电压设定点。该控制器建立在永磁激励器设备 (212) 和 DC 链路母线 (224) 之间传送的有功功率,以将 DC 母线电压保持在由变换器控制单元 (CCU) 固定的值。该有功功率由 Sp_IEq 确定。在一个实施例中,该 Sp_IEq 根据两个项来计算:

[0087] $Sp_IEq =$ 母线电压调节器 (607) 输出 + 对补偿的去耦 & 切换 (608) 输出

[0088] 式 3

[0089] 其中,第一项响应可能的母线振荡,第二项 Iz 是代表通过母线循环的估计电流的前向反馈项。通过这种结构,可实现永磁电机的高动态功率响应。在一个实施例中,不存在母线电流估计项,因此母线电压调节器 (607) 负责产生永磁激励器设备需要的有效 Sp_IEq 。

[0090] 在本实施例中,PI 控制器 (613) 或结构更复杂的不同控制器使用 Av_IEq 来调节 Sp_IEq , Av_IEq 代表参考双轴旋转系的激励器设备有功电流。在一个实施例中,可使用永磁电机,因此需要磁场弱化模块,以能够减小设备磁通,并具有更好的高速功率调节。在永磁电机中,定子电压取决于转子速度以及设备磁通。因此,上面需要转子速度,以通过减小设备上的磁通来减小定子电压。

[0091] 在一个实施例中,使用磁场弱化系统以建立永磁激励器设备 (212) 将需要的无功电流设定点 Sp_IEd (618)。以这种方式,独立于转子速度,在电力电子变换器 (225) 的频带范围调节能力内控制并布置永磁体产生的电压。PI 控制器 (614) 或结构更复杂的不同控制器使用 Av_IEd 来调节 Sp_IEd (618), Av_IEd 代表参考双轴旋转系的激励器设备无功电流。

[0092] 在一个实施例中, Sp_IEd 固定设备的磁化水平及其电压水平。 Sp_IEd 固定注入永磁电机或永磁电机所需的有功功率。

[0093] 在一个实施例中,可测量两个或 3 个激励器设备相电流 ($IExc_L1$ 、 $IExc_L2$ 、 $IExc_L3$) 以计算 Av_IEd 和 Av_IEq 。首先,将这 3 个电流变换 (601) 到双轴静止系,因此得

到 IE_{sx} 和 IE_{sy} 。其次,使这两个电流参照 (603) 随着永磁电机总磁通旋转的双轴系,从而得到 Av_{IEd} 和 Av_{IEq} 。使用角度 μ_{Exc} 该电流变换,角度 μ_{Exc} 是根据可测量或估计的 3 个或两个激励器设备相电压 (VE_{xc_L1} 、 VE_{xc_L2} 、 VE_{xc_L3}) 得到的。块 602 和 604 示出如何得到永磁电机磁通和电压绝对值。

[0094] 在一个实施例中,因为电力电子变换器 (225) 产生的电压必须依赖于电流循环效应所产生的永磁电机中的磁通交链,所以需要有效电压计算模块 (615)。因此,根据两个 PI 电流调节器 (613、614) 输出以及 Av_{IEd} 、 Av_{IEq} 和 $|VEI|$ 来计算 (615) 电压设定点 Sp_{UErd} 和 Sp_{UErq} 。

[0095] 使用旋转角度 μ_{Exc} 将两个电压设定点 Sp_{UErd} 和 Sp_{UErq} 变换 (616) 到三轴静止系。因此,得到电压基准 Sp_{UE_Rx} 和 Sp_{UE_Ry} 以将其施加在永磁激励器设备 (212) 的定子上。在一个实施例中,这些电压设定点可以用作产生电力电子变换器 (225) 的有源开关的触发信号的模块的基准。块 617 示出可使用不同的 PWM 技术的该模块。在一个实施例中,可以在电力电子变换器 (225) 和激励器设备 (212) 之间安装 dV/dt 滤波器或任何其它种类的滤波器 (227)。

[0096] 在一个实施例中,激励器设备 (212) 可用来通过将该设备用作辅助电源而将能量供给风机的不同元件。电网扰动或故障不影响电力电子变换器 (225)。因此,不影响激励器功率调节。

[0097] 动态电气制动

[0098] 根据另一实施例,提供动态电气制动 (DEB, Dynamic Electric Brake),从而允许风机应用电气制动来使发电机停止。因此,可避免风机部件中可能造成过早损坏的机械强度。

[0099] 本发明的变速风机包括双馈感应发电机 (205),其中转子 (211) 连接至电力电子变换器 (222)。该电力电子变换器 (222) 通过 DC 母线系统 (224) 耦合至第二电力电子变换器 (225)。该频率变换器 (电力电子变换器 (225)) 连接至激励器设备 (212)。诸如异步电机、DC 电机、同步 (例如永磁) 电机或可逆电机的激励器设备机械地耦合至驱动机构。该系统还包括连接至 DC 母线的诸如 DC 断路器的电气制动电路 (231)。

[0100] 在现有技术的 DFIG 拓扑结构中,如果 DFIG 的定子功率因为电网故障或从电网断开而突然下降,则设备趋于加速。在风机以额定功率工作的情况下,设备可能出现超速。通常,因为 DFIG 的定子功率以及 DFIG 的转子功率可能太低,所以在这时不能使用电气制动。然而,由于本发明的拓扑结构,激励器设备功率可用来驱动电气制动。在这种情况下,激励器设备将用作发电机,因此功率可以从激励器设备传送至直流母线。因此,一部分电力在连接至 DC 母线的断路器的可变电阻器中耗尽,从而避免发电机超速。以这种方式,风机制动不单独依赖于机械制动。在一个实施例中,可与机械制动一起使用电气制动,从而使风机可以逐步制动,使机械强度、转矩负荷峰值和不希望的加速度最小。例如,可应用电气制动,直到机械或空气动力制动能够控制涡轮机为止。

[0101] 因此,由于激励器设备 (212),制动功率总是可用。在一个实施例中,根据激励器功率、激励器变换器功率和断路器的可变电阻器值,制动功率可以达到发电机的额定功率的 30%。

[0102] 因此,还存在持续可用的最大制动功率 (P_{b_MAX}) :

$$[0103] \quad P_{b_MAX} = (V_{DC_bus})^2 / R_{brake} \quad \text{式 4}$$

[0104] 其中 V_{DC_bus} 是 DC 母线电压 ($A_v U_{bus}$) 的实际值。

[0105] 制动功率可按这种方式来控制：当风机以低速工作时，仅需要制动功率的极小一部分。然而，如果风机发电机处于额定速度以上，则需要使用全部制动可用功率。因此，主要根据风速和发动机速度的测量值来计算制动功率的设定点 (SP_{P_b})。

[0106] 为了精确控制所需要的制动功率，计算调制因子 (f_{MOD})。将该调制因子应用于每一个时刻的可用最大制动功率 (P_{b_MAX}) 以得到 SP_{P_b} 。

$$[0107] \quad SP_{P_b} = P_{b_MAX} \cdot f_{MOD} \quad \text{式 5}$$

$$[0108] \quad f_{MOD} = SP_{P_b} \cdot (R_{brake} / (A_v U_{bus})^2) \quad \text{式 6}$$

[0109] 调制因子使得可对制动功率进行精确控制。可以应用逐步电气制动。例如，在风机紧急停止时，起初需要全部制动功率。一旦激活诸如叶片变桨的机械制动，则可以逐步减小电气制动。

[0110] 在本示例性实施例中，动态电气制动由通过电子可控开关（例如 IGBT）来激活的可变电阻器（电阻器、一组电阻器或任何耗能元件）构成。还可使用反并联二极管。DEB 并不严格局限于已说明的实施例。因此，制动断路器可包括不同于上述元件的元件。

[0111] 连接（使能）序列

[0112] 根据另一实施例提供连接序列。该实施例包括：耦合至激励器设备 (212) 的双馈感应发电机 (DFIG) (205)，其中电力电子变换器不连接至电网；以及连接序列，使双馈感应发电机连接至电网，而不消耗无功能量，并且没有通过接触器 (215) 的连接电流峰值，从而增加了接触器 (215) 的寿命。图 7 示出连接序列。对于本领域技术人员很明显，如果代替接触器使用主电路断路器或任何其它开关使发电机耦合至电网，则也可应用此处说明的技术。

[0113] 在正常工作模式期间，涡轮机使用偏航 (yaw) 电机持续朝风向定向。当测得的平均风速大于阈值（在一个实施例中是 2.5 米 / 秒）时，如果满足全部其余所需的条件，则变桨电机将叶片移动至可以使主电机开始旋转的位置。

[0114] 在一个实施例中，在启动连接序列前必须满足初始条件 (701)。这些条件涉及转子速度、转动体接触器 (228) 的状态以及启动序列的任何其它先前条件。在一个实施例中，一旦满足这些条件，则转子速度必须上升至 $N1$ （在一个实施例中，使用 1800rpm/60Hz 同步速度 DFIG, $N1$ 值可以是 1170rpm）。一旦达到该转子速度，则激活激励器侧电力电子变换器 (225) 以调节 DC 母线电压水平，这相当于状态 702。

[0115] 在一个实施例中，一旦 DC 母线达到 $VBUS1$ 水平，则转子速度必须上升至 $N2 > N1$ （在一个实施例中，使用 1800rpm/60Hz 同步速度 DFIG, $N2$ 值可以是 1260rpm，使用 1700V IGBT, $VBUS1$ 水平可以是 1050V）。然后，接通 DFIG 侧电力电子变换器 (222) (703) 以使通过接触器 (215) 的电压接近 0；这是通过以电压值、序列、频率和其它变量在接触器 (215) 两侧相等的方式利用电力电子变换器 (222) 经由转子 (211) 使双馈感应发电机 (205) 磁化来实现的。当满足电压幅值、电压频率、电压角度 / 延迟的条件和一些其它条件时，接触器 (215) 闭合 (704) 并且定子电流接近 0。双馈感应发电机 (205) 没有从电网消耗能量，避免了电网中可能的扰动。

[0116] 一旦满足了该序列，则启动功率控制 (705)。为了平滑地连接至电网，在初始时刻

期间,使来自 OPTC 的有功功率设定点和来自自主控制器的无功功率设定点倾斜上升。

[0117] 在全部连接序列期间,以如果检测到错误则继续进行该序列并产生警报的方式监视所有所涉及的元件的状态。根据警报的类型,在预定时间之后启动该序列,或者如果错误很重要,则在风机中启动一个紧急模式,这需要人工干预以退出该模式。

[0118] 在图 9 中说明了在状态 703 期间使用的用于同步的控制系统。进行定子电压调节。定子电压和电网电压是到定子电压调节器 (903 和 904) 的输入,该调节器的输出是 d 轴上的转子电流设定点的一部分。将与发电机的磁化电流成比例的电流项作为前向反馈元素相加至电压调节器的输出。根据测得的电网电压、测得的电网频率以及取决于发电机的电气参数的常数 K 来计算该前向反馈电流。通过在块 905 内相加该前向反馈项,使得同步处理加速。作为块 905 的输出的两项之和是“d”轴上的转子电流设定点。在全部同步处理期间,“q”轴上的转子电流设定点等于 0。两个电流设定点(“d”轴和“q”轴上)是到电流调节块 (906) 的输入,其中它们受 PI 调节器的控制。基于块 907 中的电网角度和机械角度计算块 906 中用于将双轴系(“d”和“q”)变换成 3 相系的角度。

[0119] 断开(禁用)序列

[0120] 根据本发明的另一实施例,提供断开序列。该实施例包括:耦合至激励器设备 (212) 的双馈感应发电机 (DFIG) (205),其中电力电子变换器不连接至电网;以及在系统的不同元件上没有任何与过电流或过电压相关的扰动的情况下使双馈感应发电机 (205) 从电网断开的断开序列。由于在电流接近 0 时使接触器 (215) 断开,因此增加了该接触器的寿命并减少了维护操作。与其它断开序列相比,还使用于相同应用的接触器的额定值更低。

[0121] 在风机的正常操作中,通常因为缺乏风力条件,所以到达该序列,但也可在过强风、本地人员请求、远程监控和数据获取 (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition) 请求、风机的任何子系统故障或任何其它原因的情况下到达该序列。

[0122] 在一个实施例中,为了使在发电机的定子中没有电流,定子功率和定子电流必须倾斜 (ramp) 下降 (710)。根据请求断开序列的原因对倾斜向下时间进行优化。为了避免风机中不必要的机械应力,倾斜向下时间是使风机安全工作的最大值。很明显,需要的倾斜向下时间对于每种情况不尽相同。

[0123] 一旦满足状态 (710),则使主接触器 (215) 断开,以到达状态 (711)。由于接触器 (215) 断开前有功和无功功率设定点是 0,因此 DFIG 控制器 (300) 注入磁化电流以使 DFIG 定子无电流地连接至电网,从而在电流接近 0 的情况下进行接触器的断开,以延长接触器 (115) 的寿命。

[0124] 当满足状态 (711) 时,禁用转子电力电子变换器 (222),这相当于状态 (712)。当禁用转子电力电子变换器时,存储在双馈感应发电机的感性电路中的能量被传送至 DC 链路。

[0125] 基于激励器的变桨控制器 (EBPC)

[0126] 在本发明的该实施例中,变速风机包括基于激励器的变桨控制器 (EBPC)。图 8 说明了这种变桨控制系统的一个示例性实施例,其基于对激励器所需要的功率的限制。

[0127] 变桨控制系统的主幅值是激励器的功率。建立激励器额定功率值 (801)。根据该基准,激励器功率限制调节器 (804) 根据激励器功率实际值 (802) 固定叶片位置设定点 (Sp_{β})。在一个实施例中,当风机的功率输出保持在额定功率以下时, Sp_{β} 将取低的值(例如在 0° 和 2° 之间),一旦达到额定功率,则增大 Sp_{β} 以限制激励器功率。

[0128] 在一个实施例中, PI 位置控制器 (806) 或实施方式更复杂的不同控制器调节 804 的叶片变桨位置输出。输入到 PI 位置控制器的误差为:

$$[0129] \quad \text{Error}_\beta = \text{Sp}_\beta - \text{Av}_\beta \quad \text{式 7}$$

[0130] Av_β 是位置和速度传感器 (214) 测量的叶片位置实际值。位置调节器输出是变桨速度设定点 (Sp_n)。叶片将以该速度移动以到达所请求的位置。

[0131] 在一个实施例中, PI 速度控制器 (808) 或实施方式更复杂的不同控制器调节 806 的变桨速度输出。输入到 PI 速度控制器的误差为:

$$[0132] \quad \text{Error}_n = \text{Sp}_n - \text{Av}_n \quad \text{式 8}$$

[0133] Av_n 是速度传感器 (214) 测量的叶片速度的实际值。速度调节器输出是为了达到所请求的速度 (Sp_n) DC 电机 (305) 所需的电流设定点。

[0134] 在一个实施例中, PI 电流控制器 (810) 或实施方式更复杂的不同控制器调节 808 的电流输出。输入到 PI 电流控制器的误差为:

$$[0135] \quad \text{Error}_I = \text{Sp}_I - \text{Av}_I \quad \text{式 9}$$

[0136] Av_I 是电流传感器 (812) 测量的 DC 电机电流的实际值。电流控制器输出是要在 DC 电机中施加的基准电压。在一个实施例中, 这些基准电压可通过不同的 PWM 技术来产生, 以触发电力电子变换器 (811) 的有源开关。

[0137] 在一个实施例中, 在紧急情况下, 变桨电机驱动从 EBPC 切换至紧急电源 (EPS, Emergency Power Supply)。因此, EPS (816) 通过紧急继电器 (817) 直接馈入驱动电机, 直到达到桨缘 (feathered) 位置 (接近 90°) 为止。叶片位置开关 (818) 确定从 EPS 供给电流的结束。

[0138] 在一个实施例中, 移动叶片的驱动器是 DC 电机。对于本领域技术人员很明显, 也可使用 AC 感应电机或 AC 同步电机。

[0139] 在一个实施例中, 移动叶片的驱动器可以是由集合了这些功能 (807、808、809、810、811) 的伺服阀控制的水力、风力或其它类型的变桨致动器。

[0140] 集流器防磨损和润滑系统 (CAWLS)

[0141] 在本发明的另一实施例中, 变速风机包括基于对激励器设备所需要功率的限制的变桨控制系统。

[0142] 在 DC 电机作用于变桨移动的驱动器的情况下, 应用集流器防磨损和润滑系统 (CAWLS), 以避免长时间保持固定变桨位置的其它有害影响。例如, 可避免由于电流通过同一位置所造成的 DC 电机的集流器和电刷过早磨损。此外, 显著改善了叶片轴承的润滑。

[0143] 因此, 使用 CAWLS 以避免用作变桨驱动器的 DC 电机的集流器和电刷过早磨损, 并改善叶片轴承的润滑。在一个实施例中, 该系统基于以桨距角围绕所希望的位置持续移动的方式对位置或速度的不重要附加设定点的引入。根据正弦波基准来操控桨距角变化, 其中根据不同的参数确定幅值和频率。特别地, 应当考虑到风机的自然频率和疲劳来指定频率。在一个实施例中, 该正弦波基准例如被设计为具有 1 分钟的周期和 0.2° 的幅值。对于本领域技术人员很明显, 可以应用任何其它波形、周期或幅值。使用 CAWLS 完全不影响风机的功率产生, 但却避免了集流器和电刷的磨损, 并改善了它们的冷却和润滑。CAWLS 还改善了叶片轴承的润滑。

[0144] 此外, 可以在任何类型的变桨驱动器中使用该系统, 以改善叶片轴承的润滑, 从而

增加这些部件的寿命。

[0145] 因此,公开了一种变速风机,其具有双馈感应发电机、激励器设备和不连接至电网的中间功率变换器。本发明还描述了功率控制和桨距调节。

[0146] 风力发电在世界范围内显著增长。即使在本领域中产业和技术已上升到成熟水平,仍广泛预测这种成长将在下一个十年中持续。随着风场规模的增大以及风力装机容量总基数的持续增长,改善电能输出质量的重要性成为举足轻重的挑战。

[0147] 在以上描述的本发明的示例性实施例中引入了许多新颖特征。在电力系统中包括激励器设备,其中功率变换器与电网隔离(不连接至电网)。因此,本发明提供了对由连接至电网的变速风机导致的诸如传送功率中存在谐波畸变、闪变和纹波的常见问题的解决方案。因此,明显地改善了输出电能质量。在这些实施例中,精确地控制功率输出,另外,保持额定以上的恒定速度,从而避免由于风速变化引起的功率波动。实际上,示例性实施例提供了友好的连接和断开方法,从而避免了来自电网的无功功率消耗。此外,根据本发明的实施例的功率产生对诸如电网故障的电网扰动不甚敏感,在单独的弱电网中提供了更好的性能。因此,通过使风场的规模和风电装机容量增大以满足不同规则的要求并改善电能输出质量,示例性实施例所示的系统对于新兴风场需要特别有吸引力。

[0148] 另外,示例性实施例包括其它一些益处,例如:在永磁电机的情况下使用激励器设备作为辅助电源,可以在不需要电力变压器的情况下使用低压功率变换器在中等电压下发电,简化电气部件,以及在使用 DC 电机对叶片进行变桨时防止这种类型的电机的集流器磨损并改善叶片轴承润滑。

[0149] 图 2 所示的风机系统的替代实施例也是可以的。例如,可以将激励器设备 (212) 连接或布置在风机的驱动机构内的任何位置处。包括两个或更多激励器设备的其它实施例也是可行的。

[0150] 从以上说明可明显看出,此处说明的本发明提供了一种新颖而有优势的变速风机。尽管如此,必须牢记,以上详细说明应当被理解为是示例性的。此处提供的细节和图示不旨在限制本发明的范围。此外,可以进行许多修改和变形,并且可以由等同物来取代此处说明和示出的方法和实施方式。因此,可以以其它不同的方式来实施本发明,而不脱离本发明的实质和范围的情况下,应当理解,本发明不限于此处说明的实施例。

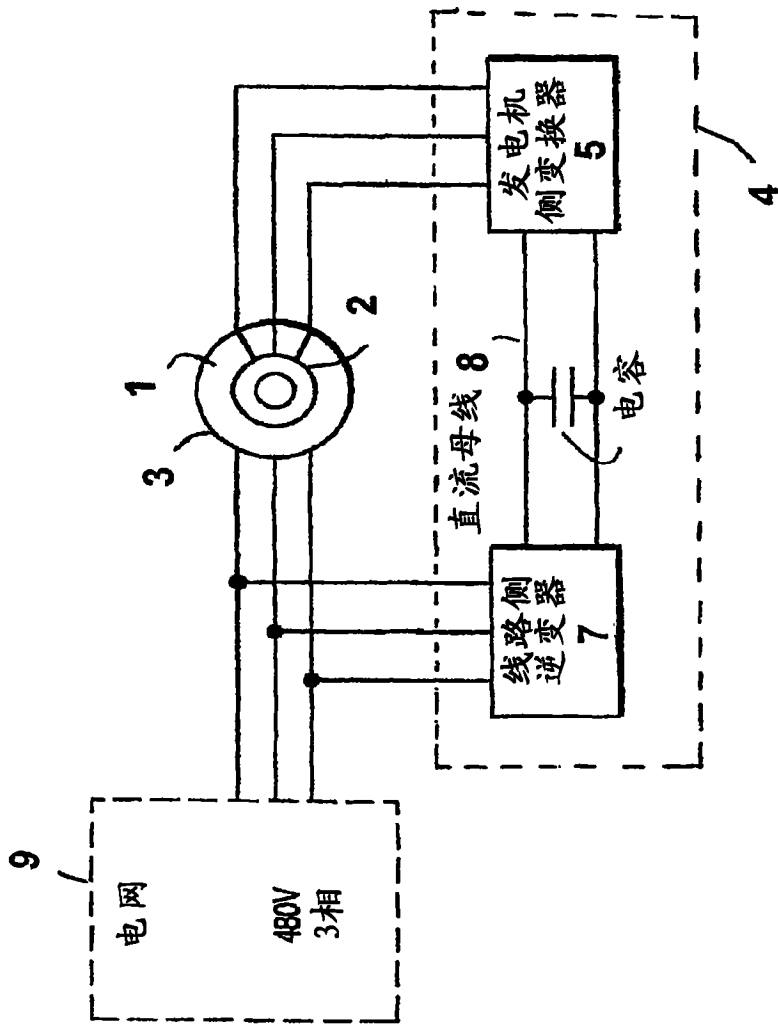


图1

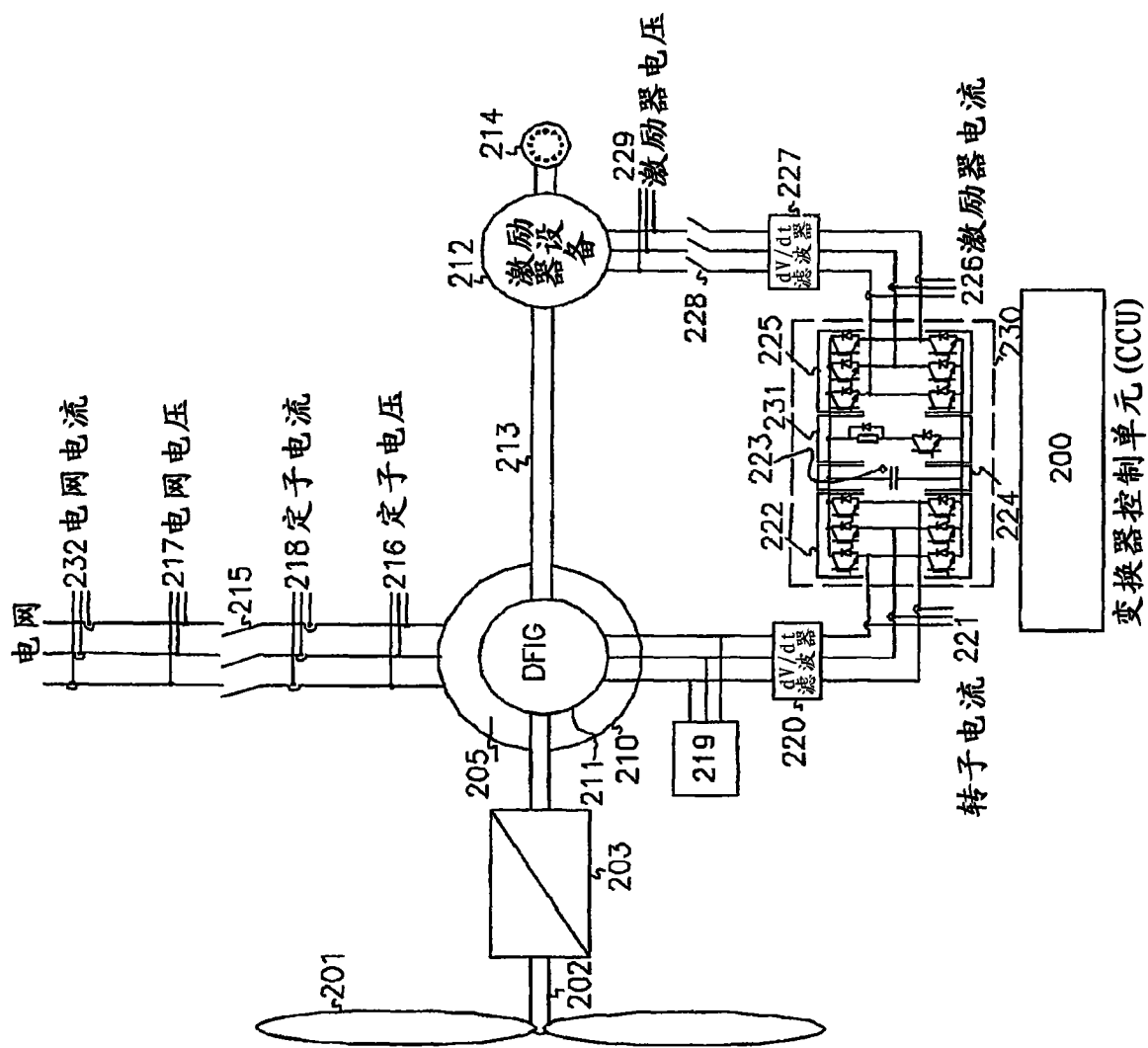


图2

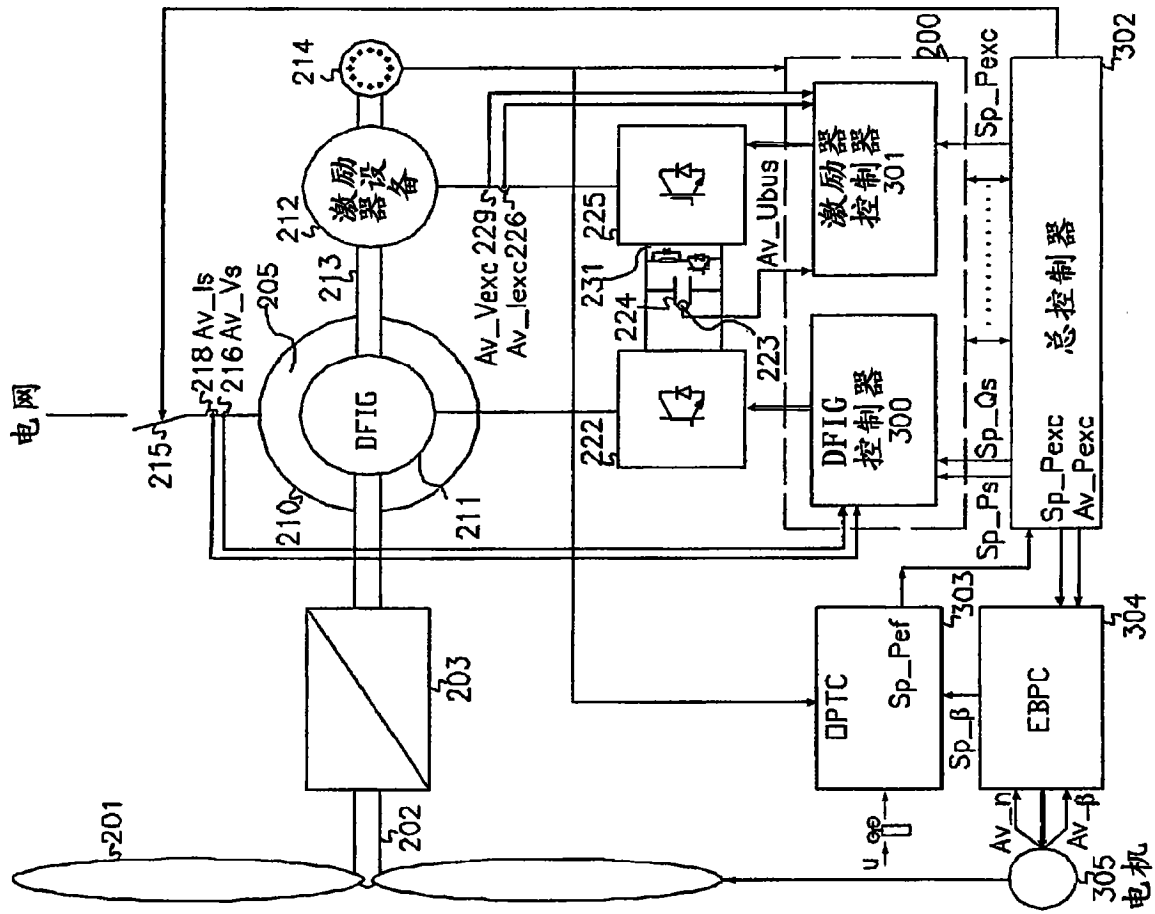


图 3

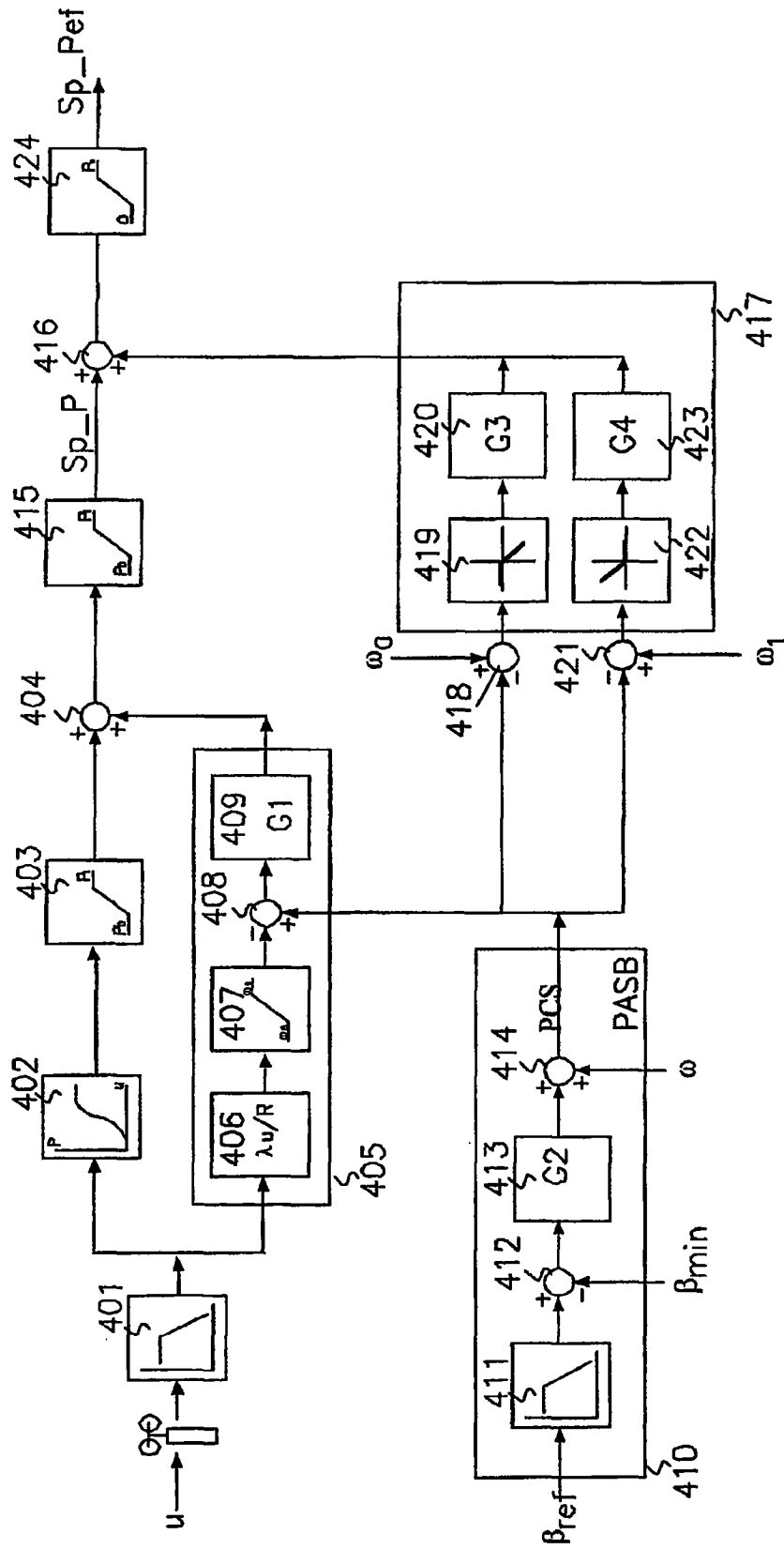


图4

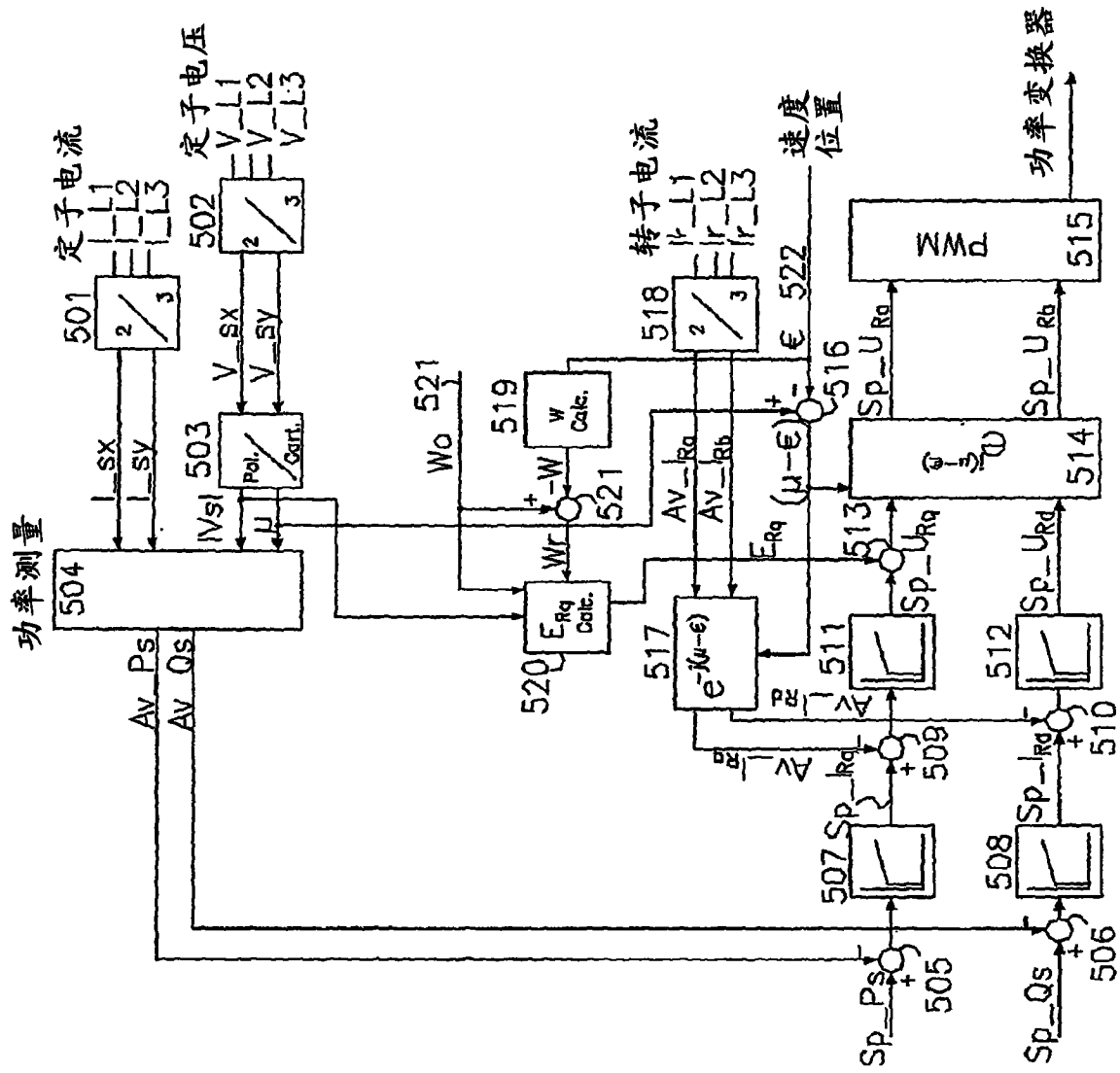


图5

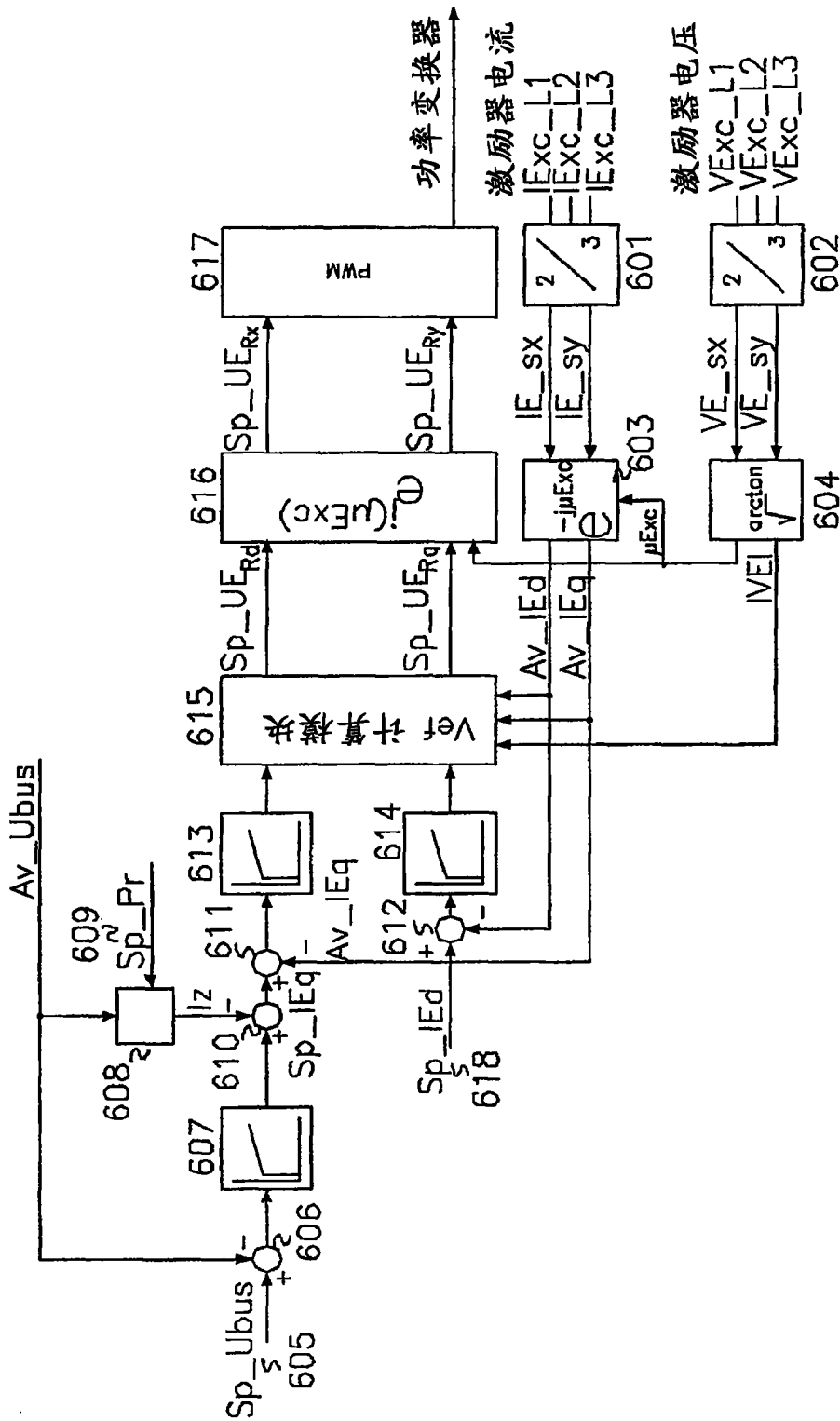


图6

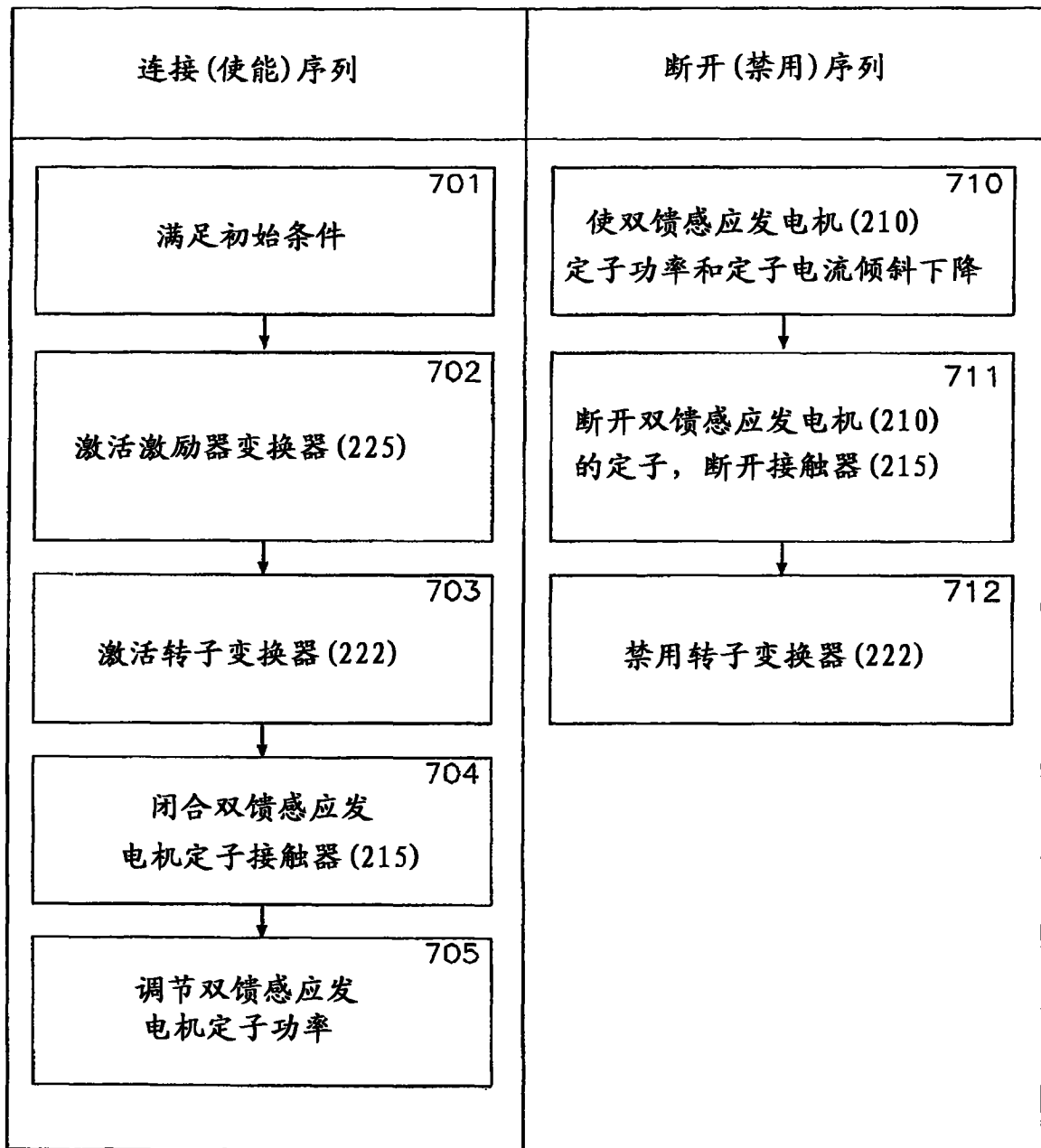


图 7

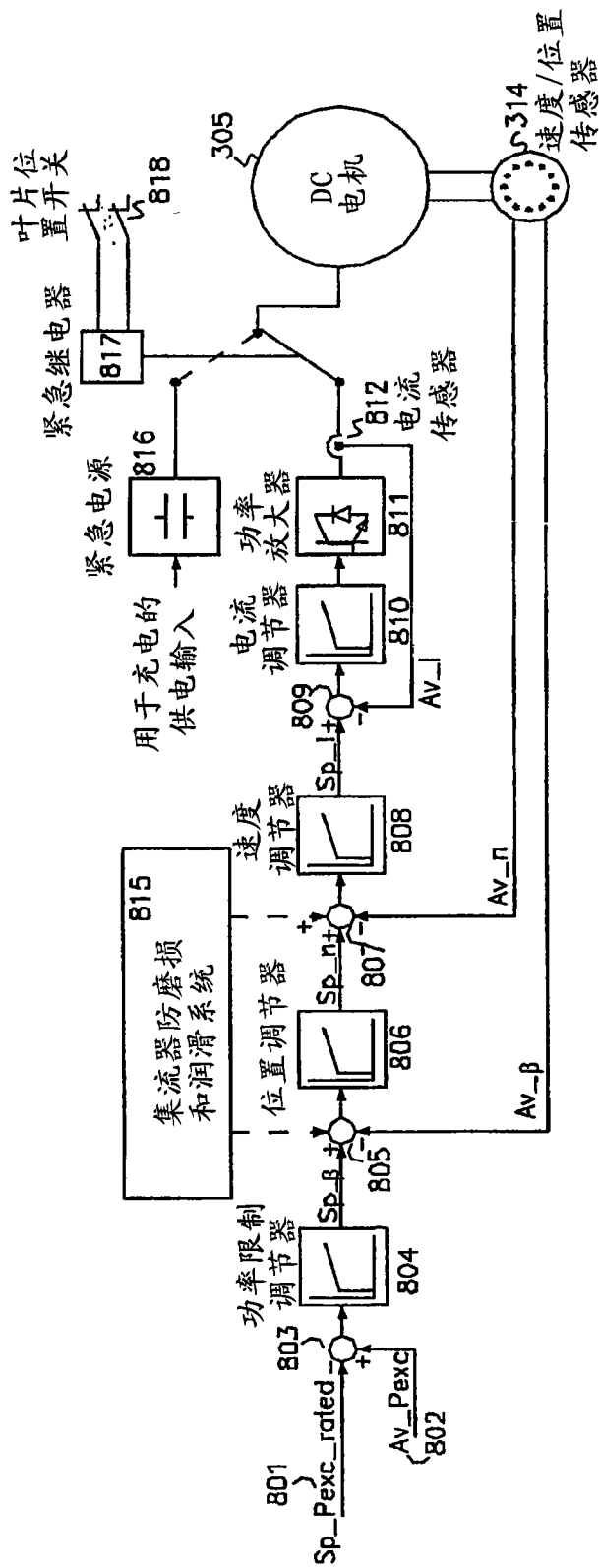


图8

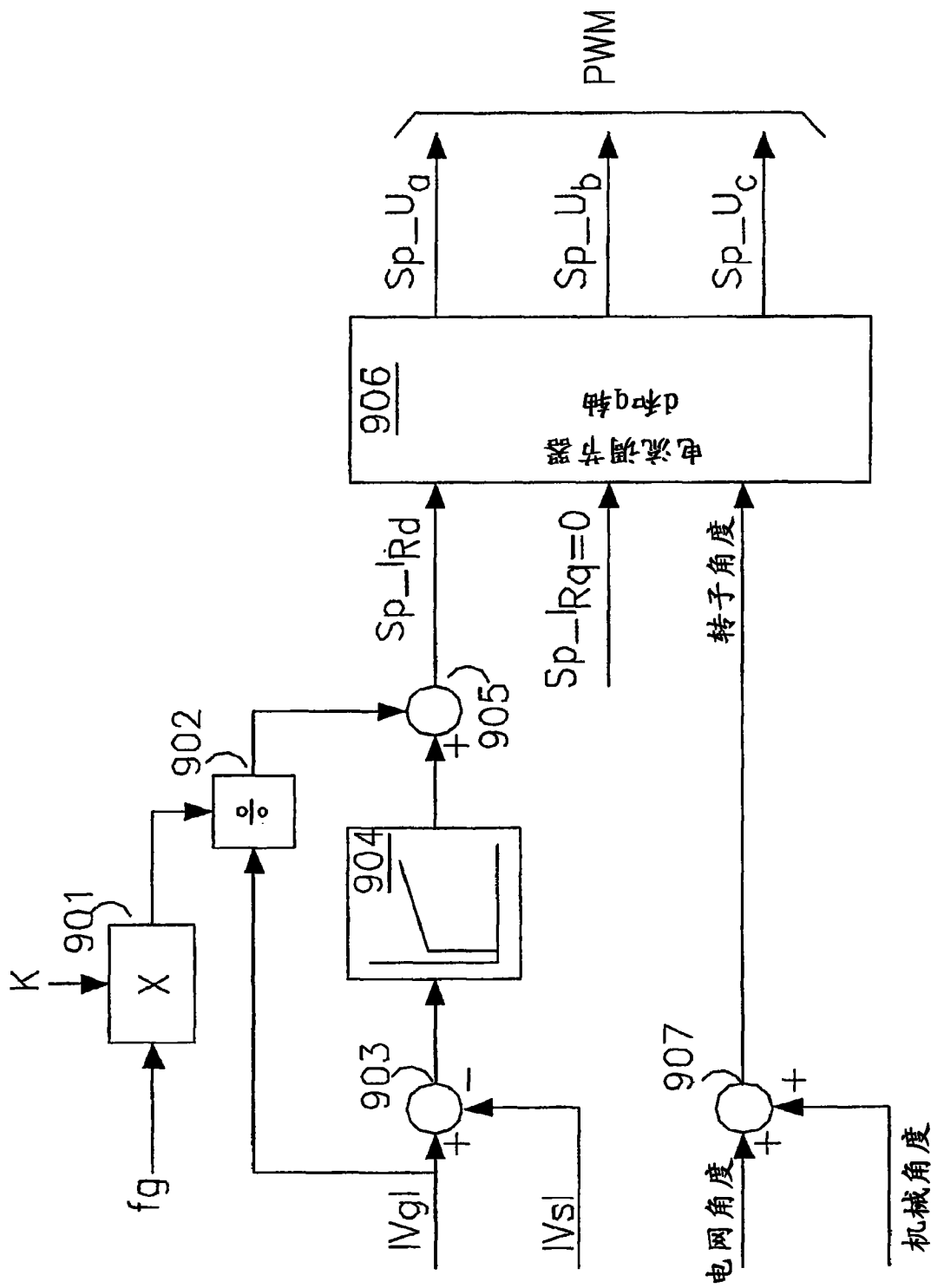


图9

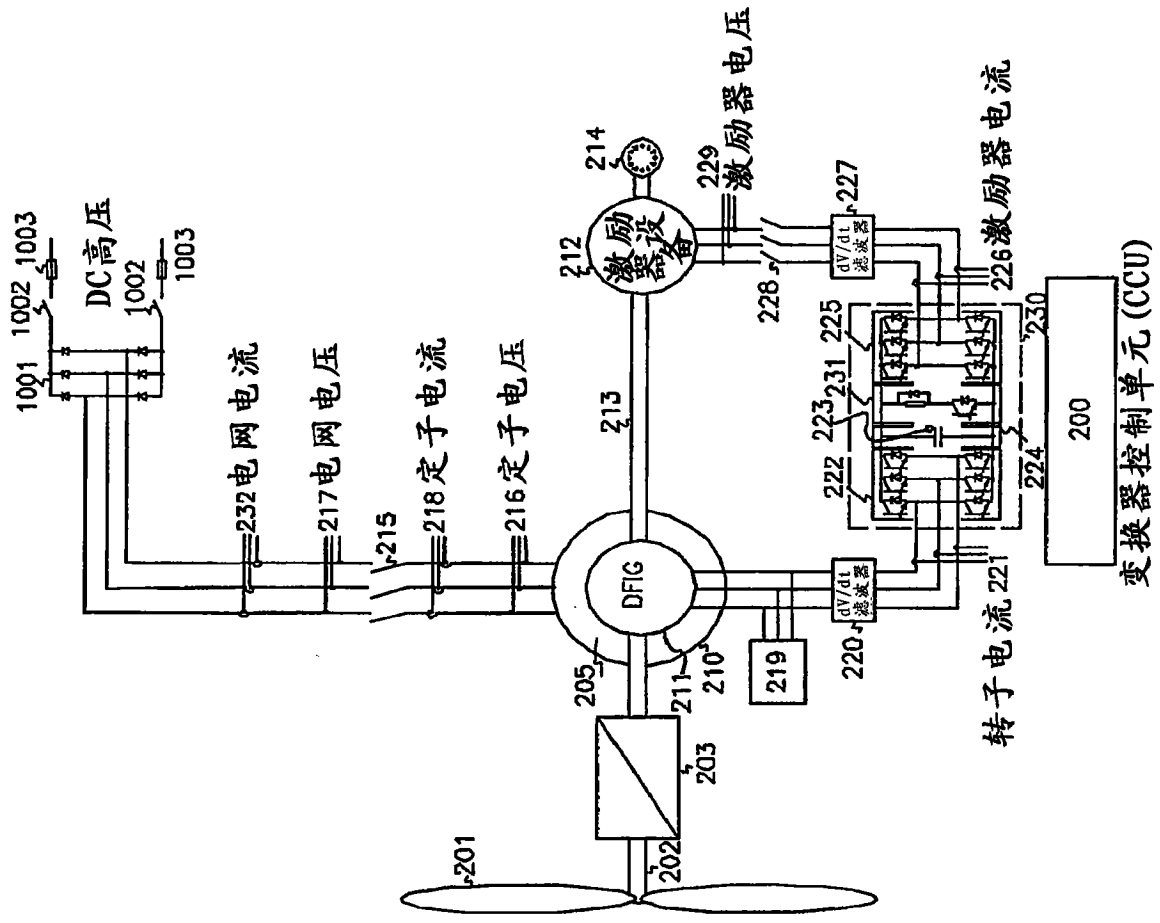


图10

