



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101501981 B

(45) 授权公告日 2012. 10. 03

(21) 申请号 200780009063. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2007. 02. 28

H02P 9/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

60/786, 029 2006. 03. 17 US

WO 2004/070936 A1, 2004. 08. 19, 说明书第 3 页第 15 行 - 第 5 页第 20 行, 附图 1.

11/477, 593 2006. 06. 30 US

US 2003/0151259 A1, 2003. 08. 14, 说明书第 2 页第 [0022] 段 - 第 5 页第 [0051] 段, 附图 1.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

US 5907192 A, 1999. 05. 25, 全文.

2008. 09. 12

(86) PCT 申请的申请数据

P. Bauer, S. W. H. de Haan, C. R. Meyl, J.

PCT/IB2007/002680 2007. 02. 28

T. G. Pierik. Evaluation of Electrical Systems for offshore Windfarms.

(87) PCT 申请的公布数据

《IEEE》. 2000, 1416-1423.

W02007/135573 EN 2007. 11. 29

(73) 专利权人 英捷能源有限公司

审查员 武瑛

地址 西班牙萨里古伦

(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 潘士霖 李春晖

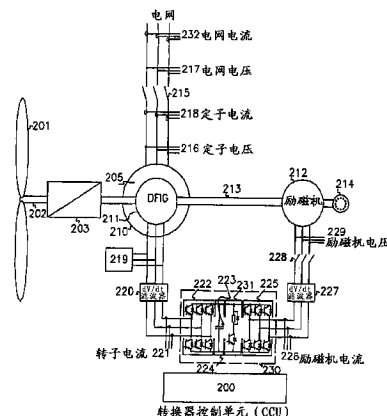
权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图 12 页

(54) 发明名称

具有励磁机和未连接到电网的电力转换器、动态电动制动器的变速风力涡轮机及其系统和制动方法

(57) 摘要

一种具有双馈感应发电机 (DFIG) 的变速风力涡轮机包括机械地耦合到 DFIG 的励磁机和放置于 DFIG 的转子与励磁机之间的功率转换器。因此, 功率转换器没有直接地连接到电网, 从而避免引入所不希望的谐波失真并且实现向公用事业电网中馈送的更佳功率质量。另外, 变速风力涡轮机包括功率控制和俯仰调节。



CN 101501981 B

1. 一种变速风力涡轮机,包括:
包括至少一个叶片的转子;
耦合到所述转子的驱动链,所述驱动链至少包括双馈感应发电机 DFIG,所述 DFIG 至少具有可连接到功率电网的定子;
耦合到所述驱动链的一个励磁机;以及
至少一个功率转换设备,与所述电网隔离并且电耦合到所述双馈感应发电机的转子和所述励磁机以在所述转子与所述励磁机之间传送电功率;以及
电动制动电路,放置于所述转子与所述励磁机之间的所述功率转换设备中。
2. 根据权利要求 1 所述的变速风力涡轮机,其中所述电动制动电路连接到所述功率转换设备中的直流 DC 总线。
3. 根据权利要求 2 所述的变速风力涡轮机,其中所述功率转换设备包括第一电子功率转换器和第二电子功率转换器,
其中所述直流总线将所述第一电子功率转换器耦合到所述第二电子功率转换器,
其中所述第一电子功率转换器连接到所述双馈感应发电机,而所述第二电子功率转换器连接到所述励磁机。
4. 根据权利要求 1 所述的变速风力涡轮机,其中所述电动制动电路耗散来自所述励磁机和所述 DFIG 的转子电路中至少一个的功率。
5. 根据权利要求 1 所述的变速风力涡轮机,其中所述电动制动电路至少包括由可控开关设备激活的耗散单元。
6. 根据权利要求 5 所述的变速风力涡轮机,其中所述耗散单元是电阻器。
7. 根据权利要求 1 所述的变速风力涡轮机,其中如果激活电动制动,则所述电动制动电路耗散来自所述励磁机和所述 DFIG 的转子电路中至少一个的功率。
8. 根据权利要求 1 所述的变速风力涡轮机,其中响应于感测双馈感应发电机轴速度和双馈感应发电机轴加速度中的至少一个来激活所述电动制动电路。
9. 根据权利要求 7 所述的变速风力涡轮机,其中响应于感测励磁机轴速度和励磁机轴加速度中的至少一个来激活所述电动制动电路。
10. 根据权利要求 7 所述的变速风力涡轮机,其中响应于感测 DFIG 转子速度和 DFIG 转子加速度中的至少一个来激活所述电动制动电路。
11. 根据权利要求 7 所述的变速风力涡轮机,其中响应于感测 DFIG 转子频率和序列以及 DFIG 转子频率变化率和序列中的至少一个来激活所述电动制动电路。
12. 根据权利要求 7 所述的变速风力涡轮机,其中响应于感测励磁机频率和励磁机频率变化率中的至少一个来激活所述电动制动电路。
13. 根据权利要求 7 所述的变速风力涡轮机,其中响应于感测励磁机电压和励磁机电压变化率中的至少一个来激活所述电动制动电路。
14. 一种变速风力涡轮机系统,包括:
包括至少一个叶片的第一转子轴;
双馈感应发电机,耦合到所述第一转子轴并且具有连接到功率电网的定子以及具有轴;
励磁机,耦合到所述双馈感应发电机的轴;

功率转换系统,与所述电网隔离并且电连接到所述双馈感应发电机的转子和所述励磁机以控制所述双馈感应发电机;以及

电动制动装置,用于使所述双馈感应发电机的轴和所述第一转子轴中的至少一个制动。

15. 一种用于在根据权利要求 1-13 中任意一项所述的变速风力涡轮机中使用电动制动电路进行制动的方法,所述方法包括:

感测用于激活所述电动制动电路的制动条件;

确定所述感测的制动条件是否超过阈值;以及

响应于所述感测的制动条件超过所述阈值而激活所述电动制动电路以将来自励磁机和双馈感应发电机 DFIG 的转子中至少一个的制动功率向耗散单元排出。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,还包括:

基于所述感测的制动条件来计算待排出的所述制动功率。

17. 根据权利要求 16 所述的方法,其中所述制动功率在所述 DFIG 的亚同步或者超同步操作模式下排出。

18. 根据权利要求 16 所述的方法,其中向所述耗散单元排出的所述制动功率基于所述 DFIG 的转子电路和所述励磁机各自的功率能力从所述 DFIG 的转子电路和所述励磁机中的至少一个流动。

19. 根据权利要求 16 所述的用于制动的方法,其中功率在斩波器电路的变阻器中耗尽。

20. 根据权利要求 16 所述的用于制动的方法,还包括:

基于发电机或者励磁机速度、发电机或者励磁机加速度、风速、发电机或者励磁机电压、发电机或者励磁机电流和发电机或者励磁机频率中的至少一个来感测制动条件;

其中响应于所述发电机或者励磁机速度、发电机或者励磁机加速度、风速、发电机或者励磁机电压、发电机或者励磁机电流和发电机或者励磁机频率中的至少一个来控制耗散功率。

21. 根据权利要求 15 所述的用于制动的方法,其中向直流总线传送的功率响应于所述感测的制动条件在电动制动电路中耗尽。

具有励磁机和未连接到电网的电力转换器、动态电动制动器的变速风力涡轮机及其系统和制动方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2006 年 6 月 30 日提交的美国申请第 11/477, 593 号和 2006 年 3 月 17 日提交的美国临时申请第 60/783, 29 号的优先权, 其公开内容通过引用全部结合于此。

技术领域

[0003] 本发明涉及变速风力涡轮机领域, 并且具体地涉及包括双馈感应发电机 (DFIG)、励磁机、未连接到电网的中间静止转换器、功率控制和俯仰 (pitch) 调节的变速风力涡轮机。

背景技术

[0004] 近年以来, 风力发电机在全球已经相当可观地增长。即使该产业和技术在这一领域中已经上升到成熟水平, 但是仍普遍地预计这一增长将延续未来数十年。随着风电场规模增长而安装的风力容量的总基数继续增加, 提高功率输出质量的重要性变成对于风力开发商和公用事业客户同样至关重要的挑战。

[0005] 电功率传输是一个将电力递送到客户的过程。功率传输系统通常称为“电网 (grid)”。输电公司必须应对从各传输线获得最大可靠容量的挑战。然而由于考虑到系统稳定性, 实际容量可能小于线路的物理限制。因此需要良好清洁的电功率源以提高系统稳定性。

[0006] 在多数应用中, 风力涡轮机生成电功率并且将电流馈送到电电网中。这可能造成本地电网电压的偏移, 比如稳态电压电平的改变、动态电压变化、闪烁、非正弦波形 (即谐波) 的电流注入等。

[0007] 这些效应对于连接到电网的终端用户设备和其它发电机或者部件如变压器而言可能是所不希望的。随着功率容量增加, 显然需要改进涡轮输出的功率质量特征。风力涡轮机的功率质量影响取决于它所涉及到的技术。尽管有这一事实, 但是风力涡轮机制造商并未将功率质量作为主要设计特征来考虑。

[0008] 最初的风力涡轮机原来被设计用以在固定旋转速度工作。根据这一模型, 风力涡轮机的发电机直接地连接到电网并且在确定的速度操作, 从而允许很小的速度变化。在异步发电器的情况下仅允许发电机的转差 (slip) 范围。该转差是转子的旋转速度与定子的旋转磁场相比的差异。发电机的转差随生成的功率数量而略有变化, 因此它并不完全地恒定。另外, 这些风力涡轮机在正常操作过程中需要起动电流限制策略和无功 (reactive) 能量补偿单元。风涡流产生以下所不希望的转矩变化, 该转矩变化直接地传输到风力涡轮机的驱动链并且因此传输到向电网馈送的有功功率。

[0009] 保持旋转发电机速度与风速成比例的一类风力涡轮机是变速风力涡轮机。为了获得风力涡轮机的最大效率, 发电机旋转速度适应于波动风速。这一类风力涡轮机包括连接到电网的功率电子转换器。由于这一种接口, 来自涡轮的功率电子转换器的谐波发射被馈

送到电网中。

[0010] 使用功率电子转换器的变速型风力涡轮机目前已经变得普遍。这一变速风力涡轮机的例子在美国专利第 5,083,039 号、美国专利第 5,225,712 号或者美国公开申请 2005/0012339 中进行了描述。基于全转换器系统的这些涡轮包括发电机、在发电机侧的转换器、直流链路总线和连接到电网的有功转换器 (active converter)。发电机的变频能量由发电机侧的转换器传送到直流链路总线并且随后由电网侧的有功转换器转换成固定频率。一些缺点是所有的全转换器系统所共有的。电网侧的转换器的半导体的有功开关将所不希望的高频谐波注入到电网。为了避免由这些谐波所引起的问题,必须安装多个滤波器。另外,由于电网上的不同阻抗值以及由于预先存在的谐波,所以根据风电场位置的特征而需要对滤波器的不同调谐。

[0011] 另一变速风力涡轮机在美国专利第 6,137,187 号中进行了描述。如图 1 中所示,这一风力涡轮机配置包括双馈感应发电机 (1) 和功率转换器 (4),该功率转换器包括转子侧的有功转换器 (5)、直流总线 (8) 和电网侧的有功转换器 (7)。在这一配置中,全部功率中的仅少部分通过转换器 (5,7) 传送到电网 (9)。功率可以直接地由定子 (3) 递送到电网 (9),而转子 (2) 可以根据双馈感应发电机是亚同步还是超同步操作来经由功率转换器 (4) 吸收功率或者供应功率到电网 (9)。转子的变速操作具有许多较快功率变化没有传输到网络而是被转子的飞轮动作所平滑的优点。然而,连接到电网 (9) 的功率电子转换器 (4) 的使用造成了网络电压的谐波失真。

[0012] 其它文献也描述了变速风力涡轮机。例如,美国专利第 6,933,625 号描述了以下变速系统,该变速系统包括双馈感应发电机和具有标量功率控制和俯仰相关控制的无源电网侧的整流器。在这一情况下,有在转子侧的有功转换器、无源电网侧的整流器和在直流链路总线上连接的可切换功率耗散单元。在超同步操作过程中,从转子提取的能量在可切换功率耗散单元中耗散,从而降低风力涡轮机的效率;在风力涡轮机在亚同步模式下的操作过程中,能量由无源电网侧的整流器整流,这在电网中造成所不希望的低频谐波。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 号描述了具有矩阵转换器的变速风力涡轮机。两种情况均包括连接到电网的功率电子转换器,这可能造成所不希望的谐波电压。

[0013] 所有前述美国专利和与包括功率电子器件的变速风力涡轮机有关的其它现有解决方案都具有连接到电网的转换器。视转换器上所用技术而定,在电网上引入有必须通过使用滤波器来衰减的并且调谐到最终应用位置的不同范围的谐波,从而使系统成本更高而可靠性更低。

[0014] 鉴于现有技术中的这些问题,需要提供一种可以应用于变速风力涡轮机的改进功率解决方案。

[0015] 尤其是在弱电网情况下的另一所不希望的问题是在发电机的同步过程中的无功功率消耗。例如,在美国专利第 6,600,240 号中描述了一种同步方法。这一方法在功率转换器被停用而转子已经达到预定速度之时开始将发电机转子连接到电网。这时,电网供应全磁化电流,这造成无功功率消耗。这一无功功率消耗有时是一些新的电网遵循规范所不允许的。这一专利还描述了一种断开过程。该过程开始减少转子电流并且停用转子转换器。这时,电网供应无功磁化电流。为了断开发电机,用无功电流使接触器开路,从而缩减接触

器的使用寿命。因而需要提供一种用于使双馈感应发电机同步、连接到电网和断开的方法，这避免消耗无功功率并且增加连接设备的寿命。

[0016] 决定向电网注入的功率质量的另一方面是对发电机的控制。对发电机侧的转换器的一类控制称为“面向场的控制”(FOC)。FOC 方法是基于电气模型和机器参数。由于机器参数的分散性，所以不能准确地计算转矩，并且需要附加的在线调整回路。另外，当在电网中出现故障时，所用 FOC 方法在通量位置标识中引入了的延迟，从而使得更难以满足新的电网遵循要求。

[0017] 在具有 DFIG 配置的现有技术的变速风力涡轮机中，虽然定子功率保持恒定，但是转子功率也通过功率转换器馈送到电网中。由于转子功率脉动，所以也使馈送到电网中的总功率脉动，从而影响风力涡轮机的输出功率质量。

[0018] 仅使用双馈感应发电机的变速风力涡轮机不能使用电动制动器。如上所述，在这一配置中，功率由定子直接地递送到电网，而全部功率中的少量部分通过转换器从转子传送到电网。当出现风力涡轮机的意外停止时，例如在电网中的持续故障过程中，发电机的功率锐减。只有快速非电动制动如叶片俯仰才可以用于停止风力涡轮机。这一操作模式在风力涡轮机部件中产生巨大的机械力，这可能造成过早损坏。因此需要用以防止这一机械应力的附加制动。

[0019] 在专利第 W001/25628 号中描述了在风电场中使用包括同步发电机作为主发电设备的高压直流链路传输 (HVDC)。由于使用了同步机，所以输出频率随风力而变化，因此尤其是在低风力条件下，输出直流电压的脉动分量变大。另外，输出变压器和整流器必须是特大尺寸，因为它们必须能够在低频操作。比如具有低电感的转子电路的特殊构造这样的附加细节也是输出功率的准确调节所必需的。

发明内容

[0020] 根据本发明示例性实施例的一个方面，提供一种具有双馈感应发电机的变速风力涡轮机，该变速风力涡轮机具有至少一个或者多个叶片、一个或者多个发电机、耦合到驱动链的一个或者多个励磁机、由直流链路总线接合的一个或者多个有功功率电子转换器，其中一个交流侧连接到双馈感应发电机的转子电路而另一交流侧连接到励磁机。本发明也描述了功率控制和俯仰调节。

[0021] 根据本发明非限制示例性实施例的这一方面，功率电子器件没有连接到电网。因此，功率仅通过双馈感应发电机的定子递送到电网，从而避免所不希望的谐波失真并且实现向公用事业电网中馈送更佳功率质量。另外，可以避免对复杂滤波器的使用以及根据位置对它们的调谐，从而使系统更经济和可靠。

[0022] 本发明实施例的另一方面在于功率输出在额定速度以上保持恒定，从而避免视速度变化而定的功率波动。由于本发明的拓扑结构，所以功率仅通过双馈感应发电机递送到电网。因此避免转子功率脉动并且提高风力涡轮机的输出功率质量。

[0023] 本发明示例性实施例的另一方面描述了一种使用电网通量取向 (GFO) 来准确地控制向电网注入的功率的变速风力涡轮机。这一控制系统的有点在于它并不依赖于可能明显变化的机器参数也不依赖于理论机器模型，从而避免使用附加的调节回路并且实现向公用事业电网中馈送的更佳功率质量。

[0024] 本发明示例性实施例的又一方面在于用于同步双馈感应发电机的方法避免了在连接到电网 / 从电网断开过程中消耗无功功率, 从而符合新的电网遵循规范。另外, 这一方法可以避免经过连接设备的连接电流峰值, 从而增加此类部件的寿命。

[0025] 本发明示例性实施例的又一方面提供一种用以在直流电动机用来驱动叶片的俯仰移动时避免直流电动机集电器的“磨损”并且改进叶片轴承的润滑。

[0026] 本发明示例性实施例的另一方面在于在风力涡轮机偶然停止的情况下, 虽然使用双馈感应发电机, 但是仍有可能应用电动制动。在比如持续电网故障这样的紧急情况下, 可能发生风力涡轮机的偶然停止。然后, 使用励磁机作为发电机而功率可以从励磁机传送到直流总线。然后, 可以激活电动制动器而在斩波器的变阻器中排出部分电功率, 从而有助于发电机渐进地停止并且在风力涡轮机部件中避免大的机械力量。

[0027] 本发明的另一方面在于它可以在变速发电系统中用于高压直流链路传输 (HVDC)。

[0028] 根据另一方面, 由于本发明的拓扑结构, 所以可以固定交流电压的输出频率, 从而允许设置所需整流器和变压器的更小尺度并且减少直流输出电压在低风力条件之下的脉动分量进而提高输出功率质量。

[0029] 将理解前述宽泛的描述和以下具体的描述都仅仅是示例性和说明性的而并不限制所要求保护的本发明。

附图说明

[0030] 并入的附图构成了本发明一个或者多个实施例的部分。然而, 不应将它们理解为将本发明限制于具体实施例。将从与附图结合的以下具体描述中更完全地理解本发明及其操作模式, 在附图中:

[0031] 图 1 图示了具有双馈感应发电机和连接到电网的功率转换器的常规变速风力涡轮机系统;

[0032] 图 2 图示了根据一个示例性实施例具有励磁机和未连接到电网的功率转换器的变速风力涡轮机的电路图的一个实施;

[0033] 图 3 图示了用于变速风力涡轮机的功率控制和俯仰控制的框图;

[0034] 图 4 图示了最优功率跟踪控制 (OPTC) 方法的一个实施例的框图;

[0035] 图 5 图示了 GFO 和双馈感应发电机的控制器的一个实施例的框图;

[0036] 图 6 图示了励磁机控制器的一个实施例的框图;

[0037] 图 7 图示了同步、连接和断开序列的一个实施例的流程图;

[0038] 图 8 图示了俯仰控制系统的一个实施例的框图;

[0039] 图 9 图示了在同步过程中使用的电压调节模式的一个实施例的框图;

[0040] 图 10 图示了具有高电压发电机和整流器的 HVDC 风力涡轮机的一个实施例的框图;

[0041] 图 11 图示了具有低电压发电机、变压器和整流器的 HVDC 风力涡轮机的一个实施例的框图;

[0042] 图 12 图示了用于应用动态电动制动器的方法的一个实施例的流程图。

具体实施方式

[0043] 下文描述根据各种示例性实施例的变速风力涡轮机。将若干附图仅作为图解来参考以便更好地理解本发明。另外,在说明书通篇将使用相同的附图标记指代相同或者相似部分。

[0044] 概述

[0045] 一般而言,根据本发明各种示例性实施例的变速风力涡轮机发电机将转子在双馈感应发电机的超同步操作过程中生成的电功率输送到励磁机。励磁机然后将这一电能转换回机械旋转能量,该机械旋转能量然后可以用来进一步增加向电网递送的由定子生成的电功率。电功率仅由 DFIG 的定子递送到电网,从而避免功率通过功率转换器递送到电网。因此提高了向电网供应的电功率的质量。

[0046] 此外,在亚同步操作过程中,当转子不是生成电功率,而是需要电功率源时,风力所生成的旋转能量的一部分由励磁机用来生成转子所需电功率。

[0047] 在图 2 中宽泛地示出了变速风力涡轮机发电机系统。在这一实施例中,该变速系统包括一个或者多个转子叶片 (201)、连接到驱动链的转子轮毂。驱动链主要包括涡轮轴 (202)、变速箱 (203) 和双馈感应发电机 (205)。双馈感应发电机的定子 (210) 可以通过使用一个或者多个接触器 (215) 连接到电网。该系统也包括:机械地耦合到驱动链的励磁机 (212),比如异步机、直流机、同步(例如永磁)机或者作为马达或者发电动机来工作的可逆电机;以及由直流链路总线 (224) 接合的两个有功电子功率转换器 (222, 225) (即背对背转换器),其中一个交流侧连接到双馈感应发电机的转子电路而另一交流侧连接到励磁机 (212)。调节励磁机的有功功率转换器 (225) 未连接到电网,从而有功功率转换器与电网隔离。可替换地,可以取代背对背转换器而连接循环转换器、矩阵转换器或者其它任一种双向转换器。该系统也可以包括连接到直流总线的电动制动器电路 (231),比如 DC 斩波器。转换器控制单元 (CCU) (200) 进行对双馈感应发电机和励磁机的功率调节。该系统包括 dV/dt 滤波器 (220),该滤波器连接到双馈感应发电机的转子电路以便保护它免于由功率电子转换器的有功开关产生的骤然电压波动。另外, dV/dt 滤波器 (227) 连接于电子功率转换器与励磁机之间。在一个实施例中,防范电网故障的保护模块 (219) 连接到双馈感应发电机的转子。

[0048] 在这一实施例中描述的变速风力涡轮机发电机系统在同步速度以下(即亚同步)和在同步速度以上(即超同步)工作。在亚同步操作过程中,功率从励磁机 (212) 流向双馈感应发电机 (205) 的转子 (211),使得励磁机 (212) 充当发电机。另一方面,在超同步操作过程中,功率从双馈感应发电机 (205) 的转子 (211) 流向励磁机 (212),因此励磁机充当电动机。在整个范围速度过程中的功率平衡使得除了不同单元中的损耗之外在双馈感应机的转子 (210) 中消耗/生成励磁机 (212) 中生成/消耗的功率。

[0049] 由于上述变速风力涡轮机发电机系统的拓扑结构,所以功率仅通过双馈感应发电机 (205) 的转子 (210) 递送到电网。没有连接到电网的电子功率转换器。因而避免所不希望的谐波失真并且实现向公用事业电网中馈送的更高功率质量。另外也避免对复杂滤波器的使用和根据不同位置对它们的调谐需求,从而使系统更经济和可靠。

[0050] 这一拓扑结构也允许在双馈感应发电机配置中使用电动制动器。在风力涡轮机例如由于电网的完全断电而紧急停止的情况下,定子被断开而发电机所产生的功率不能馈送到电网中。然而,励磁机 (212) 可以用作发电机,因此功率可以从励磁机 (212) 传送到直流

总线 (224)。因此,部分电功率排出在斩波器的变阻器中。最后,应用机械或者气动制动器如叶片俯仰以停止风力涡轮机。本发明的这一实施例允许发电机在 DFIG 配置中应用电动制动器,从而有助于风力涡轮机停止并且避免风力涡轮机部件中可能造成过早损坏的机械力。

[0051] 如图 3 中所示变速风力涡轮机控制系统包括总控制器 (302)、功率控制器和俯仰调节器。最佳功率跟踪控制器 (OPTC) (303) 基于测量的风速来计算功率设置点。这一设置点发送到总控制器 (302) 并且因此发送到 DFIG 控制器 (300)。DFIG 控制器 (300) 通过有功电子功率转换器 (222) 进行总有功功率和总无功功率的有效调节来控制双馈感应发电机 (205) 向电网递送的功率。双馈感应发电机 (205) 的功率电子控制基于电网通量定向 (GFO)。励磁机 (212) 由有功电子功率转换器 (225) 调节而由励磁机控制器 (301) 控制。有功电子功率转换器使用借助直流总线电压传感器 (223) 测量的直流总线电压电平作为主调节变量来控制向 / 从励磁机 (212) 传送的功率。

[0052] 变速风力涡轮机控制系统也包括以限制励磁机所需功率为基础的俯仰控制系统。基于励磁机的俯仰控制器 (EBPC) (304) 调节叶片的俯仰位置以便限制气动功率。EBPC (304) 也根据励磁机的功率偏移以及通过测量俯仰电动机 (305) 的速度和位置为 OPTC (303) 提供俯仰角度设置点。此外,EBPC (304) 包括集电器防磨损和润滑系统 (CAWLS) 以便保护用于俯仰移动的直流机的集电器以及改进叶片轴承的润滑。

[0053] 本发明的拓扑结构也适合于在变速发电系统中的高压直流链路传输 (HVDC)。如图 10 和图 11 中所示,可以如图 10 中所示通过使用具有整流器 (1001) 的高电压发电机或者如图 11 中所示使用低电压发电机和具有一个或者多个次级的附加变压器 (1101) 来产生直流输出,其中各次级被整流而所有这样的整流器以串联或者并联方式连接。需要附加的连接设备 (1002) 和保护设备 (1003)。

[0054] 由于本发明的拓扑结构,所以可以固定交流电压的输出频率,从而允许设置所需整流器和变压器的更小尺度以及减少直流输出电压在低风力条件之下的脉动分量,进而提高输出功率质量。

[0055] 另外,一旦风力涡轮机开始旋转,尽管主发电机在运转,但是励磁机 (212) 可以馈给所有辅系统,从而减少不间断电源或者高压直流到交流转换器的尺寸。

[0056] 注意虽然描述了电网应用,但是本领域技术人员将清楚本发明也可以用于其它应用,比如独立功率系统或者任何变速能量生成系统。例如,这样的其它变速能量生成系统可以包括基于波浪和潮汐能量、地热能量、太阳能应用、水电能量、内燃能量等的功率系统。

[0057] 最佳功率跟踪控制器 (OPTC)

[0058] 最佳功率跟踪控制器 (OPTC) (303) 为 DFIG 控制器 (300) 所执行的功率控制回路调整功率基准以便控制发电机功率。这一基准是基于作为主调节变量的测量风速。

[0059] 根据这一实施例,提供一种可以在操作速度范围内进行最佳功率系数 (C_p) 跟踪的变速系统。这一范围取决于速度下限 (ω_0) 和速度上限 (ω_1) 及其对应的功率下限和功率上限 (分别为 P_0 和 P_1)。

[0060] 图 4 图示了最佳功率跟踪控制器 (OPTC) 的一个实施例的框图。OPTC 的主输入是借助一个或者多个风速计测量的风速 (u)。在一个实施例中,对这一测量进行滤波 (401) 以避免所不希望的频率通过控制系统放大,从而操作平滑信号。

[0061] OPTC 为各特定风速计算对应功率值 (402)。这一关系由风力涡轮机、主要是转子头的整体特征确定,而它的点对应于最大气动效率。因此最大化 C_p 以实现最大功率输出。将所得功率值输入到功率范围限制器 (403)。这一实施包括主回路。

[0062] 将主回路的辅助校正 (405) 应用于所得值以提高所优化的 C_p 跟踪的响应性。根据测量和滤波的风速信号计算出 (406) 双馈感应发电机最佳速度。(低速轴上的) 转子最佳速度是最佳叶顶速度 (tip speed) 比 (λ) 与风速 (u) 的乘积除以转子平面半径 (R) 的结果。将这一值与变速箱 比相乘来计算双馈感应发电机旋转速度。将所得速度值输入到速度范围限制器 (407)。将这一块的输出与在俯仰适应速度块 (PASB) (410) 中计算的俯仰校正速度 (PCS) 进行比较 (408)。

[0063] 将俯仰角度基准、最小俯仰角度和测量的旋转速度输入到 PASB。将增益 (413) 应用于滤波的俯仰角度设置点 (β_{ref}) 与最小俯仰角度 (β_{min}) 之差。为了耦合,将这一项初始化为零,从而 $\beta_{ref} = \beta_{min}$ 。添加所测量的旋转速度 (ω) 以计算所述校正速度。

[0064] 在 PASB 这样的校正 (408) 之后,将增益 (409) 应用于所得误差,从而提供 ΔP 以添加到之前计算的功率设置点。

[0065] 一旦已经校正所得功率设置点 (404),将该值输入到功率范围限制器 (415) 以保证这一功率基准在阈值 P_0 和 P_1 内。所得基准是功率设置点 (SP_P)。

[0066] 最终将旋转速度监控 (417) 应用于这一功率设置点。在 PCS 低于 ω_0 的情况下 (419),将增益或者不同控制器 (420) 应用于这样的速度差,从而提供 $-\Delta P$ 。另一方面,如果 PCS 高于 ω_1 (422),则将增益 (423) 应用于计算的误差,从而在输入端提供与速度差成比例的 ΔP 。

[0067] 因此,将上述具体校正应用于功率设置点 SP_P ,该功率设置点还输入到功率范围限制器 (424) 以便保证所计算的设置点没有超过额定功率。因此,OPTC 的输出是待传送到总控制器 (302) 并且因此传送到 DFIG 控制器 (300) 以便控制双馈感应发电机功率的有效功率基准 SP_{Pef} 。

[0068] 由于最佳功率跟踪控制器,所以提高了当发电机速度等于或者大于额定功率出现之时的发电机速度时的输出功率质量。在具有 DFIG 配置的现有技术变速风力涡轮机中,虽然定子功率保持恒定,但是转子功率也通过功率转换器馈送到电网。由于转子功率脉动,所以也使馈送到电网中的总功率脉动,从而影响风力涡轮机的输出功率质量。在本发明内,通过使用励磁机和未连接到电网的功率转换器,仅通过双馈感应发电机的定子将功率递送到电网,从而避免脉动并且提高风力涡轮机的输出功率质量。

[0069] 双馈感应发电机控制器

[0070] 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。这一控制器赋予对于向电网递送的总功率的良好调节性能和控制。正如下文具体说明的那样,这一控制通过使用电网通量定向 (GFO) 与机器的电气参数完全独立地基于不同调节回路。通过高准确度地测量待调节的不同量值来理想地控制双馈感应发电机 205 的定子 (210) 向电网递送的总功率,从而实现高质能量。

[0071] 图 5 中所示双馈感应发电机的控制器 (300) 基于电网通量定向 (GFO) 控制和四个调节回路:两个电流回路(转子电流回路 (509) I_{rq} 和转子电流回路 (510) I_{rd}) 和两个功率回路(定子有功功率回路 (505) P_s 和定子无功功率回路 (506) Q_s)。

[0072] 在本发明的这一示例性实施例中,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并且因此调节向电网递送的总功率。功率控制器通过以二轴旋转系统 (d, q) 为基准的电流和电压量值来操作,因此由系统进行的不同电流和电压测量被变换 (514, 517) 到基准的旋转 (d, q) 系统。

[0073] 在一个实施例中,通过控制 Av_Ird (以 'd' 轴为基准的转子电流) 来固定双馈感应发电机 (205) 的磁化水平,从而建立机器中的无功功率流向。另外,双馈感应发电机 (205) 可以作为消耗无功功率的电感系统来工作或者可以作为生成无功功率的电容系统来工作。在这一实施例中,与对 Av_Irq (以 'q' 轴为基准的转子电流) 的控制完全独立地进行对 Av_Ird 的控制。在另一实施例中,通过控制 Av_Irq 来理想地控制由双馈感应发电机生成的并且向电网递送的有功功率。

[0074] 因而,DFIG 的定子有功功率回路 (507) 通过从 OPTC (303) 接收定子功率设置点 (Sp_Pef) 并且因此从总控制器 (302) 接收定子功率设置点 (Sp_Ps) 来调节定子功率 (Av_Ps)。这一回路可以基于 PI 控制器或者结构更复杂的不同控制器。下文具体描述 DFIG 的定子有功功率计算。PI 控制器 (507) 输出是转子电流设置点 (Sp_Irq)。Irq 转子电流回路 (511) 借助这一前述设置点来调节 Av_Irq 电流。这一 Irq 电流回路可以基于 PI 控制器或者结构更复杂的不同控制器。调节器输出是 Urq 转子电压设置点 (Sp_Urq)。

[0075] 另外,DFIG 的定子无功功率回路 (508) 从总控制器 (302) 接收定子无功功率设置点 (Sp_Qs) 来调节定子无功功率 (Av_Qs)。这一 Sp_Qs 可以基于固定值、SCADA 设置等。这一无功功率回路可以基于 PI 控制器或者结构更复杂的不同控制器。下文具体描述定子无功功率计算。PI 控制器 (508) 输出是 Ird 转子电流设置点 (Sp_Ird)。Ird 转子电流回路 (512) 借助这一前述设置点来调节 Av_Ird 。这一 Ird 电流可以基于 PI 控制器或者结构更复杂的不同控制器。调节器输出是 Urd 转子电压设置点 (Sp_Urd)。在一个实施例中,这一方法允许从转子磁化双馈感应发电机,从而避免消耗来自电网的无功功率。另外,控制双馈感应发电机磁化水平并且测量电网和定子电压,从而系统关于由双馈感应发电机 (205) 生成的定子电压的幅度、频率和角度在每个瞬间都与电网持续地同步。下文将具体说明校正和断开系统。

[0076] 在一个实施例中,将三个转子电流的测量 (Ir_L1 、 Ir_L2 、 Ir_L3) 以具有旋转角度 ($\mu - \epsilon$) 的二轴旋转系统为基准,计算 Av_Irq 和 Av_Ird 转子电流,其中 μ 是根据三个电网电压的测量 (Vg_L1 、 Vg_L2 、 Vg_L3) (217) 计算的电网角度,而 ϵ 是借助位置和速度传感器 (214) 测量的转子角度。

[0077] 使用 Id 、 Iq 、 Vd 、 Vq 来计算 Av_Ps 和 Av_Qs :

$$[0078] \quad Av_Ps = \frac{3}{2}(Vsd \times Isd + Vsq \times Isq) \text{ 方程 1}$$

$$[0079] \quad Av_Qs = \frac{3}{2}(Vsq \times Isq - Vsd \times Isd) \text{ 方程 2}$$

[0080] 其中通过测量三个定子电压 (V_L1 、 V_L2 、 V_L3) (216) 和三个定子电流 (I_L1 、 I_L2 、 I_L3) (118) 来获得 Vsd 、 Vsq 、 Isd 、 Isq , 并且将这些电压和电流以使用旋转角度 μ 的二轴旋转系统为基准。

[0081] 使用旋转角度 ($\mu - \epsilon$) 将两个电流调节器输出 Sp_Urd 和 Sp_Urq 变换成固定系

统,从而获得将在双馈感应发电机 (205) 的转子 (211) 中施加的三个电压基准。块 414 示出了转子电压从二轴旋转系统到三相固定系统的变换。在一个实施例中,可以使用这些转子电压作为用于生成对功率电子转换器 (222) 的有功开关触发的模块的基准。块 415 示出了可以实施不同 PWM 技术的模块。

[0082] 根据这一实施例,与机器电气参数独立的基于两个功率回路和两个电流回路的电子功率控制系统避免了电气参数分散或者理论建模误差在功率调节中的影响。电气参数所引起的误差由于非线性所致温度振荡或者饱和效应而改变并且通过这一方法加以避免。因此获得质量很好的能量生成,从而满足和提高不同标准的要求。进行调节仅需要不同的测量 (I_{L1} 、 I_{L2} 、 I_{L3} 、 V_{L1} 、 V_{L2} 、 V_{L3} 、 I_{L1} 、 I_{rL2} 、 I_{rL3} 、 ϵ 、 ω)。在一个实施例中,可以使无功功率调节独立于有功功率调节。

[0083] 励磁机控制器

[0084] 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) 连接到电子功率转换器 (222)。这一电子功率转换器通过直流总线系统 (224) 耦合到第二电子功率转换器 (225)。在一个实施例中,这一频率转换器 (功率转换器) (225) 由接触器 (228) 连接到励磁机 (212)。励磁机如异步机、直流机或者同步 (例如永磁) 机或者可逆电机机械地耦合到驱动链。

[0085] 视转子速度而定,励磁机所需功率可以根据转子能量流向而为正或者为负。在亚同步操作、即在同步速度以下的过程中,功率从励磁机 (212) 流向双馈感应发电机 (205) 的转子 (212),从而励磁机 (212) 充当发电机。在超同步操作、即在同步速度以上的过程中,功率从双馈感应发电机 (205) 的转子 (211) 流向励磁机 (212),因此励磁机 (212) 充当电动机。在整个范围速度过程中的功率平衡使得除了不同单元中的损耗之外在双馈感应机的转子中消耗 / 生成励磁机中生成 / 消耗的功率。

[0086] 在本发明的这一实施例中,励磁机 (212) 由电子功率转换器 (225) 调节而由励磁机控制器 (301) 控制。下文以永磁机作为励磁机来描述励磁机 (212) 的控制系统。本领域技术人员应当清楚可以使用不同类型的机器作为励磁机 (212),因而可以相应地修改励磁机控制器。

[0087] 电子功率转换器 (225) 使用直流总线电压电平 Av_{Ubus} 作为主调节变量来控制向 / 从励磁机 (212) 传送的功率。图 6 描述了励磁机调节的一个实施例。转换器控制单元 (200) 固定可以是可变或者静止的直流总线设置点电压 Sp_{Ubus} (605)。通过测量直流总线电压,直流总线电压设置点由 PI 控制器 (607) 或者结构更复杂的不同控制器调节。这一控制器建立将要在永磁励磁机 (212) 与直流链路总线 (224) 之间传送的有功功率以便将直流总线电压保持于由转换器控制单元 (CCU) 固定的值。这一有功功率取决于 Sp_{IEq} 。在一个实施例中,根据以下两项来计算这一 Sp_{IEq} :

[0088] $Sp_{IEq} =$ 总线电压调节器 (607) 的输出 + 去耦合和切换补偿 (608) 的输出
方程 3

[0089] 其中第一项对应于可能的总线振荡,而第二项 I_z 是代表流经总线的估计电流的前馈项。借助这一类结构有可能实现永磁机的高动态功率响应。在一个实施例中,总线电流估计项并不存在,因而总线电压调节器 (607) 负责生成永磁励磁机所需有效 Sp_{IEq} 。

[0090] 在这一实施例中,使用以下 Av_{IEq} 由 PI 控制器 (613) 或者结构更复杂的不同控

制器调节 Sp_{IEq} , 该 Av_{IEq} 代表了以二轴旋转系统为基准的励磁机有功电流。在一个实施例中, 可以使用永磁机, 因而需要场弱化模块以能够减少机器通量并且在高速具有更好的功率调节。在永磁机中, 定子电压取决于转子速度和机器磁通量。因而, 在转子速度以上有必要通过减少机器上的通量来减少定子电压。

[0091] 在一个实施例中实施场弱化系统, 从而建立永磁励磁机 (212) 将需要的无功电流设置点 Sp_{IEd} (618)。以这一方式, 与转子速度独立地在电子功率转换器 (225) 的频带范围调节能力内控制和设置永磁体所生成的电压。使用以下 Av_{IEd} 由 PI 控制器 (614) 或者结构更复杂的不同控制器调节 Sp_{IEd} (618), 该 Av_{IEd} 代表了以二轴旋转系统为基准的励磁机无功电流。

[0092] 在一个实施例中, Sp_{IEd} 固定了机器的磁化水平及其电压电平。 Sp_{IEd} 固定了向永磁机注入的或者永磁机所需的有功功率。

[0093] 在一个实施例中, 可以测量两个或者三个励磁机相电流 (I_{Exc_L1} 、 I_{Exc_L2} 、 I_{Exc_L3}) 以便计算 Av_{IEd} 和 Av_{IEq} 。三个电流起初地变换 (601) 成二轴静止系统, 因而获得 I_{E_sx} 和 I_{E_sy} 。其次, 这两个电流以随永磁机总通量而旋转的二轴系统为基准 (603), 从而获得 Av_{IEd} 和 Av_{IEq} 。通过使用根据以下角度 μ_{Exc} 来进行这一电流变换, 该角度 μ_{Exc} 是根据可以测量或者估计的三个或者两个励磁机相电压 (V_{Exc_L1} 、 V_{Exc_L2} 、 V_{Exc_L3}) 来获得的。块 602 和 604 示出了如何获得永磁机通量和电压绝对值。

[0094] 在一个实施例中, 需要有效电压计算模块 (615), 因为电子功率转换器 (225) 所要生成的电压必须依赖于永磁机中因电流流通效应所致的通量交感。因而根据两个 PI 电流调节器 (613, 614) 的输出并根据 Av_{IEd} 、 Av_{IEq} 和 $|VE|$ 来计算 (615) 电压设置点 Sp_{UErd} 和 Sp_{UErq} 。

[0095] 使用旋转角 μ_{Exc} 将两个电压设置点 Sp_{UErd} 和 Sp_{UErq} 变换 (616) 成三轴静止系统。因此, 获得用以在永磁励磁机 (212) 的定子中施加的电压基准 Sp_{UE_rx} 和 Sp_{UE_ry} 。在一个实施例中, 可以使用这些电压设置点作为用于生成对功率电子转换器 (225) 的有功开关触发的模块的基准。块 617 示出了可以实施不同 PWM 技术的模块。在一个实施例中, 可以在电子功率转换器 (225) 与励磁机 (212) 之间安装 dV/dt 滤波器或者其它任一种滤波器 (227)。

[0096] 在一个实施例中, 使用励磁机 (212) 作为辅助电源可以将这一机器用来向风力涡轮机的不同单元供应能量。电网干扰或者故障并不影响功率电子转换器 (225)。因而并不影响励磁机功率调节。

[0097] 动态电动制动器

[0098] 根据另一实施例, 提供一种允许风力涡轮机应用电动制动器以停止发电机的动态电动制动器 (DEB)。因此可以避免风力涡轮机部件中可能造成过早损坏的机械力。

[0099] 本发明的变速风力涡轮机包括双馈感应发电机 (205), 其中转子 (211) 连接到电子功率转换器 (222)。这一电子功率转换器 (222) 通过直流总线系统 (224) 耦合到第二电子功率转换器 (225)。这一频率转换器 (电子功率转换器 (225)) 连接到励磁机 (212)。励磁机如异步机、直流机、同步 (例如永磁) 机或者可逆电机机械地耦合到驱动链。该系统也包括连接到直流总线的电动制动器电路 (231), 比如直流斩波器。

[0100] 在现有技术的 DFIG 拓扑结构内, 如果 DFIG 的定子功率由于电网故障或者从电网

断开而骤减,则机器往往加速。在风力涡轮机以额定功率操作的情况下,机器可能受困于超速。通常不可能在这时使用电动制动器,因为 DFIG 的定子功率以及还有 DFIG 的转子功率可能过低。然而,由于本发明的拓扑结构,所以励磁机功率可以用来驱动电动制动器。在这一情况下,励磁机将用作发电机,因此功率可以从励磁机传送到不同电流总线。这样,部分电功率排出在连接到直流总线的斩波器的变阻器中,从而避免发电机的超速。在这样的方式下,风力涡轮机制动并不唯一地依赖于机械制动器。在一个实施例中,电动制动器可以与机械制动器一起使用,从而允许风力涡轮机渐进地制动、使机械力、峰值转矩负荷和所不希望的加速度最小。例如,可以应用电动制动器直至机械或者气动制动器能够获得对涡轮的控制。

[0101] 另外,励磁机和 DFIG 转子电路可以与电动制动器电路串行使用以作为用以停止或者减缓发电机的旋转的电动制动器来工作。在这样的情况下,实现制动如下:当制动器激活时,变阻器接通,而电功率流向变阻器。所述电功率可以根据 DFIG 的转子电路和励磁机各自的功率能力从 DFIG 的转子电路和 / 或从励磁机流动。这一过程并不依赖于亚同步或者超同步操作模式。

[0102] 尽管在超同步操作模式需要全部制动功率,但是风力涡轮机在亚同步模式以低速度工作而仅需要少部分制动功率。

[0103] 动态电动制动器的另一应用是在高风速下进行操作时。如果当机器已经接近最大速度进行操作时出现阵风,则有必要使机器制动以避免由于超速而停止。

[0104] 在现有技术的 DFIG 拓扑结构内,有可能增加来自定子的输出功率直至叶片的俯仰被修改为减缓风力涡轮机。这一操作系统由于阵风所引起的峰值而降低了输出功率的质量。

[0105] 由于本发明的拓扑结构,所以有可能在激活动态电动制动器之时维持定子输出功率恒定;这样,输出功率保持高质量并且速度降低直至借助叶片的俯仰获得对风力涡轮机的控制。由于可以用很快的方式控制动态电动制动器的功率,所以可以执行用以避免超速的准确控制。

[0106] 结果,由于励磁机 (212),所以制动功率总是可用。视励磁机功率、励磁机转换器功率和斩波器的变阻器值而定,在一个实施例中,制动功率可以达到发电机的额定功率的 30%。

[0107] 因此也有最大制动功率 (P_{b_MAX}) 持续地可用:

$$[0108] \quad P_{b_MAX} = (V_{DC_bus})^2 / R_{brake} \quad \text{方程 4}$$

[0109] 其中 V_{DC_bus} 是直流总线电压 ($A_v U_{bus}$) 的实际值。

[0110] 可以用当风力涡轮机在低速度工作时只需要少部分制动功率的方式来控制制动功率。然而,如果风力涡轮机发电机在额定速度以上,则可能有必要使用全部制动可用功率。因此,主要根据对风速和发电机速度的测量来计算出制动功率设置点 (SP_{P_b})。

[0111] 为了准确地控制必要制动功率,计算调制因子 (f_{MOD})。这一调制因子应用于在各瞬间可用的最大制动功率 (P_{b_MAX}) 以获得 SP_{P_b} 。

$$[0112] \quad SP_{P_b} = P_{b_MAX} \cdot f_{MOD} \quad \text{方程 5}$$

$$[0113] \quad f_{MOD} = SP_{P_b} \cdot (R_{brake} / (A_v U_{bus})^2) \quad \text{方程 6}$$

[0114] 调制因子允许对制动功率的准确控制。有可能应用渐进电动制动。例如在风力

涡轮机紧急停止时,在一开始需要全部制动功率。一旦激活机械制动如叶片俯仰,就有可能渐进地减少电动制动。

[0115] 在这一示例性实施例中,动态电动制动器包括由电子可控开关(例如 IGBT)激活的变阻器(电阻器、电阻器集或者无论任何耗散单元)。也可以使用反并联二极管。DEB 并不严格地限于已经描述的实施例。因此,制动斩波器可以包括与上述单元不同的单元。

[0116] 可以响应于各种操作参数来激活动态电动制动器。在一个实施例中,轴 213 或者涡轮轴(202)的速度可以用来激活制动。这一速度可以由位置和速度传感器(214)确定并且可以用来在超过阈值时激活制动。此外,加速度或者速度相对于时间的速度变化可以用作激活器。在这一情况下,速度随时间的变化可以由位置和速度传感器(214)测量以感测任何异常加速度。如果加速度超过阈值,则然后可以激活制动。此外,在这一示例性实施例中构思诸多不同的制动感测条件。因而,对电动制动器的激活可以依赖于以励磁机轴速度、励磁机轴加速度、DFIG 转子速度、DFIG 加速度、DFIG 转子频率和序列、DFIG 转子频率变化率和序列、励磁机频率、励磁机频率的变化率、励磁机电压或者励磁机电压的变化率为基础的各种制动条件。

[0117] 操作功率、电流和电压也可以用来激活动态电动制动器。例如,如果转子(211)电流或者励磁机(212)的电流超过阈值,则可以激活制动。类似地,转子(211)和励磁机(212)的电压也可以表示某种操作异常。如果检测到这样的异常,则可以激活制动。因此,当转子(211)或者励磁机(212)的电流和电压超过阈值时可以激活制动器。类似地,励磁机(212)或者转子(211)的电流和电压的频率由于它们可以表示超速或者其它某一类设备故障而也可以用来激活制动器。

[0118] 因而,可以使用图 12 中所示方法来激活动态电动制动器如下。首先感测制动条件(操作 1200)。然后评价这一制动条件以确定它是否超过阈值,例如将过电流、超速、过电压或者电流、速度或电压的过量变化率与表示可能需要应用制动的某一阈值做比较(操作 1201)。在操作 1202 中基于制动条件和所超过的阈值来计算制动功率。在计算制动功率之后,可以激活动态电动制动器(操作 1203)。在操作 1204 中,来自激活的动态制动器的功率排出在耗散单元中。

[0119] 就检测发电机的异常或者大的加速度而言,电压和电流相对于时间的变化以及这些参数随时间的频率变化可以用来表示异常加速度。因此,如果检测到这样的加速度,则可以激活制动。

[0120] 连接(使能)序列

[0121] 根据另一实施例提供了连接序列。这一实施例包括耦合到励磁机(212)的双馈感应发电机(DFIG)(205)而没有功率电子转换器连接到电网并包括允许将双馈感应发电机连接到电网的连接序列而没有无功能量的消耗也没有经过接触器(215)的连接电流峰值,因此增加接触器(215)的寿命。图 7 示出了连接序列。本领域技术人员将清楚,如果主电路断路器或者任何其它开关而不是接触器用来将发电机耦合到电网,则也可以应用这里描述的技术。

[0122] 在正常操作模式过程中,涡轮利用偏转(yaw)电动机持续地顺风定向。当测量的平均风速大于阈值(在一个实施例中为每秒 2.5 米)时,如果满足所有其余所需条件,则叶片通过俯仰电动机移动到允许主转子开始旋转的位置。

[0123] 在一个实施例中,在开始连接序列之前必须满足初始条件(701)。这些条件涉及到转子速度、转子接触器(228)的状态和用以开始该序列的任何其它预先条件。在一个实施例中,一旦满足这些条件,转子速度就必须上升到 $N1$ (在一个实施例中,就1800rpm/60Hz的同步速度DFIG而言, $N1$ 的值可以是1170rpm)。一旦达到这一转子速度,就激活励磁机侧的电子功率转换器(225)以便调节直流总线电压电平,这对应于状态702。

[0124] 在一个实施例中,一旦直流总线已经达到 V_{BUS1} 电平,转子速度就必须上升到 $N2 \geq N1$ (在一个实施例中,就1800rpm/60Hz的同步速度DFIG而言, $N2$ 的值可以是1260rpm,而就1700V的IGBT而言, V_{BUS1} 电平可以是1050V)。DFIG侧的电子功率转换器(222)然后接通(703)以便经过接触器(215)的电压接近0。这通过以下方式来实现:以电压值、序列、频率和其它变量在接触器(215)的两侧相等的方式,借助电子功率转换器(222)通过转子(211)磁化双馈感应发电机(205)。当满足电压幅度、电压频率、电压角度/延迟这些条件和一些其它条件时,接触器(215)闭合(704)而定子电流接近0。双馈感应发电机(205)没有消耗来自电网的能量并且避免电网上的可能扰动。

[0125] 一旦已经满足这一序列,就激活功率控制(705)。为了允许平滑连接到电网,在初始瞬间过程中斜升来自OPTC的有功功率设置点和来自主控制器的无功功率设置点。

[0126] 在全部连接序列过程中,如果检测到误差则恢复该序列并且生成报警的方式来监视所有涉及到的单元的状态。视报警类型而定,该序列可以在预定时间以后开始,或者如果该误差重要,则在风力涡轮机中激活一种紧急模式,这需要人的干预以退出该模式。

[0127] 在图9中描述了在状态703过程中用于同步的控制系统。执行定子电压调节。定子电压和电网电压是向定子电压调节器的输入(903和904),而这一调节器的输出是在轴 d 中转子电流设置点的部分。与发电机的磁化电流成比例的电流项添加到作为前馈单元的电压调节器的输出。根据测量的电网电压、测量的电网频率以及取决于发电机的电气参数的 K 常数来计算这样的电流前馈。利用这一前馈项在块905内的添加来加速同步过程。作为块905的输出的两项之和是在“ d ”轴中的转子电流设置点。在全部同步过程中,在“ q ”轴中的转子电流设置点等于0。两个电流设置点(在“ d ”轴和“ q ”轴中)是向电流调节块(906)的输入,其中借助PI调节器来控制它们。在块907中基于电网角度和机械角度来计算用于在块906中将二轴系统(“ d ”和“ q ”)转换成3相系统的角度。

[0128] 断开(停用)序列

[0129] 根据本发明的另一实施例提供了断开序列。这一实施例包括耦合到励磁机(212)的双馈感应发电机(DFIG)(205)而没有功率电子转换器连接到电网并包括允许将双馈感应发电机(205)从电网断开的断开序列而没有与在系统的不同单元上的过电流或者过电压有关的任何扰动。由于在接近0的电流断开接触器(215),所以增加这一接触器的寿命并且减少维护操作。它也允许接触器就同一应用而言与其它断开序列相比更低的额定值。

[0130] 在风力涡轮机的正常操作中,通常由于风力条件的缺失而达成这一序列,但是也可以在过量风力、本地人为请求、远程监督控制 and 数据采集(SCADA)请求、风力涡轮机的任何子系统故障或者任何其它原因的情况下达成这一序列。

[0131] 在一个实施例中,必须倾斜地降低定子功率和定子电流以便在发电机的定子中没有电流(710)。根据断开序列请求的原因来优化斜降时间。为了在风力涡轮机中避免不必要的机械应力,斜降时间是允许风力涡轮机安全操作的最大值。不言而喻,斜降时间要求

并非对于每个情形都相同。

[0132] 一旦已经满足该状态 (710), 就断开主接触器 (215), 从而达到 (711) 状态。由于有功和无功功率设置点在断开接触器 (215) 之前为 0, 所以 DFIG 控制器 (300) 注入磁化电流以使 DFIG 定子电网连接但是没有电流, 从而以接近 0 的电流实现接触器的断开, 从而延长接触器 (115) 的寿命。

[0133] 当满足状态 (711) 时停用转子电子功率转换器 (222), 这对应于状态 (712)。当停用转子电子功率转换器时, 在双馈感应发电机的电感电路中存储的能量传送到直流链路。

[0134] 基于励磁机的俯仰控制器 (EBPC)

[0135] 在本发明的这一实施例中, 变速风力涡轮机包括基于励磁机的俯仰控制器 (EBPC)。图 8 描述了以限制励磁机所需功率为基础的此类俯仰控制系统的一个示例性实施例。

[0136] 俯仰控制系统的主量值是励磁机的功率。建立励磁机额定功率值 (801)。励磁机功率限制调节器 (804) 基于这一基准根据励磁机功率实际值 (802) 来固定叶片位置设置点 (Sp_{β})。在一个实施例中, 当风力涡轮机的功率输出保持在额定功率以下时, Sp_{β} 将取小值 (例如在 0° 与 2° 之间), 而一旦达到额定功率, Sp_{β} 将增加以便限制励磁机功率。

[0137] 在一个实施例中, 804 的叶片俯仰位置输出由 PI 位置控制器 (806) 或者实施更复杂的不同控制器进行调节。向 PI 位置控制器输入的误差是:

$$[0138] \quad Error_{\beta} = Sp_{\beta} - Av_{\beta} \quad \text{方程 7}$$

[0139] Av_{β} 是由位置和速度传感器 (214) 测量的叶片位置实际值。位置调节器输出是俯仰速度设置点 (Sp_n)。叶片将以这样的速度移动以到达所请求的位置。

[0140] 在一个实施例中, 806 的俯仰速度输出由 PI 速度控制器 (808) 或者实施更复杂的不同控制器进行调节。向 PI 速度控制器输入的误差是:

$$[0141] \quad Error_n = Sp_n - Av_n \quad \text{方程 8}$$

[0142] Av_n 是由速度传感器 (214) 测量的叶片速度的实际值。速度调节器的输出是直流电动机 (305) 为了达到所请求的速度 (Sp_n) 而需要的电流设置点。

[0143] 在一个实施例中, 808 的电流输出由 PI 电流控制器 (810) 或者实施更复杂的不同控制器进行调节。向 PI 电流控制器输入的误差是:

$$[0144] \quad Error_I = Sp_I - AV_I \quad \text{方程 9}$$

[0145] AV_I 是由电流传感器 (812) 测量的直流电动机电流的实际值。电流控制器的输出是将要在直流电动机中施加的基准电压。在一个实施例中, 这些基准电压可以通过不同 PWM 技术来创建, 从而触发功率电子转换器 (811) 的有功开关。

[0146] 在一个实施例中, 在紧急情况下, 俯仰电动机驱动从 EBPC 切换到紧急电源 (EPS)。因此, 驱动的电动机通过紧急继电器 (717) 直接地由 EPS (816) 馈给直至达到横置位置 (feathered position) 为止 (接近 90°)。叶片位置开关 (818) 决定 EPS 提供的电流的结束。

[0147] 在一个实施例中, 用以移动叶片的驱动是直流电动机。本领域技术人员将清楚也可以使用交流电感电动机和交流同步电动机。

[0148] 在一个实施例中, 用以移动叶片的驱动可以是水力、气动或者其它类型的由集成功能 (807、808、809、810、811) 的伺服阀控制的俯仰激励器。

[0149] 集电器防磨损和润滑系统 (CAWLS)

[0150] 在本发明的另一实施例中,变速风力涡轮机包括以限制励磁机所需功率为基础的俯仰控制系统。

[0151] 在使用直流电动机作为用于俯仰移动的驱动的情况下,应用集电器防磨损和润滑系统 (CAWLS) 以避免长时间固定俯仰位置所造成的进一步有害效应。例如,可以避免由于电流经过同一位置而造成直流电动机的集电器和刷子的过早磨损。另外明显地改进叶片轴承的润滑。

[0152] 因此,实施 CAWLS 以避免用作俯仰驱动的直流电动机的集电器和刷子的过早磨损和改进叶片轴承的润滑。在一个实施例中,这一系统是基于以俯仰角度在所需位置周围持续地移动的方式来引入非明显的附加位置或者速度设置点。根据其中幅度和频率取决于不同参数的正弦波基准来支配俯仰角度变化。尤其是应当将风力涡轮机的自然频率和疲劳考虑事项纳入考虑之中来指定频率。在一个实施例中,例如以一分钟的周期和 0.2° 的幅度设计正弦波基准。本领域技术人员应当清楚无论哪一种其它波形都可以应用周期或者幅度。CAWLS 实施完全不影响风力涡轮机产生功率,但是它确实避免集电器和刷子的磨损并且改进它们的冷却和涂脂。CAWLS 也改进叶片轴承的润滑。

[0153] 另外,这一系统可以在任一种俯仰驱动中用来改进叶片轴承的润滑,从而增加这些部件的寿命。

[0154] 因此,公开了一种具有双馈感应发电机、励磁机和未连接到电网的中间功率转换器的变速风力涡轮机。本发明也描述了功率控制和俯仰调节。

[0155] 风力发电在全球已经相当可观地增长。即使该产业和技术在这一领域中已经上升到成熟水平,但是仍普遍地预计这一增长将延续未来数十年。随着风电场规模增长而安装的风力容量的总基数继续增加,提高功率输出质量的重要性变成至关重要的挑战。

[0156] 在本发明的上述示例性实施例中介绍了诸多新颖之处。在功率系统中包括励磁机,其中功率转换器从电网隔离(未连接到电网)。因此,本发明针对连接电网的变速风力涡轮机所引起的多数共有问题如在递送的功率中存在谐波失真、闪烁和脉动提供了解决方案。因此明显地改进输出功率质量。在这些实施例中,准确地控制功率输出,此外还在额定速度以上保持恒定,从而避免依赖于风速而变化的功率波动。实际上,示例性实施例提供了一种避免消耗来自电网的无功功率的友好连接和断开方法。另外,根据本发明实施例的功率生成对电网干扰如电网故障不那么敏感并且在独立弱电网中提供更佳性能。因此,通过允许风电场增长规模和安装的风力容量,从而满足不同规章的要求并且提高功率输出质量,示例性实施例所示系统对于新兴的风电站而言尤其具有吸引力。

[0157] 此外,示例性实施例可以包括一些其它益处,比如:在永磁机的情况下使用励磁机作为辅助电源、有可能借助低电压功率转换器生成中电压功率而无需功率变压器、简化电气部件以及当直流电动机类型用来俯仰叶片时防止此类电动机的集电器磨损并且改进叶片轴承润滑。

[0158] 图 2 中所示风力涡轮机系统的替代实施例也是可能的。例如,励磁机 (212) 可以连接或者放置于风力涡轮机的驱动链内的任何位置。包括两个或者多个励磁机的另外的实施例也是可行的。

[0159] 根据以上描述将清楚的是这里描述的本发明提供了一种新颖和有利的变速风力

涡轮机。然而必须了然于心的是应当认为前述具体描述是举例说明。这里提供的细节和说明并不旨在于限制本发明的范围。另外,可以进行诸多修改和适应并且可以用等效方法来替代这里描述和示出的方法和实施。因而可以用其它不同方式实施本发明而不脱离本发明的实质和范围,并且将理解本发明不限于这里描述的实施例。

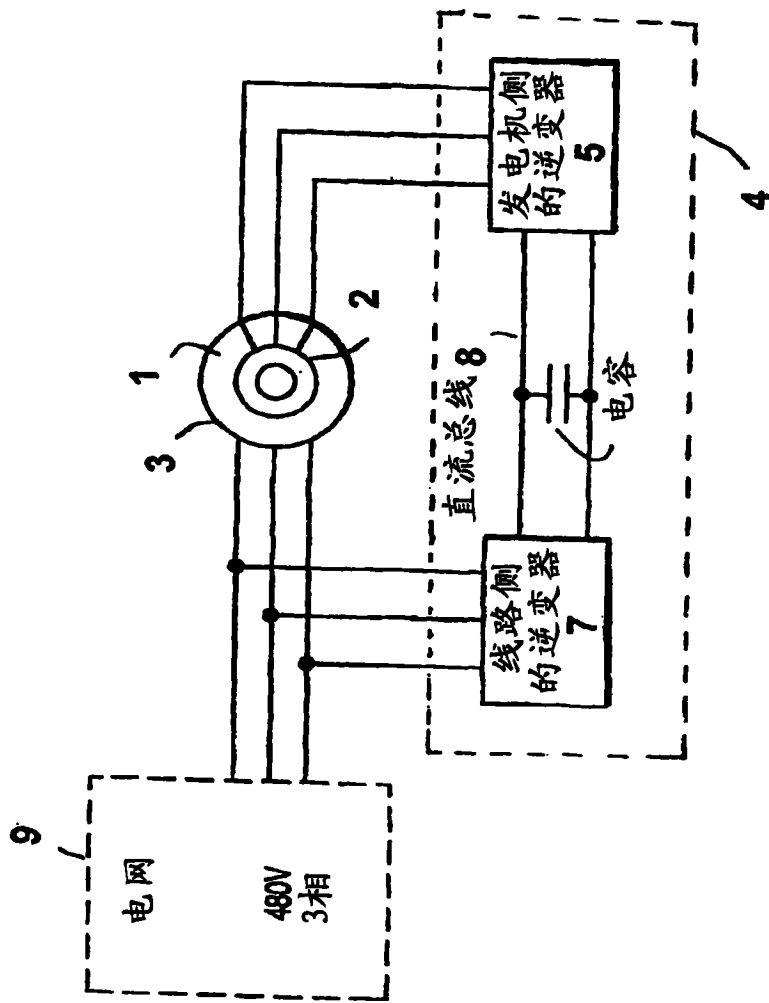


图1

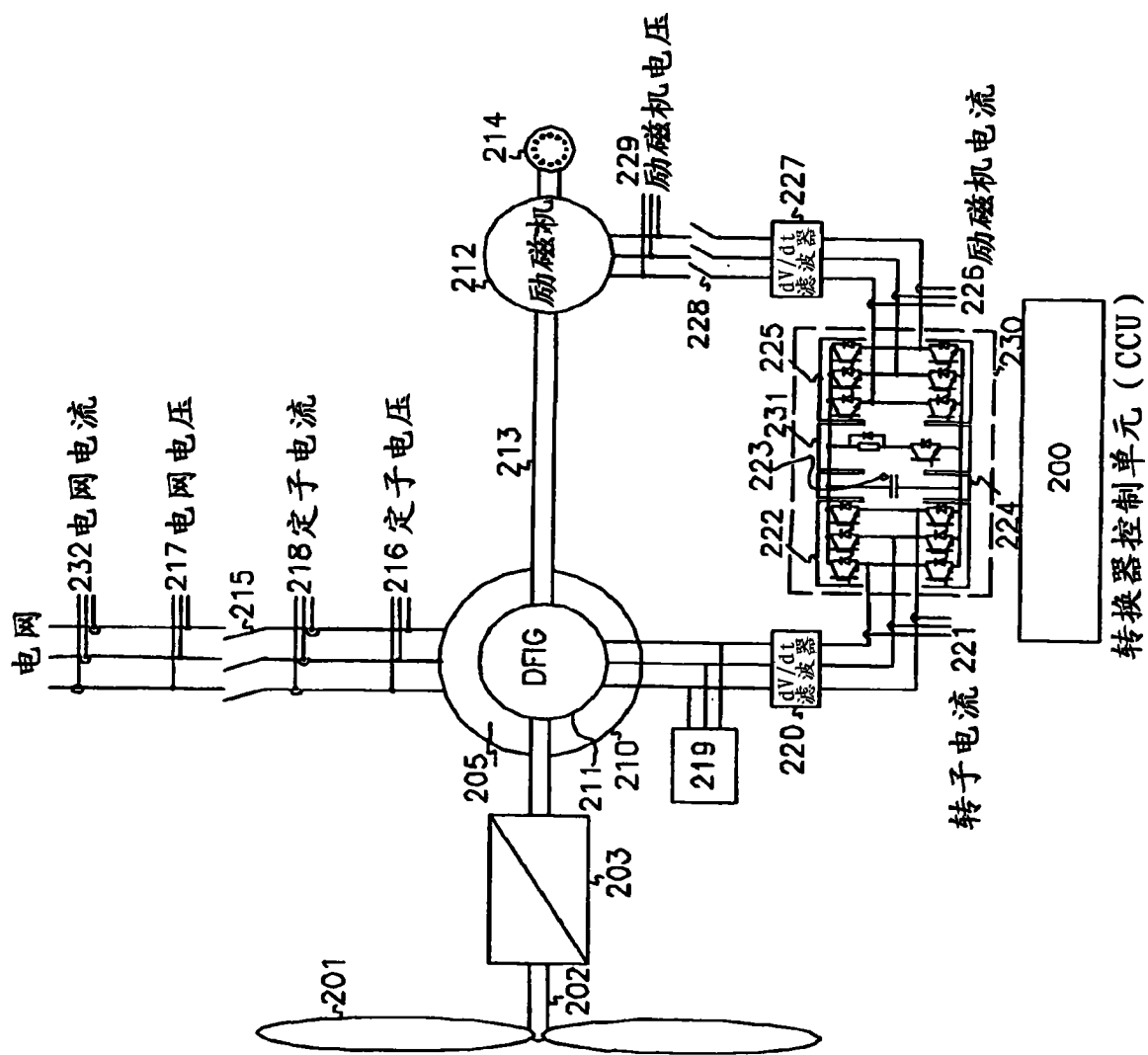


图2

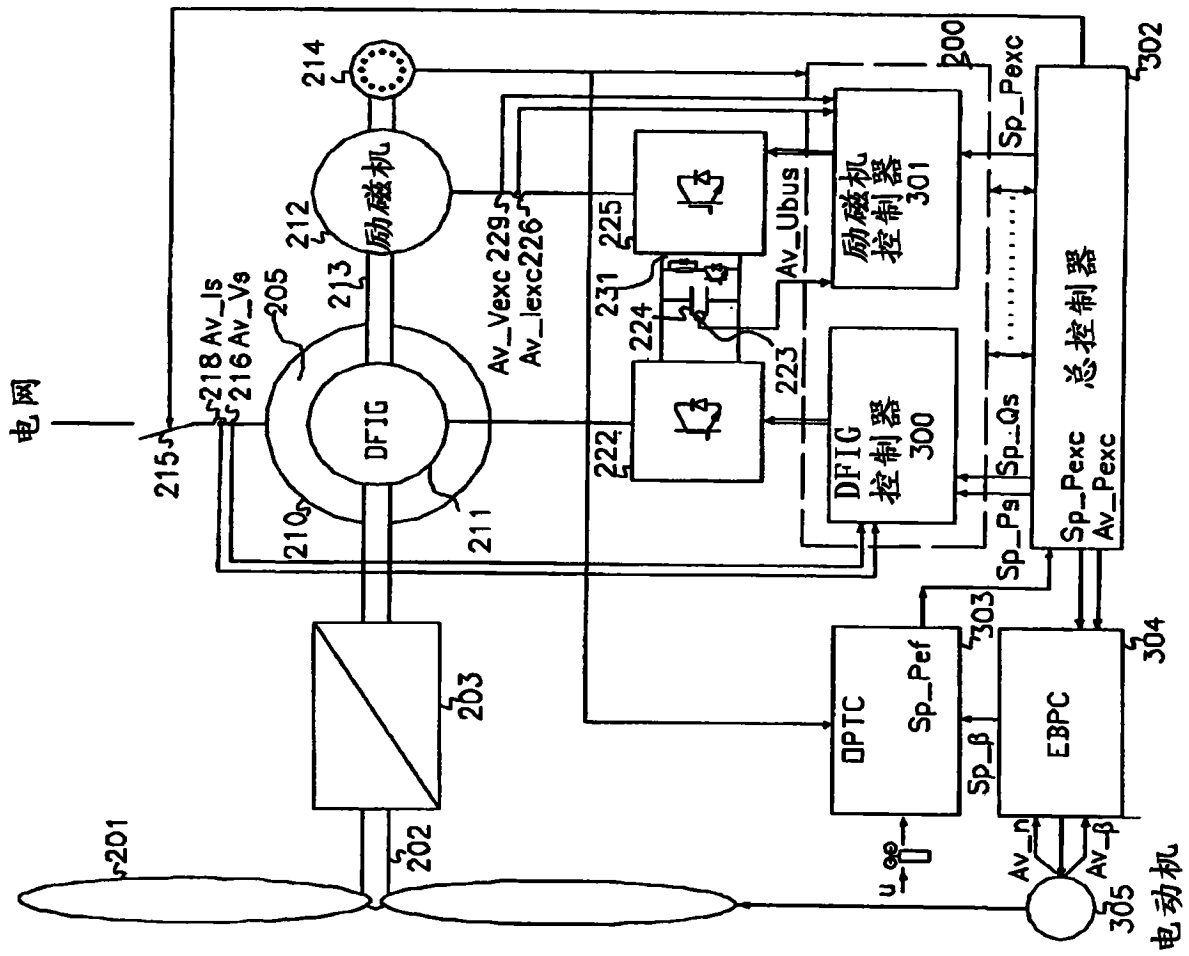


图 3

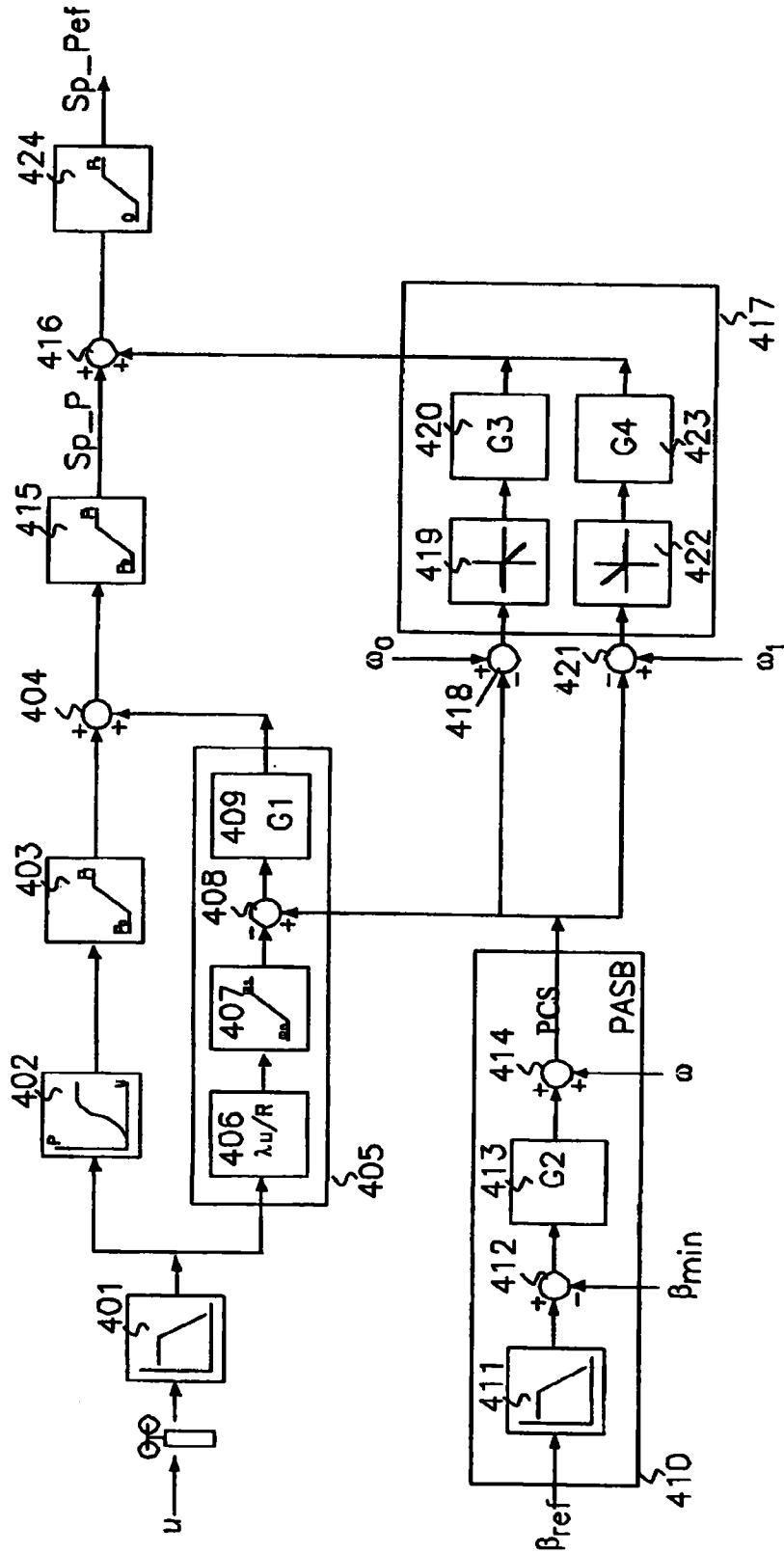


图4

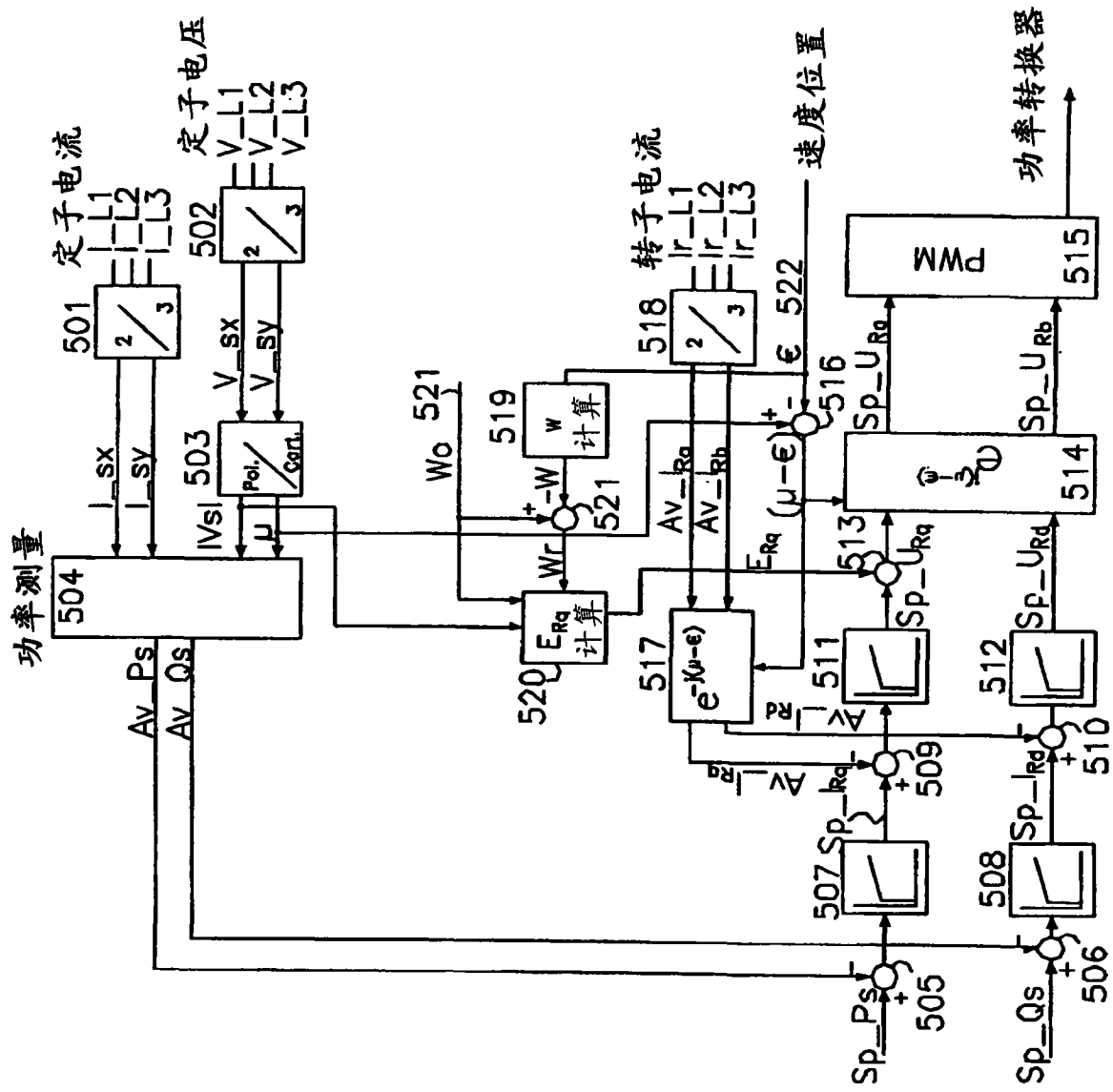


图 5

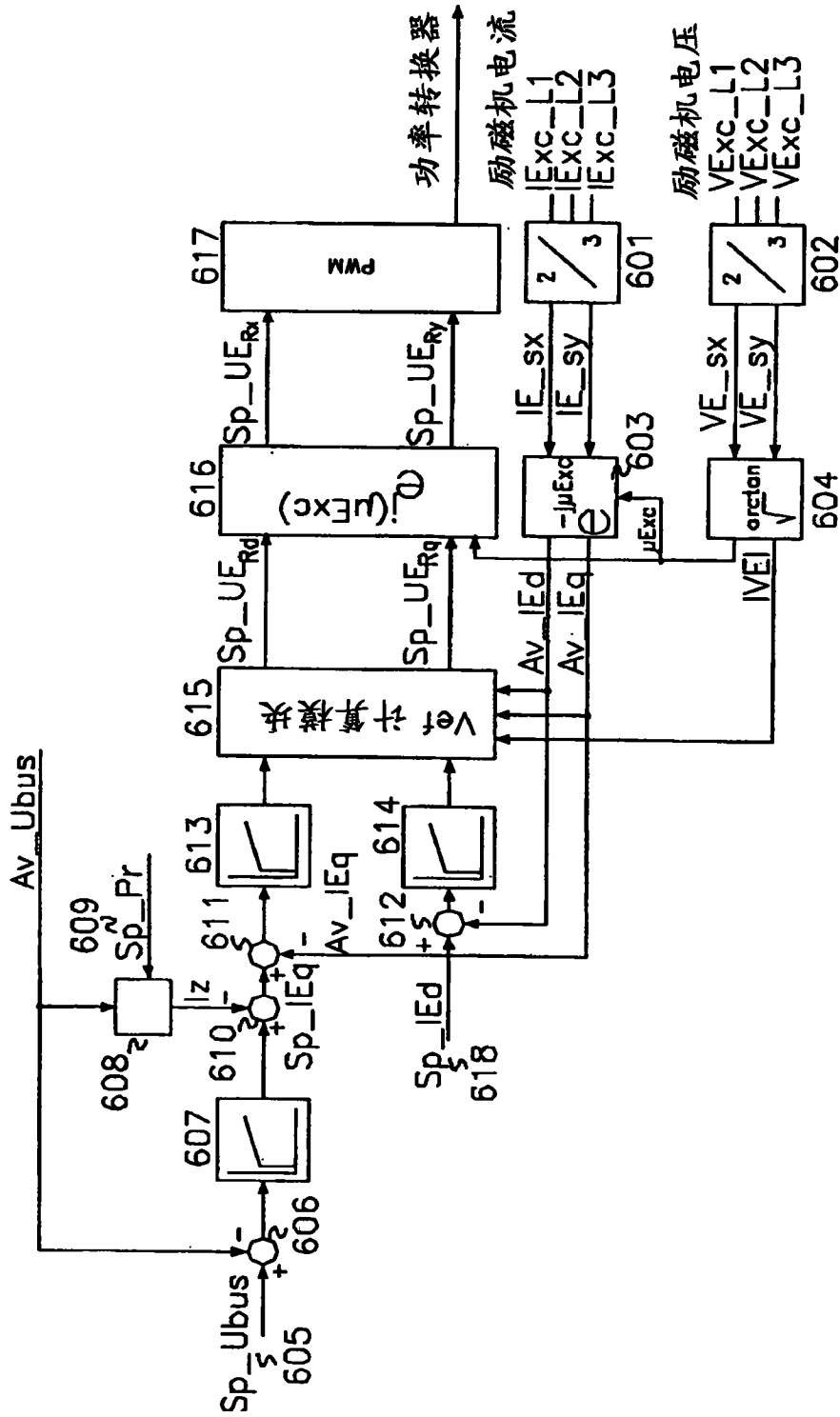


图6

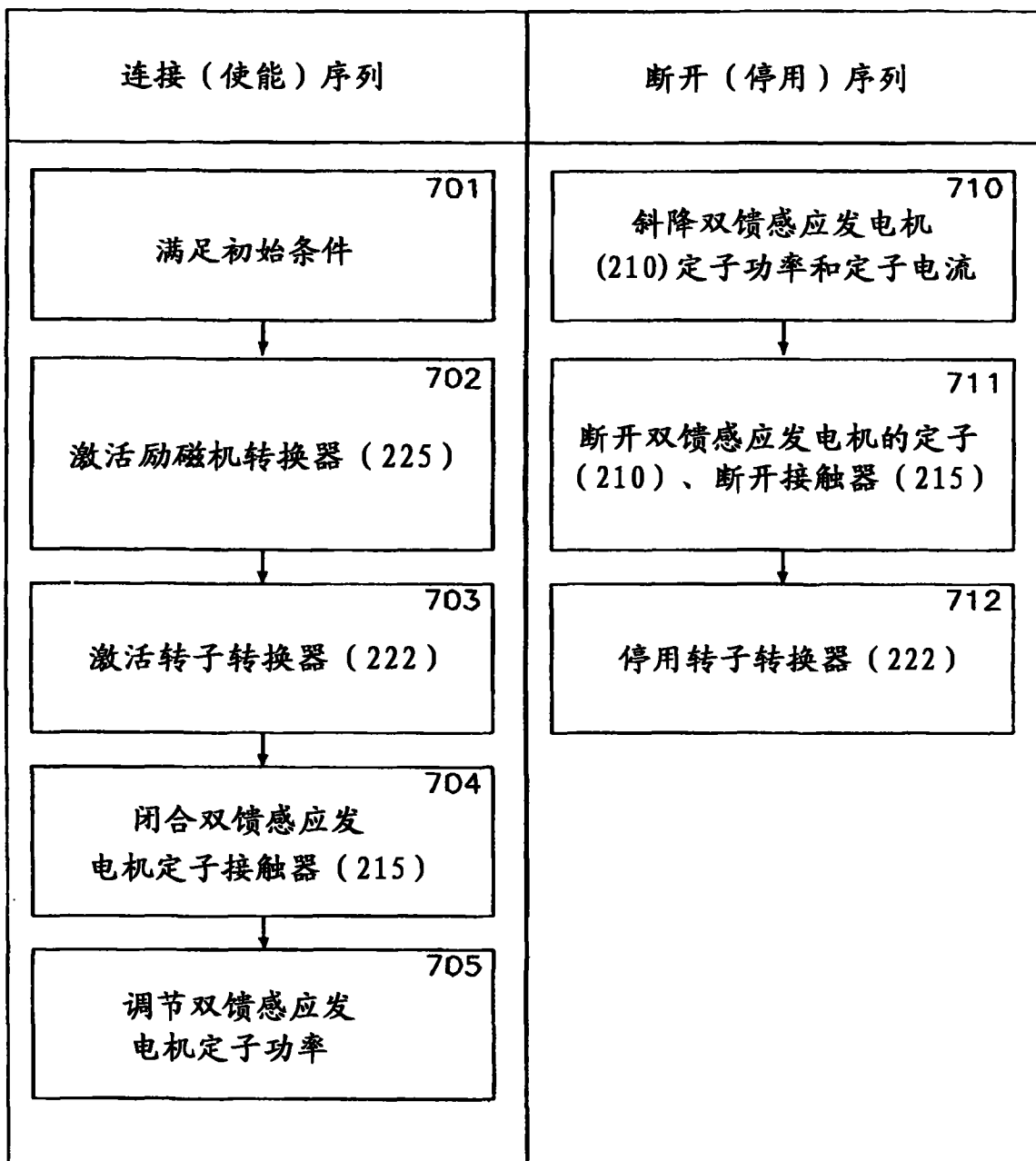


图 7

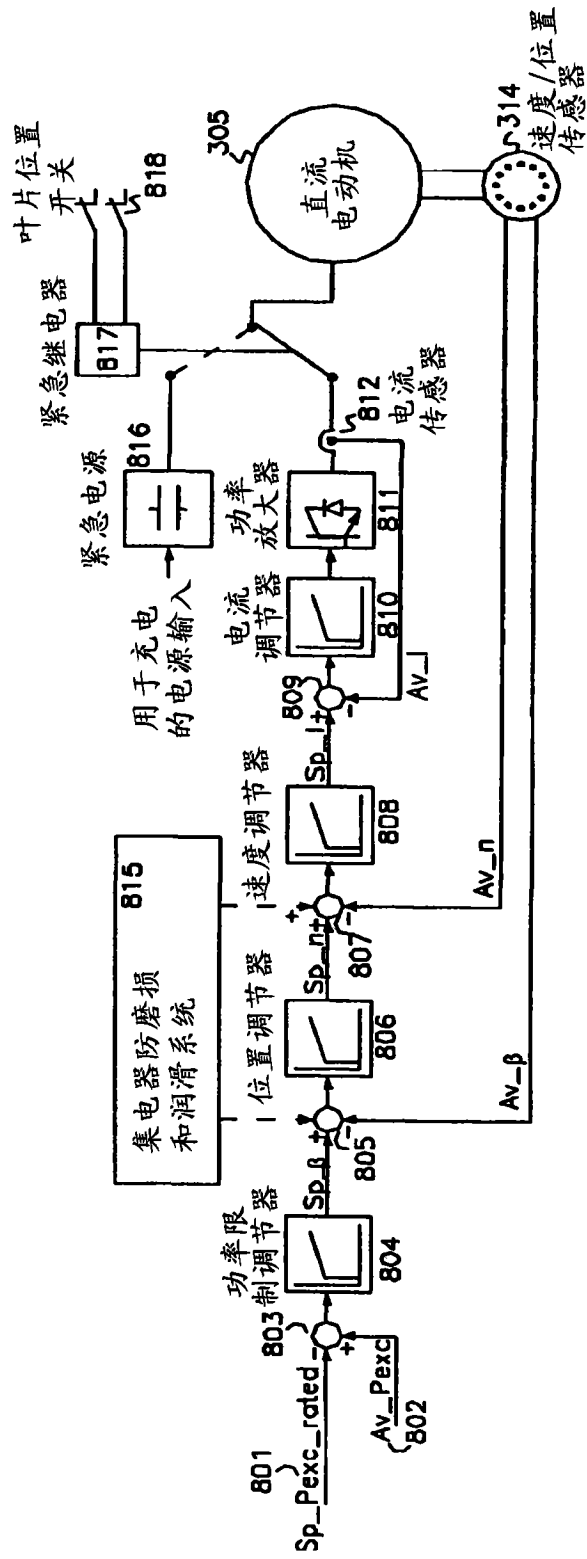


图 8

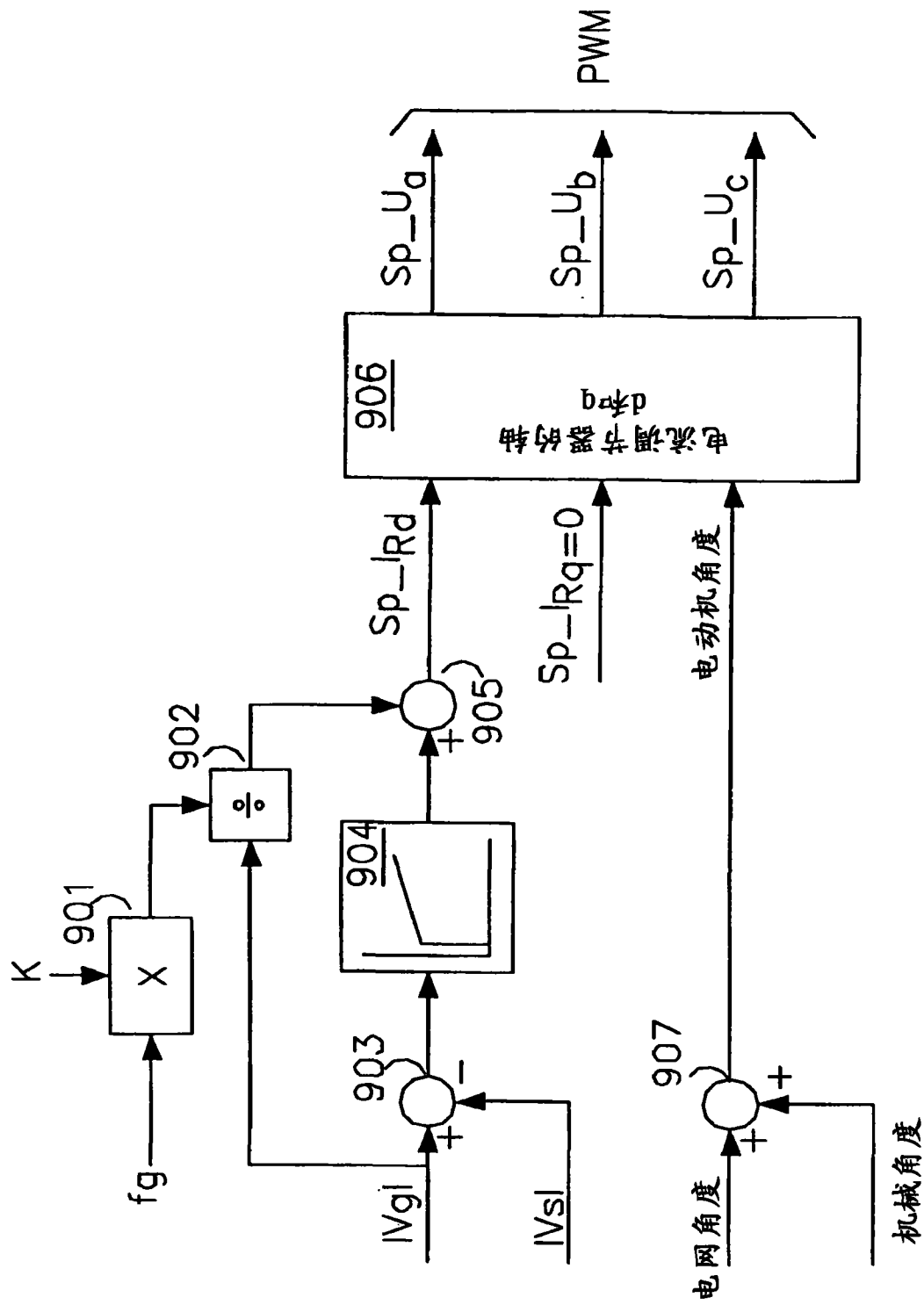


图9

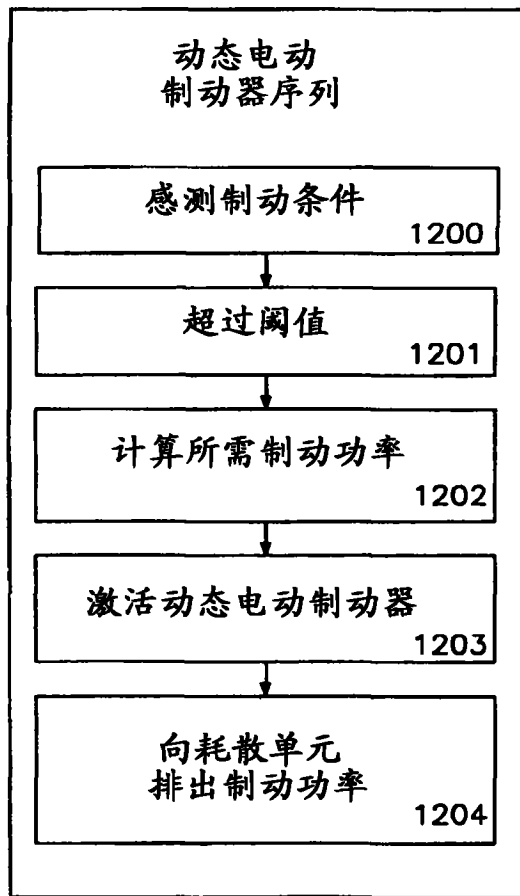


图 12