



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107681828 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 26

(21) 申请号 201711006625.9

(22) 申请日 2017.10.25

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107681828 A

(43) 申请公布日 2018.02.09

(73) 专利权人 河北工业大学

地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8
号河北工业大学东院330#

(72) 发明人 杨鹏 李亚楠 王华君

(74) 专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务
所(普通合伙) 12210

专利代理师 付长杰

(51) Int. Cl.

H02K 7/18 (2006.01)

H02K 7/116 (2006.01)

H02K 49/10 (2006.01)

H02K 11/33 (2016.01)

H02K 11/042 (2016.01)

H02K 19/36 (2006.01)

H02P 9/14 (2006.01)

H02P 9/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101001073 A, 2007.07.18

CN 101242157 A, 2008.08.13

CN 103296951 A, 2013.09.11

CN 201513299 U, 2010.06.23

CN 202524258 U, 2012.11.07

JP 2008274882 A, 2008.11.13

US 2013214537 A1, 2013.08.22

US 2016285399 A1, 2016.09.29

WO 2004055959 A1, 2004.07.01

审查员 苏安

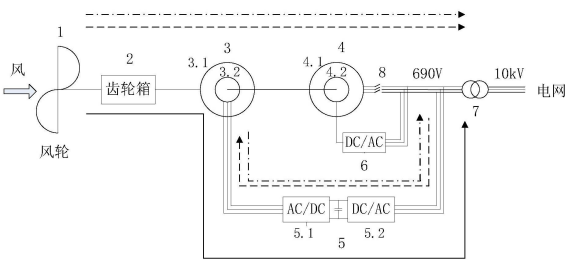
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种双转子调速风力发电系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种双转子调速风力发电系统及其控制方法,包括风轮、齿轮箱、双转子调速电机、电励磁同步发电机、变流器、整流器、变压器和开关;其特征在于:所述双转子调速电机包括永磁外转子和绕线内转子,永磁外转子为永磁体,绕线内转子上绕有电枢绕组,且永磁外转子与绕线内转子呈相对旋转的构造;风轮的主传动轴通过齿轮箱及联轴器与永磁外转子连接;所述变流器包括内转子侧整流器和网侧逆变器,内转子侧整流器的交流端连接双转子调速电机的绕线内转子,内转子侧整流器的直流端通过直流线路连接网侧逆变器的直流端,网侧逆变器的交流端连接变压器的低压侧,变压器的高压侧连接电网。



1. 一种双转子调速风力发电系统,包括风轮、齿轮箱、双转子调速电机、电励磁同步发电机、变流器、整流器、变压器和开关;其特征在于:

所述双转子调速电机包括永磁外转子和绕线内转子,永磁外转子为永磁体,绕线内转子上绕有电枢绕组,且永磁外转子与绕线内转子呈相对旋转的构造;风轮的主传动轴通过齿轮箱及联轴器与永磁外转子连接;

所述变流器包括内转子侧整流器和网侧逆变器,内转子侧整流器的交流端连接双转子调速电机的绕线内转子,内转子侧整流器的直流端通过直流线路连接网侧逆变器的直流端,网侧逆变器的交流端连接变压器的低压侧,变压器的高压侧连接电网;所述电励磁同步发电机包括转子和定子,所述转子与绕线内转子之间通过轴或杆件连接;转子同时连接整流器的直流输出端,整流器的交流输入端连接变压器的低压侧,定子通过开关与变压器的低压侧连接;整流器将电网的交流电整流成直流电为电励磁同步发电机的转子提供直流励磁;变压器低压侧的电压经变压器升压至10kV后,连接至电网;

所述双转子调速风力发电系统的工作状态具有四种工作阶段,即调速机发电、调速机电动调速、调速机调速发电以及系统额定运行;其中,

调速机发电工作阶段是指:将开关断开,即电励磁同步发电机的定子与电网断开连接,则电励磁同步发电机不工作,仅双转子调速电机工作,故与电励磁同步发电机的转子相连的双转子调速电机的绕线内转子固定不转,

调速机电动调速工作阶段是指:当双转子调速电机的发电功率达到双转子调速电机的额定功率 P_{fN} 时,将开关闭合,即电励磁同步发电机的定子与电网连接,系统进入第Ⅱ阶段运行,此时的风速为 v_1 ;

调速机调速发电工作阶段是指:风速从 v_1 继续增加,当 n_{out} 随风速上升增至 $n_{out}=n_{in}=n_0$ 时, $n_f=0$,变流器为绕线内转子提供直流励磁,双转子调速电机仅起调速作用, $P_f=0$,此时系统进入第Ⅲ阶段运行,对应的风速为 v_2 ;

系统额定运行工作阶段是指:风速从 v_2 继续增加,当 n_{out} 随风速上升增至额定转速即 $n_{out}=n_{outN}$ 时,系统达到额定运行状态,进入第Ⅳ阶段运行,此时的风速为额定风速 v_N ;

其中, n_{out} 为永磁外转子在外力作用下的旋转速度, n_{in} 为绕线内转子的机械转速, n_f 为绕线内转子上的电枢绕组通入频率为 f 的电流所形成旋转磁场的转速; n_0 为电励磁同步发电机的同步转速; n_{outN} 为额定转速; P_f 为双转子调速电机的电功率。

2. 根据权利要求1所述的双转子调速风力发电系统,其特征在于所述电励磁同步发电机的额定功率为 P_{SN} 为双转子调速电机的额定功率 P_{fN} 的2倍。

3. 根据权利要求1所述的双转子调速风力发电系统,其特征在于该系统中有两个并联背靠背双PWM变流器。

4. 根据权利要求1所述的双转子调速风力发电系统,其特征在于所述电励磁同步发电机的型号为XE93TFDD2000。

5. 一种权利要求1-4任一所述的双转子调速风力发电系统的控制方法,其特征在于该方法对双转子调速电机永磁外转子转速的控制采用调节绕线内转子上电枢绕组电流的有功分量来实现;对双转子调速电机绕线内转子转速的控制采用调节绕线内转子上电枢绕组电流的频率来实现;

当永磁外转子转速低于绕线内转子转速时,绕线内转子电枢绕组电流所形成旋转磁场

的转向与永磁外转子转向相同,与绕线内转子转向相反,变流器向绕线内转子提供交流励磁,双转子调速电机通过变流器从电网吸收有功功率,处于电动调速状态;当永磁外转子转速等于绕线内转子转速时,绕线内转子电枢绕组电流频率为0,变流器向绕线内转子提供直流励磁,双转子调速电机与电网之间无直接能量交换,处于调速状态;当永磁外转子转速高于绕线内转子转速时,绕线内转子电枢绕组电流所形成旋转磁场的转向与永磁外转子转向相反,与绕线内转子转向相同,双转子调速电机通过变流器向电网发出有功功率,处于调速发电状态;

电励磁同步发电机自转速达到同步转速后始终处于同步发电状态,向电网提供有功功率。

一种双转子调速风力发电系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于风力发电装置技术领域,具体涉及一种双转子调速风力发电系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 海上风能资源丰富,具有许多陆上风电无法比拟的优势,且海上风电机组呈现向远距离大容量发展的趋势。然而开发难度大、建设成本高、技术不成熟、运维费用高等因素制约了海上风电的进一步开发。

[0003] 当前主流风电机组如双馈和直驱机型均具有并网能力差的缺点,且机组大型化后无法兼顾成本和可靠性指标。因此产生了调速型风电机组的理念,即在风力机和发电机之间通过调速装置将变化的风速调节为恒速,从而驱动同步发电机输出恒频电能。

[0004] 《基于永磁双转子电机调速的新型风力发电系统设计》一文提出的发电系统由调速装置(含调速机和变频器)和同步发电机组成。调速机由永磁外转子和绕线内转子构成,内、外转子呈相对旋转构造;绕线内转子与齿轮箱机械连接,与变频器电气连接,变频器连接电网;永磁外转子与同步发电机转子机械连接;同步发电机定子连接电网。系统工作时,变频器从电网吸收电能提供给调速机使其处于电动调速状态,则与调速机外转子相连的输出轴转速为恒速,从而驱动同步发电机向电网发出恒频交流电。该系统具有电能质量高、变流器容量小、有效隔离发电机故障对齿轮箱的破坏等优势。但调速机需通过变频器从电网吸收部分电能才能工作在电动调速状态,故系统发电效率不高;变频器中电力电子器件的故障率较高,使得系统可靠性并未得到明显提升。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明拟解决的技术问题是,提出一种双转子调速风力发电系统及其控制方法。该系统利用双转子调速电机连接齿轮箱与同步发电机,克服了传统风电机组电能质量不高、电网适应性不强、可靠性低、维护成本高的弊端,将随风速变化的不可控量转变为可控量,实现电能和机械能的同时传递与调节,达到体积小、成本低、可靠性高、便于控制以及较高电能质量和较强电网适应性的目标,更好地适应风电机组大型化的发展趋势。

[0006] 本发明解决所述技术问题采用的技术方案是:提出一种双转子调速风力发电系统,包括风轮、齿轮箱、双转子调速电机、励磁同步发电机、变流器、整流器、变压器和开关;其特征在于:

[0007] 所述双转子调速电机包括永磁外转子和绕线内转子,永磁外转子为永磁体,绕线内转子上绕有电枢绕组,且永磁外转子与绕线内转子呈相对旋转的构造;风轮的主传动轴通过齿轮箱及联轴器与永磁外转子连接;

[0008] 所述变流器包括内转子侧整流器和网侧逆变器,内转子侧整流器的交流端连接双转子调速电机的绕线内转子,内转子侧整流器的直流端通过直流线路连接网侧逆变器的直

流端,网侧逆变器的交流端连接变压器的低压侧,变压器的高压侧连接电网;所述电励磁同步发电机包括转子和定子,所述转子与绕线内转子之间通过轴或杆件连接;转子同时连接整流器的直流输出端,整流器的交流输入端连接变压器的低压侧,定子通过开关与变压器的低压侧连接;整流器将电网的交流电整流成直流电为电励磁同步发电机的转子提供直流励磁;变压器低压侧的电压经变压器升压至10kV后,连接至电网。

[0009] 一种双转子调速风力发电系统的控制方法,对双转子调速电机永磁外转子转速的控制采用调节绕线内转子上电枢绕组电流的有功分量来实现;对双转子调速电机绕线内转子转速的控制采用调节绕线内转子上电枢绕组电流的频率来实现;

[0010] 当永磁外转子转速低于绕线内转子转速时,绕线内转子电枢绕组电流所形成旋转磁场的转向与永磁外转子转向相同,与绕线内转子转向相反,变流器向绕线内转子提供交流励磁,双转子调速电机通过变流器从电网吸收有功功率,处于电动调速状态;当永磁外转子转速等于绕线内转子转速时,绕线内转子电枢绕组电流频率为0,变流器向绕线内转子提供直流励磁,双转子调速电机与电网之间无直接能量交换,处于调速状态;当永磁外转子转速高于绕线内转子转速时,绕线内转子电枢绕组电流所形成旋转磁场的转向与永磁外转子转向相反,与绕线内转子转向相同,双转子调速电机通过变流器向电网发出有功功率,处于调速发电状态;

[0011] 电励磁同步发电机自转速达到同步转速后始终处于同步发电状态,向电网提供有功功率。

[0012] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0013] 本发明双转子调速风力发电系统由双转子调速电机和电励磁同步发电机通过轴或杆件串装而成,即调速电机的永磁外转子和齿轮箱机械连接,调速电机的绕线内转子和电励磁同步发电机的转子机械连接,能够将随风速变化的不可控量转变为可控量,实现电能和机械能的同时传递与调节,具有体积小、成本低、可靠性高、发电效率高、便于控制以及较高电能质量和较强电网适应性等优势,具体如下:

[0014] 1. 双转子调速电机的内转子设计为绕线结构,外转子设计为永磁材料,有利于在永磁外转子高速旋转时通过双转子调速电机的外壳向外散热。

[0015] 2. 本发明系统设计成两个背靠背双PWM变流器并联的冗余结构,一旦系统检测到变流器故障,将自动切换至备份变流器上继续运行,降低了系统由于变流器故障引起的停机时间,系统故障率与无冗余结构设计的机组相比将降低50%。

[0016] 3. 本发明系统的工作状态包括四个阶段:第一阶段,双转子调速电机仅发电不调速,电励磁同步发电机不工作;第二阶段,双转子调速电机作为电动机工作,起调速作用,从电网吸收电能,电励磁同步发电机向电网发电且功率为电励磁同步发电机的额定功率 P_{SN} ;第三阶段,双转子调速电机作为发电机工作,既调速又发电,向电网发出电能,电励磁同步发电机依然向电网发出额定功率为 P_{SN} 的电能;第四阶段,双转子调速电机向电网发出双转子调速电机的额定功率 P_{fN} ,同时电励磁同步发电机向电网发出电励磁同步发电机的额定功率 P_{SN} 。

[0017] 4. 风轮吸收的随风速变化的风能经双转子调速电机调速成恒频后传递给电励磁同步发电机,最终由电励磁同步发电机向电网发出电能,故该系统具有常规电站类似的电能质量和并网特性,克服了由于风资源的不确定性导致的传统风电机组出现的输出功率呈

波动性进而影响电网的电能质量如电压偏差、电压波动和闪变以及谐波等缺点。

[0018] 5.当双转子调速电机的永磁外转子转速高于绕线内转子转速时,风轮吸收的风能一部分经双转子调速电机调速成恒频后传递给电励磁同步发电机并由电励磁同步发电机向电网输送电能,另一部分风能由双转子调速电机转化成电能后通过变流器输送到电网,实现了由双转子调速电机和电励磁同步发电机同时向电网馈送电能,故系统发电量与相同额定功率的传统全功率变流器风电机组相比可增加0.8%。

[0019] 6.双转子调速电机的额定功率与电励磁同步发电机额定功率之比为1:2时,调速机在电动调速和调速发电两种工作状态下均能够达到额定功率的运行点,可以最大限度的将风能转化成电能,也就提高了调速机的利用率。因此,与双转子调速电机的绕线内转子相连的变流器容量与额定功率相同的传统全功率变流器机组的变流器容量相比降低了67%,故体积可降低41%,重量可减轻63%。

附图说明

[0020] 图1为双转子调速风力发电系统结构图。

[0021] 图2为不同风速下双转子调速风力发电系统的转速及功率变化趋势。

[0022] 图2中,1风轮、2齿轮箱、3双转子调速电机(或调速机)、4电励磁同步发电机(或同步机)、5变流器、6整流器、7变压器、3.1永磁外转子、3.2绕线内转子、4.1定子、4.2转子、5.1内转子侧整流器、5.2网侧逆变器。

具体实施方式

[0023] 下面结合实施例及附图进一步解释本发明,但并不以此作为对本申请权利要求保护范围的限定。

[0024] 本发明双转子调速风力发电系统(简称系统,参见图1)包括风轮1、齿轮箱2、双转子调速电机3、电励磁同步发电机4、变流器5(额定容量为 P_{fn} kVA)、整流器6、变压器7和开关8;

[0025] 所述双转子调速电机3包括永磁外转子3.1和绕线内转子3.2,永磁外转子3.1为永磁体,绕线内转子3.2上绕有电枢绕组,且永磁外转子3.1与绕线内转子3.2呈相对旋转的构造;风轮1的主传动轴通过齿轮箱2及联轴器与永磁外转子3.1连接,主传动轴通过齿轮箱增速后将风轮1在风力作用下所产生的动力经联轴器传递给双转子调速电机3的永磁外转子3.1,使永磁外转子3.1得到相应转速;

[0026] 所述变流器5包括内转子侧整流器5.1和网侧逆变器5.2,内转子侧整流器5.1和网侧逆变器5.2采用直流线路连接,内转子侧整流器5.1的交流端连接双转子调速电机3的绕线内转子3.2,内转子侧整流器5.1的直流端通过直流线路连接网侧逆变器5.2的直流端,网侧逆变器5.2的交流端连接变压器7的低压侧,变压器7的高压侧连接电网;所述电励磁同步发电机4包括转子4.2和定子4.1,所述转子4.2与绕线内转子3.2之间通过轴或杆件连接;转子4.2同时连接整流器6的直流输出端,整流器6的交流输入端连接变压器7的低压侧,定子4.1通过开关8与变压器7的低压侧连接;整流器6将电网的交流电整流成直流电为电励磁同步发电机4的转子4.2提供直流励磁;变压器7低压侧的电压经变压器升压至10kV后,连接至电网。

[0027] 所述电励磁同步发电机4的额定功率 P_{SN} 为双转子调速电机3的额定功率 P_{fN} 的N倍，N为不小于2的整数，优选 $N=2$ ， $N=2$ 时调速电机在电动调速和调速发电两种工作状态下均能够达到额定功率的运行点，可以最大限度的将风能转化成电能，也就提高了调速电机的利用率。如果 $N \neq 2$ ，则同步发电机达到额定状态运行时，调速电机只能在电动调速状态下达到额定运行点，而在调速发电状态下始终无法达到额定运行点。

[0028] 该系统中有两个并联背靠背双PWM变流器，当一个变流器故障时，另一个工作。

[0029] 所述电励磁同步发电机的型号为XE93TFDD2000。

[0030] 上述的双转子调速风力发电系统的控制方法，通过调节双转子调速电机的绕线内转子电流的有功分量，控制双转子调速电机的永磁外转子的转速，使双转子调速电机通过永磁外转子获得风轮的最优转矩，从而捕获最大风能；通过调节双转子调速电机的绕线内转子的电流频率，控制双转子调速电机绕线内转子的转速，使绕线内转子达到并稳定在电励磁同步发电机的同步转速，则双转子调速电机的输出轴转速即为电励磁同步发电机的同步转速，为电励磁同步发电机的同步发电提供条件。

[0031] 本发明双转子调速风力发电系统的工作原理是：由于双转子调速电机3由永磁外转子3.1和绕线内转子3.2构成，根据电机学原理，若要实现稳定的机电能量转换，双转子调速电机3的永磁外转子3.1与绕线内转子3.2的旋转磁场必须保持相对静止，由此可以得到双转子调速电机3的转速平衡关系：

$$[0032] \quad n_{out} = n_{in} + n_f \quad (1)$$

[0033] 式(1)中， n_{out} 为永磁外转子3.1在外力作用下的旋转速度， n_{in} 为绕线内转子3.2的机械转速， n_f 为绕线内转子3.2上的电枢绕组通入频率为f的电流所形成旋转磁场的转速。

[0034] 通过调节绕线内转子3.2上电枢绕组的电流的有功分量，使双转子调速电机3通过永磁外转子3.1获得风轮1的最优转矩，达到最大风能捕获的目标；同时根据 n_{out} 的变化实时调节绕线内转子3.2上电枢绕组电流的频率f，即在满足式(1)的前提下控制 n_f 保证 n_{in} 达到并稳定在电励磁同步发电机4的同步转速 n_0 ，即 $n_{in} = n_0$ ，则双转子调速电机3的输出轴转速为电励磁同步发电机4的转速，即为 n_0 ，故电励磁同步发电机4达到同步发电的条件，向电网提供有功功率 P_S 。

[0035] 当 $n_{out} < n_{in}$ 时， $n_f < 0$ ，绕线内转子3.2上电枢绕组的电流形成旋转磁场的转向与永磁外转子3.1转向相同，与绕线内转子3.2转向相反，变流器5向绕线内转子3.2提供交流励磁，双转子调速电机3从电网吸收电能；当 $n_{out} = n_{in}$ 时， $n_f = 0$ ，绕线内转子3.2上绕组电流频率为0，变流器5向绕线内转子3.2提供直流励磁，双转子调速电机3与电网之间无直接能量交换；当 $n_{out} > n_{in}$ 时， $n_f > 0$ ，绕线内转子3.2上绕组电流形成旋转磁场的转向与永磁外转子3.1转向相反，与绕线内转子3.2转向相同，双转子调速电机3通过变流器5向电网发出电能。

[0036] 根据能量守恒定律可得到双转子调速电机3的功率平衡关系：

$$[0037] \quad P_m + P_f = P_L \quad (2)$$

[0038] 式(2)中， P_m 为风轮1捕获的风能，即输入双转子调速电机3的机械功率； P_f 为双转子调速电机3的电功率； P_L 为双转子调速电机3输出的机械功率，即电励磁同步发电机4的输入功率。

[0039] 当 $P_m < P_L$ 时， $P_f > 0$ ，表示双转子调速电机3处于电动状态，通过变流器5从电网吸收有功功率；当 $P_m > P_L$ 时， $P_f < 0$ ，表示双转子调速电机3处于发电状态，通过变流器5向电网发

出有功功率;当 $P_m = P_L$ 时, $P_f = 0$,表示双转子调速电机3与电网之间无能量交换。

[0040] 根据电机学原理,结合式(2)可推导出双转子调速电机3的转矩传递关系:

$$[0041] \quad T_m \omega_{out} + T_e \omega_f = T_L \omega_{in} \quad (3)$$

[0042] 式(3)中, ω_{out} 为永磁外转子3.1的机械角速度, ω_{in} 为绕线内转子3.2的机械角速度, ω_f 为绕线内转子3.2上电枢绕组电流所形成旋转磁场的角速度; T_e 为双转子调速电机3的电磁转矩, T_m 为输入双转子调速电机3的机械转矩, T_L 为双转子调速电机3的输出机械转矩。

[0043] 由式(3)可推导出双转子调速电机3的电磁转矩的表达式为式(4):

$$[0044] \quad T_e = \frac{T_L \omega_{in} - T_m \omega_{out}}{\omega_{out} - \omega_{in}} \quad (4)$$

[0045] 经过仿真模拟,可以得到双转子调速电机3的电磁转矩随永磁外转子3.1的机械角速度 ω_{out} 与绕线内转子3.2的机械角速度 ω_{in} 之差的上升呈对数下降趋势。

[0046] 由于电励磁同步发电机4与双转子调速电机3通过轴或杆件串装,故电励磁同步发电机4的转子4.2的转速与双转子调速电机3的绕线内转子3.2的转速时刻相等。当 $n_{in} = n_0$ 时,电励磁同步发电机4的转子4.2的转速达到 n_0 ,符合同步发电的要求,因此由整流器6对电励磁同步发电机4的转子4.2提供直流励磁,定子4.1向电网发出频率为50Hz的交流电。

[0047] 本发明双转子调速风力发电系统的工作状态根据风速的变化具有四种工作阶段,即调速机发电、调速机电动调速、调速机调速发电以及系统额定运行;

[0048] 1)第I阶段:调速机发电

[0049] 在该阶段中,将开关8断开,即电励磁同步发电机4的定子4.1与电网断开连接,则电励磁同步发电机4不工作,仅双转子调速电机3工作,故与电励磁同步发电机4的转子4.2相连的双转子调速电机3的绕线内转子3.2固定不转,该系统等效于传统的永磁外转子绕线内定子的全功率变流器风力发电机;

[0050] 风速达到切入风速 v_{in} 后,双转子调速电机3的永磁外转子3.1获得相应转速 n_{out} , n_{out} 随风速 v 的上升从0开始增加;与绕线内转子3.2连接的变流器5将绕线内转子3.2上绕组输出的变频交流电整流逆变成50Hz交流电输送至电网,功率为 P_f ,实现变速恒频运行;当双转子调速电机3的发电功率达到双转子调速电机的额定功率 P_{fn} 时,将开关8闭合,即电励磁同步发电机4的定子4.1与电网连接,系统进入第II阶段运行,此时的风速为 v_1 ;

[0051] 此阶段系统的功率流向如图1中实线箭头所示:风轮1吸收的风能由双转子调速电机3转化成电能后经变流器5输送到电网。

[0052] 2)第II阶段:调速机电动调速

[0053] 风速从 v_1 继续增加, n_{out} 随风速上升继续增加;由于开关8闭合,电励磁同步发电机4的定子4.1与电网连接,则电励磁同步发电机4开始工作,故与电励磁同步发电机4的转子4.2相连的双转子调速电机3的绕线内转子3.2将开始旋转,即 n_{in} 由0开始上升;由于调控绕线内转子3.2上电枢绕组电流的频率 f 使 n_{in} 迅速达到并稳定在 n_0 ,此时 $n_{out} < n_{in} = n_0$,则旋转磁场的转速 $n_f < 0$,变流器5从电网吸收有功功率提供给双转子调速电机3,双转子调速电机3处于电动调速状态, $P_f > 0$ 且 P_f 随永磁外转子3.1与绕线内转子3.2转速差的变化先增大后减小;当 n_{out} 随风速上升增至 $n_{out} = n_{in} = n_0$ 时, $n_f = 0$,变流器5为绕线内转子3.2提供直流励磁,双转子调速电机3仅起调速作用, $P_f = 0$,此时系统进入第III阶段运行,对应的风速为 v_2 ;

[0054] 另外,电励磁同步发电机4的转速为 n_0 ,故电励磁同步发电机4处于同步发电状态,向电网提供电励磁同步发电机的额定功率 P_{SN} 。

[0055] 此阶段系统的功率流向如图1中虚线箭头所示:风轮1吸收的风能经双转子调速电机3调速后传递给电励磁同步发电机4并输送至电网,同时变流器5从电网吸收部分功率提供给双转子调速电机3。

[0056] 3) 第Ⅲ阶段:调速机调速发电

[0057] 风速从 v_2 继续增加, n_{out} 随风速上升继续增大,此时 $n_{out} > n_{in} = n_0$,故 $n_f > 0$,双转子调速电机3通过变流器5向电网发出有功功率,处于调速发电状态, $P_f < 0$ 且 $|P_f|$ 随永磁外转子3.1转速的增加而逐渐增大;当 n_{out} 随风速上升增至额定转速即 $n_{out} = n_{outN}$ 时,系统达到额定运行状态,进入第Ⅳ阶段运行,此时的风速为额定风速 v_N ;

[0058] 该阶段电励磁同步发电机4的转速为 n_0 ,故电励磁同步发电机4处于同步发电状态,向电网提供电励磁同步发电机的额定功率 P_{SN} ;

[0059] 此阶段系统的功率流向如图1中点画线箭头所示:风轮1吸收的风能一部分经双转子调速电机3调速后传递给电励磁同步发电机4并输送至电网,另一部分由双转子调速电机3转化成电能后经变流器5输送到电网。

[0060] 4) 第Ⅳ阶段:系统额定运行

[0061] 风速从额定风速 v_N 继续增加,通过调节桨距角控制该系统捕获的风能,保证系统运行在额定状态: $n_{out} = n_{outN}$,双转子调速电机3向电网输出双转子调速电机的额定功率 P_{fN} ,同时电励磁同步发电机4向电网输出电励磁同步发电机的额定功率 P_{SN} 。

[0062] 本发明控制方法能够使双转子调速电机的绕线内转子的转速达到恒速 n_0 ,这样与双转子调速电机绕线内转子机械连接的电励磁同步发电机的转子转速也达到了这个恒速 n_0 ,这恰好符合电励磁同步发电机同步发电的要求,即电励磁同步发电机可以向电网发出额定功率的电能。

[0063] 本发明未述及之处适用于现有技术。

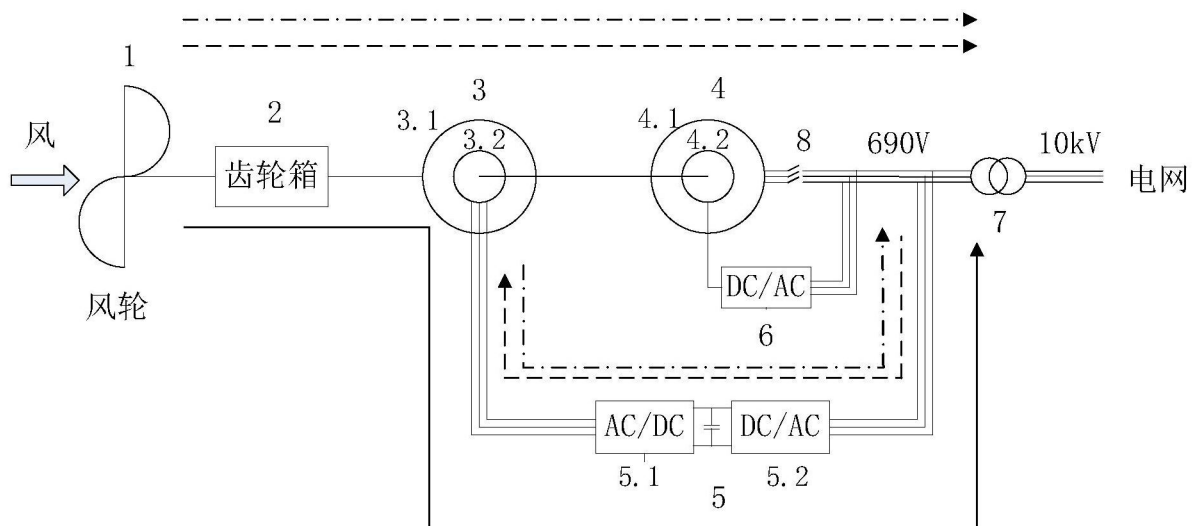


图1

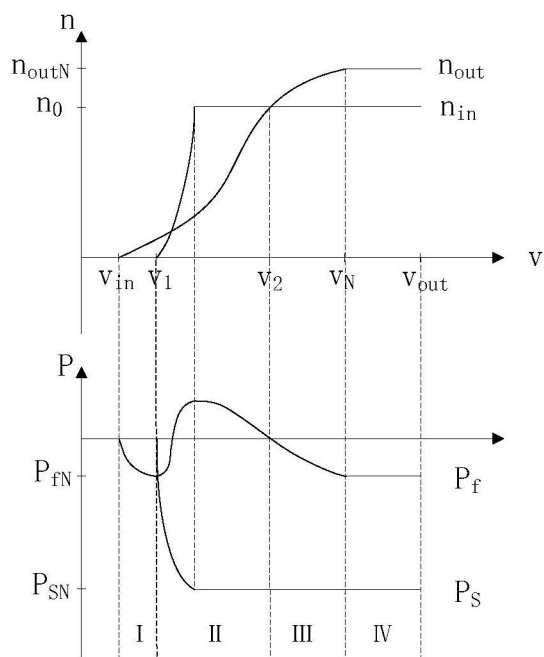


图2