



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102338035 A

(43) 申请公布日 2012. 02. 01

(21) 申请号 201110251311. 1

(22) 申请日 2011. 08. 30

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大
直街 92 号

(72) 发明人 宋立伟 史立勤 盛杉 王士亮
程树康 崔淑梅 张千帆

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109

代理人 牟永林

(51) Int. Cl.

F03D 7/04 (2006. 01)

F03D 11/04 (2006. 01)

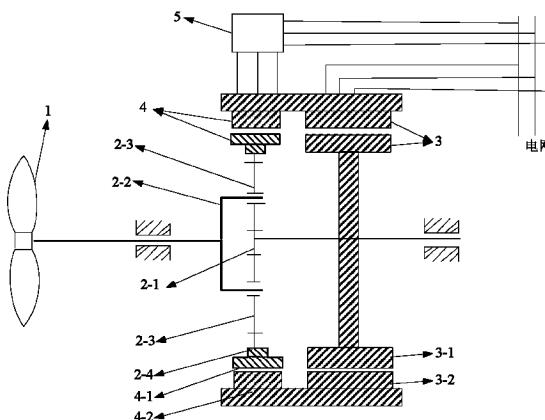
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

复合转子结构变速恒频风力发电机系统及其
控制方法

(57) 摘要

复合转子结构变速恒频风力发电机系统及其
控制方法，属于风力发电机技术领域。它解决了
直接驱动风电系统由于在发电机与电网之间需要
增加交-直-交变频环节，造成电机系统体积大、
成本高的问题。本发明包括风力机，它还包括齿轮
传动机构、主发电机、辅助发电机和变频器，风力
机通过齿轮传动机构分别与主发电机和辅助发电
机的输入轴连接，辅助发电机的电信号输出端连
接变频器的电信号输入端，变频器的电信号输出
端作为电网的输入端；主发电机的电信号输出端
作为电网的输入端，主发电机和辅助发电机同轴
设置，主发电机的定子和辅助发电机的定子均固
定在壳体上，所述齿轮传动机构的传递比范围为
2.8-13。本发明适用于风力发电系统。



1. 一种复合转子结构变速恒频风力发电机系统,它包括风力机(1),其特征在于:它还包括齿轮传动机构、主发电机(3)、辅助发电机(4)和变频器(5),

风力机(1)通过齿轮传动机构分别与主发电机(3)和辅助发电机(4)的输入轴连接,辅助发电机(4)的电信号输出端连接变频器(5)的电信号输入端,变频器(5)的电信号输出端作为电网的输入端;

主发电机(3)的电信号输出端作为电网的输入端,

主发电机(3)和辅助发电机(4)同轴设置,主发电机的定子(3-2)和辅助发电机的定子(4-2)均固定在壳体上,

所述齿轮传动机构的传速比范围为2.8-13。

2. 根据权利要求1所述的复合转子结构变速恒频风力发电机系统,其特征在于:所述齿轮传动机构由太阳轮(2-1)、行星架(2-2)、多个行星齿轮(2-3)和内齿圈(2-4)组成,

多个行星齿轮(2-3)位于内齿圈(2-4)内,并且行星齿轮(2-3)沿太阳轮(2-1)的外圆周方向分布,

风力机(1)的输出轴连接行星架(2-2)的输入轴,行星架(2-2)用于支撑所有的行星齿轮(2-3),行星齿轮(2-3)同时与太阳轮(2-1)和内齿圈(2-4)相啮合,太阳轮(2-1)、行星架(2-2)和内齿圈(2-4)的中轴线相重合,

太阳轮(2-1)的旋转轴连接主发电机的转子(3-1)的转轴,主发电机的转子(3-1)与主发电机的定子(3-2)之间为气隙;

内齿圈(2-4)与辅助发电机的转子(4-1)的内圆表面固定连接,辅助发电机的转子(4-1)与辅助发电机的定子(4-2)之间为气隙。

3. 根据权利要求1所述的复合转子结构变速恒频风力发电机系统,其特征在于:所述齿轮传动机构由太阳轮(2-1)、行星架(2-2)、多个行星齿轮(2-3)和内齿圈(2-4)组成,

多个行星齿轮(2-3)位于内齿圈(2-4)内,并且行星齿轮(2-3)沿太阳轮(2-1)的外圆周方向分布,

风力机(1)的输出轴驱动内齿圈(2-4)同步旋转,行星齿轮(2-3)同时与太阳轮(2-1)和内齿圈(2-4)相啮合,行星架(2-2)用于支撑所有的行星齿轮(2-3),

行星架(2-2)位于辅助发电机的转子(4-1)内,并与辅助发电机的转子(4-1)同轴固定连接,辅助发电机的转子(4-1)与辅助发电机的定子(4-2)之间为气隙;

太阳轮(2-1)的旋转轴连接主发电机的转子(3-1)的转轴,主发电机的转子(3-1)与主发电机的定子(3-2)之间为气隙;

太阳轮(2-1)、内齿圈(2-4)及行星架(2-2)的中轴线相重合。

4. 根据权利要求1、2或3所述的复合转子结构变速恒频风力发电机系统,其特征在于:

所述齿轮传动机构的传速比范围为3-9。

5. 根据权利要求1、2或3所述的复合转子结构变速恒频风力发电机系统,其特征在于:所述主发电机(3)为多极永磁同步发电机,该永磁同步发电机的极对数为2对。

6. 根据权利要求4所述的复合转子结构变速恒频风力发电机系统,其特征在于:所述主发电机(3)为多极永磁同步发电机,该永磁同步发电机的极对数为2对。

7. 根据权利要求1、2、3或6所述的复合转子结构变速恒频风力发电机系统,其特征在

于：所述辅助发电机（4）为笼形转子感应电机。

8. 根据权利要求2、3或6所述的复合转子结构变速恒频风力发电机系统，其特征在于：所述行星齿轮（2-3）为三个。

9. 基于权利要求1所述复合转子结构变速恒频风力发电机系统的控制方法，其特征在于：它包括以下步骤：

首先，检测风力机（1）所处环境的风速，当所述风速达到切入风速时风力机（1）开始旋转，并带动齿轮传动机构开始工作；

然后，使辅助发电机（4）处于转速控制状态下；当风力发电机系统工作在低于额定风速和额定风速状态时，控制辅助发电机（4）使内齿圈（2-4）与行星架（2-2）的旋转方向相反；当风力发电机系统工作在高于额定风速状态时，控制辅助发电机（4）使内齿圈（2-4）与行星架（2-2）的旋转方向相同；

当主发电机（3）的转速达到额定转速时，将该主发电机（3）的输出端合闸并网；然后，使辅助发电机（4）由转速控制变为转矩控制，使辅助发电机（4）的输出转矩与给定的电磁转矩相等，进行发电机系统的功率调节：

当瞬时风速低于额定风速时，风力机（1）的输入转速低于额定转速，此时使辅助发电机（4）工作于电动状态，主发电机（3）工作于发电状态；

当瞬时风速高于额定风速时，风力机（1）的输入转速高于额定转速，此时使辅助发电机（4）和主发电机（3）均工作于发电状态。

复合转子结构变速恒频风力发电机系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合转子结构变速恒频风力发电机系统及其控制方法，属于风力发电机技术领域。

背景技术

[0002] 发电机是风电系统实现风能转换的核心部件之一，它将风电系统的原动力与输出电能相连接，不仅直接影响到输出电能的质量和效率，也影响到整个风电转换系统的性能和结构。

[0003] 风力发电系统的发展经历了恒速恒频、变速恒频、直接驱动等阶段。其中恒速恒频风电系统的特点是：在风速变化时，风力机的转速不变，这种系统结构简单，但风能利用系数低；变速恒频风电系统的特点是：在风速变化时，通过改变风力机叶片桨距和转速，调整最佳叶尖速比，使得风能利用系数始终保持在最大值附近，可最大限度的利用风能，但由于在系统中使用了增速齿轮箱，使系统结构复杂、可靠性低；直接驱动风电系统的特点是：没有增速齿轮箱，系统的可靠性高，系统噪声大大减小，但由于转速变化时输出频率将随之变化，因此需要在发电机与电网之间增加全功率的交-直-交的变频环节，这就造成了电机系统体积大、成本高的缺点。

发明内容

[0004] 本发明的目的是解决直接驱动风电系统由于在发电机与电网之间需要增加交-直-交变频环节，造成电机系统体积大、成本高的问题，提供一种复合转子结构变速恒频风力发电机系统及其控制方法。

[0005] 本发明所述复合转子结构变速恒频风力发电机系统，它包括风力机，它还包括齿轮传动机构、主发电机、辅助发电机和变频器，

[0006] 风力机通过齿轮传动机构分别与主发电机和辅助发电机的输入轴连接，辅助发电机的电信号输出端连接变频器的电信号输入端，变频器的电信号输出端作为电网的输入端；

[0007] 主发电机的电信号输出端作为电网的输入端，

[0008] 主发电机和辅助发电机同轴设置，主发电机的定子和辅助发电机的定子均固定在壳体上，

[0009] 所述齿轮传动机构的传递比范围为 2.8-13。

[0010] 所述齿轮传动机构的第一种结构为由太阳轮、行星架、多个行星齿轮和内齿圈组成，

[0011] 多个行星齿轮位于内齿圈内，并且行星齿轮沿太阳轮的外圆周方向分布，

[0012] 风力机的输出轴连接行星架的输入轴，行星架用于支撑所有的行星齿轮，行星齿轮同时与太阳轮和内齿圈相啮合，太阳轮、行星架和内齿圈的中轴线相重合，

[0013] 太阳轮的旋转轴连接主发电机的转子的转轴，主发电机的转子与主发电机的定子

之间为气隙；

[0014] 内齿圈与辅助发电机的转子的内圆表面固定连接，辅助发电机的转子与辅助发电机的定子之间为气隙。

[0015] 所述齿轮传动机构的第二种结构由太阳轮、行星架、多个行星齿轮和内齿圈组成，

[0016] 多个行星齿轮位于内齿圈内，并且行星齿轮沿太阳轮的外圆周方向分布，

[0017] 风力机的输出轴驱动内齿圈同步旋转，行星齿轮同时与太阳轮和内齿圈相啮合，行星架用于支撑所有的行星齿轮，

[0018] 行星架位于辅助发电机的转子内，并与辅助发电机的转子同轴固定连接，辅助发电机的转子与辅助发电机的定子之间为气隙；

[0019] 太阳轮的旋转轴连接主发电机的转子的转轴，主发电机的转子与主发电机的定子之间为气隙；

[0020] 太阳轮、内齿圈及行星架的中轴线相重合。

[0021] 本发明所述基于上述复合转子结构变速恒频风力发电机系统的控制方法，它包括以下步骤：

[0022] 首先，检测风力机所处环境的风速，当所述风速达到切入风速时风力机开始旋转，并带动齿轮传动机构开始工作；

[0023] 然后，使辅助发电机处于转速控制状态下；当风力发电机系统工作在低于额定风速和额定风速状态时，控制辅助发电机使内齿圈与行星架的旋转方向相反；当风力发电机系统工作在高于额定风速状态时，控制辅助发电机使内齿圈与行星架的旋转方向相同；

[0024] 当主发电机的转速达到额定转速时，将该主发电机的输出端合闸并网；然后，使辅助发电机由转速控制变为转矩控制，使辅助发电机的输出转矩与给定的电磁转矩相等，进行发电机系统的功率调节；

[0025] 当瞬时风速低于额定风速时，风力机的输入转速低于额定转速，此时使辅助发电机工作于电动状态，主发电机工作于发电状态；

[0026] 当瞬时风速高于额定风速时，风力机的输入转速高于额定转速，此时使辅助发电机和主发电机均工作于发电状态。

[0027] 本发明的优点是：本发明能够将风能高效转换为电能。它将齿轮传动机构嵌入到发电机内部，省去了传统技术中的齿轮箱传动机构，且省去了传统直驱结构中主发电机中的变频器，增加了系统的可靠性。本发明使系统中的主发电机与电网直接相连，而只在辅助发电机与电网之间通过一个小容量的变频器相连，由此，减小了风力发电机系统的成本，又不会造成系统的体积过大。

[0028] 在能量转换或动力传动系统中，机械系统的功率密度远远高于电气系统，而电机系统控制的灵活性远远超过了机械系统，本发明系统充分利用了机械系统和电机系统的优点，既简化了系统结构，又提高了系统的可靠性。

[0029] 本发明通过齿轮传动机构将主发电机和辅助发电机的转子有机的结合起来。

附图说明

[0030] 图 1 为本发明实施方式二的结构示意图；

[0031] 图 2 为本发明实施方式三的结构示意图。

具体实施方式

[0032] 具体实施方式一：下面结合图1和图2说明本实施方式，本实施方式所述复合转子结构变速恒频风力发电机系统，它包括风力机1，它还包括齿轮传动机构、主发电机3、辅助发电机4和变频器5，

[0033] 风力机1通过齿轮传动机构分别与主发电机3和辅助发电机4的输入轴连接，辅助发电机4的电信号输出端连接变频器5的电信号输入端，变频器5的电信号输出端作为电网的输入端；

[0034] 主发电机3的电信号输出端作为电网的输入端，

[0035] 主发电机3和辅助发电机4同轴设置，主发电机的定子3-2和辅助发电机的定子4-2均固定在壳体上，

[0036] 所述齿轮传动机构的传递比范围为2.8-13。

[0037] 具体实施方式二：下面结合图1说明本实施方式，本实施方式为对实施方式一的进一步说明，本实施方式所述齿轮传动机构由太阳轮2-1、行星架2-2、多个行星齿轮2-3和内齿圈2-4组成，

[0038] 多个行星齿轮2-3位于内齿圈2-4内，并且行星齿轮2-3沿太阳轮2-1的外圆周方向分布，

[0039] 风力机1的输出轴连接行星架2-2的输入轴，行星架2-2用于支撑所有的行星齿轮2-3，行星齿轮2-3同时与太阳轮2-1和内齿圈2-4相啮合，太阳轮2-1、行星架2-2和内齿圈2-4的中轴线相重合，

[0040] 太阳轮2-1的旋转轴连接主发电机的转子3-1的转轴，主发电机的转子3-1与主发电机的定子3-2之间为气隙；

[0041] 内齿圈2-4与辅助发电机的转子4-1的内圆表面固定连接，辅助发电机的转子4-1与辅助发电机的定子4-2之间为气隙。

[0042] 本实施方式中，风力机1的旋转带动齿轮传动机构旋转，套在行星架2-2上的行星齿轮2-3一方面绕着自己的轴线旋转，另一方面随着行星架2-2一起绕着太阳轮2-1旋转，通过内齿圈2-4的旋转带动辅助发电机的转子4-1旋转。太阳轮2-1的旋转同时带动主发电机的转子3-1旋转。

[0043] 本实施方式中，主发电机3为多极永磁同步发电机，辅助发电机4为笼形转子感应电机，设 ω_a 在数值上等于多极永磁同步发电机的转速， ω_b 在数值上等于笼形转子感应电机的转速， ω_H 为行星架2-2的转速，即为风力机1的输出转速。选取多极永磁同步发电机的极对数 $p=2$ ，则 $\omega_a=60f/p=1500\text{rpm}$ ，式中 f 为电机的旋转频率，其值为50Hz。

[0044] 在齿轮传动机构机械强度允许的情况下，为了减少齿轮尺寸，同时为了增加辅助发电机4的额定转速，采用降低传递比的方法。此时，取传递比为2.8。设 ω_a 为负方向， ω_b 为正方向，取辅助发电机4的额定转速 $\omega_b=1500\text{rpm}$ ，则 ω_a 、 ω_b 及 ω_H 之间的速度关系式可变为： $1.8\omega_b=2.8\omega_H+\omega_a=2.8\omega_H+1500$ 。这样会使两台发电机的额定转速都有比较大的提高，有利于达到预期效果。行星齿轮2-3的主要参数可采用下表所示：

	行星齿轮参数	参数值
[0045]	太阳轮齿数	34
	行星齿轮齿数	14
	内齿圈齿数	62
	模数	2.5
	压力角	20°
	行星齿轮个数	3
	传速比	2.8

[0046] 为达到增速效果,分析风力机 1 的输入转速与主发电机 3 转速的关系,选用 2K-H 单级传动机构,其包括两个中心轮和一个行星架 2-2,两个中心轮为太阳轮 2-1 和内齿圈 2-4, NGW 型 (N- 内啮合, W- 外啮合, G- 内外啮合公用行星齿轮)。一般情况下,这种传动机构的传速比范围为 2.8-13,经分析选择传动比为 6 时,效率 η 可达到: $\eta = 0.97-0.99$ 。

[0047] 工作原理:

[0048] 首先使辅助发电机 4 处于转速控制状态下,当风力机 1 风速达到切入风速时,风力机 1 开始旋转,齿轮传动机构开始工作。当整个发电机系统工作在低风速或额定风速状态时,应控制辅助发电机 4 使内齿圈 2-4 与输入转速方向相同。由此充分发挥电机系统与机械系统的特点,提高工作效率。

[0049] 当主发电机 3 的转速达到额定转速时,合闸并网,此时主发电机 3 的端电压及频率与电网相同,这就实现了直接并网运行的目的。当主发电机 3 成功并网后,其端电压与频率将被“无穷大电网”钳位住,保持不变。这时辅助发电机 4 由转速控制变为转矩控制,进行发电机系统的功率调节。利用矢量控制原理,使辅助发电机 4 的输出转矩与给定的电磁转矩相等。这样通过控制辅助发电机 4 的转矩可以使风力机 1 转轴输出的转矩发生变化,进而使风力发电机系统能够正常工作于不同的风速之下。

[0050] 具体实施方式三:下面结合图 2 说明本实施方式,本实施方式为对实施方式一的进一步说明,本实施方式所述齿轮传动机构由太阳轮 2-1、行星架 2-2、多个行星齿轮 2-3 和内齿圈 2-4 组成,

[0051] 多个行星齿轮 2-3 位于内齿圈 2-4 内,并且行星齿轮 2-3 沿太阳轮 2-1 的外圆周方向分布,

[0052] 风力机 1 的输出轴驱动内齿圈 2-4 同步旋转,行星齿轮 2-3 同时与太阳轮 2-1 和内齿圈 2-4 相啮合,行星架 2-2 用于支撑所有的行星齿轮 2-3,

[0053] 行星架 2-2 位于辅助发电机的转子 4-1 内,并与辅助发电机的转子 4-1 同轴固定连接,辅助发电机的转子 4-1 与辅助发电机的定子 4-2 之间为气隙;

[0054] 太阳轮 2-1 的旋转轴连接主发电机的转子 3-1 的转轴,主发电机的转子 3-1 与主发电机的定子 3-2 之间为气隙;

[0055] 太阳轮 2-1、内齿圈 2-4 及行星架 2-2 的中轴线相重合。

[0056] 本实施方式中,由行星架 2-2 带动辅助发电机的转子 4-1 旋转,由太阳轮 2-1 的旋转轴带动主发电机的转子 3-1 旋转。

[0057] 工作原理:首先使辅助发电机 4 处于转速控制状态下,当风场风速达到风力机 1 的

切入风速时,风力机 1 开始旋转,齿轮传动机构开始工作,并且一直处于增速状态,由此可以大大的提高主发电机 3 的转速,当主发电机 3 的转速达到额定转速时,合闸并网,此时主发电机 3 的端电压、频率与电网相同,这就实现了主发电机 3 的直接并网运行。主发电机 3 成功并网后,其端电压与频率将被“无穷大电网”钳位住,保持不变。这时,辅助发电机 4 的控制方式可以由转速控制变为转矩控制,进行系统的功率调节。

[0058] 具体实施方式四:本实施方式为对实施方式一、二或三的进一步说明,所述齿轮传动机构的传速比范围为 3-9。

[0059] 具体实施方式五:本实施方式为对实施方式一、二或三的进一步说明,所述主发电机 3 为多极永磁同步发电机,该永磁同步发电机的极对数为 2 对。

[0060] 在风电系统变化的的转速及功率等条件下,综合多极永磁同步发电机及齿轮传动机构的传速比等参数配置,才能充分发挥电机系统与机械系统的优势,从而使本发明更适合于直驱式变速恒频风电系统。

[0061] 具体实施方式六:本实施方式为对实施方式四的进一步说明,所述主发电机 3 为多极永磁同步发电机,该永磁同步发电机的极对数为 2 对。

[0062] 具体实施方式七:本实施方式为对实施方式一、二、三、四、五或六的进一步说明,所述辅助发电机 4 为笼形转子感应电机。

[0063] 具体实施方式八:本实施方式为对实施方式一、二、三、四、五、六或七的进一步说明,所述行星齿轮 2-3 为三个。

[0064] 具体实施方式九:本实施方式为基于实施方式一至八中任一项所述复合转子结构变速恒频风力发电机系统的控制方法,它包括以下步骤:

[0065] 首先,检测风力机 1 所处环境的风速,当所述风速达到切入风速时风力机 1 开始旋转,并带动齿轮传动机构开始工作;

[0066] 然后,使辅助发电机 4 处于转速控制状态下;当风力发电机系统工作在低于额定风速和额定风速状态时,控制辅助发电机 4 使内齿圈 2-4 与行星架 2-2 的旋转方向相反;当风力发电机系统工作在高于额定风速状态时,控制辅助发电机 4 使内齿圈 2-4 与行星架 2-2 的旋转方向相同;

[0067] 当主发电机 3 的转速达到额定转速时,将该主发电机 3 的输出端合闸并网;然后,使辅助发电机 4 由转速控制变为转矩控制,使辅助发电机 4 的输出转矩与给定的电磁转矩相等,进行发电机系统的功率调节;

[0068] 当瞬时风速低于额定风速时,风力机 1 的输入转速低于额定转速,此时使辅助发电机 4 工作于电动状态,主发电机 3 工作于发电状态;

[0069] 当瞬时风速高于额定风速时,风力机 1 的输入转速高于额定转速,此时使辅助发电机 4 和主发电机 3 均工作于发电状态。

[0070] 下面,对本发明装置的工作过程及原理进行说明:

[0071] 在风力发电系统中,系统的输入功率是实时变化的,通过实时控制辅助发电机 4 的运行状态,能够保证主发电机 3 的转速恒定,以保证系统稳定运行;同时,在风力发电机系统的输入功率大于主发电机 3 的极限功率时,可利用辅助发电机 4 进行功率的平衡,从而实现对风能的最大利用。

[0072] 本发明主要研究应用于直驱式变速恒频风电系统的复合转子结构永磁同步发电

机系统,为减小电机外形尺寸,则应提高发电机的转速,因此需要使齿轮传动机构工作于增速状态。发电机采用多极永磁同步发电机,具有高效率的特点,通过合理的极数设计使其能够直接并网运行。由于多极永磁同步发电机用于变速恒频系统中,为获得最大风能,在风速变化时风力机 1 转速也相应变化,需使辅助发电机 4 工作于发电状态。

[0073] 在风力发电系统中,通常采用固定速比的增速齿轮箱,当风速变化时引起风力机与发电机的转速变化,使发电机的输出频率也随之变化。因此,在发电机与电网之间需要有交直交变频系统才能并网运行,由于高变速比的齿轮箱结构复杂、体积庞大、辅助设备多、并且价格昂贵,因此针对上述问题,提出了本发明的技术方案。本发明采用行星齿轮传动机构与双电机相结合的结构,将行星架作为电机的输入轴与风力机转子直接连接,将行星齿轮的内齿圈 2-4 作为辅助发电机 4 的转子,将主发电机 3 的转子作为太阳轮。当风力机输入转速变化时,通过控制辅助调速电机的转速,改变行星架与太阳轮之间的速比,保持永磁同步发电机的转速恒定,从而实现永磁同步发电机的直接并网运行。本发明将单级行星齿轮增速机构与电机本体结合在一起,与传统风力发电系统中的多级增速齿轮箱相比,减小了体积、简化了结构、降低了成本。

[0074] 与传统的直驱式永磁同步风力发电机以及变速恒频风力发电机相比,本发明具有以下特点:

[0075] 1) 在输入(风力机)转速变化时,也就是行星齿轮的行星架转速变化时,通过控制辅助发电机 4 的转速以调整行星齿轮外框架的转速,可以使与主发电机 3 转子同轴连接的太阳轮 2-1 的转速保持恒定,从而实现主发电机 3 的恒转速运行。

[0076] 2) 在风力机额定转速较低时,通过对行星齿轮的增速比及主发电机 3 极对数的合理设计,可实现该风电系统的直接并网运行,省略了传统变速恒频风电系统中发电机与电网间的交-直-交环节,有利于风力发电系统简化结构和降低成本。

[0077] 3) 由于引入行星齿轮机构,将增速机构与电机本体有机的结合成为一体,省略了传统的变速恒频风电系统中的齿轮箱,使系统更加简单可靠。

[0078] 4) 通过将行星齿轮各传动部件与主发电机 3 和辅助发电机 4 的合理组合,可实现主发电机 3 转子的转速远大于风力机 1 的转速,在实现直接驱动的同时,又可以得到较高的主发电机 3 转速,有利于减小电机的体积、提高电机的功率密度。

[0079] 本发明的工作过程分为两个阶段,并网之前的转速调节阶段和并网之后的转矩调节阶段。具体工作过程如下:

[0080] 1. 转速调节阶段:

[0081] 当风力机 1 输入转速变化时,通过控制辅助发电机 4 的转速,改变行星架 2-2 与太阳轮 2-1 之间的变速比,保持主发电机 3 的转速恒定,从而实现主发电机 3 的直接并网运行。当系统工作在低风速和额定风速状态时,应控制辅助发电机 4 使内齿圈 2-4 转速与行星架 2-2 输入转速方向相反;当工作在高风速状态时,应控制辅助发电机 4 使内齿圈 2-4 与其输入转速方向相同。这样能充分发挥电磁系统与机械系统的特点,提高工作效率。

[0082] 2. 转矩调节阶段:

[0083] 当主发电机 3 成功并网后,其端电压与频率将被“无穷大电网”钳位住,保持不变,所以当风速改变时,通过改变辅助发电机 4 的转速来维持主发电机 3 的转速不变。因此,辅助发电机 4 的控制方式可以由转速控制变为转矩控制。

[0084] 工作原理为：

[0085] 1、瞬时风速低于额定风速时，风力机 1 的输入转速低于额定转速，由速度公式 $-|\omega_a| + (k-1)\omega_b = k\omega_H$ ，得 $|\omega_a| = (k-1)\omega_b - k\omega_H$ ，式中 k 为传递比，由于 ω_H 的减小， ω_b 会降低使 ω_a 值恒定。此时辅助发电机 4 应工作于电动状态，即风力机 1 与辅助发电机 4 同时输入机械功率，由主发电机 3 输出电功率；

[0086] 2、瞬时风速高于额定风速时，风力机 1 的输入转速高于额定转速，由速度公式 $-|\omega_a| + (k-1)\omega_b = k\omega_H$ ，得 $|\omega_a| = (k-1)\omega_b - k\omega_H$ ，由于 ω_H 的增加， ω_b 会增加使 ω_a 值恒定。此时辅助发电机 4 应工作于发电状态，即风力机 1 输入机械功率，由辅助发电机 4 和主发电机 3 同时输出电功率。

[0087] 本发明还可以应用于其它机电能量转换系统，如在混合动力汽车、混合舰船推进等领域有广泛的应用前景。

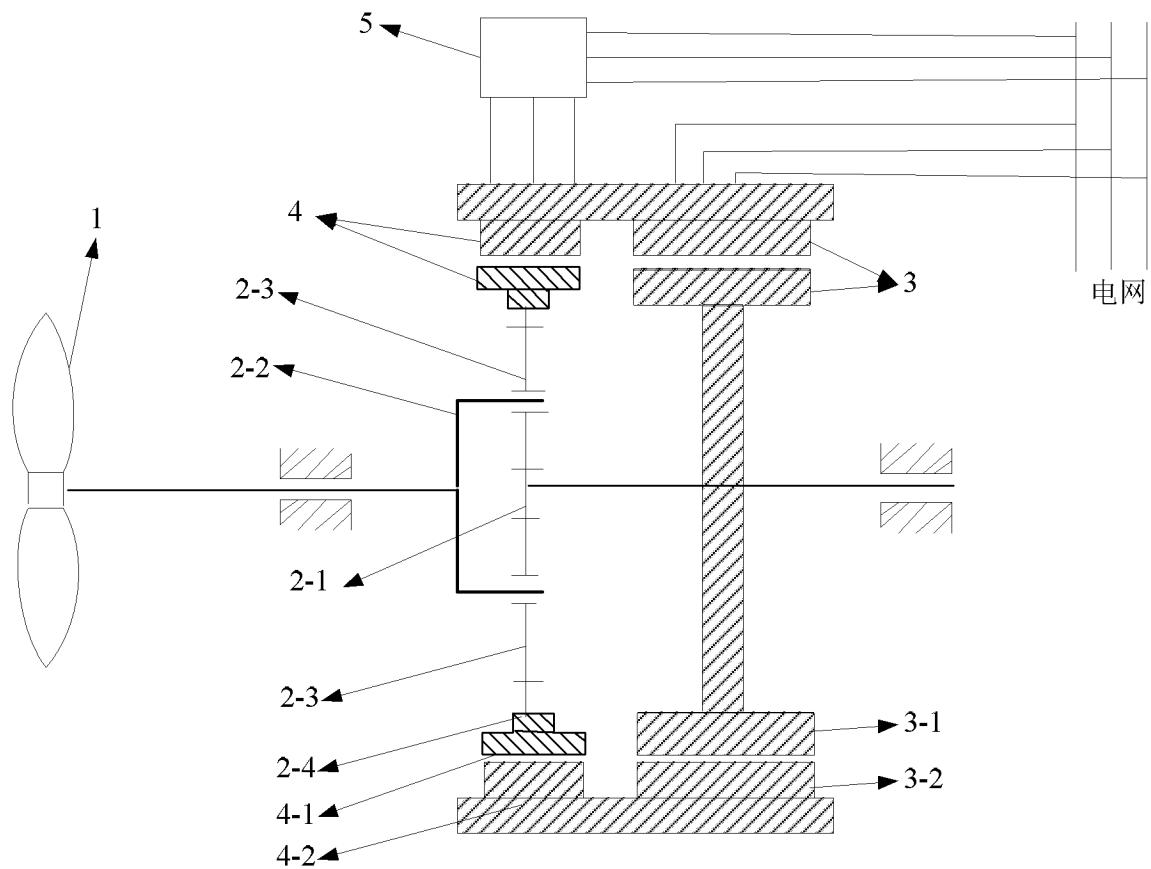


图 1

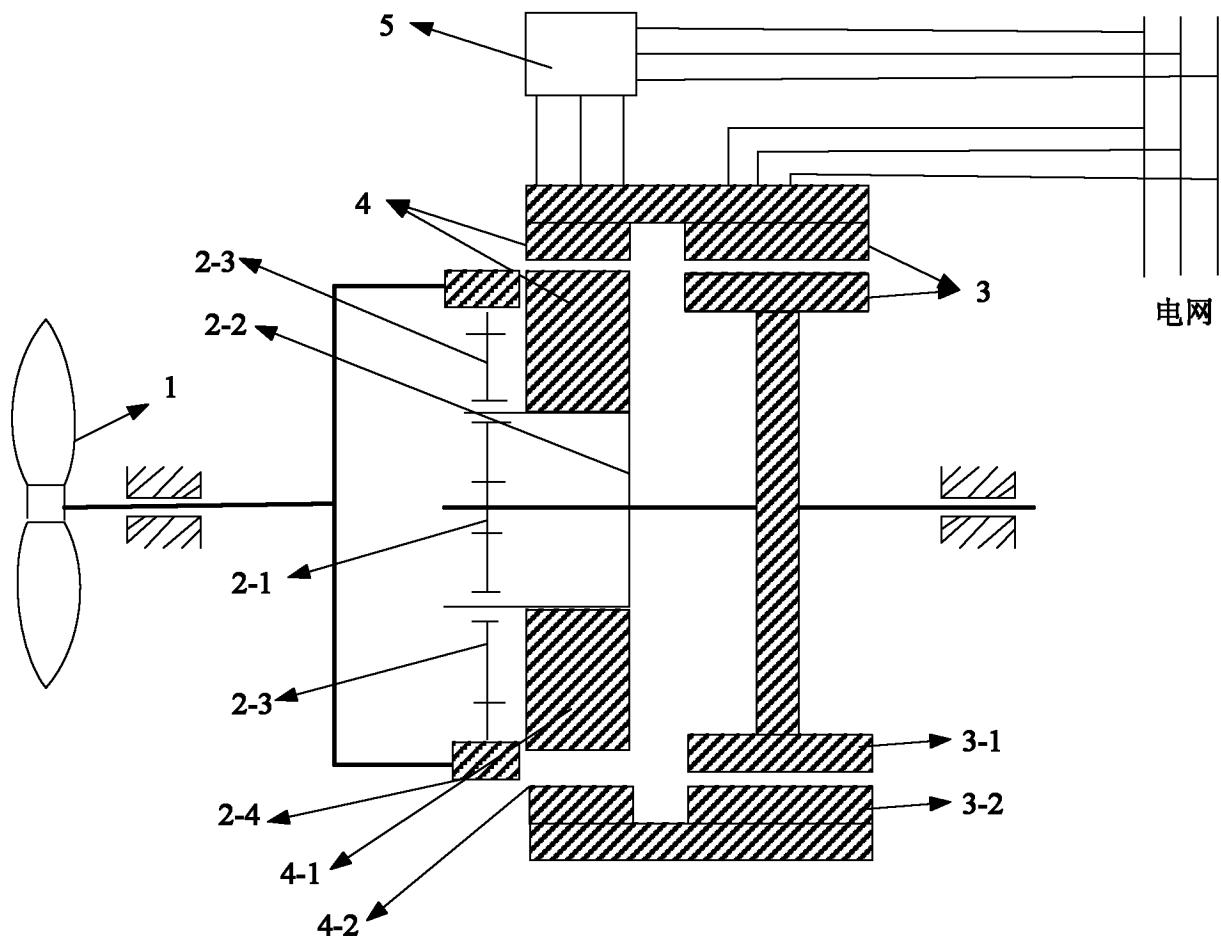


图 2