

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102155356 A

(43) 申请公布日 2011.08.17

(21) 申请号 201110069083.6

(22) 申请日 2011.03.22

(71) 申请人 国电联合动力技术有限公司
地址 100039 北京市海淀区西四环中路 16 号院 1 号楼 8 层

(72) 发明人 王文亮 刘卫

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 徐宁

(51) Int. Cl.
F03D 7/02 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)

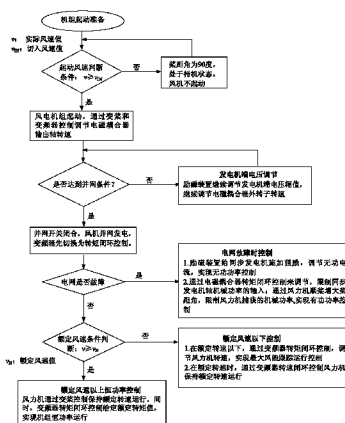
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法

(57) 摘要

本发明提供了一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,在起动阶段通过风力机变桨控制电磁耦合器内转子加速转动,通过变频器转速闭环控制电磁耦合器外转子加速至发动机同步转速完成并网;在低风速段最大风能跟踪区域,通过变频器转矩闭环控制电磁转矩来调节风力机的转速,使机组按照最佳叶尖速比和最佳风能利用率运行,实现最大风能捕获;在低风速段恒转速运行区域,利用变频器的转速闭环控制保持风力机恒定运转;在额定风速以上区域,通过变桨距角控制和变频器转矩闭环控制,使风力机保持额定转速和恒定功率运行;当电网发生故障时,同步发电机通过强励作用,支撑电网电压,通过变频器转速闭环控制稳定风力机的转速,通过变桨控制,限制风力机有功功率的获取。



1. 一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其包括以下几方面:

1) 在起动并网阶段的控制:当风速低于切入风速时,风力机顺桨,桨距角被置于一定角度,风力机不转动;当风速达到切入风速时,风力机桨距角逐渐减小,使风力机获得足够的风能;风力机通过齿轮箱驱动电磁耦合器的内转子旋转,此时通过变频器的转速闭环控制使电磁耦合器外转子与内转子同步旋转;待风力机转速上升到一定值时,通过变桨距角控制内转子速度保持不变,通过变频器转速闭环控制外转子按照给定转速值加速至同步发电机的同步转速,并保持恒定;此时同步发电机的励磁控制调节器根据并网装置检测到的电网电压和同步发电机端电压信号,调节同步发电机的励磁电流,使同步发电机的端电压幅值与电网电压幅值相同,并通过变频器对电磁耦合器外转子的控制实现对发电机定子电压频率和相位的调节,直到达到并网条件,由同期并网装置完成风电机组的柔性并网;

2) 在低风速段的最大风能捕获控制:当风力机转速没有达到额定状态时,通过变频器转矩闭环控制电磁耦合器的电磁转矩来调节风力机的转速,使机组按照最佳叶尖速比和最佳风能利用率运行,转矩给定值通过测量风力机实际转速值所对应最佳转速-转矩曲线的转矩值给出;

3) 在低风速段的恒转速控制:当风力机转速达到额定状态时,变频器切换为转速闭环控制,电磁耦合器的外转子转速与同步发电机的转速一致,被并网后的电网频率锁定,电磁耦合器内转子转速通过变频器转速闭环控制保持不变,随着风速的增加,风力机转速保持额定转速不变;

4) 在额定风速以上的恒功率运行控制:此阶段变频器切换为转矩闭环控制状态,当风速超过额定风速时,通过变桨控制来调节风力机的桨距角,使风力机保持额定转速下运行,限制功率的上升,实现机组恒功率运行;通过变频器转矩闭环控制电磁转矩,实现风力机在额定转速下稳定工作,其中转矩给定值为额定值。

5) 电网故障时的控制:分为风力发电机组的无功功率和有功功率运行控制,当检测到同步发电机端电压信号并判断电压故障超出限定值时,风电机组同时需要进行无功功率控制和有功功率控制,同步发电机的励磁控制调节器直接将励磁电流给定顶值,励磁机快速将励磁电压和电流上升到顶值,施加强励来实现同步发电机暂态过程励磁,调节同步发电机的无功电流,从而向电网馈入无功功率,支撑电网电压,实现无功功率控制;变频器切换为转矩闭环工作,根据电网电压跌落值,给定转矩值目标值,减小电磁耦合器输出轴的机械功率,同时,风力机进行顺桨增加桨距角,减小整个系统的有功功率获取,限制风力机的转速不超过极限转速,实现有功功率控制。

2. 根据权利要求1所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,在起动并网控制阶段,所述电网频率值计算得到的速度给定值为 $n_{ref} = [60 * (f_g + \Delta f)] / p - n$, 其中, f_g 是电网实际频率, p 是同步发电机极对数, n 是实际检测得到的电磁耦合器内转子轴转速, Δf 是在频率误差要求限定范围内微小频率设定值。

3. 根据权利要求1或2所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,在额定风速以下最大风能跟踪控制和恒转速控制两个阶段,桨距角固定为0。

4. 根据权利要求1或2所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,在所述额定风速以上的恒功率运行控制区域,桨距角的给定值是电磁耦合

器额定转速值与实际检测值的差值,经过桨距角 PI 调节器得到的。

5. 根据权利要求 1 所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,所述变频器转速闭环控制方法采用转子磁场定向矢量控制、转差频率矢量控制、气隙磁场定向矢量控制、定子磁场定向矢量控制以及电压定向矢量控制中的一种。

6. 根据权利要求 1 所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,所述变频器转矩闭环控制方法采用转子磁场定向矢量控制、转差频率矢量控制、气隙磁场定向矢量控制、定子磁场定向矢量控制以及电压定向矢量控制中的一种。

7. 根据权利要求 1 所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,所述电磁耦合器的内转子转速和外转子转速是通过光电码盘速度传感器来检测的。

8. 根据权利要求 5 或 6 所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,所述电磁耦合器的内转子转速和外转子转速是通过光电码盘速度传感器来检测的。

9. 根据权利要求 7 所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,所述电磁耦合器内转子转速和外转子转速的差值是采用无速度传感器的速度辨识方法来辨识的。

10. 根据权利要求 8 所述的一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其特征在于,所述电磁耦合器内转子转速和外转子转速的差值是采用无速度传感器的速度辨识方法来辨识的。

一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种风力发电机组的运行控制方法,特别是一种基于电磁耦合器前端调速的风力发电机组的运行控制方法。

背景技术

[0002] 随着化石能源紧张短缺和生态环境污染问题日益严峻,世界各国都竞相大力发展可再生能源。目前,除水、电外,在已经开发利用的可再生清洁能源中,风力发电作为发展最快,技术最成熟,最具规模开发利用前景和市场竞争力的发电方式,已经成为许多国家调整能源结构、缓解环境污染的重要举措。在风力发电的能量转换传动链中:风力机负责将捕获的风能转换成机械能;发电机组负责将机械能转换成电能。风力发电机组传动链及其控制系统是整个系统的核心,直接影响着整个系统的性能、效率和电能质量。在传动链中使用不同的发电机,并匹配相应的调速控制方式,就构成了结构形式不同的多型风力发电系统。

[0003] 变速恒频型风力发电技术是二十世纪末发展起来的一种实现最大程度上风能捕获及提高风能利用率的新型发电技术。在新建的大型风力发电机组场中,双馈型和直驱型变速恒频风力发电机组占有绝对的统治地位,但这两类机组在实际运行过程中应对电网故障的能力明显不足。双馈型风电机组在电网电压跌落或故障情况下,转子电路中暂态电压和电流均会大幅增加;电流的迅速增加也会导致变流器直流侧电压升高,过流和过压会对变流器脆弱的电力电子器件构成威胁,会迫使变流器退出运行。为应对上述这一难题,双馈型风电机组可以采用基于 Crowbar(撬棒)的转子短路保护技术或采用合理的励磁控制算法,但这些措施加大了双馈感应发电机组的制造成本和控制系统的复杂程度,而且保护电路在电网电压跌落期间不但不能发出对电压起支撑作用的无功功率,还会从电网吸收无功功率,进一步阻碍电网电压跌落后电网电压的恢复。这一问题严重时,还可能导致电网电压无法恢复,致使电力系统崩溃。直驱型风力发电机组,通过全功率变流器实现了发电机与电网之间隔离,相比双馈型机组,低电压穿越能力较强,但是在电网发生电压跌落等故障时,其全功率变流器的直流侧也存在着过压问题,如果不采取相对应的一些保护措施,也将会损坏直流侧电容以及变流器。

[0004] 随着风电机组技术的进步以及风电在电网中所占比例的急剧增加,大规模风电场对当地地区电网稳定性造成的影响愈发显著,目前多个国家的风电并网准则都对风电场并网提出了更高的要求,风力发电机组的低电压穿越技术愈来愈受关注。

[0005] 为能从根本上解决风电机组对电网故障穿越能力问题,国内外已经开始研究带有前端调速装置的新一代的电网友好型同步风力发电机组,以改变现有风电机组的传动链结构,在传动链末端使用比较成熟的传统同步发电机直接并网,而在同步发电机前端设置有调速装置,前端调速装置可以是液力耦合器、差动齿箱或是电磁耦合器等等。2007年,德国风机制造商 DeWind 的两台 2MW D8.2 风力发电机组在德国试运行,其调速装置使用的就是液力耦合器。中国专利 CN101465592A 提出了一种应用变频调速电磁式转矩耦合器进行调速的新一代电网友好型风力发电机组,其同步发电机前端使用电磁耦合器进行调速。为实

现该型风力发电机组运行控制,满足变速恒频型风力发电机组的运行要求,增强风电机组应对电网故障的能力,以及提高电力系统运行的稳定性,有必要设计一种带有电磁耦合器变频调速前端的风力发电机组运行控制方法。

发明内容

[0006] 鉴于此,本发明目的在于提供一种基于电磁耦合器变频调速前端的风电机组运行控制方法,其能够实现起动并网控制、最大风能跟踪控制、恒转速控制、恒功率控制以及电网故障时控制,用以解决该类风力发电机组的起动、柔性并网、变速型风力机的最大风能捕获运行、恒转速运行、恒功率运行以及电网发生故障时运行的控制问题。

[0007] 为解决上述技术问题,实现上述目的,根据变速型风力机的运行特点,本发明采取以下技术方案:一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组运行控制方法,其包括以下几方面:

[0008] 1) 在起动并网阶段的控制:当风速低于切入风速时,风力机顺桨,桨距角被置于一定角度,风力机不转动;当风速达到切入风速时,风力机桨距角逐渐减小,使风力机获得足够的风能;风力机通过齿轮箱驱动电磁耦合器的内转子旋转,此时通过变频器的转速闭环控制使电磁耦合器外转子与内转子同步旋转;待风力机转速上升到一定值时,通过变桨距角控制内转子速度保持不变,通过变频器转速闭环控制外转子按照给定的外转子转速曲线值加速至同步发电机的同步转速,并保持恒定;此时同步发电机的励磁控制调节器根据并网装置检测到的电网电压和同步发电机端电压信号,调节同步发电机的励磁电流,使同步发电机的端电压幅值与电网电压幅值相同,并通过变频器对电磁耦合器外转子的控制实现对发电机定子电压频率和相位的调节,直到达到并网条件,由同期并网装置完成风电机组的柔性并网。

[0009] 2) 在低风速段的最大风能捕获控制:当风力机转速没有达到额定状态时,风力机的转速是通过变频器转矩闭环控制电磁耦合器内转子转速来实时调节,转矩给定值是通过测量风力机实际转速值所对应最佳转速-转矩曲线的转矩值给出。

[0010] 3) 在低风速段的恒转速控制:当风力机转速达到额定状态时,变频器切换为转速闭环控制,电磁耦合器的外转子转速与同步发电机的转速一致,被并网后的电网频率锁定,电磁耦合器内转子转速通过变频器转速闭环控制保持不变,随着风速的增加,风力机转速保持额定转速不变。

[0011] 4) 在额定风速以上的恒功率运行控制:此阶段变频器切换为转矩闭环控制状态,当风速超过额定风速时,通过变桨控制来调节风力机的桨距角,使风力机保持额定转速下运行,限制功率的上升,实现机组恒功率运行;通过变频器转矩闭环控制电磁转矩,实现风力机在额定转速下稳定工作,其中转矩给定值为额定值。

[0012] 5) 电网故障时的控制:分为风力发电机组的无功功率和有功功率运行控制,当检测到同步发电机端电压信号并判断电压发生故障导致电压跌落超出限定值时,风电机组同时需要进行无功功率控制和有功功率控制,以保证机组穿越低电压区域,同步发电机的励磁控制调节器直接将励磁电流给定顶值,励磁机快速将励磁电压和电流上升到顶值,施加强励来实现同步发电机暂态过程励磁,调节同步发电机的无功电流,从而向电网馈入无功功率,支撑电网电压,实现无功功率控制;变频器切换为转矩闭环工作,根据电网电压跌落

值,给定转矩值目标值,减小电磁耦合器输出轴的机械功率,同时,风力机进行顺桨增加桨距角,减小整个系统的有功功率获取,限制风力机的转速不超过极限转速,实现有功功率控制。

[0013] 在所述额定风速以上的恒功率运行控制区域,风力机桨距角是这样控制的:电磁耦合器额定转速值与实际检测值的差值经过所设计的PI调节器得到桨距角的给定值,即控制电磁耦合器内转子实际值在额定转速值附近,然后通过桨距角执行机构来调节桨距角。

[0014] 所述在额定风速以下最大风能跟踪控制和恒转速控制两个阶段,桨距角固定为0。

[0015] 所述变频器转速闭环控制方法采用转子磁场定向矢量控制、转差频率矢量控制、气隙磁场定向矢量控制、定子磁场定向矢量控制以及电压定向矢量控制中的一种。

[0016] 所述变频器转矩闭环控制方法采用转子磁场定向矢量控制、转差频率矢量控制、气隙磁场定向矢量控制、定子磁场定向矢量控制以及电压定向矢量控制中的一种。

[0017] 所述电磁耦合器的内转子转速和外转子转速是通过光电码盘速度传感器来检测的。

[0018] 所述电磁耦合器内转子转速和外转子转速的差值是采用无速度传感器的速度辨识方法来辨识的。

[0019] 本发明所述控制方法的有益效果是:1)、在起动阶段,实现了基于电磁耦合器变频调速前端变速恒频同步风力发电机组的起动及柔性并网控制。2)、在额定风速以下阶段,实现了基于电磁耦合器变频调速前端变速恒频同步风力发电机组的最大风能捕获控制和恒定转速控制。3)、在额定风速以上阶段,实现了基于电磁耦合器变频调速前端变速恒频同步风力发电机组的恒功率运行控制。4)、在电网故障时,实现了基于电磁耦合器变频调速前端变速恒频同步风力发电机组的无功功率和有功功率控制,同步发电机通过强励磁发无功功率,支撑电网电压,能有效解决目前风力发电机组应对电网故障能力不足的现象,增强风电机组应对电网故障的能力,提高系统的动态稳定性。

附图说明:

[0020] 图1是基于电磁耦合器前端调速风力发电机组示意图;

[0021] 图2是基于电磁耦合器变频前端调速风力发电机组的运行控制流程图;

[0022] 附图1中,1-电磁耦合器,2-电磁耦合器外转子,3-电磁耦合器内转子,4-同步发电机,5-变流器,6-并网装置,7-变频器电磁耦合器侧断路器,8-三相交流电源,9-网侧断路器,10-升压变压器,11-电网,12-风力机,13-增速齿轮箱,14-刹车盘。

具体实施方式:

[0023] 附图1是一种基于电磁耦合器调速前端的风电机组的结构示意图,一般情况下,这种风力发电机组结构是:风力机12与增速齿轮箱13相连接,增速齿轮箱13输出端通过刹车盘14与电磁耦合器内转子3相连接,电磁耦合器外转子2与同步发电机4转子相连接,同步发电机4通过并网装置6、升压变压器10及网侧断路器9与电网11连接,电磁耦合器外转子2经断路器7与变流器5相连接,三相交流电源8是变流器5的输入厂用供电交流电源。

[0024] 基于上述的结构可知,电磁耦合器位于发电机的前端,用于调节风力机转速。下面结合附图 2 和实施例对本发明的一种基于电磁耦合器前端调速风力发电机组的运行控制方法进行详细的描述,主要是通过以下控制策略实现:

[0025] 基于电磁耦合器前端调速的风电机组并网前运行控制包括:首先,风力机起动准备完成后,当检测到的风速 V 低于切入风速 V_{in} 时,桨距角被置于一定角度(一般为 90 度),风力机不转动,处于待机状态;直至 10min 内平均风速达到或超过切入风速时,风力机开始变桨,桨距角逐渐减小,使风力机获得足够的风能以驱动风轮转动,通过控制桨距角大小来调节风力机转速的上升率。风力机通过齿轮箱驱动电磁耦合器的内转子旋转;电磁耦合器外转子的转速由变频器转速闭环控制,变频器速度环给定值是电磁耦合器外转子与内转子转速差值,此时,电磁耦合器外转子与内转子转速差值的给定值为 0,所以变频器转速闭环控制实际电磁耦合器内外转子速度差跟随给定转速差值 0,以使电磁耦合器的外转子与内转子以相同的速度同步加速旋转。当风力机转速上升到一定值时,通过变桨距角控制电磁耦合器内转子速度保持恒定不变,通过变频器转速闭环控制电磁耦合器外转子按照给定转速值加速至同步发电机的同步转速,并保持恒定。

[0026] 同步发电机的励磁控制调节器根据并网装置检测到的电网电压和同步发电机机端电压信号,励磁机自动调节同步发电机的励磁电流,使同步发电机的端电压幅值与电网电压幅值相同;同时,通过变频器间接对发电机定子电压频率和相位进行调节,此时,变频器转速闭环的速度给定信号是并网装置检测到的电网电压频率信号计算的转速值与电磁耦合器内转子轴转速值差值,通过变频器转速闭环控制对电磁耦合器外转子转速进行调节,直到达到并网条件-发电机端电压与电网电压幅值差、频率差及相位差在误差范围内,并由同期并网装置完成风电机组的柔性并网。所述通过检测电网频率值计算得到的速度给定值为 $n_{ref} = [60 * (f_g + \Delta f)] / p - n$, 其中, f_g 是电网实际频率, p 是同步发电机极对数, n 是实际检测得到的电磁耦合器内转子轴转速, Δf 是设定微小频率差,可以假定 $\Delta f = 0.1\text{HZ}$ 。设置 Δf 的目的是使同步发电机端电压频率超前电网频率,且两者频率差保持 0.1% 在误差要求范围内,两者电压相位不相等时,可以让同步发电机端电压相位不断快速跟踪电网相位,直到两者相位差值在误差要求范围内。

[0027] 机组在等待并网时,由于同步发电机空载运行,风力机会继续加速,为了限制风力机转速继续上升,防止其超过风力机的额定转速,我们利用变桨距控制使风力机转速维持在某一固定值,此时风力机转速与该固定值的差值经过 PI 调节器来得到桨距角的给定值,限制风力机对风能的吸收,达到限定风力机转速的目的。

[0028] 基于电磁耦合器前端调速的风电机组并网后运行控制分为低风速段运行控制、高风速段运行控制以及电网故障时的控制。

[0029] 首先,判断电网是否发生故障,若电网发生故障导致电网电压跌落时,机组切换为电网故障控制策略,电网故障控制分为无功功率控制和有功功率控制。当检测到同步发电机端电压信号并判断电网故障超出限定值时,同步发电机的励磁控制调节器根据检测到的同步发电机端电压故障信号直接将励磁电流调至顶值,励磁机快速将励磁电压和电流上升到顶值,通过施加强励来实现同步发电机暂态过程励磁,调节同步发电机的无功电流,向电网馈入无功功率,支撑电网电压,实现上述无功功率控制;变频器切换为转矩闭环工作,根据电网电压跌落值,给定转矩值目标值,减小电磁耦合器输出轴的机械功率,同时,风力机

进行顺桨增加桨距角,减小整个系统的有功功率获取,限制风力机的转速不超过极限转速,实现有功功率控制。

[0030] 当电网故障时,变频器切换为转速闭环,电磁耦合器通过变频器转速闭环控制来稳定同步发电机的转速;在电网故障过程中,为了限制风力机的转速不超过其极限转速,仍需要根据实际情况调节风力机的桨距角,限制整个系统的有功功率获取。

[0031] 当机组并网后,若没有发生电网故障,会判断当前 10min 内平均风速是否达到额定风速,如果达到额定风速值并能维持限定的时间,机组进入额定风速以上的高风速段运行控制;若没有达到额定风速值,则机组进入额定风速以下的低风速段运行控制。

[0032] 机组在低风速段控制又分为最大风能跟踪控制和恒转速控制两个区域。在低风速段第一个区域内实现最大风能跟踪控制,由风力机机原理可知,在某一风速下,要使风力机捕获最大的风能,则在保持风力机的桨距角为 0 的同时要控制风力机运行在某一最佳转速下,使风力机以最佳叶尖速比运行,此时风力机的风能利用系数最大,捕获的风能也最大。因此在风速变化时要及时调整风力机的转速,使风力机跟踪变化的风速保持最佳叶尖速比和最大风能利用系数运行,以捕获最大风能。在最大能跟踪控制区域,风力机转速是通过变频器转矩闭环控制电磁耦合器的内转子速度来实时调节,以实现最大风能捕获。其中,转矩给定值是通过测量风力机实际转速值所对应最佳转速-转矩曲线的转矩值给出。

[0033] 在低风速段第二个区域实现恒转速控制,当风力机的转速达到额定转速时,变频器切换为转速闭环控制,此时,电磁耦合器的外转子转速与同步发电机的转子转速一致,被并网后的电网频率锁定,电磁耦合器外转子保持发电机同步转速不变;电磁耦合器内转子转速通过变频器转速闭环控制保持不变,随着风速的增加,风力机转速将不再上升保持额定转速不变运行。

[0034] 在额定风速以下最大风能跟踪控制和恒转速控制两个区域内,桨距角固定为 0,不变桨运行。

[0035] 在额定风速以上恒功率运行控制区域,变频器切换为转矩闭环控制状态,当风速超过额定风速时,通过风力机变桨控制和变频器转矩闭环控制,使风力发电机组保持恒功率运行。通过变桨控制来调节风力机的桨距角,使风力机保持额定转速下运行,限制功率的上升,实现机组恒功率运行;通过电磁耦合器控制用变频器的转矩闭环控制电磁转矩,实现风力机在额定转速下稳定工作,其中转矩给定值为额定值。

[0036] 在额定风速以上的恒功率运行控制区域,风力机桨距角是这样控制的:电磁耦合器额定转速值与实际检测值的差值经过所设计的 PI 调节器得到桨距角的给定值,即控制电磁耦合器内转子实际值在额定转速值附近,然后通过桨距角执行机构来调节桨距角。

[0037] 本发明中,起动并网控制阶段和额定风速以下恒转速控制阶段的变频器转速闭环控制方法可采用转子磁场定向矢量控制、转差频率矢量控制、气隙磁场定向矢量控制、定子磁场定向矢量控制以及电压定向矢量控制中的一种。

[0038] 并网后的风力发电机组中的电磁耦合器是一个高阶的非线性强耦合多变量系统。在额定风速以下最大风能跟踪控制区域和额定风速以上的恒功率控制区域的变频器转矩闭环控制,是通过采用矢量控制技术来简化电磁耦合器内部各量间的耦合关系的。变频器转矩闭环控制方法同样可以为转子磁场定向矢量控制、转差频率矢量控制、气隙磁场定向矢量控制、定子磁场定向矢量控制以及电压定向矢量控制等。

[0039] 在变频器转速闭环和转矩闭环控制中,电磁耦合器的内转子转速和外转子转速都是需要检测的,一种简单的做法是采用光电码盘速度传感器来检测所述电磁耦合器内转子转速和外转子转速;变频器需要通过检测电磁耦合器内外转子转速差作为控制量,优选的是采用无速度传感器的速度辨识方法来间接地辨识电磁耦合器内外转子转速差值。

[0040] 以上所述运行控制策略,在起动并网阶段,实现了基于电磁耦合器变频调速前端的变速恒频同步风力发电机组的起动及柔性并网控制;在额定风速以下阶段,实现了基于电磁耦合器变频调速前端的变速恒频同步风力发电机组的最大风能捕获控制和恒定转速控制;在额定风速以上阶段,实现了基于电磁耦合器变频调速前端变速恒频同步风力发电机组的恒功率运行控制;在电网故障时,实现了基于电磁耦合器变频调速前端变速恒频同步风力发电机组的无功功率和有功功率控制,同步发电机通过强励磁发无功功率,支撑电网电压,能有效解决目前风力发电机组应对电网故障能力不足的现象,增强风电机组应对电网故障的能力,提高系统的动态稳定性。

[0041] 在上述实施例,仅是本发明的较佳的实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限定,凡是基于本发明技术方案对以上实施例所作的任何简单变化、改进及修饰,均不应排除在本发明的保护范围之外。

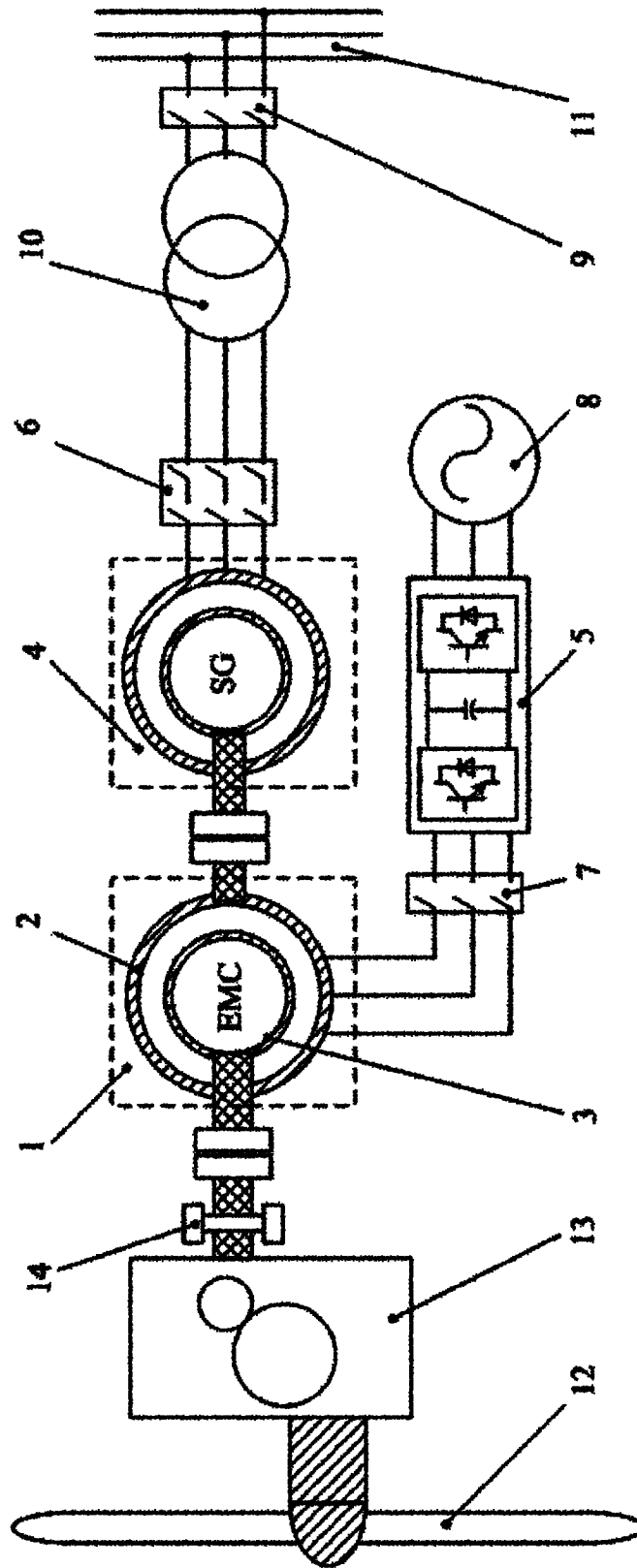


图 1

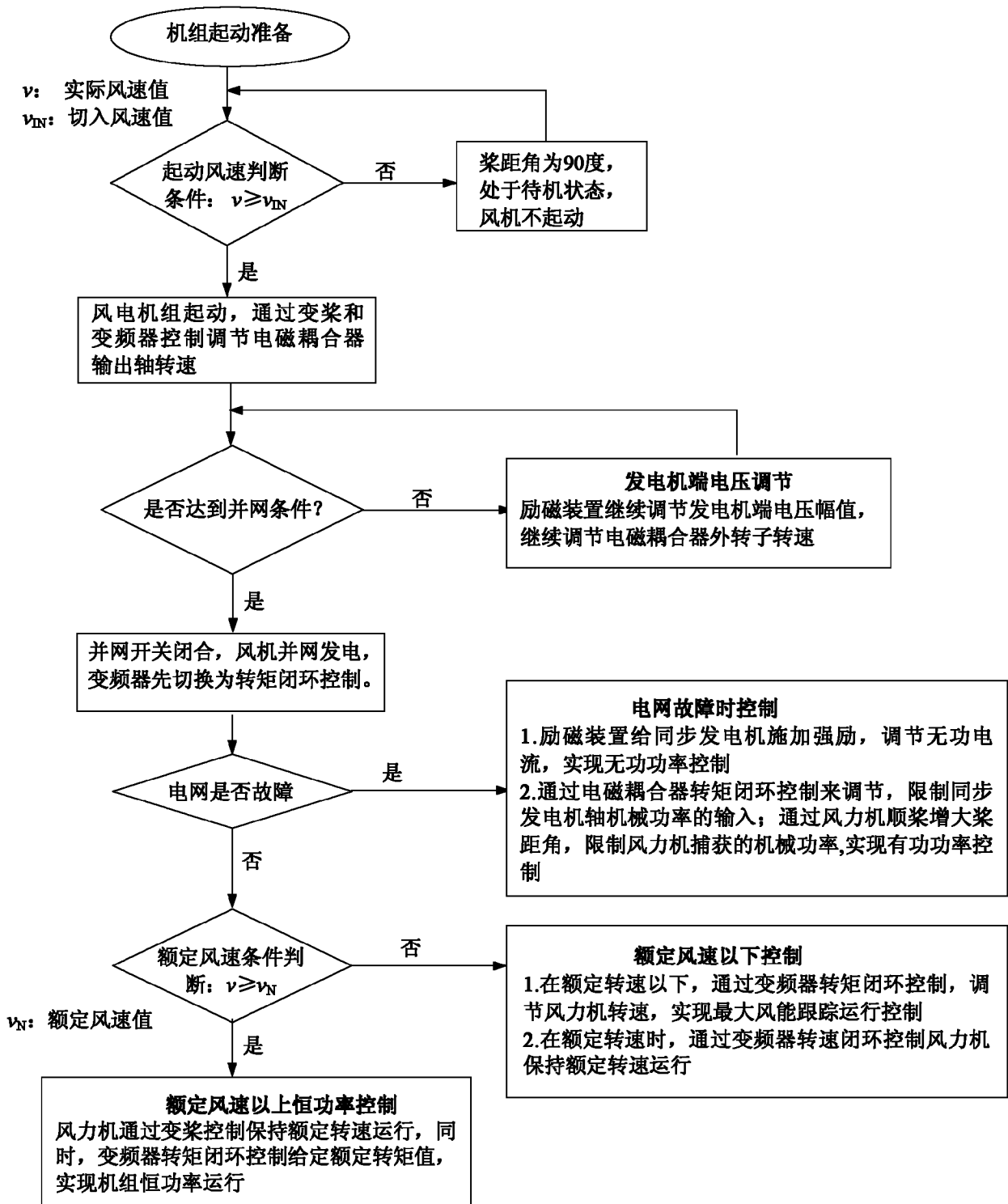


图 2