



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104300574 B

(45)授权公告日 2017.04.05

(21)申请号 201410439334.9

(22)申请日 2014.08.31

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104300574 A

(43)申请公布日 2015.01.21

(73)专利权人 新疆金风科技股份有限公司

地址 830026 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市经济技术开发区上海路107号

专利权人 国家电网公司

国网新疆张家口风光储示范电站有限公司

(72)发明人 艾斯卡尔 王海龙 乔元 黄远彦

刘汉民 马力 王银明 牛虎

何红光 任巍曦

(74)专利代理机构 北京金律言科知识产权代理
事务所(普通合伙) 11461

代理人 逯博 罗延红

(51)Int.Cl.

H02J 3/38(2006.01)

(56)对比文件

邓秋玲.电网故障下直驱永磁同步风电系统的持续运行与变流控制.《中国博士论文电子期刊网》.2013,

贾超等.直驱型风电系统高电压穿越仿真分析.《电力科学与工程》.2012,第28卷(第10期),

审查员 邢丹琼

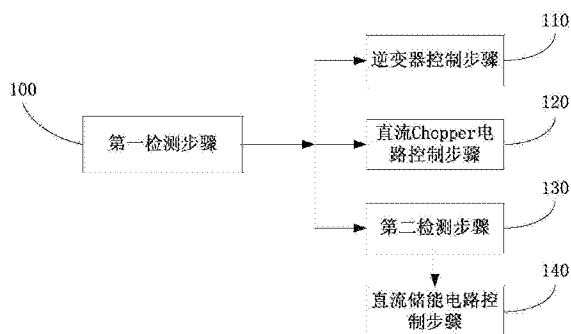
权利要求书4页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

风力发电机组的变流器控制方法及装置

(57)摘要

本发明提供了一种风力发电机组的变流器控制方法及装置,方法包括:检测电网侧的实测三相电压和实测三相电流、变流器侧的实测直流母线电压,并计算实测有功功率和实测无功功率;对并网点的运行状态进行判断,如果为高电压运行状态,则执行:根据实测三相电压、实测三相电流、实测直流母线电压、直流母线电压给定值以及无功功率控制指令对变流器的逆变器进行控制;根据实测直流母线电压和直流母线电压给定值对直流Chopper电路进行控制;检测储能模块充放电实测电流;根据实测直流母线电压、直流母线电压给定值以及储能模块充放电实测电流对直流储能电路的充放电进行控制。本发明通过对风力发电机组的变流器的控制实现了风力发电机组的高电压穿越功能。



1. 一种风力发电机组的变流器控制方法,其特征在于,在所述变流器的直流母线上并联有直流储能电路,该方法包括如下步骤:

第一检测步骤:检测电网侧的实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 、变流器侧的实测直流母线电压 U_{dc} ,并根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 计算电网侧的实测有功功率 P_{grid} 和实测无功功率 Q_{grid} ;

根据所述实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,如果并网点处于高电压运行状态,则执行如下步骤:

逆变器控制步骤:根据实测三相电压 U_{abc} 、实测三相电流 I_{abc} 、实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 、实测无功功率 Q_{grid} 以及无功功率控制指令 Q_{ref} 对所述变流器的逆变器进行控制;

直流Chopper电路控制步骤:根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路进行控制;

第二检测步骤:检测储能模块充放电实测电流 I_s ;

直流储能电路控制步骤:根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 以及储能模块充放电实测电流 I_s 对直流储能电路的充放电进行控制,

其中,所述无功功率控制指令 Q_{ref} 通过下式计算:

$$Q_{ref} = \sqrt{S_N^2 - P_{grid}^2}$$

其中, S_N 为风力发电机组视在功率;

其中,所述逆变器控制步骤包括:

第一计算步骤:根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} ,计算两相旋转坐标系下的电网侧的d轴实测电流分量 i_d 和电网侧的q轴实测电流分量 i_q 以及电网侧的d轴实测电压分量 u_{sd} 和电网侧的q轴实测电压分量 u_{sq} ;

第二计算步骤:根据所述d轴实测电流分量 i_d 、所述q轴实测电流分量 i_q 以及所述实测无功功率 Q_{grid} 与所述无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成变流器的q轴目标调整电压分量 u_q ;

第三计算步骤:根据所述d轴实测电流分量 i_d 、所述q轴实测电流分量 i_q 以及所述实测直流母线电压 U_{dc} 与所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成变流器的d轴目标调整电压分量 u_d ;

第四计算步骤:根据所述d轴目标调整电压分量 u_d 和所述q轴目标调整电压分量 u_q 计算逆变器的目标调整三相电压;

第一子控制步骤:根据所述目标调整三相电压生成PWM信号,对所述逆变器进行控制。

2. 根据权利要求1所述的变流器控制方法,其特征在于,如果并网点处于低电压运行状态,则执行所述逆变器控制步骤、所述直流Chopper电路控制步骤,其中,所述无功功率控制指令 Q_{ref} 通过下式计算:

$$Q_{ref} = \sqrt{S_N^2 - P_{grid}^2}。$$

3. 根据权利要求1所述的变流器控制方法,其特征在于,如果并网点处于正常运行状态,则执行所述逆变器控制步骤,其中,所述无功功率控制指令 Q_{ref} 为外部无功功率控制指

令。

4. 根据权利要求1所述的变流器控制方法,其特征在于,所述第二计算步骤包括:

根据所述实测无功功率 Q_{grid} 与所述无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成无功电流给定值 I_{qref} ;

根据所述无功电流给定值 I_{qref} 与所述q轴实测电流分量 i_q 的偏差生成逆变器侧交流感抗的q轴电压分量 u_{1q} ;

通过下式计算所述q轴目标调整电压分量 u_q :

$$u_q = u_{1q} - N_s L_s i_d + u_{sq}$$

其中,所述 L_s 为逆变器交流侧感抗的电感分量,所述 N_s 为电网电压的电磁转速。

5. 根据权利要求1所述的变流器控制方法,其特征在于,所述第三计算步骤包括:

根据所述实测直流母线电压 U_{dc} 与所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成有功电流给定值 I_{dref} ;

根据所述有功电流给定值 I_{dref} 与所述d轴实测电流分量 i_d 之间的偏差生成逆变器侧交流感抗的d轴电压分量 u_{1d} ;

通过下式计算所述d轴目标调整电压分量 u_d :

$$u_d = u_{1d} - N_s L_s i_q + u_{sd}$$

其中,所述 L_s 为逆变器交流侧感抗的电感分量,所述 N_s 为电网电压的电磁转速。

6. 根据权利要求1或2所述的变流器控制方法,其特征在于,所述直流Chopper电路控制步骤包括:

根据所述实测直流母线电压 U_{dc} 和所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差,生成PWM信号,对直流Chopper电路进行控制。

7. 根据权利要求1所述的变流器控制方法,其特征在于,所述直流储能电路控制步骤包括:

根据所述实测直流母线电压 U_{dc} 、所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 生成储能模块充放电电流给定值 I_{sref} ;

根据所述储能模块充放电电流给定值 I_{sref} 与所述储能模块充放电实测电流 I_s 之间的偏差,生成PWM信号对直流储能电路的充放电进行控制。

8. 一种风力发电机组的变流器控制装置,其特征在于,所述变流器包括并联在直流母线上的直流储能电路和直流Chopper电路,所述变流器控制装置包括:

第一检测模块,用于检测电网侧的实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 、变流器侧的实测直流母线电压 U_{dc} ,并根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 计算电网侧的实测有功功率 P_{grid} 和实测无功功率 Q_{grid} ;

运行状态判定模块,用于根据所述实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,确定所述并网点处于高电压运行状态、正常运行状态或低电压运行状态;

逆变器控制模块,用于根据实测三相电压 U_{abc} 、实测三相电流 I_{abc} 、实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 、实测无功功率 Q_{grid} 以及无功功率控制指令 Q_{ref} 对所述变流器的逆变器进行控制;

直流Chopper电路控制模块,用于在所述并网点处于高电压运行状态或者低电压运行状态下,根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路进行控

制；

第二检测模块：用于在所述并网点处于高电压运行状态下，检测储能模块充放电实测电流 I_s ；

直流储能电路控制模块：用于在所述并网点处于高电压运行状态下，根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 以及储能模块充放电实测电流 I_s 对直流储能电路的充放电进行控制，

其中，在所述并网点处于高电压运行状态或者低电压运行状态下，所述无功功率控制指令 Q_{ref} 通过下式计算：

$$Q_{ref} = \sqrt{S_N^2 - P_{grid}^2}$$

其中， S_N 为风力发电机组视在功率；

在所述并网点处于正常运行状态下，所述无功功率控制指令 Q_{ref} 为外部无功功率控制指令；

其中，所述逆变器控制模块包括：

第一计算模块：用于根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} ，计算两相旋转坐标系下的电网侧的d轴实测电流分量 i_d 和电网侧的q轴实测电流分量 i_q 以及电网侧的d轴实测电压分量 u_{sd} 和电网侧的q轴实测电压分量 u_{sq} ；

第二计算模块：用于根据所述d轴实测电流分量 i_d 、所述q轴实测电流分量 i_q 以及所述实测无功功率 Q_{grid} 与所述无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成变流器的q轴目标调整电压分量 u_q ；

第三计算模块：用于根据所述d轴实测电流分量 i_d 、所述q轴实测电流分量 i_q 以及所述实测直流母线电压 U_{dc} 与所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成变流器的d轴目标调整电压分量 u_d ；

第四计算模块：用于根据所述d轴目标调整电压分量 u_d 和所述q轴目标调整电压分量 u_q 计算逆变器的目标调整三相电压；

第一子控制模块：用于根据所述目标调整三相电压生成PWM信号，对所述逆变器进行控制。

9. 根据权利要求8所述的变流器控制装置，其特征在于，所述第二计算模块包括：

无功电流给定值生成单元，用于根据所述实测无功功率 Q_{grid} 与所述无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成无功电流给定值 I_{qref} ；

逆变器侧交流感抗的q轴电压分量生成单元，用于根据所述无功电流给定值 I_{qref} 与所述q轴实测电流分量 i_q 的偏差生成逆变器侧交流感抗的q轴电压分量 u_{1q} ；

q轴目标调整电压分量计算单元，用于通过下式计算所述q轴目标调整电压分量 u_q ：

$$u_q = u_{1q} - N_s L_s i_d + u_{sq}$$

其中，所述 L_s 为逆变器交流侧感抗的电感分量，所述 N_s 为电网电压的电磁转速。

10. 根据权利要求8所述的变流器控制装置，其特征在于，所述第三计算模块包括：

有功电流给定值生成单元，用于根据所述实测直流母线电压 U_{dc} 与所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成有功电流给定值 I_{dref} ；

逆变器侧交流感抗的d轴电压分量生成单元，用于根据所述有功电流给定值 I_{dref} 与所述

d轴实测电流分量 i_d 之间的偏差生成逆变器侧交流感抗的d轴电压分量 u_{1d} ;

d轴目标调整电压分量计算单元,用于通过下式计算所述d轴目标调整电压分量 u_d :

$$u_d = u_{1d} - N_s L_s i_q + u_{sd}$$

其中,所述 L_s 为逆变器交流侧感抗的电感分量,所述 N_s 为电网电压的电磁转速。

11. 根据权利要求8所述的变流器控制装置,其特征在于,在所述直流Chopper电路控制模块中,所述根据实测直流母线电压 U_{dc} 和所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路进行控制包括:

根据所述实测直流母线电压 U_{dc} 和所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差,生成PWM信号,对直流Chopper电路进行控制。

12. 根据权利要求8所述的变流器控制装置,其特征在于,所述直流储能电路控制模块包括:

储能模块充放电电流给定值生成单元,用于根据所述实测直流母线电压 U_{dc} 、所述直流母线电压给定值 U_{dcref} 生成储能模块充放电电流给定值 I_{sref} ;

储能模块目标调整电压生成单元,用于根据所述储能模块充放电电流给定值 I_{sref} 与所述储能模块充放电实测电流 I_s 之间的偏差,生成储能模块目标调整电压 U_{ds} ;

第二子控制模块,用于根据所述储能模块目标调整电压 U_{ds} 生成PWM信号,对直流储能电路的充放电进行控制。

13. 根据权利要求8所述的变流器控制装置,其特征在于,在所述运行状态判定模块中,所述根据所述实测三相电压 U_{abc} 对所述并网点运行状态进行判断,确定所述并网点处于高电压运行状态、低电压运行状态或者正常运行状态包括:

如果所述实测三相电压 U_{abc} 处于额定电压的90%~110%的范围内,则确定为并网点处于正常运行状态;

如果所述实测三相电压 U_{abc} 小于所述额定电压的90%,则确定为所述并网点处于低电压运行状态;

如果所述实测三相电压 U_{abc} 大于所述额定电压的110%,则确定为所述并网点处于高电压运行状态。

风力发电机组的变流器控制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电技术,尤其涉及一种风力发电机组的变流器控制方法及装置。

背景技术

[0002] 随着风电并网规模以及风力发电容量的不断扩大,风力发电机组与电网的相互影响已变得不容忽视,当电网出现扰动和故障的情况时,若风力发电机组不具备一定的电网故障抵御能力,一遇到电网扰动或故障就自动解列则会增加局部电网故障的恢复控制难度,恶化电网安全稳定性,甚至会加剧故障、引起连锁反应并导致系统崩溃。

[0003] 其中,从并网点处的电压高低角度来看,并网点电压在额定电压的90%~110%之内视为并网点处于正常运行状态,高于正常范围视为并网点处于高电压运行状态,低于正常范围视为并网点处于低电压运行状态。在并网点处于高电压运行状态下,风力发电机组仍然能够保持正常并网工作的能力称为高电压穿越能力,相应地,在并网点处于低电压运行状态下,风力发电机组仍然能够保持正常并网工作的能力称为低电压穿越能力。如果风力发电机组不具备低电压穿越能力和高电压穿越能力,将会导致脱网事故,严重影响整个电网的电力传输。目前的风力发电机组具备一定的低电压穿越能力,但是仍缺少高电压穿越的能力,当风力发电机组处于高电压穿越状态时,往往会造成脱网故障。

[0004] 如以2011年在西北电网和华北电网发生的批量脱网事故为例说明,当时,主变压器低压侧电缆头的短路事故直接引起了电网侧低电压故障,不具备低电压穿越能力的一批风力发电机组批量脱网,紧跟着,因为主变压器的低压侧配套的固定投切电容器组等无功功率补偿设备不具备自投切功能,低电压故障结束后没能及时退出运行,造成局部区域无功功率的过剩、电压骤升,使部分风力发电机组因高电压保护动作切除,即不具备一定高电压穿越能力的第二批风力发电机组批量脱网。经当时的调查情况来看,第二批脱网的风力发电机组数量远远超过了第一批脱网的风力发电机组数量。

[0005] 因此,为了维护电网的安全稳定运行,各国电网部门根据自身实际对风电场的电力接入提出了严格的技术要求,先后出台了风电并网准则,概括起来主要涉及有功功率控制、无功功率控制、电压控制、频率控制、低电压穿越等方面。虽然中国目前并没有明确高电压并网准则,但从上述例子可以看出,风力发电机组具备高电压穿越能力是有必要的,可以减少风力发电机组批量脱网规模,避免连锁反应和事故扩大,因此未来电网的发展必将对风力发电机组的高电压穿越提出更为严格的要求。因此,如何实现风力发电机组高电压穿越以及如何实现高电压穿越控制、低电压穿越控制和正常运行控制之间的平稳切换,已经成为风力发电技术领域急需解决的问题。

发明内容

[0006] 本发明的实施例提供一种风力发电机组的变流器控制方法及装置,以实现对风力发电机组的高电压穿越状态的识别,并通过对风力发电机组的变流器的控制实现在高电压

穿越状态下的连续并网运行。

[0007] 为达到上述目的,本发明的实施例提供了一种风力发电机组的变流器控制方法,其中,在所述变流器的直流母线上并联有直流储能电路,该方法包括如下步骤:

[0008] 第一检测步骤:检测电网侧的实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 、变流器侧的实测直流母线电压 U_{dc} ,并根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 计算电网侧的实测有功功率 P_{grid} 和实测无功功率 Q_{grid} ;

[0009] 根据所述实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,如果并网点处于高电压运行状态,则执行如下步骤:

[0010] 逆变器控制步骤:根据实测三相电压 U_{abc} 、实测三相电流 I_{abc} 、实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 、实测无功功率 Q_{grid} 以及无功功率控制指令 Q_{ref} 对所述变流器的逆变器进行控制;

[0011] 直流Chopper电路控制步骤:根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路进行控制;

[0012] 第二检测步骤:检测储能模块充放电实测电流 I_s ;

[0013] 直流储能电路控制步骤:根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 以及储能模块充放电实测电流 I_s 对直流储能电路的充放电进行控制,

[0014] 其中,所述无功功率控制指令 Q_{ref} 通过下式计算:

$$[0015] \quad Q_{ref} = \sqrt{S_N^2 - P_{grid}^2}$$

[0016] 其中, S_N 为风力发电机组视在功率。

[0017] 本发明的实施例还提供了一种风力发电机组的变流器控制装置,所述变流器包括并联在直流母线上的直流储能电路和直流Chopper电路,所述变流器控制装置包括:

[0018] 第一检测模块,用于检测电网侧的实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 、变流器侧的实测直流母线电压 U_{dc} ,并根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 计算电网侧的实测有功功率 P_{grid} 和实测无功功率 Q_{grid} ;

[0019] 运行状态判定模块,用于根据所述实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,确定所述并网点处于高电压运行状态、正常运行状态或低电压运行状态,

[0020] 逆变器控制模块,用于根据实测三相电压 U_{abc} 、实测三相电流 I_{abc} 、实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 以及无功功率控制指令 Q_{ref} 对所述变流器的逆变器进行控制;

[0021] 直流Chopper电路控制模块,用于在所述并网点处于高电压运行状态或者低电压运行状态下,根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路进行控制;

[0022] 第二检测模块:用于在所述并网点处于高电压运行状态下,检测储能模块充放电实测电流 I_s ;

[0023] 直流储能电路控制模块:用于在所述并网点处于高电压运行状态下,根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 以及储能模块充放电实测电流 I_s 对直流储能电路的充放电进行控制,

[0024] 其中,在所述并网点处于高电压运行状态或者低电压运行状态下,所述无功功率

控制指令 Q_{ref} 通过下式计算：

$$[0025] \quad Q_{ref} = \sqrt{S_N^2 - P_{grid}^2}$$

[0026] 其中, S_N 为风力发电机组视在功率；

[0027] 在所述并网点处于正常运行状态下,所述无功功率控制指令 Q_{ref} 为外部无功功率控制指令。

[0028] 本发明实施例提供的风力发电机组的变流器控制方法及装置,通过变流器中增设了直流储能电路,并配合现有变流器中的直流Chopper电路,能够在高电压穿越状态下进行合理的能量转移或消耗,在控制策略上,首先对检测到电网侧的实测三相电压 U_{abc} 进行判断,识别出高电压穿越状态,然后对逆变器、直流储能电路以及直流Chopper电路进行综合控制,从而实现了风力发电机组在高电压穿越状态下的正常运转。

附图说明

[0029] 图1为本发明实施例一的基于直流储能电路的风力发电系统主回路拓扑结构图。

[0030] 图2为本发明实施例一的风力发电机组的变流器控制方法流程图。

[0031] 图3为本发明实施例二的风力发电机组的变流器控制方法流程图。

[0032] 图4为本发明实施例三的风力发电机组变流器控制装置的结构示意图之一。

[0033] 图5为本发明实施例三的逆变器控制模块的结构示意图。

[0034] 图6为本发明实施例三的变流器控制装置的结构示意图之二。

[0035] 附图标号说明：

[0036] 1-永磁同步发电机；2-整流器；3-直流母线；4-直流Chopper电路；5-逆变器；6-滤波器；7-升压变压器；8-风电场电网；9-直流储能电路；11-第一检测模块；12-运行状态判定模块；13-逆变器控制模块；131-第一计算模块；132-第二计算模块；1321-无功电流给定值生成单元；1322-q轴电压分量生成单元；1323-q轴目标调整电压分量计算单元；133-第三计算模块；1331-有功电流给定值生成单元；1332-d轴电压分量生成单元；1333-d轴目标调整电压分量计算单元；134-第四计算模块；135-第一子控制模块；14-直流Chopper电路控制模块；141-滞环比较器；15-第二检测模块；16-直流储能电路控制模块；161-储能模块充放电电流给定值生成单元；162-储能模块目标调整电压生成单元；163-第二子控制模块。

具体实施方式

[0037] 从理论上分析,实现直驱永磁风力发电机组单机的高电压穿越能力主要有两个技术改进方向:一是提高风力发电机组内部的所有电气零部件的耐压水平,硬抗电网侧过电压。显然,这会导致现有的大多数电气部件都需要频繁更换,将会带来非常昂贵的技术升级成本。尤其像基于IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor,绝缘栅双极型晶体管)等电力电子器件的变流器产品,其更换成本巨大,而且更换下来的电气设备无法进行二次利用。另外一个技术方向是通过对风力发电机组的硬件系统进行改进的同时优化控制策略,本发明的实施例就是基于该技术方向提出的。

[0038] 如下式(1)所示,其为并网点处于高电压运行状态下,现有技术的永磁直驱风力发电机组主回路的功率平衡方程(变流器固有的功率损耗忽略不计),同时参照图1,各个部分

的功率关系如下：

$$[0039] \quad P_{gen} + P_{neg} - P_{grid} = P_{dc} = U_{dc} I_{dc} = U_{dc} C_{dc} \frac{dU_{dc}}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

[0040] 其中, P_{gen} 为发电机输出有功功率 (从变流器的整流器注入到变流器直流环节 (如直流母线、直流储能电路等) 的有功功率), P_{grid} 为风力发电机组注入电网的有功功率, P_{neg} 为从电网注入到风力发电机组的逆向能量的功率 (当电网电压超过某一值时, 从风力发电机组输出的潮流变向, 能量会从电网反充到风力发电机组中), P_{dc} 为变流器直流母线的功率, U_{dc} 为直流母线电压, I_{dc} 为直流母线电流, C_{dc} 为直流母线电容。

[0041] 从式 (1) 可知, P_{dc} 能承载的功率是一定的, 因为直流母线电容能储存的功率是一定的。当电网侧出现高电压时, 因为 P_{grid} 的减少和逆向功率 P_{neg} 的存在, 式 (1) 所示的平衡关系会被破坏。因此, 为了始终保持式 (1) 所示的功率平衡关系, 保证直流电压始终处于可接受范围之内, 使永磁直驱风力发电机组能够具备一定的高电压穿越能力, 理论上可使用以下三种方法:

[0042] 1) 减少 P_{gen} , 保证 U_{dc} 在可接受范围之内, 但因为变桨速度问题很难进行快速功率调节, 无法保证式 (1) 所示的输入输出功率的平衡关系。另外, 按照永磁直驱风力发电机组的设计理念, 为了实现电网故障对风力发电机组传动系统的零暂态冲击, 也不易使用快速变桨技术。

[0043] 2) 减少 P_{neg} 或增加 P_{grid} , 保证 U_{dc} 在可接受范围之内, 但是因为电网侧过电压是由电网的暂态行为引起, P_{neg} 无法避免, P_{grid} 也很难增加, 因此, 该方法也不可行。

[0044] 3) 把 P_{dc} 快速转移出去或消耗掉, 保证 U_{dc} 始终处在可接受范围之内。该方法的本质是通过加装额外设备消耗/转移直流环节的多余能量, 使 P_{dc} 始终处在正常直流电压所对应的功率范围之内。

[0045] 本发明的实施例就是基于上述第3) 的技术思路而提出的, 在硬件上的改进点为: 在变流器上增设直流储能电路, 该直流储能电路并联在直流母线上, 用来转移直流母线上的多余能量, 使 U_{dc} 始终处在可接受范围之内。在增加了直流储能电路后, 并网点在高电压运行状态下的功率平衡方程变为下式 (2):

$$[0046] \quad P_{gen} + P_{neg} - P_{grid} - P_{sto} = P_{dc} = U_{dc} I_{dc} = U_{dc} C_{dc} \frac{dU_{dc}}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

[0047] 其中, P_{sto} 为直流储能电路转移的功率。此外, 现有技术的永磁直驱风力发电机组的变流器中, 一般还设置有直流Chopper电路, 主要用于实现低电压穿越, 再把直流Chopper电路考虑进来, 则并网点在高电压运行状态下的功率平衡方程为下式 (3):

$$[0048] \quad P_{gen} + P_{neg} - P_{grid} - P_{sto} - P_R = P_{dc} = U_{dc} I_{dc} = U_{dc} C_{dc} \frac{dU_{dc}}{dt} \dots \dots \dots (3)$$

[0049] 其中, P_R 为直流Chopper电路上承载的功率。

[0050] 从图1和式 (3) 可以看出, 现有的永磁直驱风力发电机组变流器的直流回路中, 实际上已经有了基于卸荷电阻及其前置IGBT模块的能量消耗型电路, 即直流Chopper电路。但是, 基于目前的技术, 该电路只是用来实现风力发电机组的低电压穿越性能。

[0051] 下面再介绍一下现有的永磁直驱风力发电机组变流器 (假设不包含具有直流Chopper电路) 在并网点处于低电压运行模式下的功率平衡方程, 在低电压模式下, 不存在

从电网反向注入到风力发电机组的逆向能量的功率 P_{neg} ,因此,功率平衡方程如下式(4)所示(变流器固有功率损耗忽略不计):

$$[0052] \quad P_{\text{gen}} - P_{\text{grid}} = P_{\text{dc}} = U_{\text{dc}} I_{\text{dc}} = U_{\text{dc}} C \frac{dU_{\text{dc}}}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

[0053] 从式(4)可知,为了保证永磁直驱风力发电机组能够具备一定的低电压穿越能力,可使用以下三种方法:

[0054] 1) 减少 P_{gen} ,保证 U_{dc} 在可接受范围之内,但因为变桨速度问题很难进行快速功率调节,无法保证式(4)所示的输入输出功率的平衡关系。另外,按照永磁直驱风力发电机组设计理念,为了实现电网故障对风力发电机组传动系统的零暂态冲击,不易使用快速变桨技术。

[0055] 2) 增加 P_{grid} ,保证 U_{dc} 在可接受范围之内,但是因为电网侧低电压一般是由电网的短路故障引起,而逆变器的IGBT模块最高可承受的电流大小有限,因此, P_{grid} 无法增加到满足式(3)所示功率关系式的水平,该方法也不可行。

[0056] 3) 把 P_{dc} 的不平衡量快速转移出去或消耗掉,保证 U_{dc} 始终处在可接受范围之内。该方法实际上就是指通过加装额外设备消耗/转移DC环节的多余能量,使 P_{dc} 始终处在正常直流电压所对应的功率范围之内。在现有技术中,通过增加直流Chopper电路来实现低电压穿越能力。

[0057] 综上所述,从式(1)到式(4)的相关分析可得出如下结论:

[0058] 1) 永磁直驱风力发电机组为了实现风力发电机组低电压穿越性能而使用的直流Chopper电路,而由于电网的高电压故障和低电压故障不可能同时出现,因此,该直流Chopper电路也可用于转移风力发电机组高电压穿越运行时的直流集聚能量。

[0059] 2) 永磁直驱风力发电机组在高电压穿越状态下,由于 P_{neg} 的存在,需要消耗/转移的直流母线上集聚能量是始终比在低电压穿越运行状态时需要消耗/转移的直流母线集聚能量大,因此,光靠直流Chopper电路是不够,需要增加消耗/转移的直流母线集聚能量的设备。

[0060] 基于上述分析,本发明实施例对永磁直驱风力发电机组变流器的硬件结构以及具体控制方式进行了改进,在现有的具有直流Chopper电路的永磁直驱风力发电机组的变流器中增加直流储能电路并对变流器的控制策略进行了优化,从而以低成本实现了风力发电机组的高电压穿越能力。

[0061] 从整体上来说,在正常运行模式下,变流器的逆变器的有功电流的控制目标是使直流母线电压恒定,无功电流的控制目标是使得风力发电机组的无功功率符合风电场电压管理系统或者电网调度机构下达的外部无功功率控制指令 Q_{ref} 。此时,直流Chopper电路和直流储能电路的控制指令为零,即直流Chopper电路和直流储能电路不工作。

[0062] 在故障运行模式下(即并网点处的电网侧电压在额定电压的90%以下或在额定电压的110%以上时),控制系统首先对故障运行模式进行辨别。如果并网点处的电网侧电压在额定电压的90%以下则风力发电机组将会进入低电压穿越运行状态,如果并网点处的电网侧电压在额定电压的110%以上则会进入高电压穿越运行状态。

[0063] 在低电压穿越运行状态下,根据并网点处的电网侧电压跌落程度和故障类型(对称跌落或非对称跌落),对变流器逆变器的无功电流进行控制,同时,根据直流母线电压的

变化情况和并网点处的电压的跌落程度控制变流器的逆变器的有功电流,并触发直流侧Chopper电路,以消耗因电网侧电压跌落而无法注入到电网侧的能量。此时,直流侧储能模块不工作,因为永磁直驱风力发电机组现有的直流侧Chopper电路能够满足现行标准规定下的低电压穿越技术要求所对应的能耗需求。

[0064] 在高电压穿越运行模式下,根据电网侧电压的骤升程度和故障类型(对称或非对称)优先对变流器逆变器的无功电流进行控制,第一时间试图拉低电网侧电压,同时,根据直流母线电压的变化情况对变流器的逆变器的有功电流、直流侧Chopper电路的能耗容量和直流侧储能模块的储能容量进行优化分配和控制,以此保证直流电压在可承受的范围之内,并支持电网电压的快速恢复,最终实现风力发电机组的高电压故障穿越过程。

[0065] 以上对本发明实施例的技术原理进行了介绍,下面将通过几个实施例来详细介绍本发明实施例的变流器控制方法及装置的具体步骤和结构。需要说明的是,本发明实施例所提出的技术方案适用于各种安装有全功率变流器的风力发电机组。

[0066] 实施例一

[0067] 图1为本发明实施例提供的基于直流储能电路的风力发电系统主回路拓扑结构图。如图1所示,该结构图包括永磁同步发电机1、整流器2、直流母线3、直流Chopper电路4、逆变器5、滤波器6、升压变压器7、风电场电网8以及直流储能电路9。其中风力发电机组的变流器包括并联在直流母线上的直流储能电路9和直流Chopper电路4。在上述拓扑结构图,直流Chopper电路4是一种用来消耗多余能量的子系统。永磁直驱风力发电机组现有的直流Chopper电路是用来实现风力发电机组低电压穿越性能的专门设备,但是在风力发电机组高电压穿越运行过程中也能发挥一定的重要作用。增设的直流储能电路9不会改变风力发电机组电控系统已有的结构形式,是一种结构简单、易于接入的外接式硬件系统。在风力发电机组高电压穿越过程中,直流储能电路会跟直流Chopper电路4协同工作,并根据电网侧逆变器控制系统的指令将直流Chopper电路4没能消耗的系统多余能量转移到储能单元,实现系统的功率平衡,当电网故障消失后再根据控制系统的指令将所储的能量馈入电网。它是实现风力发电机组高电压穿越性能的专设硬件,该设备的合理应用还能增强风力发电机组低电压穿越运行能力,避免风力发电机组高电压穿越状态时的风能浪费,也有助于高电压穿越状态结束后功率的快速恢复和平滑控制。另外,在风力发电机组正常的稳态运行工况下,如果风电场控制系统或电网调度部门下达了有功功率限制指令,则风力发电机组控制系统通过直流储能电路的合理应用,不仅能够实现输出有功功率的平滑控制,而且也能避免一定的发电量损失。直流储能电路9有很多种形式,可以采用基于充放电时间比较迅速的超级电容等储能设备,也可以采用充放电时间比较慢的锂电池等储能设备,但是,本发明不限于此,本领域技术人员可以根据风力发电机组系统重点要解决的问题类型进行相应选择。

[0068] 图2是本发明实施例一的风力发电机组的变流器控制方法流程图。本实施例着重描述了风力发电机组在高电压穿越状态下的变流器控制机制,如图2所示,基于上述图1的拓扑结构,本实施例提供的风力发电机组的变流器控制方法流程图具体包括如下步骤:

[0069] 第一检测步骤100:检测电网侧的实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 、变流器侧的实测直流母线电压 U_{dc} ,并根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 计算电网侧的实测有功功率 P_{grid} 和实测无功功率 Q_{grid} 。

[0070] 根据实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,如果并网处于高电压运行状态(即风力发电机组需要运行在高电压穿越状态),则执行步骤110~130(图2中未示出该判断步骤)。其中,在本实施例中,并网处于高电压运行状态可以为实测三相电压 U_{abc} 大于110%额定电压,但是,本发明不限于此,按照中国国标GB/T 19963-2011《风电场接入电力系统技术规定》之规定,风力发电机组在额定电压的90%-110%之间时应能正常运行;当风电场并网电压超过额定电压的110%时,风电场的运行状态由风力发电机组的性能确定,即进入高电压穿越状态的阈值也可以根据具体风力发电机组的性能而灵活设定,同理对于进入低电压穿越状态的阈值同样如此。

[0071] 逆变器控制步骤110:根据实测三相电压 U_{abc} 、实测三相电流 I_{abc} 、实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 、实测无功功率 Q_{grid} 以及无功功率控制指令 Q_{ref} 对逆变器的逆变器进行控制。其中,直流母线电压给定值 U_{dcref} 和无功功率控制指令 Q_{ref} 是在并网处于高电压运行状态时,根据电网及风力发电机组可以正常稳定运行所需要的条件确定的。

[0072] 具体的,逆变器控制步骤可以包括:

[0073] 第一计算步骤:根据实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} ,计算两相旋转坐标系下的电网侧的d轴实测电流分量 i_d 和电网侧的q轴实测电流分量 i_q 以及电网侧的d轴实测电压分量 u_{sd} 和电网侧的q轴实测电压分量 u_{sq} 。在本步骤中,主要通过坐标变换把三相电压的三相静止坐标系变换为两相旋转坐标系,从而可以实现无功电流和有功电流的解耦控制。

[0074] 第二计算步骤:根据d轴实测电流分量 i_d 、q轴实测电流分量 i_q 以及实测无功功率 Q_{grid} 与无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成逆变器的q轴目标调整电压分量 u_q 。具体地,首先根据实测无功功率 Q_{grid} 与无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成无功电流给定值 I_{qref} ,然后根据无功电流给定值 I_{qref} 与q轴实测电流分量 i_q 的偏差生成逆变器侧交流感抗的q轴电压分量 u_{1q} ,最后通过下式(5)计算q轴目标调整电压分量 u_q :

$$[0075] \quad u_q = u_{1q} - N_s L_s i_d + u_{sq} \dots \dots \dots (5)$$

[0076] 其中,在上述无功功率 Q_{grid} 与无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差控制和无功电流给定值 I_{qref} 与q轴实测电流分量 i_q 的偏差控制是通过PI(比例积分)控制相关算法实现;在上式中 L_s 为逆变器交流侧感抗的电感分量, N_s 为电网电压的电磁转速。在上式中,电网侧的q轴实测电压分量 u_{sq} 一般为零。

[0077] 第三计算步骤:根据d轴实测电流分量 i_d 、q轴实测电流分量 i_q 以及实测直流母线电压 U_{dc} 与直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成逆变器的d轴目标调整电压分量 u_d ;具体地,首先根据实测直流母线电压 U_{dc} 与直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成有功电流给定值 I_{dref} ,然后根据有功电流给定值 I_{dref} 与d轴实测电流分量 i_d 之间的偏差生成逆变器侧交流感抗的d轴电压分量 u_{1d} ,最后通过下式(6)计算d轴目标调整电压分量 u_d :

$$[0078] \quad u_d = u_{1d} - N_s L_s i_q + u_{sd} \dots \dots \dots (6)$$

[0079] 其中,在上式中, L_s 为逆变器交流侧感抗的电感分量, N_s 为电网电压的电磁转速。此外,根据实测直流母线电压 U_{dc} 与直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成有功电流给定值 I_{dref} 可以通过PI(比例积分)控制器来完成,在实际应用中,还需要合理确定PI(比例积分)控制器相关参数,从而能够合理地控制实测直流母线电压 U_{dc} 与直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差与有功电流给定值 I_{dref} 之间的对应关系。具体的参数确定方式可以采用理论计算整定法和工程整定法等,该部分属于现有技术范畴,再次不再赘述。

[0080] 第四计算步骤:根据d轴目标调整电压分量 u_d 和q轴目标调整电压分量 u_q 计算逆变器的目标调整三相电压。

[0081] 第一子控制步骤:根据目标调整三相电压生成PWM信号,对逆变器进行控制。在这一步骤中,PWM信号对逆变器进行控制主要是通过控制逆变器中的IGBT模块开通和关闭来实现对逆变器的有功电流和无功电流进行控制。在高电压穿越状态时,优先对逆变器的无功电流进行控制,拉低电网侧电压,同时根据直流母线电压 U_{dc} 的变化情况执行逆变器的有功电流控制、直流Chopper电路控制以及直流储能电路控制,直流Chopper电路控制和直流储能电路控制将在下面的步骤中执行。

[0082] 直流Chopper电路控制步骤120:根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路进行控制。具体地,直流Chopper电路控制步骤包括:根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差,生成PWM信号(该步骤也可以通过PI控制器来完成),对直流Chopper电路4进行控制。直流Chopper电路包括IGBT模块和卸荷电阻,PWM信号对直流Chopper电路4进行控制是通过控制直流Chopper电路中的IGBT模块的开通和闭合来控制直流Chopper电路吸收高电压穿越时系统多余的能量。

[0083] 第二检测步骤130:检测储能模块充放电实测电流 I_s 。

[0084] 直流储能电路控制步骤140:根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 以及储能模块充放电实测电流 I_s 对直流储能电路的充放电进行控制。具体地,直流储能电路控制步骤可以包括:首先根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 生成储能模块充放电电流给定值 I_{sref} (该步骤也可以通过PI控制器来完成),然后根据储能模块充放电电流给定值 I_{sref} 与储能模块充放电实测电流 I_s 之间的偏差,生成PWM信号(该步骤也可以通过PI控制器来完成),从而对直流储能电路的充放电进行控制。

[0085] 其中,无功功率控制指令 Q_{ref} 可以通过下式(7)计算:

$$[0086] \quad Q_{ref} = \sqrt{S_N^2 - P_{grid}^2} \dots\dots\dots (7)$$

[0087] 其中, S_N 为风力发电机组视在功率。

[0088] 本领域技术人员可以理解的是,上述步骤110~步骤130并不必然按照一定顺序执行,也就是说,本发明实施例对上述步骤110~步骤130的执行顺序没有严格限制,在实际应用中,步骤110、步骤120以及步骤140作为三个控制分支是并行执行的。

[0089] 本发明实施例提供了一种风力发电机组的变流器控制方法,在现有的风力发电机组的变流器内增设了直流储能电路的基础上,根据检测到的并网点的电压,判定出并网点处于高电压运行状态进而通过对逆变器、直流储能电路和直流Chopper电路的综合控制,使得直流储能电路和直流Chopper电路能够对直流母线上多余能量进行转移/消耗,从而将直流母线电压控制在合理范围内,并且将并网点的电压拉低,使风力发电机组能够实现高电压穿越。另外,由于本发明实施例利用了直流储能电路进行储能,也避免了风力发电机组故障运行时的能量损失,实现了故障后有功功率输出的平滑控制。

[0090] 实施例二

[0091] 图3是本发明实施例二的风力发电机组的变流器控制方法流程图。在本实施例中,根据实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,确定出并网点处于高电压运行状态、正常运行状态以及低电压运行状态中的哪种状态,进而进行相应的变流器控制。

[0092] 如图3所示,本实施例的风力发电机组的变流器控制方法包括如下步骤:

[0093] 步骤100:执行第一检测步骤,检测电网侧的实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 、变流器侧的实测直流母线电压 U_{dc} ,并根据所述实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 计算电网侧的实测有功功率 P_{grid} 和实测无功功率 Q_{grid} 。

[0094] 步骤100:根据实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,该判断将会出现三种结果:

[0095] 如果并网点处于正常运行状态,则执行步骤110,只不过与实施例的高电压穿越时不同之处在于,无功功率控制指令 Q_{ref} 直接采用外部无功功率控制指令,而不需要通过式(7)计算;

[0096] 如果并网点处于低电压运行状态,则执行步骤110和步骤120,并且无功功率控制指令 Q_{ref} 采用式(7)计算;

[0097] 如果并网点处于高电压运行状态,则同实施例一样,执行步骤110至步骤140,且无功功率控制指令 Q_{ref} 采用式(7)计算。

[0098] 本发明实施例提供的一种风力发电机组的变流器控制方法及装置,通过根据检测到的并网点处的电压,对并网点所处的状态进行了判断,进而实施不同的变流器的控制策略,能够有效地应对并网点电压的各种变化情况。

[0099] 实施例三

[0100] 图4是为本发明实施例三的风力发电机组变流器控制装置的结构示意图之一,图5为本发明实施例三的逆变器控制模块的结构示意图,图6为本发明实施例三的变流器控制装置的结构示意图之二,其中,图6中以数学控制模型的形式对本实施例的控制装置进行了更加详细的描述,对应部分以相同的标号表示。如图4至图6所示,其中,变流器包括并联在直流母线上的直流储能电路和直流Chopper电路,变流器控制装置包括:

[0101] 第一检测模块11,用于检测电网侧的实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} 、变流器侧的实测直流母线电压 U_{dc} 。

[0102] 运行状态判定模块12,用于根据实测三相电压 U_{abc} 对并网点的运行状态进行判断,确定并网点处于高电压运行状态、正常运行状态或者低电压运行状态,进一步地,运行状态的判断可以采用如下规则:如果实测三相电压 U_{abc} 处于额定电压的90%~110%的范围内,则确定并网点处于正常运行状态;如果实测三相电压 U_{abc} 小于额定电压的90%,则确定并网点处于低电压运行状态;如果实测三相电压 U_{abc} 大于额定电压的110%,则确定并网点处于高电压运行状态。在实际应用中,运行状态判定模块12可以通过输出运行状态标示位的方式来控制以下的各个控制模块的切换,以及无功功率控制指令 Q_{ref} 的确定方式。

[0103] 逆变器控制模块13,用于根据实测三相电压 U_{abc} 、实测三相电流 I_{abc} 、实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 、实测无功功率 Q_{grid} 以及无功功率控制指令 Q_{ref} 对变流器的逆变器5进行控制。

[0104] 直流Chopper电路控制模块14,用于在风力发电机组处于高电压穿越状态或者低电压穿越状态下,根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路4进行控制。其中,根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 对直流Chopper电路4进行控制可以包括:根据实测直流母线电压 U_{dc} 和直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差,生成PWM信号,对直流Chopper电路4进行控制。其中,如图6所示,生成PWM信号的操作可

以通过滞环比较器141来实现。

[0105] 第二检测模块15:用于在风力发电机组处于高电压穿越状态下,检测储能模块充放电实测电流 I_s 。

[0106] 直流储能电路控制模块16:用于在风力发电机组处于高电压穿越状态下,根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 以及储能模块充放电实测电流 I_s 对直流储能电路9的充放电进行控制。其中,直流储能电路控制模块16可以进一步包括:储能模块充放电电流给定值生成单元161,用于根据实测直流母线电压 U_{dc} 、直流母线电压给定值 U_{dcref} 生成储能模块充放电电流给定值 I_{sref} (如图6所示,可以通过PI控制器来实现);储能模块目标调整电压生成单元162,用于根据储能模块充放电电流给定值 I_{sref} 与储能模块充放电实测电流 I_s 之间的偏差,生成储能模块目标调整电压 U_{ds} (如图6所示,可以通过PI控制器来实现);第二子控制模块163,用于根据储能模块目标调整电压 U_{ds} 生成PWM信号对直流储能电路9的充放电进行控制。需要说明的是,在实际应用中,直流储能电路可以具体包括:储能模块和IGBT控制单元,其中,储能模块优选可以采用超级电容或者大容量储能电池等。

[0107] 其中,在并网点处于高电压运行状态或者低电压运行状态下(对应于图6的故障模式),无功功率控制指令 Q_{ref} 通过上述式(7)计算,而在并网点处于正常运行状态下(对应于图6的正常模式)无功功率控制指令 Q_{ref} 为外部无功功率控制指令。

[0108] 进一步地,如图5所示,逆变器控制模块13可以进一步包括:

[0109] 第一计算模块131:用于根据实测三相电压 U_{abc} 和实测三相电流 I_{abc} ,计算两相旋转坐标系下的电网侧的d轴实测电流分量 i_d 和电网侧的q轴实测电流分量 i_q 以及电网侧的d轴实测电压分量 u_{sd} 和电网侧的q轴实测电压分量 u_{sq} 。具体地,如图6所示,第一检测模块检测到的各个物理量通过图6中逆变器控制模块13右上角的坐标变换模块从三相坐标转换到两相旋转坐标,其中,图6中的 θ 为通过锁相环电路测得的电网的交流电的相位角。在正常运行状态下,进行坐标变换后,因为d轴定向于电网电压矢量,因此,q轴实测电压分量 u_{sq} 为零。图6下面的功率计算模块可以计算出实测无功功率 Q_{grid} 和实测有功功率 P_{grid} 。

[0110] 第二计算模块132:用于根据d轴实测电流分量 i_d 、q轴实测电流分量 i_q 以及实测无功功率 Q_{grid} 与无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成变流器的q轴目标调整电压分量 u_q 。进一步地,第二计算模块132可以进一步包括:无功电流给定值生成单元1321,用于根据实测无功功率 Q_{grid} 与无功功率控制指令 Q_{ref} 之间的偏差生成无功电流给定值 I_{qref} ;逆变器侧交流感抗的q轴电压分量生成单元1322,用于根据无功电流给定值 I_{qref} 与q轴实测电流分量 i_q 的偏差生成逆变器侧交流感抗的q轴电压分量 u_{iq} ;q轴目标调整电压分量计算单元1323,用于通过上述式(5)计算q轴目标调整电压分量 u_q 。具体地,如图6所示,在实际应用中,无功电流给定值生成单元1321和q轴电压分量生成单元1322可以通过PI控制器来实现(图6中在相应的PI控制器上标注了相应标号)。

[0111] 第三计算模块133:用于根据d轴实测电流分量 i_d 、q轴实测电流分量 i_q 以及实测直流母线电压 U_{dc} 与直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成变流器的d轴目标调整电压分量 u_d 。进一步地,第三计算模块133可以进一步包括:有功电流给定值生成单元1331,用于根据实测直流母线电压 U_{dc} 与直流母线电压给定值 U_{dcref} 之间的偏差生成有功电流给定值 I_{dref} ;逆变器侧交流感抗的d轴电压分量生成单元1332,用于根据有功电流给定值 I_{dref} 与d轴实测电流分量 i_d 之间的偏差生成逆变器侧交流感抗的d轴电压分量 u_{id} ;d轴目标调整电压分量计

算单元1333,用于通过上述式(6)计算d轴目标调整电压分量 u_d 。具体地,如图6所示,在实际应用中,有功电流给定值生成单元1331和d轴电压分量生成单元1332可以通过PI控制器来实现(图6中在相应的PI控制器上标注了相应标号)。

[0112] 第四计算模块134:用于根据d轴目标调整电压分量 u_d 和q轴目标调整电压分量 u_q 计算逆变器的目标调整三相电压。

[0113] 第一子控制模块135:用于根据目标调整三相电压生成PWM信号,对逆变器进行控制。在实际应用中,可以采用SVPWM(空间矢量脉宽调制)调整的方式生成PWM信号。

[0114] 本发明实施例提供了一种风力发电机组的变流器控制装置,在现有的风力发电机组的变流器内增设了直流储能电路的基础上,根据检测到的并网点处的电压,对并网点的运行状态进行判断,针对三种不同的运行状态,实施不同的变流器的控制策略,能够有效地应对并网点电压的各种变化情况。尤其是在并网点处于高电压运行状态下,通过对逆变器、直流储能电路和直流Chopper电路的综合控制,使得直流储能电路和直流Chopper电路能够对直流母线上多余能量进行转移/消耗,从而将直流母线电压控制在合理范围内,并且将并网点处的电压拉低,使风力发电机组能够实现高电压穿越。另外,由于本发明实施例利用了直流储能电路进行储能,也避免了风力发电机组故障运行时的能量损失,实现了故障后有功率输出的平滑控制。

[0115] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

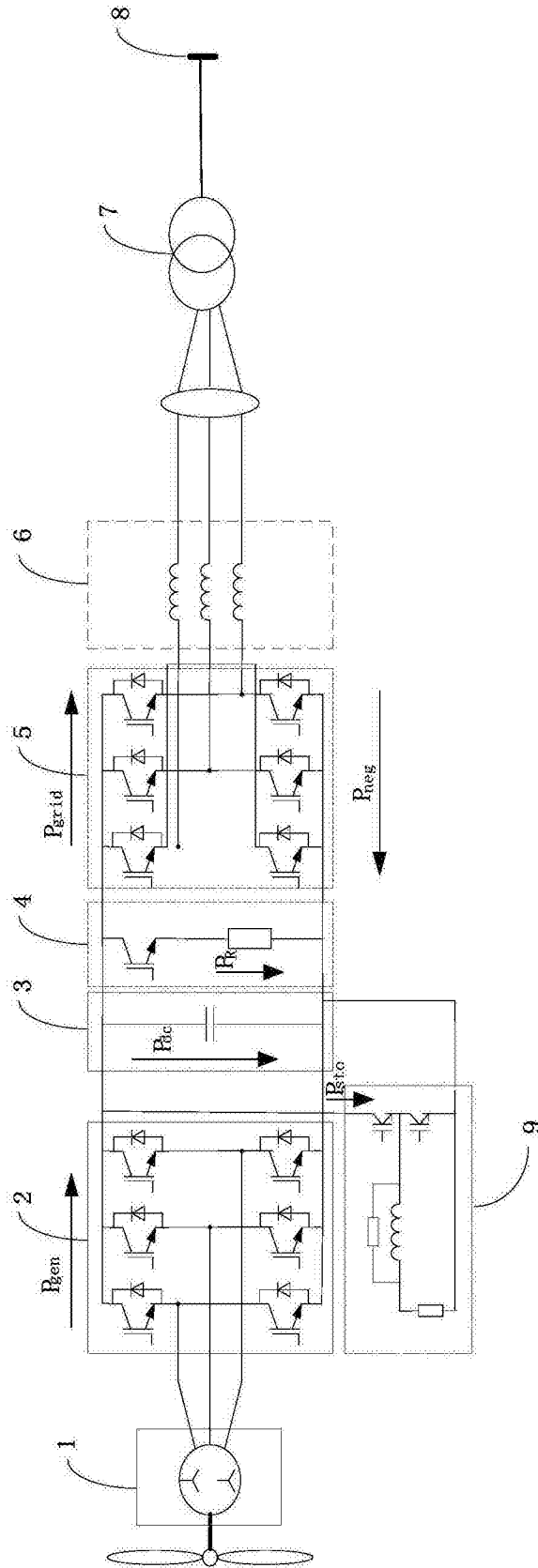


图1

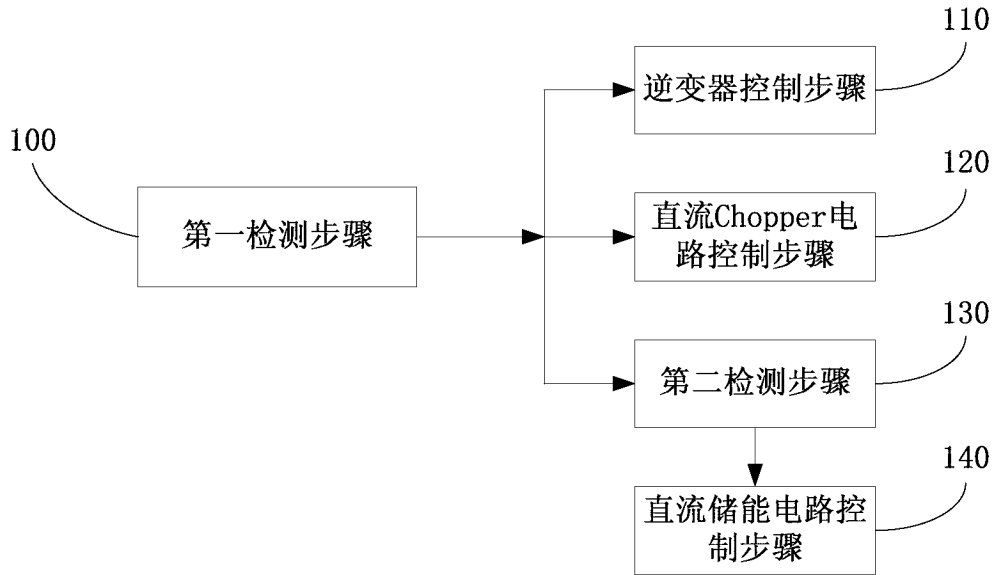


图2

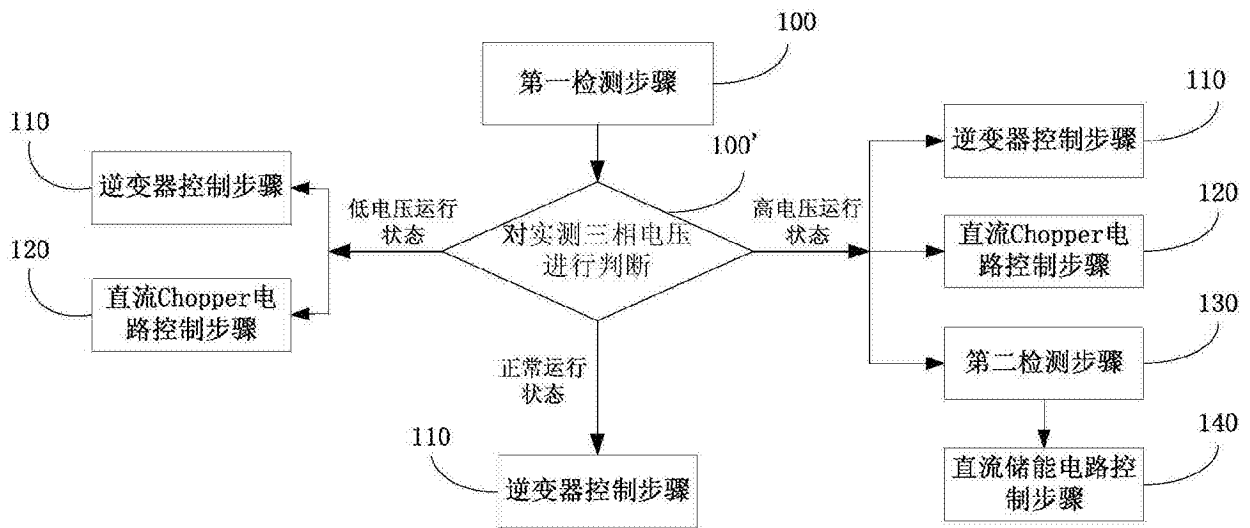


图3

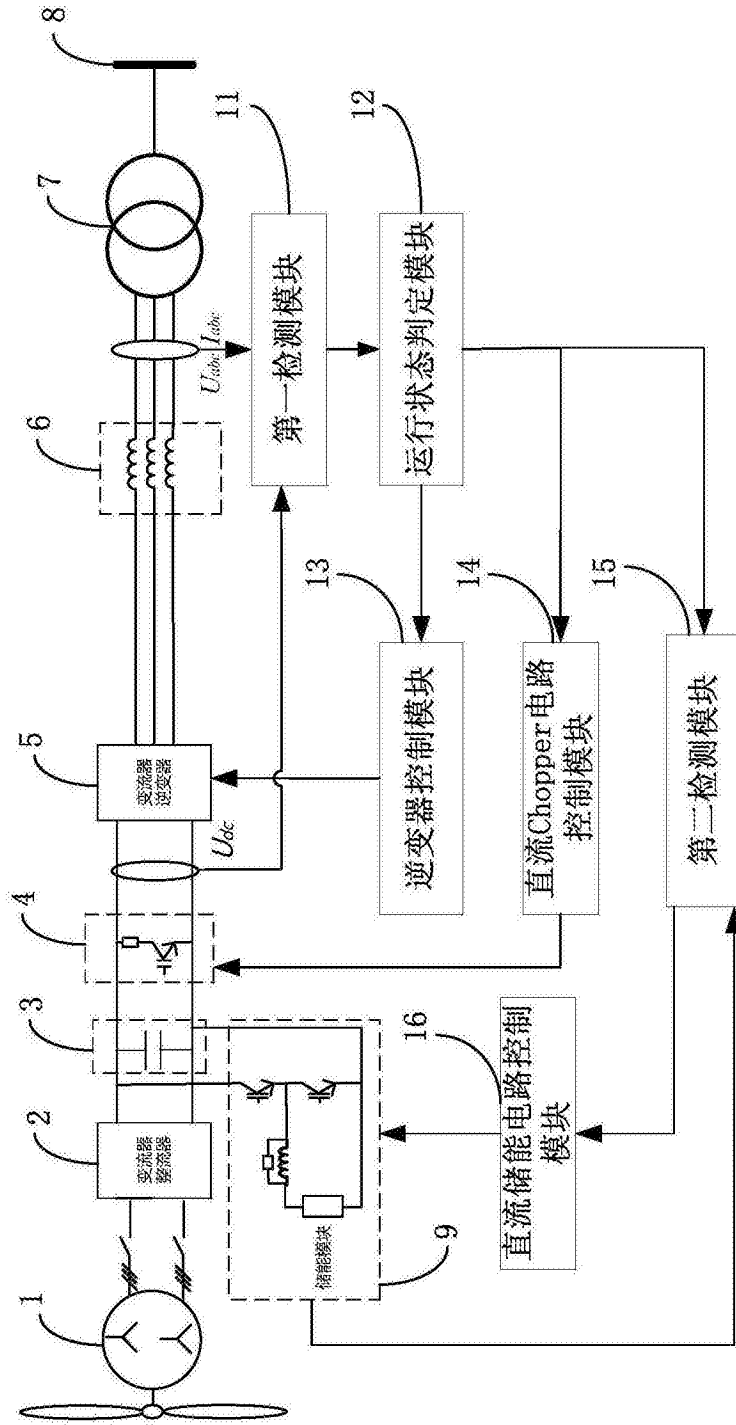


图4

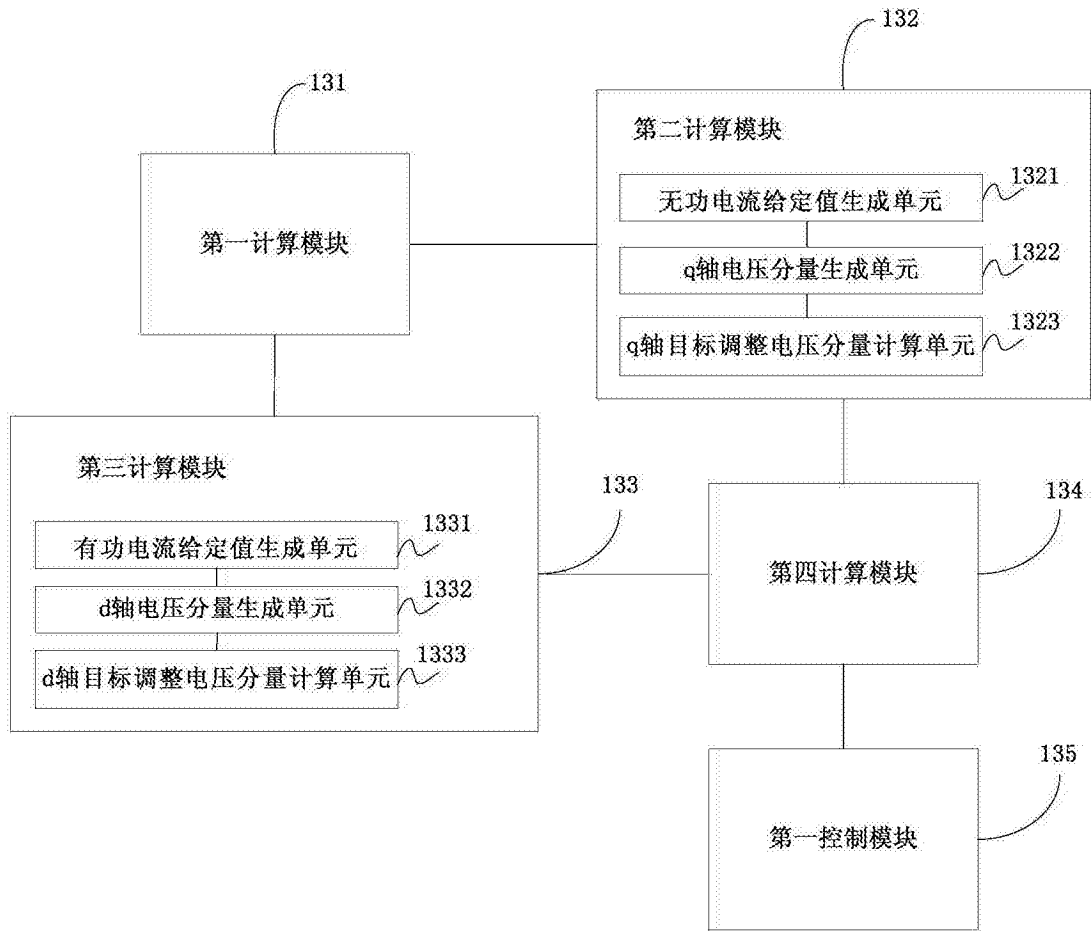


图5

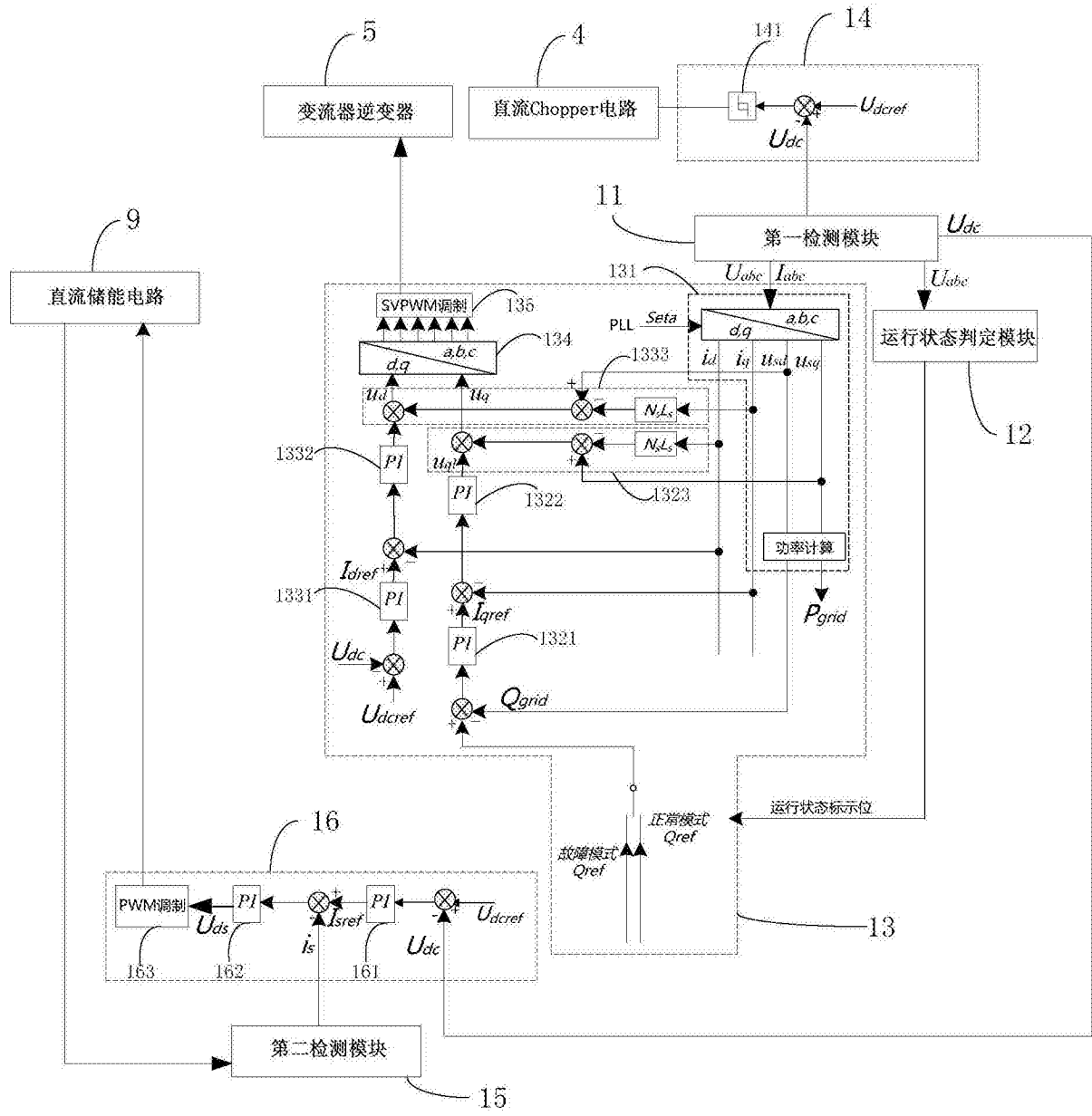


图6