



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105978042 B

(45)授权公告日 2019.03.29

(21)申请号 201610422850.X

H02J 3/12(2006.01)

(22)申请日 2016.06.14

H02J 3/28(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105978042 A

(43)申请公布日 2016.09.28

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72)发明人 王建华 宋杰 顾彬仕 季振东

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所(普通合伙) 32204

代理人 窦贤宇

(51)Int.Cl.

H02J 3/48(2006.01)

H02J 3/50(2006.01)

(56)对比文件

CN 105006834 A, 2015.10.28, 全文.

CN 103904665 A, 2014.07.02, 全文.

郑志曜 等. 组合式三相逆变器同步控制方法.《农业工程学报》.2015, 第31卷(第5期),

石荣亮. 基于虚拟同步发电机的微网运行模式无缝切换控制策略.《电力系统自动化》.2016, 第40卷(第10期),

审查员 关侠

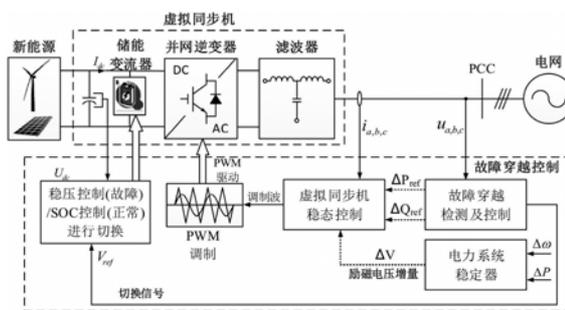
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制系统及方法,其中所述用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法包括如下步骤:测量逆变器输出侧的三相电压和电流,根据瞬时功率理论计算有功功率;如果发生不对称电压跌落故障,则提取电网电压正序分量得到切换信号,并计算需要输出有功功率和无功功率的修正量;如果电网电压跌落深度超出预设值,则通过电力系统稳定器获取支撑电压;通过有功方程、无功方程、转矩惯性方程和电磁转矩方程进行计算调节,得到输出电压的幅值和相角给定值,然后进行PWM调制.通过储能单元进行稳压控制,本发明在保证不过流的同时稳住直流母线电压,使得电压不发生太大的波动,不引起系统性能恶化。



1. 一种用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制系统,其特征在于,包括虚拟同步机稳态控制模块、故障穿越检测和控制模块和电力系统稳定器,所述虚拟同步机稳态控制模块包括有功调节和无功调节,通过输入侧直流电压和电流计算逆变器输入的有功功率,并以输入功率设定值和额定角频率值为输入,依据转矩方程计算角频率指令值,积分后得到相角指令值;所述故障穿越检测和控制模块接收电网电压数据并基于二阶广义积分的锁相环得到电压幅值、相角和角频率,相角用于逆变器输出电压从三相静止坐标系到两相旋转坐标系的转换计算,角频率输入VSG算法进行计算;当电网电压发生不对称跌落时,提取输出侧三相电压的正序分量,经坐标系转换后,得到q轴分量作为切换信号,该切换信号与输入侧直流电压比较后经过PI调解生成电流参考信号,该电流参考信号与储能系统所在的支路电流比较后经过PI调解输出,经调制器控制储能系统的能量变换,产生虚拟同步机稳态控制模块所需的修正量,在降低逆变器输入有功功率的同时提供无功功率以支撑电网电压恢复;所述电力系统稳定器以功率和转速偏差为输入信号,功率偏差和转速偏差相互补偿,可减小反调;当电网电压跌落深度超出预设值时,提供一定的支撑电压,以维持机端电压稳定。

2. 根据权利要求1所述的用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制系统,其特征在于,所述电力系统稳定器包括测量环节、超前滞后环节和隔直环节。

3. 一种用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1、测量逆变器输出侧的三相电压和电流,根据瞬时功率理论计算有功功率;

步骤2、判断是否发生不对称电压跌落故障,如果发生不对称电压跌落故障,则提取输出侧三相电压的正序分量,经坐标系转换后,得到q轴分量作为切换信号,并计算需要输出有功功率和无功功率的修正量;

步骤3、判断电网电压跌落深度是否超出预设值,如果电网电压跌落深度超出预设值,则通过电力系统稳定器获取支撑电压;

步骤4、通过有功方程、无功方程、转矩惯性方程和电磁转矩方程进行计算调节,得到输出电压的幅值和相角给定值,然后进行PWM调制。

4. 根据权利要求3所述的用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法,其特征在于,所述步骤2进一步包括:将所述电网电压正序分量与储能电容电压做比较之后经过PI调节得到电流参考值,该电流参考值与储能电容电流相比较后,再经过PI调节生成调制波,通过控制储能系统中的开关管开闭完成能量交换。

5. 根据权利要求4所述的用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法,其特征在于,提取电网电压正序电压分量,确定输出有功和无功份额,通过储能单元进行稳压控制,限制并网输出电流并稳定直流母线电压,控制电压波动范围。

6. 根据权利要求3所述的用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法,其特征在于,所述步骤3进一步包括:当电网电压跌落深度超出预设值时,根据电压跌落深度以及功率的限制发出一定的无功功率,促使电网恢复。

7. 根据权利要求6所述的用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法,其特征在于,测量电网电压,通过基于二阶广义积分的锁相环得到电压幅值、相角及角频率,相角用于逆变器输出电压从三相静止坐标系到两相旋转坐标系的转换计算,角频率输入虚拟同步机算法进行计算。

用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微网逆变器的故障保护和穿越控制技术,尤其是一种用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法及系统。

背景技术

[0002] 随着新能源的普及,新能源发电的并网容量也越来越大,对大电网影响也越来越深,采用良好的并网控制技术是提高新能源并网渗透率的重要举措。基于虚拟同步发电机(VSG)控制技术作为目前较为先进的控制技术,使得并网逆变器具有同步发电机的外特性,具有调频调压功能。

[0003] 随着新能源并网容量不断增大,当电网电压发生跌落或故障时,系统可能会发生解列,造成电网不稳定,严重时还可能电力系统局部瘫痪。因此,在新能源高渗透率场合,低电压穿越问题已经引起业界关注。

发明内容

[0004] 发明目的:提供一种用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法,并进一步提供一种实现上述方法的控制系统,以解决现有技术存在的上述问题。

[0005] 技术方案:一种用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制方法,包括如下步骤:

[0006] 步骤1、测量逆变器输出侧的三相电压和电流,根据瞬时功率理论计算有功功率;

[0007] 步骤2、判断是否发生不对称电压跌落故障,如果发生不对称电压跌落故障,则提取电网电压正序分量得到切换信号,并计算需要输出有功功率和无功功率的修正量;

[0008] 步骤3、判断电网电压跌落深度是否超出预设值,如果电网电压跌落深度超出预设值,则通过电力系统稳定器获取支撑电压;

[0009] 步骤4、通过有功方程、无功方程、转矩惯性方程和电磁转矩方程进行计算调节,得到输出电压的幅值和相角给定值,然后进行PWM调制。

[0010] 优选的,所述步骤2进一步包括:将所述电网电压正序分量与储能电容电压做比较之后经过PI调节得到电流参考值,该电流参考值与储能电容电流相比较后,再经过PI调节生成调制波,通过控制储能系统中的开关管开闭完成能量交换。

[0011] 进一步优选的,提取电网电压正序电压分量,确定输出有功和无功份额,通过储能单元进行稳压控制,限制并网输出电流并稳定直流母线电压,控制电压波动范围。

[0012] 优选的,所述步骤3进一步包括:当电网电压跌落深度超出预设值时,根据电压跌落深度以及功率的限制发出一定的无功功率,促使电网恢复。

[0013] 优选的,测量电网电压,通过基于二阶广义积分的锁相环得到电压幅值、相角及角频率,相角用于逆变器输出电压从三相静止坐标系到两相旋转坐标系的转换计算,角频率输入虚拟同步机算法进行计算。

[0014] 一种用于虚拟同步机的故障保护和穿越控制系统,包括虚拟同步机稳态控制模块、故障穿越检测和控制模块和电力系统稳定器,所述虚拟同步机稳态控制模块包括有功

调节和无功调节,通过输入侧直流电压和电流计算逆变器输入的有功功率,并以输入功率设定值和额定角频率值为输入,依据转矩方程计算角频率指令值,积分后得到相角指令值;所述故障穿越检测和控制模块接收电网电压数据并基于二阶广义积分的锁相环得到电压幅值、相角和角频率,相角用于逆变器输出电压从三相静止坐标系到两相旋转坐标系的转换计算,角频率输入VSG算法进行计算;当电网电压发生不对称跌落时,提取输出侧三相电压的正序分量,经坐标系转换后,得到q轴分量作为切换信号,该切换信号与输入侧直流电压比较后经过PI调解生成电流参考信号,该电流参考信号与储能系统所在的支路电流比较后经过PI调解输出,经调制器控制储能系统的能量变换,产生虚拟同步机稳态控制模块所需的修正量,在降低逆变器输入有功功率的同时提供无功功率以支撑电网电压恢复;所述电力系统稳定器以功率和转速偏差为输入信号,功率偏差和转速偏差相互补偿,可减小反调;当电网电压跌落深度超出预设值时,提供一定的支撑电压,以维持机端电压稳定。

[0015] 优选的,所述电力系统稳定器包括测量环节、超前滞后环节和隔直环节。

[0016] 有益效果:当电网发生故障时,本发明通过降低有功功率,并配合虚拟同步机配置的储能单元进行稳压控制,平衡逆变器两端功率,限制并网输出电流;电力系统稳定器(PSS)有助于提升抗扰动能力和故障恢复性能,同时根据电压跌落深度以及功率的限制发出一定的无功功率,从而有助于电网恢复;针对不对称跌落故障,提取电网电压正序电压分量,确定输出有功份额,通过储能单元进行稳压控制,保证不过流的同时稳住直流母线电压,使得电压不发生太大的波动,不引起系统性能恶化。

附图说明

[0017] 图1是本发明的总体控制结构框图。

[0018] 图2是本发明虚拟同步机稳态控制结构框图。

[0019] 图3是本发明故障穿越检测及控制结构框图。

[0020] 图4是本发明电力系统稳定器环节框图。

具体实施方式

[0021] 本发明的技术方案大致如下:虚拟同步机稳态控制包括如下步骤:测量逆变器输出侧的三相电压和电流,根据瞬时功率理论计算有功功率,当发生不对称电压跌落故障时,提取电网电压正序分量得到切换信号,同时计算需要输出有功功率和无功功率的修正量,若电网电压跌落深度很大(超出设定值),通过投入电力系统稳定器(PSS)获取一定的支撑电压,最后通过有功-频率方程、无功频率方程、转矩惯性方程和电磁暂态方程进行计算调节,得到输出电压的幅值和相角给定值,然后进行PWM调制。

[0022] 通过上述方案,本发明能够很好地实现低电压故障穿越和孤岛保护,当电网发生电压跌落时,本发明可以平衡逆变器两端功率,限制并网输出电流,当电网电压跌落深度很大时,发出一定的无功功率,从而有助于电网恢复。针对不对称跌落故障进行稳压控制,使得电压不发生太大的波动,不引起系统性能恶化,有助于电网的稳定。

[0023] 下文结合图1至图4详细描述本发明的技术方案和技术原理。

[0024] 如图1所示,本发明主要包括虚拟同步机稳态控制模块、故障穿越检测及控制模块,以及电力系统稳定器。

[0025] 首先由电压和电流传感器检测输入侧直流电压 U_{dc} 和电流 I_{dc} 以及输出侧三相电压 $u_{a,b,c}$ 和三相电流 $i_{a,b,c}$ 。输入侧电压和电流量用于虚拟同步机稳态控制模块,输出侧电压和电流量用于故障穿越检测及控制模块。

[0026] 转到图2,在虚拟同步机稳态控制模块中,主要包括有功调节和无功调节。有功调节产生相角值指定信号,无功调节产生电压幅值信号。

[0027] 其中,根据输入侧直流电压 U_{dc} 和电流 I_{dc} 计算得到逆变器输入的有功功率 P_0 ,无功功率 Q_0 设为0。 P_{set} 和 Q_{set} 为有功功率和无功功率的设定值,当电网正常工作时 $P_0=P_{set}$, $Q_0=Q_{set}$ 。当电网发生不对称跌落故障时, P_0 和 Q_0 分别加入修正量 ΔP_{ref} 和 ΔQ_{ref} ,得到 P_{set} 和 Q_{set} 。 ΔP_{ref} 和 ΔQ_{ref} 由故障穿越检测及控制模块提供。

[0028] 在有功调节部分,功率设定值 P_{set} 和额定角频率值 ω_n 为输入。这些计算依据转矩方程。有功设定值与额定角频率的商为转矩, J 为转动惯量。通过计算得到角频率指令值 ω ,积分过后得到相角指令值 θ 。

[0029] 同步电机的转矩惯性方程为:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e - T_d = T_m - T_e - D(\omega - \omega_0),$$

[0030] 其中, J 为同步发电机的转动惯量; ω 为电气角速度; ω_0 为电网同步角速度; T_m 、 T_e 和 T_d 分别为同步发电机的机械、电磁和阻尼转矩; D 为阻尼系数。

[0031] 无功调节类比于有功调节,输入为无功设定值 Q_{set} 和额定电压 u_n 。所有计算依据类比转矩方程。 K 为电磁特性系数,类比于转动惯量 J 。通过计算得到电压的指令值 M_{ref} 。当电网电压跌落深度很大时,电力系统稳定器PSS提供一定的电压修正量 ΔV ,有助于电网恢复。计算得出的相角指令值、电压指令值以及逆变器的输出侧电流一起输入VSG算法模块进行计算。VSG算法模块根据有功、无功和惯性特性方程进行计算,得出输出电压的幅值,经PWM调制器调制产生PWM驱动信号控制开关管的通断,控制逆变器输出指定电压信号。其中,有功方程、无功方程分别为:

[0032] $P = \langle i, e \rangle$, $Q = \langle i, e_q \rangle$; 式中, P 、 Q 分别为实际产生的有功功率和无功功率, i 为逆变器输出电流, e 虚拟同步机的输出电压, e_q 与 e 幅值相同,相位延迟 $\frac{\pi}{2}$ 角度, $\langle i, e \rangle$ 表示 i 与 e 的内积。

[0033] 同步电机的电磁转矩方程为: $T_e = \frac{1}{\omega - \omega_0} \langle i, e \rangle$,其中, T_e 为同步发电机的电磁转矩, ω 为电气角速度; ω_0 为电网同步角速度, i 为逆变器输出电流, e 虚拟同步机的输出电压, $\langle i, e \rangle$ 表示 i 与 e 的内积。

[0034] 图3所示故障穿越检测及控制模块中,电网电压 $V_{ga,b,c}$ 由电压霍尔测量得到。通过基于二阶广义积分的锁相环可以得到电压幅值 E_g 、相角 θ_g 及角频率 ω_g 。相角用于逆变器输出电压从三相静止坐标系到两相旋转坐标系的转换计算,角频率输入VSG算法进行计算。

[0035] 当电网电压发生不对称跌落时,提取 $u_{a,b,c}$ 的正序分量 $u_{a,b,c}^p$,经过三相静止坐标系到两相旋转坐标系的转换后,得到 q 轴分量作为切换信号 V_{ref} 。切换信号与输入侧直流电压

U_{dc} 比较后经过PI调节生成电流参考信号 I_{ref} ,该信号与储能系统中储能电容所在支路电流 I_{sc} 比较后经过PI调节输出,输出经调制器调制控制储能系统的能量交换,产生虚拟同步机稳态控制模块中所需的修正量 ΔP_{ref} 和 ΔQ_{ref} ,以降低逆变器输入有功功率,同时提供一定的无功功率用以支撑电网电压恢复。

[0036] 图4所示为电力系统稳定器(PSS)环节框图。PSS作为辅助控制环节包括测量环节、超前、滞后环节以及隔直环节。电力系统稳定器以功率偏差 ΔP_e 和转速偏差 $\Delta \omega$ 为输入信号,他们可以相互补偿,减小反调。当电网电压跌落较深时,投入电力系统稳定器,提供一定的支撑电压 ΔV ,对于电网电压跌落的暂态故障具有强的抑制,也能使得机端电压恢复较快,抑制由于故障或扰动而带来的低频震荡,维持机端电压稳定,改善虚拟同步发电机的运行特性,从而改善了并网逆变器运行特性。

[0037] 总之,本发明主要包括虚拟同步机稳态控制模块、故障穿越检测及控制模块、电力系统稳定器,在虚拟同步机使用稳态控制策略上进行改进,在电网电压发生跌落时,通过降低有功功率,并配合虚拟同步机配置的储能单元进行稳压控制,平衡逆变器两端功率,限制并网输出电流,达到故障保护和穿越控制的目的。此外,当电网电压跌落深度很大时,通过投入电力系统稳定器(PSS),有助于提升抗扰动能力和故障恢复性能,同时根据电压跌落深度以及功率的限制发出一定的无功功率,从而有助于电网恢复。

[0038] 同时,针对不对称跌落故障,本发明进行电网电压正序电压分量提取,确定输出有功份额,通过储能单元进行稳压控制,保证不过流的同时稳定直流母线电压,使得电压不发生太大的波动,不引起系统性能恶化,进一步实现故障穿越功能。

[0039] 以上详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于上述实施方式中的具体细节,在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种等同变换,这些等同变换均属于本发明的保护范围。

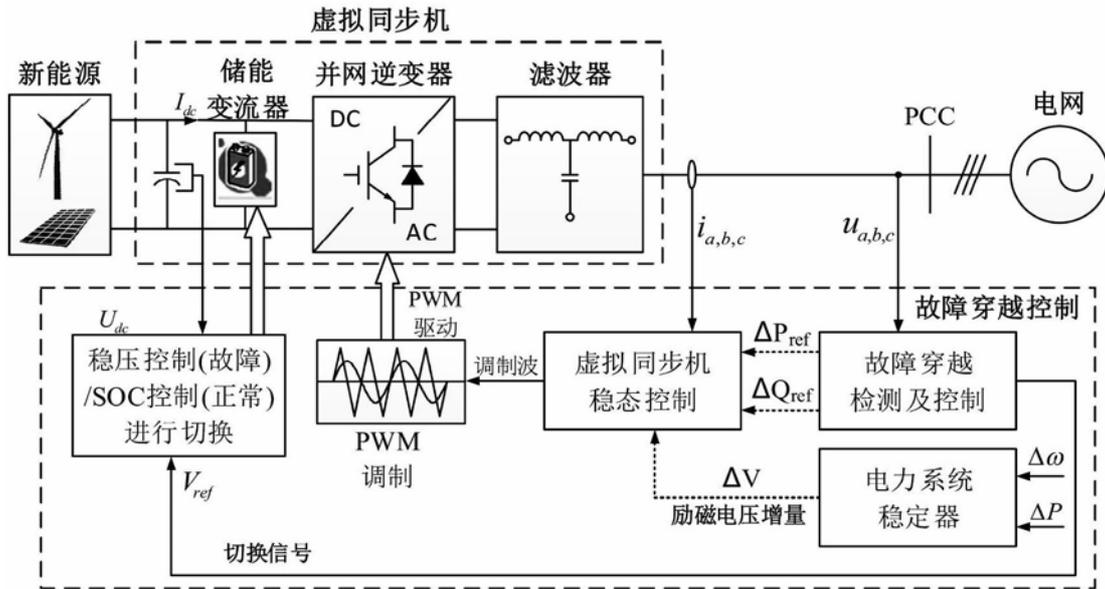


图1

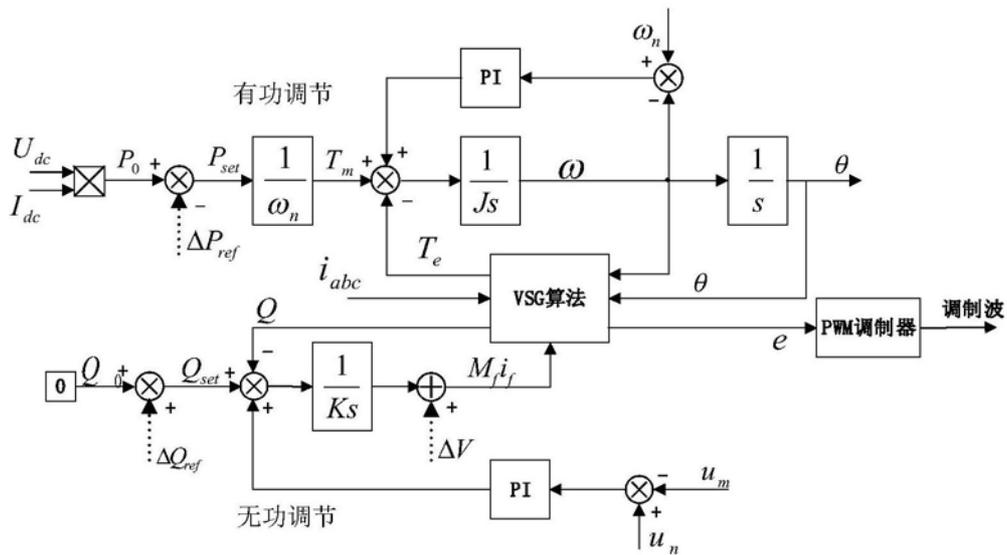


图2

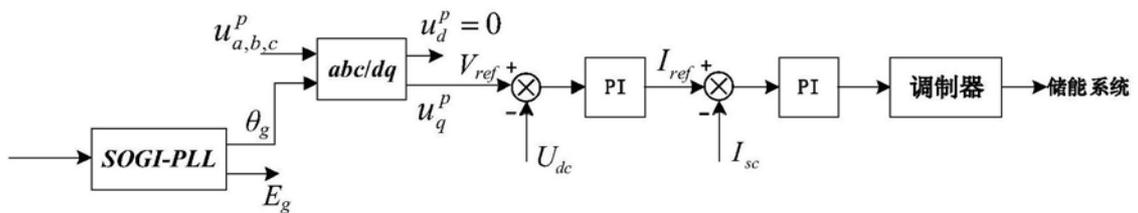


图3

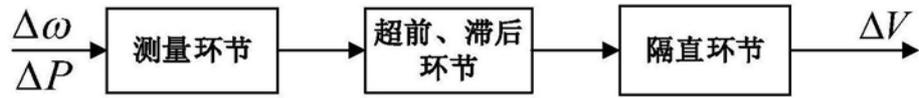


图4