



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114400683 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 26

(21) 申请号 202210068852.9

丁勇

(22) 申请日 2022.01.21

(74) 专利代理机构 沈阳智龙专利事务所(普通合伙) 21115

(71) 申请人 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院

代理人 宋铁军

地址 110006 辽宁省沈阳市和平区四平街39号

(51) Int.Cl.

H02J 3/24 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/40 (2006.01)

申请人 沈阳工业大学 大连理工大学 大连融科储能技术发展有限公司 沈阳农业大学 国家电网有限公司 南京南瑞继保工程技术有限公司

(72) 发明人 闫振宏 朱钰 卢盛阳 孟令林 王会斌 王海鑫 杨俊友 王同 张武洋 蔡玉朋 于同伟 楚天丰 卢岩 宋保泉 李鹏里 周佳旭 蒋顺平 刘东奇 刘宗浩 张蓉 张莉 王宁 王慧 王俊 冯彪

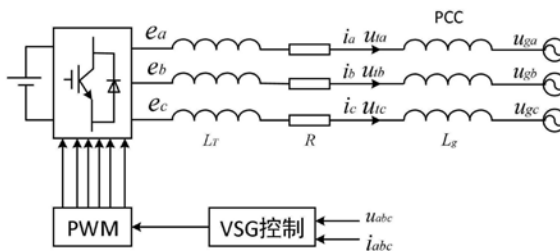
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法

(57) 摘要

本发明公开了适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法,该方法为以下步骤,步骤一:构建风电并网结构;步骤二:搭建虚拟同步发电机控制结构,虚拟同步发电机控制包括模拟转子运动方程模块、虚拟励磁调节器和附加阻尼控制器;步骤三:附加阻尼控制器以模拟转子运动方程模块中的虚拟同步发电机角速度与电网角速度为输入,经过增益、滤波、补偿环节输出反馈到虚拟励磁调节器模块,作为励磁附加信号,最后在系统中引入反馈信号 T_{ADC} ;步骤四:通过自适应改变附加阻尼控制器的参数调整输出电压,进而影响电力系统的阻尼特性,从而更好的抑制低频振荡。附加阻尼控制环节并不会影响原系统的稳定运行状态,无需另加复位环节。



1. 适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法,其特征在于:该方法为以下步骤

步骤一:构建风电并网结构; e_{abc} 等效为同步发电机的虚拟内电势,为逆变器中点的基波电压分量; L_T 为滤波电感,用于抑制逆变器开关纹波, R 为等效电阻,滤波电感与等效电阻等效为同步发电机的定子电感和内阻; i_{abc} 和 u_{tabc} 为公共耦合点(PCC)的输出电流和电压,分别对应同步发电机的输出电流和端电压; L_g 为传输线路的等效阻抗,呈感性; u_{gabc} 为电网电压;整个过程是风力发电通过逆变器与滤波电感 L_T 和等效电阻 R 连接,最后经传输线路的等效阻抗 L_g 与电网 u_{gabc} 连接,并网的控制过程采用虚拟同步发电机VSG控制;

步骤二:搭建虚拟同步发电机控制结构,虚拟同步发电机控制包括模拟转子运动方程模块、虚拟励磁调节器和附加阻尼控制器;模拟转子运动方程模块和虚拟励磁调节器都是基于传统同步发电机控制建立的;模拟转子运动方程模块为有功功率控制,模拟传统同步发电机转动惯量与阻尼特性;虚拟励磁调节器为无功功率控制,模拟传统同步发电机一次调压特性;附加阻尼控制器以模拟转子运动方程模块中的虚拟同步发电机角速度与电网角速度为输入,将模拟转子运动方程模块中的信号引入到虚拟励磁调节器中;

步骤三:附加阻尼控制器以模拟转子运动方程模块中的虚拟同步发电机角速度与电网角速度为输入,经过增益,滤波、补偿环节输出反馈到虚拟励磁调节器模块,作为励磁附加信号,最后在系统中引入反馈信号 T_{ADC} ;

步骤四:通过自适应改变附加阻尼控制器的参数调整反馈信号 T_{ADC} ,从而调整输出电压,进而影响电力系统的阻尼特性,从而更好的抑制低频振荡。

2. 根据权利要求1所述的适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法,其特征在于:所述虚拟同步发电机的机械方程可表示为

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e - T_d = T_m - T_e - D(\omega - \omega_0) \quad (1)$$

式中, J 为同步发电机的转动惯量, D 为阻尼系数, ω 为虚拟同步发电机的角速度, ω_0 为电网同步角速度, T_m 为同步发电机的机械转矩, T_e 为同步发电机的电磁转矩, T_d 为同步发电机的阻尼转矩;

虚拟同步发电机的虚拟励磁调节器表示为:

$$K_q \frac{dE}{dt} = K_u(U_{ref} - U_m) + Q_{ref} - Q_e \quad (2)$$

式中, Q_e 为输出的无功功率, Q_{ref} 为无功功率的参考值, Q_{ref} 可以根据需要调节, U_{ref} 为虚拟励磁调节器输出的电压参考值, U_m 为并网点电压有效值, K_q 为无功调节系数, K_u 为电压调节系数, E 为虚拟励磁电动势的幅值。

3. 根据权利要求1所述的适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法,其特征在于:所述的附加阻尼控制器包括三个环节

1) 附加阻尼控制器的增益 K 调节附加阻尼的幅值;2) 滤波环节确保在电力系统稳定工作时,附加阻尼控制器不会对VSG正常工作产生影响;3) 超前/滞后环节补偿是调整控制、测量引起的相位差,确保VSG的输出能够为电网提供正阻尼转矩,从而抑制电网低频振荡;附加阻尼控制器的输入信号选择为电网角速度和VSG角速度之差;

附加阻尼后的VSG的无功控制回路的数学模型可表示为:

$$K_q \frac{dE}{dt} = K_u(U_{ref} - U_m) + Q_{ref} - Q_e + T_{ADC} \quad (3)$$

式中, T_{ADC} 为附加阻尼控制器的反馈信号;

$$T_{ADC} = G_{ADC}(\omega_0 - \omega) \quad (4)$$

附加阻尼控制器的传递函数:

$$G_{ADC}(s) = K \times \frac{T_\omega}{1 + sT_\omega} \times \frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \quad (5)$$

式中, K 为附加阻尼控制器补偿增益, T 为时间常数;

为了更好的阻尼不同振荡模式下的低频振荡, 考虑不同干扰情况下产生不同振荡模式, 需要对 (5) 中的补偿增益 K 进行自适应调整, 从而更好的提高电力系统的阻尼, 更有效的抑制电力系统低频振荡;

对于补偿增益 K 可以表示为:

$$K = K_S + \Delta K_i \quad (6)$$

式中, K_S 为初始的固定值为 20, ΔK_i 为第 i 种振荡模式增益调整量, 其值根据不同振荡模式而不同, ΔK_i 在 -5 到 5 之间, ΔK_i 的大小与电网同步角速度和虚拟同步发电机角速度有关。

适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子逆变器技术/电力系统低频振荡技术领域,具体为一种适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法。

背景技术

[0002] 随着化石能源大量燃烧带来的能源问题和环境问题更加突出,风能在电力系统中所占比重的越来越高,因为风能的随机性和间歇性的特点,风能很难控制其自身的有功出力,风电并网一直是电力系统领域的研究热点。虚拟同步发电机(virtual synchronous generators, VSG)控制基于虚拟同步机制可以增大电力系统等效转动惯量,提高电网稳定性。所以,风电并网广泛采用虚拟同步发电机技术。但是由于虚拟同步发电机模拟传统电机的机电暂态特性的同时,传统电机的动态稳定性问题也被引入到虚拟同步发电机中。VSG控制参数对系统阻尼比影响不大。而且这些参数通常在正常运行条件下不再变化(或仅在有限的范围内变化)。因此,VSG本身很难为电力系统提供额外的阻尼来抑制低频振荡。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供了一种适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法,基于虚拟同步发电机技术,在功率控制回路中附加阻尼控制器,以实现为系统提供正阻尼,从而达到有效抑制低频振荡的目的。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法,该方法为以下步骤

[0005] 步骤一:构建风电并网结构; e_{abc} 等效为同步发电机的虚拟内电势,为逆变器中点的基波电压分量; L_T 为滤波电感,用于抑制逆变器开关纹波, R 为等效电阻,滤波电感与等效电阻等效为同步发电机的定子电感和内阻; i_{abc} 和 u_{tabc} 为公共耦合点(PCC)的输出电流和电压,分别对应同步发电机的输出电流和端电压; L_g 为传输线路的等效阻抗,呈感性; u_{gabc} 为电网电压;整个过程是风力发电通过逆变器与滤波电感 L_T 和等效电阻 R 连接,最后经传输线路的等效阻抗 L_g 与电网 u_{gabc} 连接,并网的控制过程采用虚拟同步发电机VSG控制;

[0006] 步骤二:搭建虚拟同步发电机控制结构,虚拟同步发电机控制包括模拟转子运动方程模块、虚拟励磁调节器和附加阻尼控制器;模拟转子运动方程模块和虚拟励磁调节器都是基于传统同步发电机控制建立的;模拟转子运动方程模块为有功功率控制,模拟传统同步发电机转动惯量与阻尼特性;虚拟励磁调节器为无功功率控制,模拟传统同步发电机一次调压特性;附加阻尼控制器以模拟转子运动方程模块中的虚拟同步发电机角速度与电网角速度为输入,将模拟转子运动方程模块中的信号引入到虚拟励磁调节器中;

[0007] 步骤三:附加阻尼控制器以模拟转子运动方程模块中的虚拟同步发电机角速度与电网角速度为输入,经过增益,滤波、补偿环节输出反馈到虚拟励磁调节器模块,作为励磁附加信号,最后在系统中引入反馈信号 T_{ADC} ;

[0008] 步骤四:通过自适应改变附加阻尼控制器的参数调整反馈信号 T_{ADC} ,从而调整输出

电压,进而影响电力系统的阻尼特性,从而更好的抑制低频振荡。

[0009] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0010] 附加阻尼控制环节并不会影响原系统的稳定运行状态,仅在动态过程中发挥作用,无需另加复位环节。

[0011] 附加阻尼控制器的加入可以补偿阻尼转矩,改善实际电力系统等效阻尼,改善系统动态稳定性,抑制电力系统低频振荡。

[0012] 附加阻尼控制器参数可以根据输入信号进行自适应调整,可以更有效的抑制电力系统低频振荡,在抑制低频振荡的同时不会引起新的振荡。

[0013] 在VSG的功率回路中引入附加控制量即虚拟同步发电机的角速度信号和电网角速度信号,使VSG为系统提供正阻尼转矩,此外使控制器参数可以根据电网不同运行状态自适应调整,从而更好的抑制电力系统低频振荡。

附图说明

[0014] 图1为本发明的风电并网结构图。

[0015] 图2为本发明的附加阻尼控制的VSG有功无功结构图。

[0016] 图3为本发明的附加阻尼控制器控制框图。

具体实施方式

[0017] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0018] 请参阅图1-3,本发明提供一种技术方案:适用于风电并网低频振荡的附加阻尼抑制方法,该方法为以下步骤

[0019] 步骤一:构建风电并网结构。风电并网结构图的构建是依据传统同步发电机并网构建的。其中如图1所示: e_{abc} 等效为同步发电机的虚拟内电势,为逆变器中点的基波电压分量; L_f 为滤波电感,主要用于抑制逆变器开关纹波, R 为等效电阻,滤波电感与等效电阻可以等效为同步发电机的定子电感和内阻; i_{abc} 和 u_{tabc} 分别为公共耦合点(PCC)的输出电流和电压,分别对应同步发电机的输出电流和端电压; L_g 为传输线路的等效阻抗,主要呈感性; u_{gabc} 为电网电压。整个过程是风力发电通过逆变器与滤波电感 L_f 和等效电阻 R 连接,最后经传输线路的等效阻抗 L_g 与电网 u_{gabc} 连接,并网的控制过程采用虚拟同步发电机VSG控制。

[0020] 步骤二:搭建虚拟同步发电机控制结构,虚拟同步发电机控制包括模拟转子运动方程模块、虚拟励磁调节器和附加阻尼控制器。模拟转子运动方程模块和虚拟励磁调节器都是基于传统同步发电机控制建立的。模拟转子运动方程模块是有功功率控制,模拟传统同步发电机转动惯量与阻尼特性。虚拟励磁调节器是无功功率控制,模拟传统同步发电机一次调压特性。附加阻尼控制器以模拟转子运动方程模块中的虚拟同步发电机角速度与电网角速度为输入,将模拟转子运动方程模块中的信号引入到虚拟励磁调节器中。

[0021] 步骤三:附加阻尼控制器以模拟转子运动方程模块中的虚拟同步发电机角速度与电网角速度为输入,经过增益,滤波、补偿环节输出反馈到虚拟励磁调节器模块,作为励磁

附加信号,最后在系统中引入反馈信号 T_{ADC} 。

[0022] 步骤四:通过自适应改变附加阻尼控制器的参数调整反馈信号 T_{ADC} ,从而调整输出电压,进而影响电力系统的阻尼特性,从而更好的抑制低频振荡,具体过程参见公式(3-6)。

[0023] 1.虚拟同步发电机的机械方程可表示为:

$$[0024] \quad J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e - T_d = T_m - T_e - D(\omega - \omega_0) \quad (1)$$

[0025] 式中, J 为同步发电机的转动惯量, D 为阻尼系数, ω 为虚拟同步发电机的角速度, ω_0 为电网同步角速度, T_m 为同步发电机的机械转矩, T_e 为同步发电机的电磁转矩, T_d 为同步发电机的阻尼转矩。

[0026] 2.虚拟同步发电机的虚拟励磁调节器可表示为:

$$[0027] \quad K_q \frac{dE}{dt} = K_u(U_{ref} - U_m) + Q_{ref} - Q_e \quad (2)$$

[0028] 式中, Q_e 为输出的无功功率, Q_{ref} 为无功功率参考值, Q_{ref} 可以根据需要调节, U_{ref} 为虚拟励磁调节器输出的电压参考值, U_m 为并网点电压有效值, K_q 为无功调节系数, K_u 为电压调节系数, E 为虚拟励磁电动势的幅值。

[0029] 3.附加阻尼控制器包括三个环节:1)附加阻尼控制器的增益 K 可以调节附加阻尼的幅值;2)滤波环节可以确保在电力系统稳定工作时,附加阻尼控制器不会对VSG正常工作产生影响;3)超前/滞后环节补偿是调整控制、测量引起的相位差,确保VSG的输出能够为电网提供正阻尼转矩,从而抑制电网低频振荡。附加阻尼控制器的输入信号选择为电网角速度和VSG角速度之差。

[0030] 风电并网附加阻尼控制后的VSG的有功无功框图如图2所示,经过附加阻尼控制后的无功控制回路的数学模型可表示为:

$$[0031] \quad K_q \frac{dE}{dt} = K_u(U_{ref} - U_m) + Q_{ref} - Q_e + T_{ADC} \quad (3)$$

[0032] 式中, T_{ADC} 为附加阻尼控制器的反馈信号。

$$[0033] \quad T_{ADC} = G_{ADC}(\omega_0 - \omega) \quad (4)$$

[0034] 附加阻尼控制器控制框图如图3所示,附加阻尼控制器的传递函数可表示为:

$$[0035] \quad G_{ADC}(s) = K \times \frac{T_\omega}{1 + sT_\omega} \times \frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \quad (5)$$

[0036] 式中, K 为附加阻尼控制器补偿增益, T 为时间常数。

[0037] 为了更好的阻尼不同振荡模式下的低频振荡,考虑不同干扰情况下产生不同振荡模态,需要对(5)中的补偿增益 K 进行自适应调整,从而更好的提高电力系统的阻尼,更有效的抑制电力系统低频振荡。

[0038] 对于补偿增益 K 可以表示为:

$$[0039] \quad K = K_S + \Delta K_i \quad (6)$$

[0040] 式中: K_S 为初始的固定值为20, ΔK_i 为第 i 种振荡模态增益调整量,其值根据不同振荡模态而不同, ΔK_i 在-5到5之间, ΔK_i 的大小与电网同步角速度和虚拟同步发电机角速度有关。

[0041] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以

理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

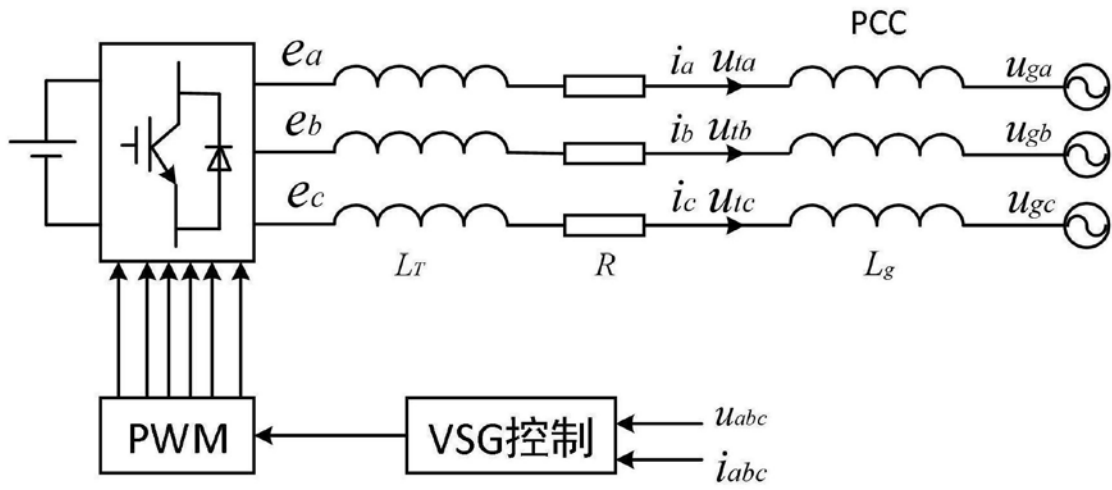


图1

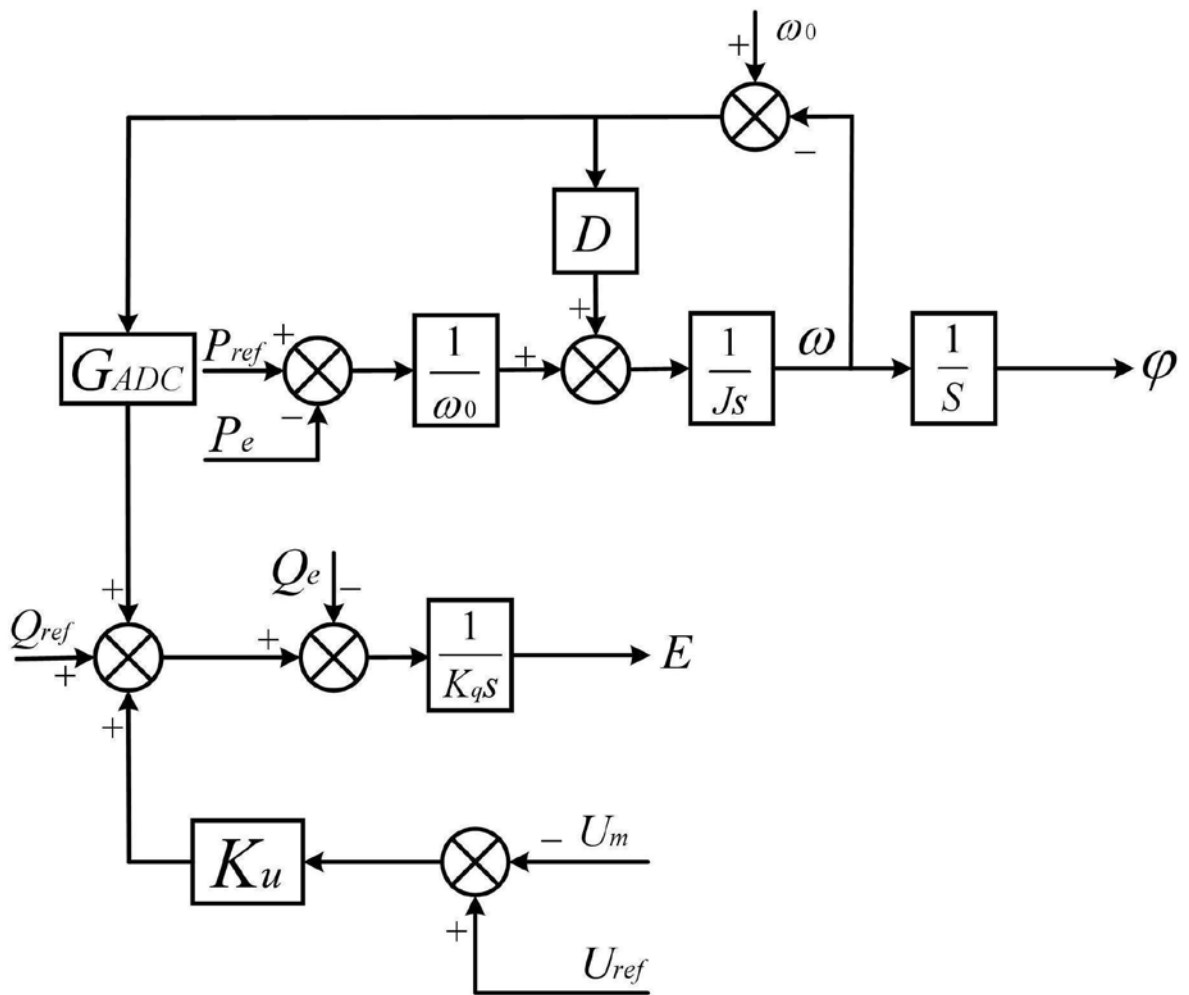


图2

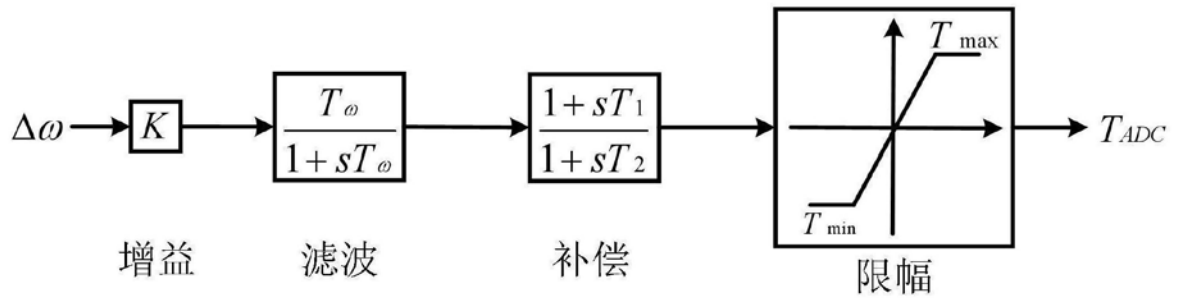


图3