

柴储独立微电网及其虚拟动态同步控制方法、系统

交叉引用

5 本申请要求 2021 年 11 月 9 日提交的中国专利申请号 202111319301.7 的权益，所述申请以引用的方式整体并入本申请。

技术领域

本发明涉及海岛、港口、码头、船舶供电及控制领域，特别是一种柴储独立微电网及其虚拟动态同步控制方法、系统。

10 背景技术

柴-储独立微电网系统供电规模小、能量支撑能力弱，需要柴油机和储能变换器并联同步出力才能提升电压支撑能力，用以满足国防与民用大功率冲击特殊负荷的供电需求。然而由于柴油机组具有惯性，采用常规下垂控制的储能变换器与柴油机并联供电时会引起系统动态过程中功率分配不均衡，容易造成电力电子装备过流。因而，为了匹配
15 该类特殊负荷供电需求，储能变换器必须模拟柴油发电机组的惯性与阻尼特性，工作于 VSG 状态，从而实现多通道同步供电，类似于多个同步机并联系统。然而当 VSG 在模拟柴油发电机惯性时，不可避免地引入了同步电机转子的振荡特征，因而在柴油机与多台具有虚拟惯性的分布式电源并联系统中，负载突变时往往会引起系统有功功率振荡，目前现有的振荡抑制技术虽然可以抑制多个 VSG 并联时有功功率振荡，但大多通过在
20 动态过程中引入虚拟惯量使其远大于自身的虚拟惯性，从而使得各台等效惯性系数近似一致，确保暂态过程一致来避免系统功率振荡。VSG 都工作于虚拟同步控制模式，虚拟惯量、阻尼系数等参数均是已知且可调节的变量，而且控制系统和参数均可以修改，但并不适用于柴储独立微电网系统，一方面由于柴油机一经研制，柴油机惯性系数、输出阻抗、阻尼系数等参数以及控制系统均是无法更改的，另一方面由于柴油机的惯量黑箱
25 化，很难实现并联系统的惯量匹配，尤其是在高能脉冲负载的运行工况下，系统功率变化频繁，工作于电压源模式的储能单元易与柴油机发电机组发生持续功率振荡，引起变换器过流，严重时甚至损坏变换器。

虽然发明专利申请 CN112271723A 提供的高过载能量变换电源动态同步转矩控制也可解决高能脉冲负荷引发的功率振荡问题，但该发明采用柴油发电机角速度与变换器
30 角速度差的方式来计算动态同步转矩，且动态转矩系数无法自适应调节，动态调节速度

相对较慢,对于周期较短的脉冲性负荷,容易出现柴油发电机和储能变换器暂态输出功率不均衡的情况,从而引发二者输出功率低频振荡问题。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是,针对现有技术不足,提供一种柴储独立微电网及其虚拟动态同步控制方法、系统,在柴油机惯性参数黑箱化的情况下自适应动态调节储能变换器的虚拟转矩。

为解决上述技术问题,本发明所采用的技术方案是:一种柴储独立微电网动态同步转矩阻尼系数计算方法,柴储独立微电网包括柴油发电机和储能电池;所述柴油发电机接供电母线;所述储能电池通过储能变换器接所述供电母线;所述供电母线接常规负荷和脉冲性负荷;采用下式计算动态同步转矩阻尼系数 H_{damp} :

$$H_{damp} = \begin{cases} H_{damp0} & |a_{g2} - a_{g1}| \leq C \\ H_{damp0} + k \frac{|\omega_2 - \omega_1|}{\omega_2 - \omega_1} (a_{g2} - a_{g1}) & |a_{g2} - a_{g1}| > C \end{cases};$$

其中, H_{damp0} 表示动态同步转矩阻尼系数的稳态值, k 为自适应调节因子, C 为柴油发电机角加速度 a_{g1} 与储能变换器角加速度 a_{g2} 之差的阈值; ω_1 , ω_2 分别为柴油发电机电压角频率和储能变换器电压角频率。

采用本发明动态同步转矩阻尼系数计算方法,可根据柴油发电机组和储能变换器角加速度大小动态调节同步转矩系数,大大提高了负荷突变情况下的动态响应速度。

柴油发电机角加速度 a_{g1} 与储能变换器角加速度 a_{g2} 之差的阈值 C 的计算公式为:

$$C = |a_{g1_0} - a_{g2_0}| = \frac{5\%P_{load_n}}{\omega_n(D_{p1} + D_{p2})} \left(\frac{D_{p1}}{J_1} - \frac{D_{p2}}{J_2} \right) = < \frac{D_{p2}}{2J} \cdot \frac{5\%P_{load_n}}{\omega_n(D_{p1} + D_{p2})};$$

其中, P_{load_n} 为柴储独立微电网额定负载功率, a_{g1_0} 为柴油发电机角加速度初始值, a_{g2_0} 为储能变换器角加速度初始值, J_1 为柴油发电机惯性系数, J_2 为储能变换器虚拟惯性系数, D_{p1} 为柴油发电机阻尼系数, D_{p2} 为储能变换器阻尼系数, ω_n 为储能变换器额定输出角频率。

采用本发明提供的阈值计算方法,可防止柴油发电机和储能变换器角加速度因干扰,稳态时微小变动引起的动态同步转矩系数的来回跳变,提高系统的抗干扰能力和稳定性。

一种柴储独立微电网虚拟动态同步控制方法,柴储独立微电网包括柴油发电机和储能电池;所述柴油发电机接供电母线;所述储能电池通过储能变换器接所述供电母线;所述供电母线接常规负荷和脉冲性负荷;包括以下步骤:

S1、计算储能变换器控制角频率指令值 ω_2 : $\frac{P_N}{\omega_n} - \frac{P_{e2}}{\omega_n} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + D_{p2}(\omega_n - \omega_2) + T_{H2}$;

$T_{H2} = \int H_{damp}(a_{v2} - a_{g1})$; 其中, P_N 为储能变换器额定输出功率, ω_n 为储能变换器额定输出角频率, J_2 为储能变换器虚拟惯性系数, D_{p2} 为储能变换器阻尼系数; T_{H2} 为储能变换器虚拟动态同步转矩, a_{g1} 为柴油发电机角加速度, a_{v2} 为储能变换器角加速度; P_{e2} 为储能变换器输出的有功功率; 动态同步转矩阻尼系数 H_{damp} 根据上述计算方法获取;

S2、利用下式计算储能变换器输出 a 相电压控制信号 U_{va}^* : $U_{va}^* = U_{p2} \sin \theta_2^*$; $\theta_2^* = \theta_2 + \Delta\varphi_2$;

$\theta_2 = \int \omega_2 dt$; θ_2 为储能变换器输出电压控制相角指令值; U_{p2} 为储能变换器的输出电压指令峰值; $\Delta\varphi_2$ 为储能变换器预同步控制相角补偿值; 储能变换器的 b, c 相电压控制信号分别滞后 120° 和 240° ;

10 S3、将电压控制信号 U_m^* 通过 PWM 调制, 得到储能变换器中开关管的驱动信号; i 分别表示 a, b, c 三相。

本发明在储能变换器控制系统中引入自适应动态同步转矩, 根据柴油发电机组和储能变换器的角加速度大小调节动态转矩, 可快速缩小柴油发电机和储能变换器角加速度大小和角速度大小, 抑制冲击性负荷引发的系统功率振荡, 实现了两者的同步供电。同时采用自适应动态同步转矩系数进一步提升了系统的功率振荡抑制的动态响应速度。

储能变换器预同步控制相角补偿值 $\Delta\varphi_2$ 的计算公式为:

$$\Delta\varphi_2 = SW \cdot \frac{k_c}{s} (\varphi_2 - \varphi_1);$$

其中, k_c 为积分控制参数, SW 为切换开关, φ_1, φ_2 分别表示柴油发电机电压相角和储能变换器电压相角, 柴油发电机和储能变换器并联前 SW 的值为 1, 柴油发电机和储能变换器并联后 SW 值为 0。

采用本发明的预同步相角补偿值计算方法, 在柴油发电机和储能变换器并联之前可快速实现三相电压的同频、同幅、同相, 极大地减小了柴油发电机和储能变换器并联的电流冲击。

柴油发电机角加速度 a_{g1} 、储能变换器角加速度 a_{g2} 的计算公式为:

$$\begin{cases} a_{g1} = \frac{\omega_1(n+1) - \omega_1(n)}{T_s} \\ a_{g2} = \frac{T_{n2} - T_{D2} - T_{e2} - T_{H2}}{J_2} = \frac{T_2}{J_2} \end{cases};$$

其中, $\omega_1(n+1), \omega_1(n)$ 分别为柴油发电机组的第 $n+1$ 次和第 n 次角速度采样值, T_s

为柴油发电机组角速度采样周期, T_{n2} 为储能变换器额定转矩, T_{D2} 为储能变换器的阻尼转矩, T_{e2} 为储能变换器的电磁转矩, T_2 为储能变换器的合转矩, J_2 为储能变换器虚拟惯性系数。

采用上述角加速度计算方式, 可给虚拟动态同步转矩计算和虚拟动态同步转矩系数
5 计算提供参考值, 在两个采样周期内实现角加速度的计算, 极大地提高了计算效率。

作为一个发明构思, 本发明还提供了一种柴储独立微电网供电控制方法, 该方法包括:

柴油发电机和储能变换并联前, 通过补偿预同步相角, 使得柴油发电机和储能变换器在并联前保持相角一致; 其中, 预同步相角补偿值为: $\Delta\varphi_2 = SW \cdot \frac{k_c}{s} (\varphi_2 - \varphi_1)$; k_c 为积分
10 控制参数, SW 为切换开关, 柴油发电机和储能变换器并联前 SW 的值为 1, 柴油发电机和储能变换器并联后 SW 值为 0;

柴油发电机和储能变换并联后, 采用本发明所述的虚拟动态同步控制方法控制所述储能变换器。

本发明引入了补偿同步相角, 使得柴油发电机和储能变换器在并联前保持同频、同
15 相、同幅、减少了并联过程中的电流冲击, 实现了柴油发电机和储能变换器的同步供电。

作为一个发明构思, 本发明还提供了一种柴储独立微电网虚拟动态同步控制系统, 其包括计算机设备; 所述计算机设备被配置或编程为用于执行本发明所述方法的步骤。

作为一个发明构思, 本发明还提供了一种柴储独立微电网, 其包括本发明所述的虚拟动态同步控制系统。

20 与现有技术相比, 本发明所具有的有益效果为: 本发明可以在柴油发电机惯性参数黑箱化的情况下自适应动态调节储能变换器的虚拟转矩, 可根据柴油发电机和储能变换器的加速度大小, 修正动态同步阻尼系数, 自适应储能变换器角加速大小, 从而提升柴油发电机和储能变换器的动态性能, 减少系统功率振荡幅值。本发明通过计算柴油发电机和储能变换器角加速度之差, 通过判断二者(柴油发电机和储能变换器)角加速度与
25 角速度的大小关系, 自适应调节储能变换器动态同步转矩系数, 从而直接动态调节柴油发电机和储能变换器角加速度大小, 可更快的实现柴油发电机和储能变换器的动态调节, 提升柴储独立微电网系统应对脉冲性负荷的快速响应能力, 实现了柴油发电机和储能变换器的同步供电。

附图说明

图 1 为本发明实施例 1 柴储独立微电网系统；

图 2 为本发明实施例 2 柴储独立微电网能量同步控制方法；

图 3 (a) 为发明专利申请 CN112271723A 中动态同步转矩控制下的加速面积，图 3 (b) 为自适应动态同步转矩控制下的加速面积；

5 图 4 (a) 为发明专利申请 CN112271723A 动态同步转矩控制下的系统输出功率，图 4 (b) 为自适应虚拟动态同步控制下的系统输出功率；

图 5 (a) 为采用传统同步方法下的柴油发电机和储能变换器输出电流，图 5 (b) 采用本发明预同步控制方法的柴油发电机和储能变换器输出电流。

具体实施方式

10 如图 1 所示，本发明实施例 1 柴储独立微电网系统，柴油发电机和储能变换器并联给常规负荷和脉冲性负荷供电（脉冲性负荷指的是输出功率不固定，输出功率呈典型的脉冲性的负荷，如相控雷达等负荷；常规负荷指的是一般的电阻，电感，非线性等负荷，其功率比较平稳），并联前储能变换器采用预同步控制，并联后采用虚拟动态同步控制方法，一方面可在并联时通过预同步控制减少并联过程中的冲击，另一方面在并联运行
15 时，可在柴油发电机惯性参数和控制参数黑箱化的情况下动态调节储能变换器的虚拟转矩，缩小柴油机和储能变换器的角加速度差距，抑制冲击性负荷引发的系统功率振荡，实现二者同步供电。

如图 1 所示，柴油发电机包括柴油机与同步发电机，柴油机与同步发电机串联。 i_1 ， i_2 分别为并网时柴油发电机和储能变换器输出电流， u_1, u_2 分别为柴油发电机和储能变换器输出电压， Z_{line1} 、 Z_{line2} 为柴油发电机和储能变换器线路阻抗， X_{d1} 、 X_{d2} 分别为柴油发电机储能变换器输出感抗。
20

如图 2 所示，本发明实施例 2 能量同步控制方法，主要包括预同步控制和虚拟动态同步控制，一方面通过补偿预同步相角，使得柴油发电机和储能变换器在并联前保持相角一致，减少系统并联过程中的冲击；另一方面，在虚拟同步控制有功控制环节引入自适应动态同步转矩，通过动态自适应调节储能变换器角频率加速度，缩小柴油发电机和储能变换器角加速度差距，使得两者输出电压频率在动态过程中基本一致，从而抑制系统功率振荡。
25

引入的预同步相角补偿值为：

$$\Delta\varphi_2 = SW \cdot \frac{k_c}{s} (\varphi_2 - \varphi_1)$$

其中, k_c 为积分控制参数, SW 为切换开关, 在并联前 SW 的值为 1, 在并联后 SW 值为 0。

引入的动态同步转矩表达式为:

$$T_{H2} = \int H_{damp} (a_{g2} - a_{g1})$$

5 其中自适应动态同步转矩阻尼系数 H_{damp} 如下式所示:

$$H_{damp} = \begin{cases} H_{damp0} & (|a_{g2} - a_{g1}| \leq C) \\ H_{damp0} + k \frac{|\omega_2 - \omega_1|}{\omega_2 - \omega_1} (a_{g2} - a_{g1}) & (|a_{g2} - a_{g1}| > C) \end{cases}$$

其中, H_{damp0} 表示其中 H_{damp} 为动态同步转矩阻尼系数的稳态值, k 为自适应调节因子, C 为柴油发电机角加速度 a_{g1} 与 a_{g2} 储能变换器角加速度差的门槛值, 其表达式如下:

$$C = |a_{g1_0} - a_{g2_0}| = \frac{5\%P_{load_n}}{\omega_n(D_{p1} + D_{p2})} \left(\frac{D_{p1}}{J_1} - \frac{D_{p2}}{J_2} \right) = < \frac{D_{p2}}{2J_2} \cdot \frac{5\%P_{load_n}}{\omega_n(D_{p1} + D_{p2})}$$

10 其中, P_{load_n} 为柴储独立微电网系统额定负载功率, a_{g1_0} 为柴油发电机角加速度初始值, a_{v2_0} 为储能变换器角加速度初始值, J_1 为柴油发电机惯性系数, D_{p1} 为柴油发电机阻尼系数。

柴油发电机角加速度 a_{g1} 和储能变换器角加速度 a_{g2} 可根据下式获取:

$$\begin{cases} a_{g1} = \frac{\omega_1(n+1) - \omega_1(n)}{T_s} \\ a_{g2} = \frac{T_{n2} - T_{D2} - T_{e2} - T_{H2}}{J_2} = \frac{T_2}{J_2} \end{cases}$$

15 引入自适应动态同步转矩后储能变换器有功功率控制表达式为:

$$\frac{P_N}{\omega_n} - \frac{P_{e2}}{\omega_n} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + D_{p2}(\omega_n - \omega_2) + T_{H2}$$

储能变换器无功功率控制表达式如下:

$$Q_n - Q_{e2} = D_{q2}(U_{pn} - U_p)$$

20 如图 3 (a) 和 3 (b) 所示, 本发明一实施例负载突变时柴油发电机和储能变换器角加速度变化曲线, 其中图 3 (a) 为 CN112271723A 发明中动态同步转矩控制下的加速面积, 图 3 (b) 为自适应动态同步转矩控制下的加速面积。

如图 3 (a)所示, 动态同步转矩控制下, 可将系统分为 $t_0 \sim t_1$ 和 $t_1 \sim t_2$ 两个阶段进行分析, t_0 时刻负载突然增加, 系统角加速度开始变化; 至 t_1 时刻, 柴油发电机组和储能变换器角加速度相等; t_2 时刻, 柴油发电机与储能变换器角频率相等, 具体分析如下:

25 (i) $t_0 \sim t_1$: 由于储能变换器惯性小, 负载投入后, 储能变换器角加速度绝对值 $|a_{v2}|$

大于柴油发电机角加速度绝对值 $|a_{g1}|$ ，二者角频率均从额定值开始减速，由于下垂特性（阻尼转矩）的调节作用，二者角加速度均不断增大，直至 t_1 时刻，二者角加速度相等，角频率差达到最大。但由于储能变换器角频率下降得更快，因而阻尼转矩 T_{D2} 调节力度更大，因此储能变换器角加速度变化更快。

- 5 (ii) 在 $t_1 \sim t_2$ 时刻，储能变换器角加速度超越柴油发电机角加速度，二者角频率差距开始缩小，直至 t_2 时刻，二者角频率相等。此时系统功率振荡达到最大。

如图 3(b)所示，采用本发明动态同步控制方法，加速度变化同样也分为 $t_0 \sim t_1$ 和 $t_1 \sim t_2$ 两个阶段来进行分析，具体如下：

- (i) $t_0 \sim t_1$ ：柴油发电机的角加速度 a_{g1} 大于储能变换器角加速度 a_{v2} ，引入的动态转矩 T_{H2} 为负，储能变换器角加速度将进一步增大，从而缩小储能变换器与柴油发电机组角加速度大小，减少加速面积，抑制功率振荡。
- 10

(ii) $t_1 \sim t_2$ ：由于此时柴油发电机角频率 ω_1 仍然小于储能变换器角频率 ω_2 ，引入的动态转矩 T_{H2} 仍然为负，将使得柴油发电机组与储能变换器角频率进一步减少（即加速面积），从而抑制系统功率振荡。

- 15 4 (a) 和图 4 (b) 为本发明实例脉冲性负荷下柴油发电机和储能变换器输出功率仿真，其中图 4 (a) 为发明专利申请 CN112271723A 动态同步转矩控制下的系统输出功率，图 4 (b) 为自适应虚拟动态同步控制下的系统输出功率。4 (a) 和图 4 (b) 中脉冲性负荷脉宽 200ms，负载峰值总功率为 2 倍额定柴油发电机功率， P_1 为柴油发电机输出功率， P_2 为储能变换器输出功率。显然，采用发明专利申请 CN112271723A 的动态同步转矩控制时，系统在面对脉冲性负荷时，系统输出功率有较大振荡，且很难达到稳态状态，柴油发电机和储能变换器输出功率难以均分；而采用本发明自适应虚拟动态同步控制方法时，系统振荡功率得到较好地抑制，系统的动态性能和稳态性能得到提高，稳态输出功率可以得到很好的均分。
- 20

- 图 5 (a) 和图 5 (b) 为本发明实例传统同步控制方法和储能变换器并联同步系统电流输出波形对比图，其中图 5 (a) 为采用传统同步方法下的柴油发电机和储能变换器输出电流，图 5 (b) 采用所提预同步控制方法的柴油发电机和储能变换器输出电流。图 5 (a) 和图 5 (b) 中， i_1 ， i_2 分别为并网时柴油发电机和储能变换器输出电流，显然，采用传统同步方法下的并网电流存在较大冲击，容易引起系统失稳。而采用本发明的预同步控制方法，并网基本无冲击电流，可实现系统的平滑并网。
- 25

权利要求

- 1、一种柴储独立微电网动态同步转矩阻尼系数计算方法，柴储独立微电网包括柴油发电机和储能电池；所述柴油发电机接供电母线；所述储能电池通过储能变换器接所述供电母线；所述供电母线接常规负荷和脉冲性负荷；其特征在于，采用下式计算动态同步转矩阻尼系数 H_{damp} ：

$$H_{damp} = \begin{cases} H_{damp0} & |a_{g2} - a_{g1}| \leq C \\ H_{damp0} + k \frac{|\omega_2 - \omega_1|}{\omega_2 - \omega_1} (a_{g2} - a_{g1}) & |a_{g2} - a_{g1}| > C \end{cases};$$

其中， H_{damp0} 表示动态同步转矩阻尼系数的稳态值， k 为自适应调节因子， C 为柴油发电机角加速度 a_{g1} 与储能变换器角加速度 a_{g2} 之差的门槛值； ω_1 ， ω_2 分别为柴油发电机电压角频率和储能变换器电压角频率。

- 2、根据权利要求 1 所述的柴储独立微电网动态同步转矩阻尼系数计算方法，其特征在于，柴油发电机角加速度 a_{g1} 与储能变换器角加速度 a_{g2} 之差的门槛值 C 的计算公式为：

$$C = |a_{g1_0} - a_{g2_0}| = \frac{5\%P_{load_n}}{\omega_n(D_{p1} + D_{p2})} \left(\frac{D_{p1}}{J_1} - \frac{D_{p2}}{J_2} \right) = \frac{D_{p2}}{2J} \cdot \frac{5\%P_{load_n}}{\omega_n(D_{p1} + D_{p2})};$$

其中， P_{load_n} 为柴储独立微电网额定负载功率， a_{g1_0} 为柴油发电机角加速度初始值， a_{g2_0} 为储能变换器角加速度初始值， J_1 为柴油发电机惯性系数， J_2 为储能变换器虚拟惯性系数， D_{p1} 为柴油发电机阻尼系数， D_{p2} 为储能变换器阻尼系数， ω_n 为储能变换器额定输出角频率。

- 3、一种柴储独立微电网虚拟动态同步控制方法，柴储独立微电网包括柴油发电机和储能电池；所述柴油发电机接供电母线；所述储能电池通过储能变换器接所述供电母线；所述供电母线接常规负荷和脉冲性负荷；其特征在于，包括以下步骤：

$$S1、计算储能变换器控制角频率指令值 ω_2 ： $\frac{P_N}{\omega_n} - \frac{P_{e2}}{\omega_n} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + D_{p2}(\omega_n - \omega_2) + T_{H2}$ ；$$

$T_{H2} = \int H_{damp}(a_{v2} - a_{g1})$ ；其中， P_N 为储能变换器额定输出功率， ω_n 为储能变换器额定输出角频率， J_2 为储能变换器虚拟惯性系数， D_{p2} 为储能变换器阻尼系数； T_{H2} 为储能变换器虚拟动态同步转矩， a_{g1} 为柴油发电机角加速度， a_{v2} 为储能变换器角加速度； P_{e2} 为储能变换器输出的有功功率；动态同步转矩阻尼系数 H_{damp} 根据权利要求 1 或 2 所述计算方法获取；

S2、利用下式计算储能变换器输出 a 相电压控制信号 U_{va}^* : $U_{va}^* = U_{p2} \sin \theta_2^*$;

$\theta_2^* = \theta_2 + \Delta\varphi_2$; $\theta_2 = \int \omega_2 dt$; θ_2 为储能变换器输出电压控制相角指令值; U_{p2} 为储能变换器的输出电压指令峰值; $\Delta\varphi_2$ 为储能变换器预同步控制相角补偿值; 储能变换器的 b , c 相电压控制信号分别滞后 120° 和 240° ;

S3、将储能变换器第 i 相电压控制信号 U_i^* 通过 PWM 调制, 得到储能变换器中开关管的驱动信号; $i=a, b, c$ 。

- 4、根据权利要求 3 所述的柴储独立微电网虚拟动态同步控制方法, 其特征在于, 储能变换器预同步控制相角补偿值 $\Delta\varphi_2$ 的计算公式为:

$$\Delta\varphi_2 = SW \cdot \frac{k_c}{s} (\varphi_2 - \varphi_1);$$

其中, k_c 为积分控制参数, φ_1 , φ_2 分别表示柴油发电机电压相角和储能变换器电压相角, SW 为切换开关, 柴油发电机和储能变换器并联前 SW 的值为 1, 柴油发电机和储能变换器并联后 SW 值为 0。

- 5、根据权利要求 3 或 4 所述的柴储独立微电网虚拟动态同步控制方法, 其特征在于, 柴油发电机角加速度 a_{g1} 、储能变换器角加速度 a_{g2} 的计算公式分别为:

$$\begin{cases} a_{g1} = \frac{\omega_1(n+1) - \omega_1(n)}{T_s} \\ a_{g2} = \frac{T_{n2} - T_{D2} - T_{e2} - T_{H2}}{J_2} = \frac{T_2}{J_2} \end{cases};$$

其中, $\omega_1(n+1)$, $\omega_1(n)$ 分别为柴油发电机组的第 $n+1$ 次和第 n 次角速度采样值, T_s 为柴油发电机组角速度采样周期, T_{n2} 为储能变换器额定转矩, T_{D2} 为储能变换器的阻尼转矩, T_{e2} 为储能变换器的电磁转矩, T_2 为储能变换器的合转矩, J_2 为储能变换器虚拟惯性系数。

- 6、一种柴储独立微电网供电控制方法, 柴储独立微电网包括柴油发电机和储能电池; 所述柴油发电机接供电母线; 所述储能电池通过储能变换器接所述供电母线; 所述供电母线接常规负荷和脉冲性负荷; 其特征在于, 该方法包括:

柴油发电机和储能变换并联前, 通过补偿预同步相角, 使得柴油发电机和储能变换器在并联前保持相角一致; 其中, 预同步相角补偿值为:

$\Delta\varphi_2 = SW \cdot \frac{k_c}{s} (\varphi_2 - \varphi_1)$; k_c 为积分控制参数, SW 为切换开关, 柴油发电机和储能变换器并联前 SW 的值为 1, 柴油发电机和储能变换器并联后 SW 值为 0; φ_1 , φ_2 分别表示柴油发电机电压相角和储能变换器电压相角; 柴油发电机和储能变换器并联后, 采用权利要求 3~5 之一所述的虚拟动态同步控制方法控制所述储能变换器。

- 7、一种柴储独立微电网虚拟动态同步控制系统, 其特征在于, 包括计算机设备; 所述计算机设备被配置或编程为用于执行权利要求 3~6 之一所述方法的步骤。
- 8、一种柴储独立微电网, 其特征在于, 其包括权利要求 7 所述的虚拟动态同步控制系统。