



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110492479 B

(45) 授权公告日 2020.10.23

(21) 申请号 201910779691.2

G06F 30/20 (2020.01)

(22) 申请日 2019.08.22

G06F 113/04 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 李小婉

申请公布号 CN 110492479 A

(43) 申请公布日 2019.11.22

(73) 专利权人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路
193号

(72) 发明人 杨向真 孙丽玲 杜燕

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有

限责任公司 34101

代理人 陆丽莉 何梅生

(51) Int. Cl.

H02J 3/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种分布式并网设备的转动惯量和阻尼辨识方法

(57) 摘要

本发明公开了一种分布式并网设备转动惯量和阻尼辨识方法,是对具有惯性与阻尼特性的分布式并网设备实施电网频率 Δf 的扰动,并利用统一的VSG非线性功频特性模型与并网设备进行等效,通过功率的计算以及VSG模型的锁相环锁相,得到输出有功功率P、电网频率 ω_g 以及系统角频率 ω ,再将其作为智能算法的输入数据,通过算法的曲线拟合,即可对其中的转动惯量,动态阻尼,稳态阻尼以及锁相环的PI等参数进行参数辨识。本发明能定量识别系统中的惯性和阻尼大小,从而能适用于未知系统模型的惯性和阻尼的在线参数实时辨识,以实现实际并网设备的稳定性的评估。



1. 一种分布式并网设备的转动惯量和阻尼辨识方法,其特征在于按照以下步骤进行:

步骤1:对具有惯性与阻尼特性的分布式并网设备实施电网频率 Δf 的扰动,并采集所述分布式并网设备中逆变器输出的 m 组电压信号 $U_{abc} = \{U_{abc}(k) | k=1, 2, \dots, m\}$ 、 m 组电流信号 $I_{abc} = \{I_{abc}(k) | k=1, 2, \dots, m\}$ 以及 m 组角频率 $\omega = \{\omega(k) | k=1, 2, \dots, m\}$;其中, $U_{abc}(k)$ 表示第 k 组采集的电压信号, $I_{abc}(k)$ 表示第 k 组采集的电流信号, $\omega(k)$ 表示第 k 组采集的角频率;

对 m 组电压信号 U_{abc} 和电流信号 I_{abc} 进行功率的计算,得到输出功率 $P = \{P(k) | k=1, 2, \dots, m\}$;其中, $P(k)$ 表示第 k 组输出功率;

步骤2:在等效的VSG模型中,利用锁相环对 m 组电压信号 U_{abc} 进行锁相,得到 m 组电网角频率 $\omega_g = \{\omega_g(k) | k=1, 2, \dots, m\}$;其中, $\omega_g(k)$ 表示第 k 组电网角频率;

通过差分方程求解 m 组角频率 ω 的一阶导数 $d\omega/dt = \{d\omega(k)/dt | k=1, 2, \dots, m\}$, 二阶导数 $d^2\omega/dt^2 = \{d^2\omega(k)/dt^2 | k=1, 2, \dots, m\}$ 以及相应的 n 阶导数 $d^n\omega/dt^n = \{d^n\omega(k)/dt^n | k=1, 2, \dots, m\}$;

步骤3:以实际采集的输出功率 P 与经过VSG模型等效之后的输出功率 P_1 之间差值的绝对值为目标函数;

以所述分布式并网设备的输出功率 P 、电网角频率 ω_g 、角频率 ω 、 ω 的一阶导数 $d\omega/dt$, 二阶导数 $d^2\omega/dt^2$ 以及相应的 n 阶导数 $d^n\omega/dt^n$ 作为智能算法的输入,利用智能算法对所述目标函数进行求解,使得目标函数的绝对值最小时所对应的转动惯量与阻尼参数即为所需辨识的结果。

2. 根据权利要求1所述的转动惯量和阻尼辨识方法,其特征是,所述步骤3中的VSG输出功率 P_1 是利用式(1)得到:

$$P_1 = P_{ref} + (D_1 \omega_0 + K_\omega) \omega_0 - (D_2 \omega_0 + D_1 \omega_0 + K_\omega) \omega + D_2 \omega_0 G_{pll}(s) \omega_g - J \omega_0 s \quad (1)$$

式(1)中, P_{ref} 为给定的参考功率, K_ω 为调速器的比例系数, ω_0 为额定角速度, D_1 、 D_2 和 J 分别为动态阻尼系数、稳态阻尼系数和惯性系数, ω 为逆变器实际输出的角频率, $D_1 \omega_0 + K_\omega$ 为动态阻尼项, $D_2 \omega_0 + D_1 \omega_0 + K_\omega$ 为稳态阻尼项与动态阻尼项之和, $D_2 \omega_0$ 为稳态阻尼项, $G_{pll}(s)$ 为锁相环的传递函数,相应的表达式如下所示:

$$G_{pll}(s) = \frac{cs^{n-1} + ds^{n-2} + \dots + \beta}{s^n + as^{n-1} + bs^{n-2} + \dots + \alpha} \quad (2)$$

式(2)中, n 为锁相环传递函数的最高阶数, $a, b, c, d, \dots, \alpha, \beta$ 为系数,其中 $n \geq 2$ 。

一种分布式并网设备的转动惯量和阻尼辨识方法

技术领域

[0001] 本发明属新能源应用领域,涉及一种基于外特性测量的统一分布式并网设备转动惯量和阻尼辨识方法。

背景技术

[0002] 传统的不可再生能源如煤,石油的消耗日益剧增,为了推动社会的发展,可再生能源如光伏、风能的发展越来越备受关注。随着分布式电源不断地渗透,电网的稳定性不断受到挑战。现有的很多并网设备具有惯性与阻尼的特性,其惯量的大小和阻尼系数对输出有功功率的动态特性产生影响,而阻尼系数也决定着系统稳态功率偏差。合理的惯性和阻尼能提高电力系统稳定性和抗扰性能,因此,电力系统部门迫切需要并网设备的惯性阻尼信息。而生产厂家处于技术保密的原因,不愿提供精准的模型,且各个生产厂家的控制实现方式不同,定量识别系统中的惯性和阻尼大小具有重要的现实意义和应用价值。

[0003] 然而,现有的研究对惯性与阻尼的参数辨识存在一定的缺陷和不足,主要集中在:

[0004] 1、通过建立VSG输出功率对指令功率的二阶传递函数模型,基于递推最小二乘法来辨识参数。此方法只适用在功率扰动为小扰动的情况下,不具有普遍适用性,且没有考虑系统层面的辨识问题,无法准确的利用辨识出的模型进行实际系统稳定性评估。

[0005] 2、利用动态响应指标测量J、D,结合并网功率阶跃响应实验,得到一种可以自验证的综合测量方法。该方法的输出响应波形因滤波与控制会产生延迟,影响参数辨识的精度,拟合的效果不甚理想,辨识结果不精确。

[0006] 3、系统扰动的方式不止一种,现在的研究大多集中在有功功率的阶跃扰动,而忽略了系统其他扰动所产生的影响,为辨识带来了一定的局限性。

[0007] 4、以往的惯性与阻尼参数辨识太过于依赖系统主电路参数和稳态工作点相关参数,系统线性化所带来的误差也不容忽视。对于一个系统主电路参数未知的并网系统,无法进行精确地参数辨识。

发明内容

[0008] 本发明为克服现有技术存在的不足之处,提出一种分布式并网设备的转动惯量和阻尼辨识方法,以期能定量识别系统中的惯性和阻尼大小,从而能适用于未知系统模型的惯性和阻尼的在线参数实时辨识,以实现与实际并网设备的稳定性的评估。

[0009] 为达到上述目的,本发明所采用的技术方案如下:

[0010] 本发明一种分布式并网设备的转动惯量和阻尼辨识方法的特点在于按照以下步骤进行:

[0011] 步骤1:对具有惯性与阻尼特性的分布式并网设备实施电网频率 Δf 的扰动,并采集所述分布式并网设备中逆变器输出的m组电压信号 $U_{abc} = \{U_{abc}(k) | k=1, 2, \dots, m\}$ 、m组电流信号 $I_{abc} = \{I_{abc}(k) | k=1, 2, \dots, m\}$ 以及m组角频率 $\omega = \{\omega(k) | k=1, 2, \dots, m\}$;其中, $U_{abc}(k)$ 表示第k组采集的电压信号, $I_{abc}(k)$ 表示第k组采集的电流信号, $\omega(k)$ 表示第k组采集的

角频率；

[0012] 对m组电压信号 U_{abc} 和电流信号 I_{abc} 进行功率的计算,得到输出功率 $P = \{P(k) | k = 1, 2, \dots, m\}$;其中, $P(k)$ 表示第k组输出功率;

[0013] 步骤2:在等效的VSG模型中,利用锁相环对m组电压信号 U_{abc} 进行锁相,得到m组电网角频率 $\omega_g = \{\omega_g(k) | k = 1, 2, \dots, m\}$;其中, $\omega_g(k)$ 表示第k组电网角频率;

[0014] 通过差分方程求解m组角频率 ω 的一阶导数 $d\omega/dt = \{d\omega(k)/dt | k = 1, 2, \dots, m\}$,二阶导数 $d^2\omega/dt^2 = \{d^2\omega(k)/dt^2 | k = 1, 2, \dots, m\}$ 以及相应的n阶导数 $d^n\omega/dt^n = \{d^n\omega(k)/dt^n | k = 1, 2, \dots, m\}$;

[0015] 步骤3:以实际采集的输出功率P与经过VSG模型等效之后的输出功率 P_1 之间差值的绝对值为目标函数;

[0016] 以所述分布式并网设备的输出功率P、电网角频率 ω_g 、角频率 ω 、 ω 的一阶导数 $d\omega/dt$,二阶导数 $d^2\omega/dt^2$ 以及相应的n阶导数 $d^n\omega/dt^n$ 作为智能算法的输入,利用智能算法对所述目标函数进行求解,使得目标函数的绝对值最小时所对应的转动惯量与阻尼参数即为所需辨识的结果。

[0017] 本发明所述的转动惯量和阻尼辨识方法的特点是,所述步骤3中的VSG输出功率 P_1 是利用式(1)得到:

$$P_1 = P_{ref} + (D_1 \omega_0 + K_\omega) \omega_0 - (D_2 \omega_0 + D_1 \omega_0 + K_\omega) \omega + D_2 \omega_0 G_{pll}(s) \omega_g - J \omega_0 s \quad (1)$$

[0019] 式(1)中, P_{ref} 为给定的参考功率, K_ω 为调速器的比例系数, ω_0 为额定角速度, D_1 、 D_2 和J分别为动态阻尼系数、稳态阻尼系数和惯性系数, ω 为逆变器实际输出的角频率, $D_1 \omega_0 + K_\omega$ 为动态阻尼项, $D_2 \omega_0 + D_1 \omega_0 + K_\omega$ 为稳态阻尼项与动态阻尼项之和, $D_2 \omega_0$ 为稳态阻尼项, $G_{pll}(s)$ 为锁相环的传递函数,相应的表达式如下所示:

$$G_{pll}(s) = \frac{cs^{n-1} + ds^{n-2} + \dots + \beta}{s^n + as^{n-1} + bs^{n-2} + \dots + \alpha} \quad (2)$$

[0021] 式(2)中,n为锁相环传递函数的最高阶数, $a, b, c, d, \dots, \alpha, \beta$ 为系数,其中 $n \geq 2$ 。

[0022] 与已有技术相比,本发明的有益效果是:

[0023] 1、本发明通过VSG非线性模型与并网设备外特性的等效,对并网设备实施电网频率的扰动,通过功率的计算以及VSG模型的锁相环锁相,运用智能算法,实现了并网设备惯性与阻尼的参数辨识。此基于非线性功频特性模型的惯量阻尼辨识方法不依赖于系统主电路参数和稳态工作点相关参数,扰动信号变化幅度范围增大,辨识方法简单,结果更加准确,可用于并网模型的惯性和阻尼的参数辨识,实现了对实际并网设备的稳定性的评估。

[0024] 2、本发明在步骤3中采用功率-频率的微分方程进行参数辨识,克服了以往参数辨识需将模型线性化,建立线性化模型的传递函数的问题,从而无需考虑线性化系统所带来的误差,使得辨识结果更加准确。

[0025] 3、本发明在步骤3中采用的非线性功频特性模型不依赖系统主电路参数和稳态工作点的相关参数,只需采集并网设备的电压信号,电流信号和角频率信号,即可进行惯性与阻尼的参数辨识,解决了在未知主电路参数的并网系统的情况下,对系统惯性与阻尼参数进行精准辨识。考虑到了系统层面的辨识问题,能准确的利用辨识出的模型进行实际系统稳定性评估。

附图说明

- [0026] 图1是系统辨识策略的整体框图；
 [0027] 图2是具体实施例中电流型VSG系统主电路拓扑图；
 [0028] 图3是遗传算法的流程图；
 [0029] 图4是VSG有功-频率控制的控制策略框图；
 [0030] 图5是基于同步旋转坐标系的锁相环模型；
 [0031] 图6是VSG输出功率的仿真波形图；
 [0032] 图7是动态响应过程和辨识结果图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明的具体实施方式以及工作原理作进一步详细说明。

[0034] 如图1所示,本实施例中,对具有惯性与阻尼特性的分布式并网设备,采用统一的VSG并网逆变器模型对其进行系统模型的等效,其中VSG有功频率控制部分包括锁相环,调速器以及转子运动方程。基于VSG算法模块中的有功-频率($P-\omega$)控制的非线性模型,及其在工作点附近的电网频率的扰动,采用微分方程的形式进行建模。所提出的有功-频率($P-\omega$)控制器则由转子运动方程和基于网络频率的自适应调速器共同组成。

[0035] 如图2所示,虚拟同步发电机的结构分为主电路和控制电路两部分。主电路为常规的并网逆变器拓扑,包括直流电压源、DC/AC逆变器和LC滤波电路,通过PCC点与电网相连。其中 L_a, L_b, L_c 为滤波电感; C_a, C_b, C_c 为滤波电容; e_a, e_b, e_c 为逆变器桥臂侧三相电压; I_{Labc} 为滤波电感电流; I_{abc} 为逆变器输出电流; u_a, u_b, u_c 为PCC点的电压; U_c 为电容上的电压。 P, Q 为逆变器实际输出的有功功率和无功功率。控制电路是VSG的核心,主要包括VSG的本体模型和控制算法。其中控制算法分为功率计算模块、VSG算法模块和内环控制模块,锁相环控制模块。通过采集电感电流 I_{Labc} 和电容电压 U_c ,以及锁相环锁相得到的电网的频率,将所得数据送入虚拟同步发电机控制算法中,通过内环电流环的控制,将得到的参考电压进行SPWM调制,得到开关信号再经过驱动电路后驱动三相桥臂的开关管工作,从而实现虚拟同步发电机控制。

[0036] 在上述虚拟同步发电机结构的基础上,一种分布式并网设备的转动惯量和阻尼辨识方法是按照以下方式进行:

[0037] 步骤1:对具有惯性与阻尼特性的分布式并网设备实施电网频率 Δf 的扰动,并采集所述分布式并网设备中逆变器输出的 m 组电压信号 $U_{abc} = \{U_{abc}(k) | k=1, 2, \dots, m\}$ 、 m 组电流信号 $I_{abc} = \{I_{abc}(k) | k=1, 2, \dots, m\}$ 以及 m 组角频率 $\omega = \{\omega(k) | k=1, 2, \dots, m\}$;其中, $U_{abc}(k)$ 表示第 k 组采集的电压信号, $I_{abc}(k)$ 表示第 k 组采集的电流信号, $\omega(k)$ 表示第 k 组采集的角频率;

[0038] 对 m 组电压信号 U_{abc} 和电流信号 I_{abc} 进行功率的计算,得到输出功率 $P = \{P(k) | k=1, 2, \dots, m\}$;其中, $P(k)$ 表示第 k 组输出功率;

[0039] 在并网系统中,电压和频率的稳定是电网安全性稳定运行的前提。一方面,负荷的突然变化会引起电网中有功和无功的不平衡,导致电压和频率的波动。另一方面,若系统发电量突然增加或者减少时,若此时负载不变,则电压和频率也会发生变化。对于VSG来说,系统的扰动一般来自于给定功率扰动 ΔP 和电网频率 $\Delta \omega_g$ 的扰动。现在的辨识研究大多基于

功率扰动,且对电网频率的扰动忽略了锁相环的影响。因此,本专利采用电网频率的扰动,考虑锁相环对系统动态性能的影响。

[0040] 步骤2:在等效的VSG模型中,利用锁相环对m组电压信号 U_{abc} 进行锁相,得到m组电网角频率 $\omega_g = \{\omega_g(k) | k=1,2,\dots,m\}$;其中, $\omega_g(k)$ 表示第k组电网角频率;

[0041] 通过差分方程求解m组角频率 ω 的一阶导数 $d\omega/dt = \{d\omega(k)/dt | k=1,2,\dots,m\}$,二阶导数 $d^2\omega/dt^2 = \{d^2\omega(k)/dt^2 | k=1,2,\dots,m\}$ 以及相应的n阶导数 $d^n\omega/dt^n = \{d^n\omega(k)/dt^n | k=1,2,\dots,m\}$;

[0042] 步骤3:在进行智能算法参数辨识的过程中,其目标函数为实际采集的输出功率 P 与经过模型等效之后的输出功率 P_1 作差的绝对值。

[0043] 将并网设备的输出功率 $P = \{P(k) | k=1,2,\dots,m\}$ 和电网角频率 $\omega_g = \{\omega_g(k) | k=1,2,\dots,m\}$ 以及 $\omega = \{\omega(k) | k=1,2,\dots,m\}$, ω 的一阶导数 $d\omega/dt = \{d\omega(k)/dt | k=1,2,\dots,m\}$,二阶导数 $d^2\omega/dt^2 = \{d^2\omega(k)/dt^2 | k=1,2,\dots,m\}$ 以及相应的n阶导数 $d^n\omega/dt^n = \{d^n\omega(k)/dt^n | k=1,2,\dots,m\}$ 作为智能算法的输入数据,通过不断调整待辨识参数的值,使得目标函数的绝对值最小,从而辨识相应的惯性与阻尼参数。

[0044] 根据步骤2中的VSG的模型,且逆变器无法直接感知电网频率 ω_g ,因此引入了锁相环环节,电网频率 ω_g 通过锁相环PLL后所获得的电网检测频率为 ω'_g ,在步骤3中,可以写出统一的VSG转子运动方程。

$$[0045] \quad \frac{P_{ref}}{\omega} - \frac{P_1}{\omega} - D_2(\omega - G_{pll}(s)\omega_g) - D_1(\omega - \omega_0) = Js \quad (1)$$

[0046] 式(1)中, D_1 为稳态阻尼系数, D_2 为动态阻尼系数, J 为转动惯量, P_{ref} 为逆变器的指令功率; P_1 为VSG的输出功率,额定角速度为 ω_0 ,且 $\omega'_g = G_{pll}(s)\omega_g$ 。对于VSG而言,通常采用功率作为变量,若角速度变化不大,近似有 $\omega \approx \omega_0$,则:

$$[0047] \quad P_{ref} - P_1 - D_2\omega_0(\omega - G_{pll}(s)\omega_g) - D_1\omega_0(\omega - \omega_0) = J\omega_0 s \quad (2)$$

[0048] 在式(2)中,当系统稳定的时候,此时 $\omega = \omega'_g$, $D_2\omega_0(\omega - \omega'_g) = 0$,也即 $\omega - G_{pll}(s)\omega_g = 0$,因此只在动态时参与系统的调节,不参与稳态调频,将其称为动态阻尼。阻尼 D_1 不仅参与动态调节过程,而且还起到下垂调频的作用。这种情况下系统阻尼较大,系统的稳定性较好。若 $\omega_g \neq \omega_0$,此时 $D_1\omega_0(\omega - \omega_0) \neq 0$,由于阻尼在稳态时也起作用,可能导致并网稳态运行时输出功率与指令功率偏差增大,将其称为稳态阻尼。若VSG系统只含动态阻尼,而不含稳态阻尼,则 $D_2 = 0$,VSG系统无动态阻尼项。若VSG系统只含稳态阻尼,而不含动态阻尼,则 $D_1 = 0$,VSG系统无稳态阻尼项。

[0049] 基于网络频率的自适应调速器的调速形式为

$$[0050] \quad (\omega_0 - \omega)K_\omega = \Delta P \quad (3)$$

[0051] 将调速器加入到VSG的调速系统中,整理可得:

$$[0052] \quad P_1 = P_{ref} + (D_1\omega_0 + K_\omega)\omega_0 - (D_2\omega_0 + D_1\omega_0 + K_\omega)\omega + D_2\omega_0 G_{pll}(s)\omega_g - J\omega_0 s \quad (4)$$

[0053] 相应的控制框图如图3所示,式(4)中, P_{ref} 为给定的参考功率, K_ω 为调速器的比例系数, D_1 , D_2 和 J 分别为动态阻尼系数,稳态阻尼系数和惯性系数, $D_1\omega_0 + K_\omega$ 为动态阻尼项, $D_2\omega_0 + D_1\omega_0$ 为稳态阻尼项与动态阻尼项之和, $D_2\omega_0$ 为稳态阻尼项, $G_{pll}(s)$ 为锁相环的传递函数。

[0054] 通过小信号的建模,可以将锁相环的结构写成统一的线性化模型。

$$[0055] \quad \frac{\omega'_g}{\omega_g} = G_{pll}(s) = \frac{cs^{n-1} + ds^{n-2} + \dots + \beta}{s^n + as^{n-1} + bs^{n-2} + \dots + \alpha} \quad (5)$$

[0056] 式(5)中, n 为锁相环传递函数的最高阶数。 $a, b, c, d, \dots, \alpha, \beta$ 分别为包含锁相环中比例积分系数以及滤波参数等的组合系数,一般取常数, $n \geq 2$ 。

[0057] 将式(5)带入到式(4)中,可得到包含锁相环在内的VSG转子运动方程的统一标准形式:

$$[0058] \quad P_1 = P_{ref} + (D_1\omega_0 + K_\omega)\omega_0 - (D_2\omega_0 + D_1\omega_0)\omega + (D_2\omega_0 - K_\omega) \frac{cs^{n-1} + ds^{n-2} + \dots + \beta}{s^n + as^{n-1} + bs^{n-2} + \dots + \alpha} \omega_g - J\omega_0 s$$

[0059] 此次仿真采用基于同步旋转坐标系法的锁相环路,这种锁相环最为常见。其具体的实现方式如图4所示:首先对电网电压进行dq坐标变换,即将三相静止abc坐标系的电压变量变换成两相同步旋转坐标系下的直流量。通过电压dq坐标变换之后对 U_q 量输入PI控制器中,得到锁相角频率,进行积分环节后得到锁相角度 θ 反馈回dq坐标变换中,形成一个闭环控制。当系统频率被锁定时,此时 U_q 输出为直流量,由于PI控制器具有直流无静差调节的特性,最终通过对 U_q 的PI调节,可使 U_q 最终趋近于0,从而锁相成功。

[0060] 如图4所示,输入三相电压 U_{abc} 经过坐标变换后变换成dq坐标系下的直流分量 U_d, U_q ,当锁相成功时, $U_q=0$, $G(s)$ 为PI调节器,其表达式如下:

$$[0061] \quad G(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (6)$$

[0062] 通过小信号建模得到如图5所示的线性化模型,小信号的模型为如式(7)所示:

$$[0063] \quad \frac{\omega'_g}{\omega_g} = G_{pll}(s) = \frac{U_m K_p s + U_m K_I}{s^2 + U_m K_p s + U_m K_I} \quad (7)$$

[0064] 在此次仿真中,我们采用遗传算法对VSG进行惯性与阻尼的参数辨识,其流程图如图6所示。遗传算法的具体步骤如下所示:

[0065] 1、设置遗传算法的初始参数以及初始化遗传算法群体。

[0066] 2、将每个个体编码转换成VSG系统标准模型中相应参数,给励磁系统原模型、标准模型分别输入相应的激励信号,进行仿真计算,根据原模型、标准模型输出误差计算个体适应度。

[0067] 3、按照生物进化过程中适者生存、优胜劣汰的原理,以适应度作为评价个体优劣的依据,重复使用选择、交叉、变异算子作用于群体,使之不断进化,逐渐接近最优解。

[0068] 4、查看目标函数是否满足终止条件,若不满足,按照一定的变异概率和变异法,生成新的个体,循环进行以上步骤直到满足终止条件,输出待辨识参数。

[0069] 为了进一步验证方案的可行性,在基于Matlab/Simulink仿真平台上搭建了系统模型,并搭建了相应的实验系统。

[0070] 表1 VSG系统仿真及实验参数

主电路系统参数		数值
	直流母线电压 U_{dc} / V	700
	开关频率 W_n / kVA	10
	电网线电压有效值 $/V$	380
	滤波电感 L / mH	1.5
	滤波电容 $C / \mu F$	20
	额定频率 f_n / Hz	50
控制系统参数		数值
[0071]	有功下垂系数 K_ω	40000
	无功下垂系数 n	0.0004
	虚拟电阻 R_v / Ω	0.007
	虚拟电感 L_v / mH	1.7
	无功比例系数 K_p	0.1
	无功积分系数 K_I	10
	PLL 积分系数	50
	PLL 比例系数	30

[0072] 图7给出了参考有功功率0kw,电网频率初始频率为50hz,0.5s时下降0.2hz的情况下,系统仿真的输出功率波形。实际仿真加入了电流内环,改善了电流的质量。可以看出,在经过功率波动后,最终趋于有功功率的稳定值。对输出功率P、角频率 ω 和电网角频率 ω_g 进行采样,在设定仿真模型的惯性为20,动态阻尼为50,稳态阻尼为142.324的情况下,采用遗传算法,进行了203次辨识。

[0073] 表2参数辨识结果分析

	惯性 J	动态阻尼 D1	稳态阻尼 D2	比例系数 K_p	积分系数 K_I
[0074]	仿真结果	20	142.324	50	30
	辨识结果	19.77	142.328	54.027	34.239

[0075] 由表2,当VSG实际仿真模型中,惯性J,稳态阻尼D1,动态阻尼D2,以及锁相环的PI

参数分别为20,142.324,50,50,30。通过遗传算法的参数辨识得到的辨识结果分别为19.77,142.328,49.084,54.027,34.239,辨识得到的误差率分别为1.15%,0.00281%,1.8%,8%和14%。由辨识的结果可知,遗传算法很好的解决了在系统功率或者频率扰动的情况下,对并网设备的辨识惯性和阻尼的精准辨识提供了新思路。

[0076] 在参数辨识的过程中,我们忽略了噪声干扰,考虑模型参数计算过程中的误差,算法本身带来的误差等原因,最终所辨识的参数在允许的范围内。其中始种群数目的选择,变异率,交叉的概率以及迭代的次数都会对结果造成影响。初始种群的数目也会影响辨识的速度,如需较快的辨识速度,可根据实际情况,适当减少初始种群的数目。

[0077] 最后需要说明的是,本次仿真的等效模型为电流型VSG系统。在辨识的过程中,通过建立功率-频率的非线性微分方程,运用遗传算法对参数进行辨识。此种方法也可以运用到其他类似系统的参数辨识中。

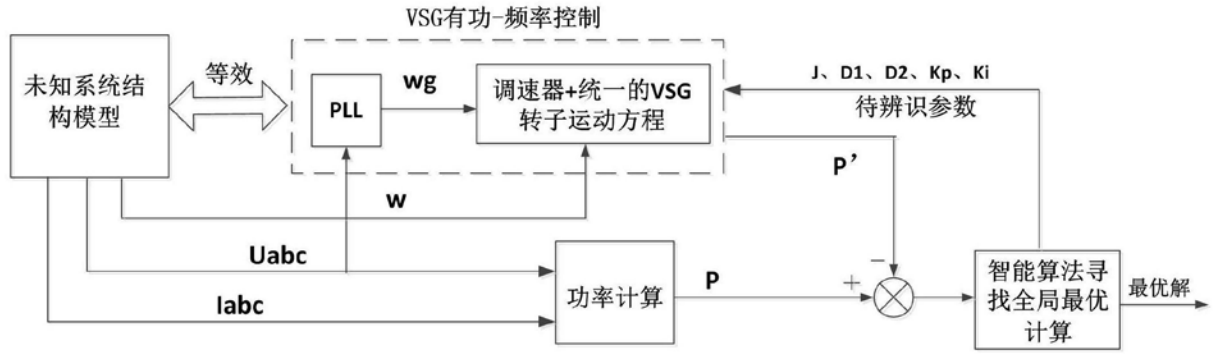


图1

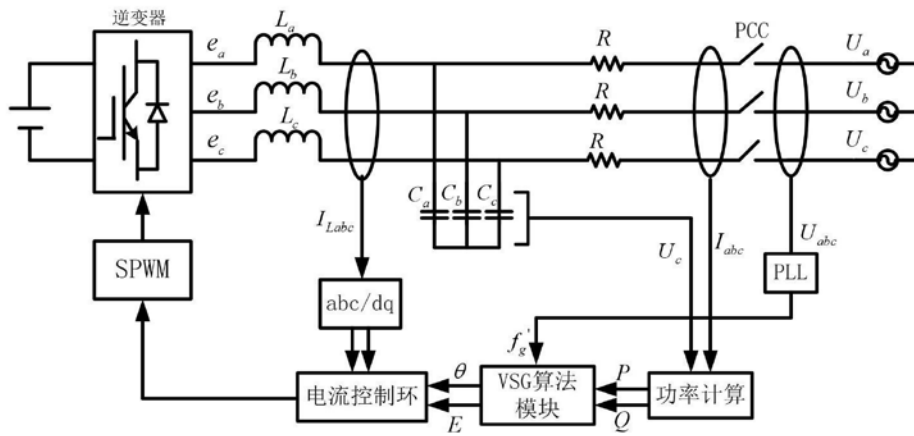


图2

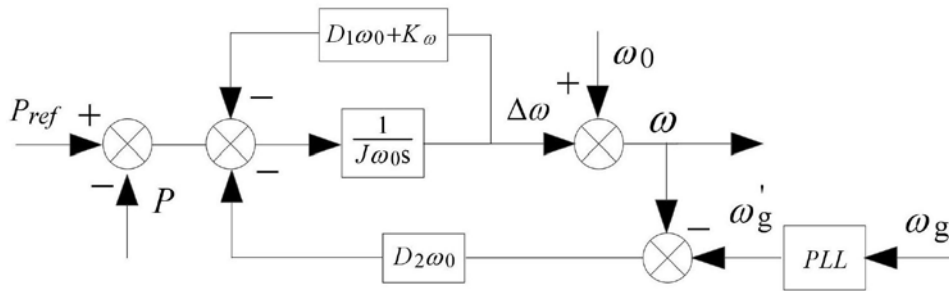


图3

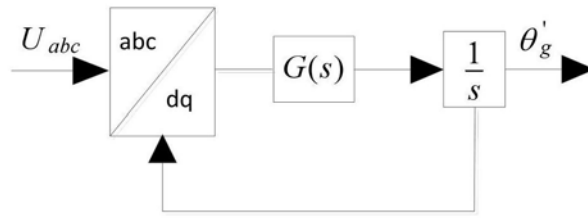


图4

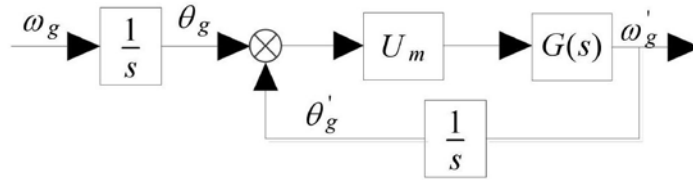


图5

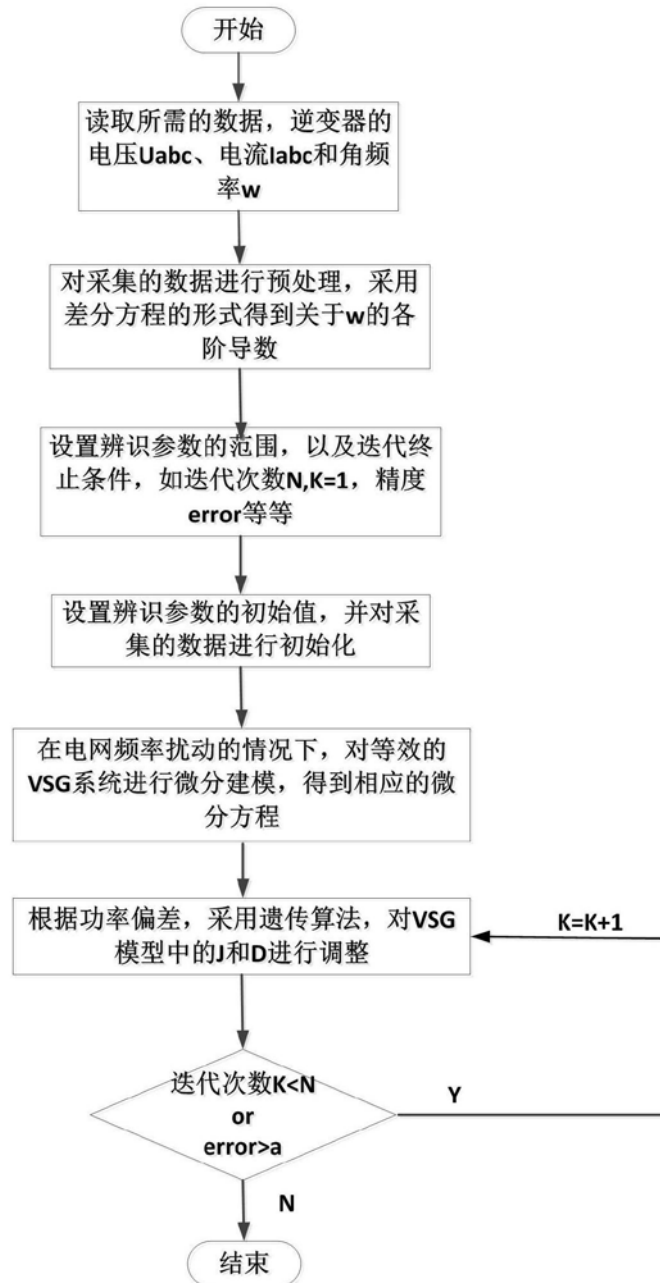


图6

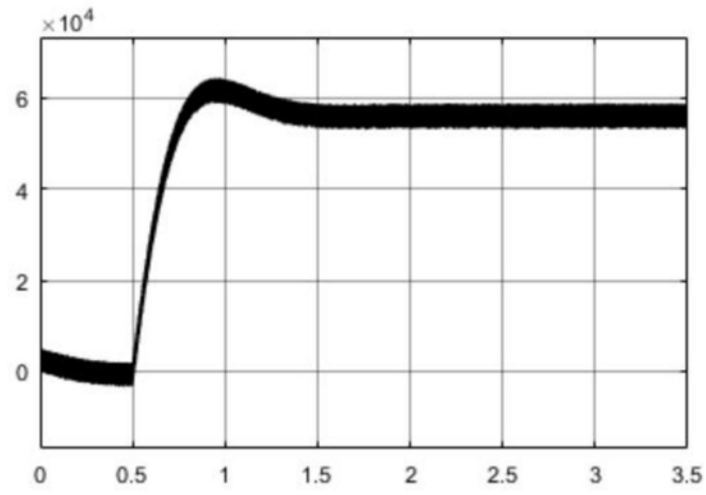


图7