



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114362211 A

(43) 申请公布日 2022.04.15

(21) 申请号 202210060423.7

(22) 申请日 2022.01.19

(71) 申请人 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院

地址 110006 辽宁省沈阳市和平区四平街39号

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

(72) 发明人 朱钰 闫振宏 卢盛阳 王会斌
孟令林 王海鑫 杨俊友 王同
张武洋 蔡玉朋 于同伟 楚天丰
库世达 卢岩 宋保泉 王英明
蒋顺平 刘东奇 张蓉 张莉
王宁 王慧 王俊 赵福志 闫磊

(74) 专利代理机构 沈阳智龙专利事务所(普通合伙) 21115

代理人 王聪耀 宋铁军

(51) Int.Cl.

H02J 3/24 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02P 21/14 (2016.01)

H02P 21/18 (2016.01)

H02P 21/20 (2016.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法

(57) 摘要

本发明涉及抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,步骤为:检测虚拟同步发电机的输出电角速度,得到机械功率;由机械功率得到机械转矩,由测量得到的电磁功率得到电磁转矩;由两个阻尼支路构成阻尼反馈得到阻尼转矩;由当前虚拟同步发电机输出电角速度的变化量及其变化趋势作为振荡抑制算法的两个输入信号,输出转动惯量;机械转矩、电磁转矩、阻尼转矩和转动惯量整合至虚拟同步发电机的有功控制回路中,最终得到电角度,参与虚拟同步发电机抑制电力系统低频振荡。本发明克服了传统VSG中固定转动惯量无法抑制电力系统低频振荡的问题,通过测量变化量及变化趋势,及时改变转动惯量从而抑制电力系统有功功率低频振荡。

1. 一种抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,其特征在于,步骤为:

步骤1、检测虚拟同步发电机的输出电角速度 ω_m ,通过机械功率模型得到机械功率 P_m ;

步骤2、将各路转矩整合,由机械功率 P_m 通过机械转矩模型得到机械转矩 T_m ,由测量得到的电磁功率 P_e 通过电磁转矩模型得到电磁转矩 T_e ;由 $D_1(\omega_n - \omega_m)$ 和 $D_2(\omega_n - \omega_{pll})$ 两个阻尼支路构成阻尼反馈通过阻尼转矩模型得到阻尼转矩 T_D ;

步骤3、由当前虚拟同步发电机输出电角速度 ω_m 的变化量 $\Delta\omega$ 及其变化趋势 $\frac{d\omega_m}{dt}$ 作为振荡抑制算法的两个输入信号,通过振荡抑制算法输出有利于抑制当前电网功率、频率低频振荡的转动惯量 J ;

步骤4、经步骤2、3得到了机械转矩 T_m 、电磁转矩 T_e 、阻尼转矩 T_D 和转动惯量 J 整合至虚拟同步发电机的有功控制回路中,最终得到虚拟同步发电机输出的电角度 θ ,参与虚拟同步发电机抑制电力系统低频振荡。

2. 根据权利要求1所述的抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,其特征在于,步骤1中机械功率模型为:

$$P_m = K_p(\omega_n - \omega_m) + P_{ref}$$

式中, P_m 为机械功率, K_p 为有功下垂系数, ω_n 为额定角速度, ω_m 为电角速度, P_{ref} 为有功功率参考值。

3. 根据权利要求1所述的抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,其特征在于,步骤2中机械转矩模型为:

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_n}$$

式中, T_m 为机械转矩, P_m 为机械功率, ω_n 为额定角速度;

电磁转矩模型为:

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_n}$$

式中, T_e 为电磁转矩, P_e 为电磁功率, ω_n 为额定角速度;

阻尼转矩模型为:

$$T_D = D_1(\omega_n - \omega_m) + D_2(\omega_n - \omega_{pll})$$

式中, T_D 为阻尼转矩, D_1 为第一条阻尼支路的阻尼系数, D_2 为第二条阻尼支路的阻尼系数, ω_n 为额定角速度, ω_m 为电角速度, ω_{pll} 为对电网锁相得到的电角速度。

4. 根据权利要求1所述的抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,其特征在于,振荡抑制算法如下式所示:

$$J = J_{ref} + K_J * J_0$$

式中, J_{ref} 为转动惯量参考值, J_0 为转动惯量变化叠加值, K_J 为转动惯量变化系数。

5. 根据权利要求4所述的抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,其特征在于,转动惯量变化系数 K_J 的取值情况如下式:

$$K_J = \begin{cases} 1 & \Delta\omega > 0, \frac{d\omega_m}{dt} \geq 1 \text{ or } \Delta\omega < 0, \frac{d\omega_m}{dt} \leq -1 \\ 0.5 & \Delta\omega > 0, 1 > \frac{d\omega_m}{dt} > 0 \text{ or } \Delta\omega < 0, -1 < \frac{d\omega_m}{dt} < 0 \\ 0 & \Delta\omega = 0 \text{ or } \frac{d\omega_m}{dt} = 0 \\ -0.5 & \Delta\omega > 0, 0 > \frac{d\omega_m}{dt} > -1 \text{ or } \Delta\omega < 0, 1 > \frac{d\omega_m}{dt} > 0 \\ -1 & \Delta\omega > 0, \frac{d\omega_m}{dt} \leq -1 \text{ or } \Delta\omega < 0, \frac{d\omega_m}{dt} \geq 1 \end{cases}$$

式中， ω_m 为电角速度， $\Delta\omega$ 为电角速度 ω_m 的变化量。

一种抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于新能源并网领域,具体涉及一种抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法。

背景技术

[0002] 随着我国经济不断发展,对能源的需求量不断扩大,然而,传统的不可再生的化石能源逐渐面临枯竭,能源转型势在必行。新能源间歇性、波动性和不稳定性给电力系统安全稳定运行带来了巨大的挑战,其中,新能源并网并不能像传统同步发电机一样为电力系统提供大量的惯性和阻尼,这就导致了含高比例清洁能源、高比例电力电子装置的“双高”电网极易引发电力系统低频振荡,如何让新能源并网具有传统同步发电机并网的惯性特性从而提高电力系统稳定性、抑制电力系统低频振荡成为约束当前大量新能源并网运行的一个重要问题。

发明内容

[0003] 发明目的:

[0004] 本发明提供一种抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,其目的在于解决如何让新能源并网具有传统同步发电机并网的惯性特性从而提高电力系统稳定性、抑制电力系统低频振荡等问题。

[0005] 技术方案:

[0006] 一种抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法,步骤为:

[0007] 步骤1、检测虚拟同步发电机的输出电角速度 ω_m ,通过机械功率模型得到机械功率 P_m ;

[0008] 步骤2、将各路转矩整合,由机械功率 P_m 通过机械转矩模型得到机械转矩 T_m ,由测量得到的电磁功率 P_e 通过电磁转矩模型得到电磁转矩 T_e ;由 $D_1(\omega_n - \omega_m)$ 和 $D_2(\omega_n - \omega_{p11})$ 两个阻尼支路构成阻尼反馈通过阻尼转矩模型得到阻尼转矩 T_D ;

[0009] 步骤3、由当前虚拟同步发电机输出电角速度 ω_m 的变化量 $\Delta\omega$ 及其变化趋势 $\frac{d\omega_m}{dt}$ 作为振荡抑制算法的两个输入信号,通过振荡抑制算法输出有利于抑制当前电网功率、频率低频振荡的转动惯量 J ;

[0010] 步骤4、经步骤2、3得到了机械转矩 T_m 、电磁转矩 T_e 、阻尼转矩 T_D 和转动惯量 J 整合至虚拟同步发电机的有功控制回路中,最终得到虚拟同步发电机输出的电角度 θ ,参与虚拟同步发电机抑制电力系统低频振荡。

[0011] 进一步的,步骤1中机械功率模型为:

$$P_m = K_p (\omega_n - \omega_m) + P_{ref}$$

[0013] 式中, P_m 为机械功率, K_p 为有功下垂系数, ω_n 为额定角速度, ω_m 为电角速度, P_{ref} 为有功功率参考值。

[0014] 进一步的,步骤2中机械转矩模型为:

$$[0015] \quad T_m = \frac{P_m}{\omega_n}$$

[0016] 式中, T_m 为机械转矩, P_m 为机械功率, ω_n 为额定角速度;

[0017] 电磁转矩模型为:

$$[0018] \quad T_e = \frac{P_e}{\omega_n}$$

[0019] 式中, T_e 为电磁转矩, P_e 为电磁功率, ω_n 为额定角速度;

[0020] 阻尼转矩模型为:

$$[0021] \quad T_D = D_1 (\omega_n - \omega_m) + D_2 (\omega_n - \omega_{pll})$$

[0022] 式中, T_D 为阻尼转矩, D_1 为第一条阻尼支路的阻尼系数, D_2 为第二条阻尼支路的阻尼系数, ω_n 为额定角速度, ω_m 为电角速度, ω_{pll} 为对电网锁相得到的电角速度。

[0023] 进一步的,振荡抑制算法如下式所示:

$$[0024] \quad J = J_{ref} + K_J * J_0$$

[0025] 式中, J_{ref} 为转动惯量参考值, J_0 为转动惯量变化叠加值, K_J 为转动惯量变化系数。

[0026] 进一步的,转动惯量变化系数 K_J 的取值情况如下式:

$$[0027] \quad K_J = \begin{cases} 1 & \Delta\omega > \frac{d\omega_m}{dt} \geq \quad or \quad \Delta\omega < \frac{d\omega_m}{dt} \leq - \\ 0 & \Delta\omega > \frac{d\omega_m}{dt} > \quad or \quad \Delta\omega < - \frac{d\omega_m}{dt} < \\ 0 & \Delta\omega = \quad or \quad \frac{d\omega_m}{dt} = 0 \\ -0 & \Delta\omega > \frac{d\omega_m}{dt} > -0 \quad or; \quad \Delta\omega < - \frac{d\omega_m}{dt} > 0 \\ -1 & \Delta\omega > 0, \frac{d\omega_m}{dt} \leq -1 \quad or \quad \Delta\omega < 0, \frac{d\omega_m}{dt} \geq 1 \end{cases}$$

[0028] 式中, ω_m 为电角速度, $\Delta\omega$ 为电角速度 ω_m 的变化量。

[0029] 有益效果:

[0030] 本发明将虚拟同步发电机(VSG)输出电角速度 ω_m 的变化量 $\Delta\omega$ 及其变化趋势 $\frac{d\omega_m}{dt}$ 作为振荡抑制算法的输入信号,经计算得到转动惯量 J ,克服了传统VSG中固定转动惯量 J 无法抑制电力系统低频振荡的问题,通过测量 ω_m 的变化量及变化趋势,及时改变转动惯量 J 从而抑制电力系统有功功率低频振荡。

[0031] 本发明利用 $D_1 (\omega_n - \omega_m)$ 和 $D_2 (\omega_n - \omega_{pll})$ 两个阻尼支路构成阻尼反馈,嵌入VSG的有功控制回路中,克服了传统VSG有功控制回路中只将虚拟同步发电机输出的电角速度作为反馈支路而无法及时检测电网频率,抑制电网频率低频振荡的问题。

附图说明

[0032] 图1为本发明抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法;

[0033] 图2为本发明VSG有功控制方法中包含的振荡抑制算法流程图；

[0034] 图3为本发明抑制电力系统低频振荡效果图。

具体实施方式

[0035] 以下结合说明书附图更详细的说明本发明。

[0036] 本发明运用振荡抑制算法计算出转动惯量 J ，并通过两条阻尼支路构成的阻尼反馈回路，形成能够抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法。具体为，本发明的抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法，检测虚拟同步发电机的输出电角速度，得到机械功率；由机械功率得到机械转矩，由电磁功率得到电磁转矩；由两个阻尼支路构成阻尼反馈得到阻尼转矩；由当前虚拟同步发电机输出电角速度的变化量及其变化趋势作为振荡抑制算法的两个输入信号，输出转动惯量，再将转动惯量输入至虚拟同步发电机有功控制回路中，参与抑制电力系统低频振荡；将机械转矩、电磁转矩、阻尼转矩和转动惯量整合至虚拟同步发电机的有功控制回路中，最终得到虚拟同步发电机输出的电角度，参与虚拟同步发电机抑制电力系统低频振荡。本发明提高了电力系统稳定性、抑制电力系统低频振荡。

[0037] 如图1所示，一种抑制电力系统低频振荡的VSG有功控制方法，

[0038] 步骤1、检测虚拟同步发电机的输出电角速度 ω_m ，通过机械功率模型得到机械功率 P_m ；

[0039] 检测虚拟同步发电机的输出电角速度 ω_m ，将其与额定角速度 ω_n 作差，再与有功下垂系数 K_p 相乘得到 $K_p(\omega_n - \omega_m)$ ，将该式与有功功率参考值 P_{ref} 相加，得到机械功率 P_m ，机械功率模型具体为，

$$[0040] \quad P_m = K_p(\omega_n - \omega_m) + P_{ref}$$

[0041] 式中， P_m 为机械功率， K_p 为有功下垂系数， ω_n 为额定角速度， ω_m 为电角速度， P_{ref} 为有功功率参考值。

[0042] 步骤2、将各路转矩整合，由机械功率 P_m 通过机械转矩模型得到机械转矩 T_m ，由测量得到的电磁功率 P_e 通过电磁转矩模型得到电磁转矩 T_e ；由 $D_1(\omega_n - \omega_m)$ 和 $D_2(\omega_n - \omega_{pll})$ 两个阻尼支路构成阻尼反馈通过阻尼转矩模型得到阻尼转矩 T_d ；机械转矩模型为：

$$[0043] \quad T_m = \frac{P_m}{\omega_n}$$

[0044] 式中， T_m 为机械转矩， P_m 为机械功率， ω_n 为额定角速度。

[0045] 电磁转矩模型为：

$$[0046] \quad T_e = \frac{P_e}{\omega_n}$$

[0047] 式中， T_e 为电磁转矩， P_e 为电磁功率， ω_n 为额定角速度。

[0048] 阻尼转矩模型为：

$$[0049] \quad T_d = D_1(\omega_n - \omega_m) + D_2(\omega_n - \omega_{pll})$$

[0050] 式中， T_d 为阻尼转矩， D_1 为第一条阻尼支路的阻尼系数， D_2 为第二条阻尼支路的阻尼系数， ω_n 为额定角速度， ω_m 为电角速度， ω_{pll} 为对电网锁相得到的电角速度。

[0051] 步骤3、由当前虚拟同步发电机输出电角速度 ω_m 的变化量 $\Delta \omega$ 及其变化趋势 $\frac{d\omega_m}{dt}$

作为振荡抑制算法的两个输入信号,通过振荡抑制算法输出有利于抑制当前电网功率、频率低频振荡的转动惯量 J ,再将该转动惯量 J 输入至虚拟同步发电机有功控制回路中,参与抑制电力系统低频振荡;

[0052] 振荡抑制算法如下式所示:

$$[0053] \quad J = J_{\text{ref}} + K_J * J_0$$

[0054] 式中, J_{ref} 为转动惯量参考值, J_0 为转动惯量变化叠加值, K_J 为转动惯量变化系数,其中,如图2所示, K_J 的取值情况如下式:

$$[0055] \quad K_J = \begin{cases} 1 & \Delta\omega > 0, \frac{d\omega_m}{dt} \geq 1 \text{ or } \Delta\omega < 0, \frac{d\omega_m}{dt} \leq -1 \\ 0.5 & \Delta\omega > 0, 1 > \frac{d\omega_m}{dt} > 0 \text{ or } \Delta\omega < 0, -1 < \frac{d\omega_m}{dt} < 0 \\ 0 & \Delta\omega = 0 \text{ or } \frac{d\omega_m}{dt} = 0 \\ -0.5 & \Delta\omega > 0, 0 > \frac{d\omega_m}{dt} > -1 \text{ or } \Delta\omega < 0, 1 > \frac{d\omega_m}{dt} > 0 \\ -1 & \Delta\omega > 0, \frac{d\omega_m}{dt} \leq -1 \text{ or } \Delta\omega < 0, \frac{d\omega_m}{dt} \geq 1 \end{cases}$$

[0056] 与传统VSG有功控制方式不同,本发明设计的VSG有功控制方法以 $D_1(\omega_n - \omega_m)$ 和 $D_2(\omega_n - \omega_{p11})$ 两个阻尼支路构成阻尼反馈,式中, D_1 为虚拟同步发电机频率阻尼支路的阻尼系数, D_2 为电网锁相频率阻尼支路的阻尼系数, ω_n 为电网额定电角速度, ω_m 为虚拟同步发电机输出的电角速度, ω_{p11} 为对电网锁相得到的电角速度。

[0057] 以含计算转动惯量 J 振荡抑制算法及所述两条阻尼支路构成阻尼反馈支路的VSG有功控制方法替代传统的VSG有功控制方法,抑制电力系统中的低频振荡现象。

[0058] 步骤4、经步骤2、3得到了机械转矩 T_m 、电磁转矩 T_e 、阻尼转矩 T_D 和转动惯量 J 整合至虚拟同步发电机的有功控制回路中,最终得到虚拟同步发电机输出的电角度 θ ,参与虚拟同步发电机抑制电力系统低频振荡。

$$[0059] \quad \text{输出电角度 } \theta = \frac{\omega_m}{S}$$

$$[0060] \quad \text{其中, } \omega_m = (T_m - T_e + T_D) \frac{1}{JS},$$

[0061] 式中, ω_m 为VSG输出的电角速度, T_m 为机械转矩, T_e 为电磁转矩, T_D 为阻尼转矩, J 为转动惯量, $\frac{1}{S}$ 为拉普拉斯变换中的积分环节。

[0062] 图3所示为VSG主电路保持一致时,采用传统VSG有功控制回路与采用本发明的VSG有功控制回路中VSG输出有功功率的对比曲线。图3是基于MATLAB/Simulink平台设计仿真实验得到的,在仿真实验中,设置VSG初始负载为5kW,当仿真运行至12s时,设置线路负载突增至8kW,观测采用不同有功控制结构的VSG输出功率情况。

[0063] 由图3可知,当采用传统VSG有功控制回路时,负载变化会引发一定程度的低频振荡,振荡频率约为 1Hz ,其振荡抑制过程较慢。当采用本发明的VSG有功控制回路时,由于引入了振荡抑制算法,在负载变化时能够及时抑制振荡,其振荡抑制过程迅速。

[0064] 该仿真实验验证了本发明的VSG有功控制回路能够通过振荡抑制算法有效抑制低频振荡,对采用VSG的新能源发电系统并网运行控制提供了一定的理论支持和技术保障。

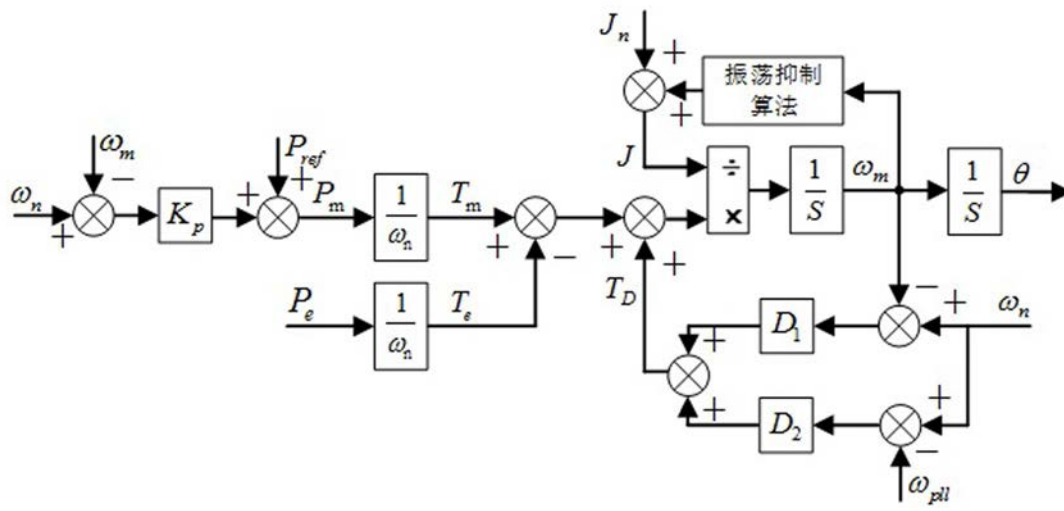


图1

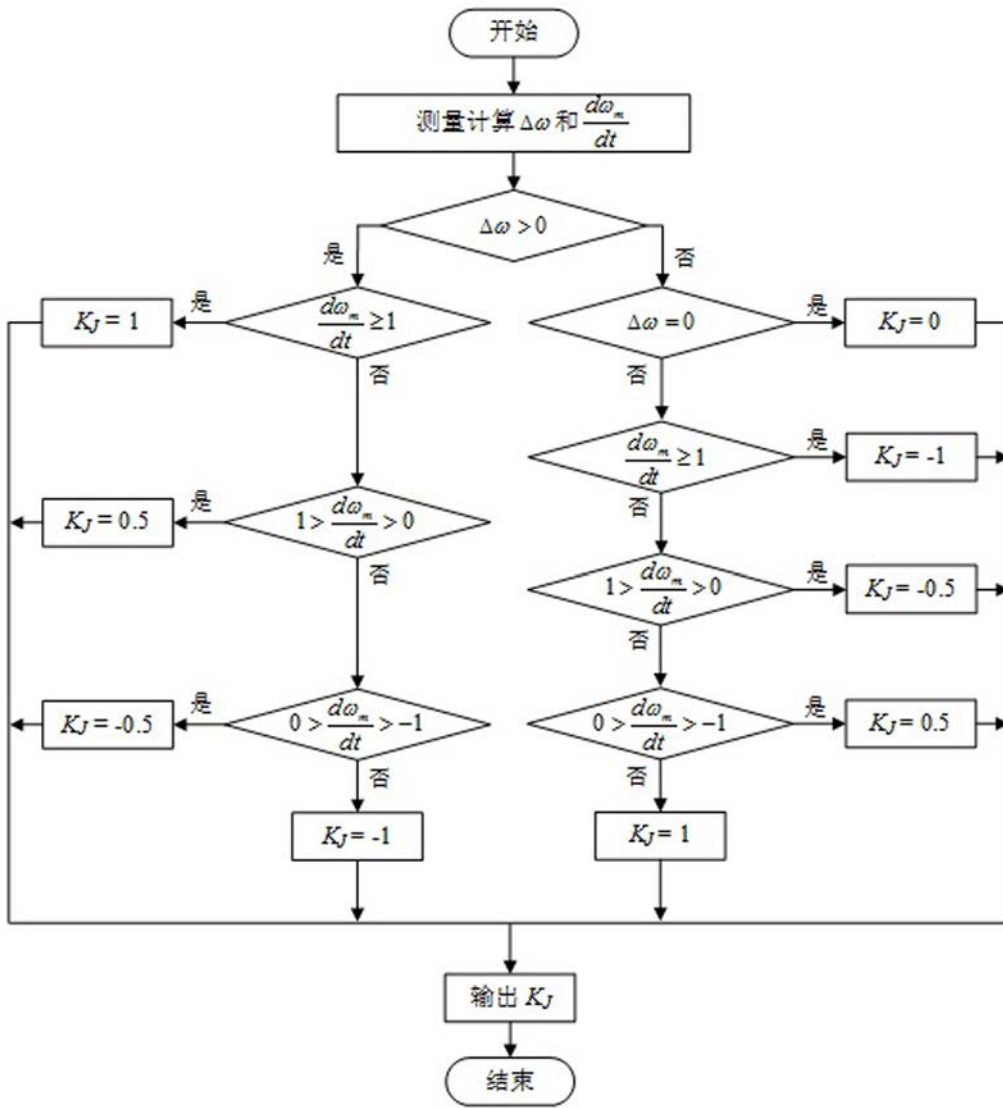


图2

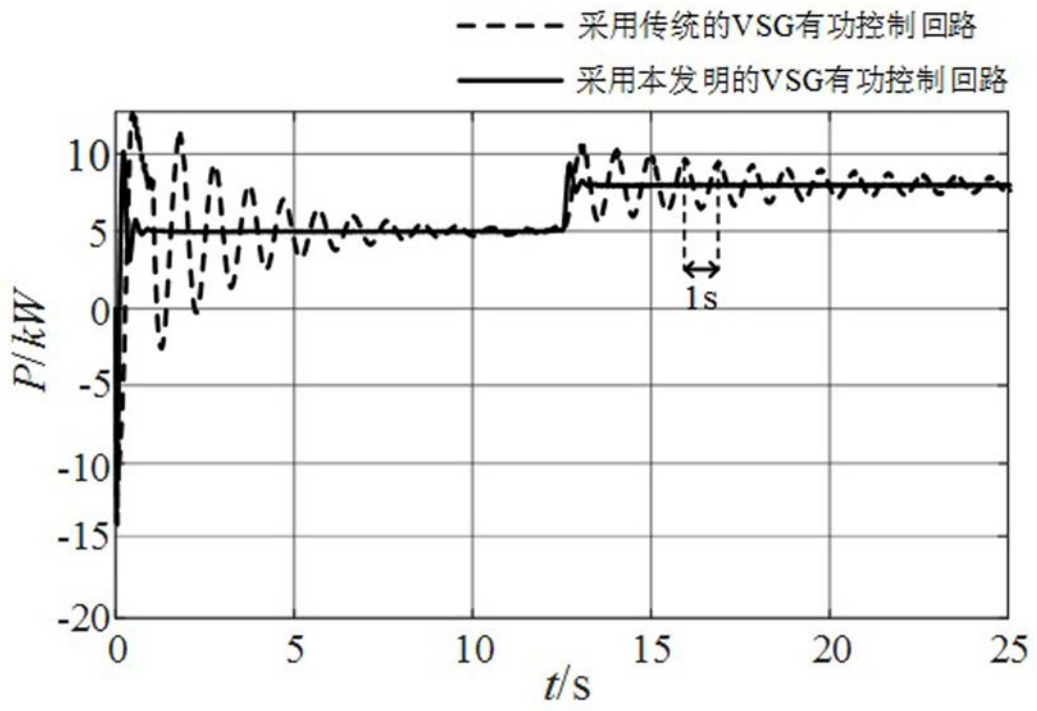


图3