



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106058937 B

(45)授权公告日 2018.05.08

(21)申请号 201610616460.6

(22)申请日 2016.07.29

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106058937 A

(43)申请公布日 2016.10.26

(73)专利权人 河海大学
地址 211100 江苏省南京市江宁区佛城西
路8号

(72)发明人 潘学萍 冯徐徐 鞠平 吴峰
金宇清

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限
公司 32224

代理人 董建林

(51)Int. Cl.
H02J 3/38(2006.01)

(56)对比文件

CN 103825521 A,2014.05.28,全文.

EP 2955807 A1,2015.12.16,全文.

王振树等.基于混沌与量子粒子群算法相结
合的负荷模型参数辨识研究.《电工技术学报》
.2014,第29卷(第12期),第211-217页.

审查员 李静

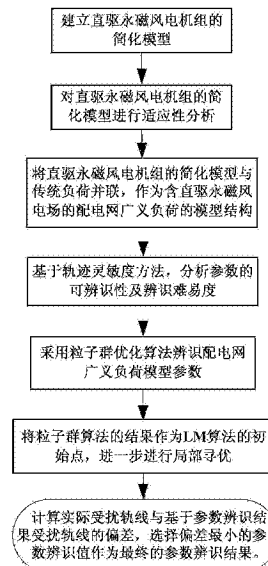
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54)发明名称

一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷
建模方法

(57)摘要

本发明公开了一种含直驱永磁风电场的配
电网广义负荷建模方法,提出了直驱永磁风电机
组(DDPMSG)的简化模型,并将其并联传统负荷作
为含直驱永磁风电场的配电网广义负荷模型结
构。基于轨迹灵敏度方法,分析了广义负荷中各
参数的可辨识性及辨识难易度。参数辨识先采用
粒子群优化算法(PSO)进行全局寻优,再利用
Levenberg-Marquardt(LM)算法在PSO优化结果
基础上进行局部寻优。本发明简化了直驱永磁风
电机组的模型结构,提出的参数辨识方法具有较
高的辨识精度;本建模方法可以为其它含全变流
器型的可再生能源接入配电网的广义负荷建模
提供参考。



1. 一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法,其特征是,包括如下步骤:

1) 建立直驱永磁风电机组的简化模型;

2) 在风电机组出口设置三相对称电压跌落,将某一电压跌落场景下的有功功率和无功功率受扰轨线作为参考,基于步骤1)所建立的简化模型进行曲线拟合,先采用粒子群优化算法获得优化结果,再采用Levenberg-Marquardt算法在粒子群优化算法优化结果基础上进一步局部寻优,最后得到直驱永磁风电机组简化模型中各参数的辨识值;

以参数辨识结果为基准,分析其它电压跌落场景下实际受扰轨线与基于参数辨识值的受扰轨线偏差,分析模型的适应性;

3) 将步骤1)所建立的简化模型与传统负荷并联,所述传统负荷表示的是静态负荷,建立含直驱永磁风电场的配电网广义负荷模型结构;

4) 在广义负荷出口设置对称三相电压跌落扰动,将广义负荷出口的有功功率、无功功率作为输出信号,计算广义负荷模型中各参数的轨迹灵敏度;根据轨迹灵敏度幅值大小,确定广义负荷模型中的重点参数;根据轨迹灵敏度相位,确定广义负荷模型参数的可辨识性,所述重点参数指的是:在所有参数的轨迹灵敏度中,选择轨迹灵敏度数值大于等于轨迹灵敏度最小值 n 倍的一个或多个参数作为重点参数, n 依据经验值选择;

5) 根据步骤4)确定的重点参数,设定其搜索范围并随机生成初始值;以步骤4)设置的电压跌落扰动,基于广义负荷出口的有功功率、无功功率作为参考信号,采用粒子群优化算法辨识广义负荷模型中的重点参数;

6) 将基于粒子群优化算法的参数辨识结果作为Levenberg-Marquardt算法的初始值,进一步采用Levenberg-Marquardt算法进行局部寻优,获得参数的最终辨识结果;

7) 计算实际轨线和基于辨识结果的仿真轨线的偏差,选取偏差指标最小时的参数辨识结果,作为最终的参数辨识值。

2. 根据权利要求1所述的一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法,其特征是,所述步骤1)中直驱永磁风电机组的简化模型包括有功环节和无功环节;所述有功环节的输入量为风电机组有功功率参考值与有功功率实际值的偏差,输出环节为d轴电流;所述无功环节的输入量与风电机组的控制方式有关。

3. 根据权利要求1所述的一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法,其特征是,所述步骤2)中曲线拟合辨识直驱永磁风电机组模型参数,辨识的目标函数为偏差指标 err_1 达到最小,

$$\text{即: } \min err_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_1} [|P_{est}(k) - P_{real}(k)| + |Q_{est}(k) - Q_{real}(k)|], \text{ 其中, } n_1 \text{ 为辨识时间窗口内的}$$

总点数; $P_{est}(k)$ 和 $Q_{est}(k)$ 分别为辨识时间窗口内第 k 个基于辨识结果仿真得到的直驱风电机组出口的有功功率和无功功率; $P_{real}(k)$ 和 $Q_{real}(k)$ 分别为辨识时间窗口内第 k 个基于实际值仿真得到直驱风电机组出口的有功功率和无功功率。

4. 根据权利要求1所述的一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法,其特征是,所述步骤4)中轨迹灵敏度的获取方法如下:

41) 将待辨识参数 θ 的数值增大 $\Delta\theta$,基于Matlab/Simulink平台搭建的配电网广义负荷并网系统,仿真得到观测量 y 的受扰轨迹 $y(\theta)$,其中 $\Delta\theta$ 为增量, $\Delta\theta = 10\% \theta_0$,其中 θ_0 为待辨识参数 θ 的初始值;

42) 将待辨识参数 θ 的数值减少 $\Delta\theta$, 仿真得到观测量 y 的受扰轨迹 $y'(\theta)$;

43) 根据公式 $S_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{[y(\theta) - y'(\theta)] / y(\theta)}{2\Delta\theta / \theta_0}$, 计算参数 θ 的轨迹灵敏度 S_j , 式中, n 为观测量的采样点个数。

5. 根据权利要求1所述的一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法, 其特征是, 所述 $\eta=5$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法, 其特征是, 所述步骤5) 辨识广义负荷中的重点参数 $\hat{\theta}$ 时, 辨识的目标函数为偏差指标 err_2 达到最小,

即: $min\ err_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{k=1}^{n_2} [|P_{est}(k) - P_{real}(k)| + |Q_{est}(k) - Q_{real}(k)|]$, $\hat{\theta} \in [\theta_{max}, \theta_{min}]$, 其中 θ_{max} 和 θ_{min} 分

别为待辨识参数的最大设定值和最小设定值, n_2 为辨识时间窗口内的总点数; $P_{est}(k)$ 和 $Q_{est}(k)$ 分别为辨识时间窗口内第 k 个基于辨识结果仿真得到的直驱风电机组出口的有功功率和无功功率; $P_{real}(k)$ 和 $Q_{real}(k)$ 分别为辨识时间窗口内第 k 个基于实际值仿真得到直驱风电机组出口的有功功率和无功功率。

一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法,属于电力系统建模技术领域。

背景技术

[0002] 以可再生能源为主的分布式电源大量、分散接入配电网,传统的负荷模型无法描述含分布式电源的广义负荷动态特性,因此需要研究含分布式电源的广义负荷模型结构及参数辨识方法。风力发电是近期内最具开发利用前景的可再生能源,研究含风力发电的广义负荷模型,其首要任务建立风电机组本身的模型,了解其动态特性。

[0003] 现有的含风力发电的广义负荷等值模型,有的过于简化,无法反映广义负荷的动态特性,误差较大。有的过于复杂,存在模型阶数高、待辨识参数个数多,且模型参数可能存在冗余的缺点。

发明内容

[0004] 为解决现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷的建模方法,所建立的模型能较准确地反映不同风力发电比例、不同电压跌落程度下广义负荷的动态特性,具有较强的适应性。

[0005] 为了实现上述目标,本发明采用如下的技术方案:

[0006] 一种含直驱永磁风电场的配电网广义负荷建模方法,其特征是,包括如下步骤:

[0007] 1) 建立直驱永磁风电机组 (DDPMSG) 的简化模型;

[0008] 2) 在风电机组出口设置三相对称电压跌落,将某一电压跌落场景下的有功功率和无功功率受扰轨线作为参考,基于步骤1) 所建立的简化模型进行曲线拟合,先采用粒子群优化算法 (PSO) 获得优化结果,再采用Levenberg-Marquardt (LM) 算法在PSO优化结果基础上进一步局部寻优,最后得到直驱永磁风电机组简化模型中各参数的辨识值;

[0009] 以参数辨识结果为基准,分析其它扰动场景下实际受扰轨线与基于参数辨识值的受扰轨线偏差,分析模型的适应性;

[0010] 3) 将步骤1) 所建立的风电机组简化模型与传统负荷 (即电动机负荷并联静态负荷) 并联,建立含直驱永磁风电场的配电网广义负荷模型结构;

[0011] 4) 在广义负荷出口设置对称三相电压跌落扰动,将广义负荷出口有功功率、无功功率作为输出信号,计算广义负荷模型中各参数的轨迹灵敏度;根据轨迹灵敏度幅值大小,确定广义负荷模型中的重点参数;根据轨迹灵敏度相位,确定广义负荷模型参数的可辨识性;

[0012] 5) 根据步骤4) 确定的重点参数,设定其搜索范围并随机生成初始值;以步骤4) 设置的电压跌落扰动,基于广义负荷出口的有功功率、无功功率作为参考信号,采用PSO算法辨识广义负荷模型中的重点参数;

[0013] 6) 将基于PSO算法的参数辨识结果作为LM算法的初始值,进一步采用LM方法进行

局部寻优,获得参数的最终辨识结果;

[0014] 7) 计算实际轨线和基于辨识结果的仿真轨线的偏差,选取偏差指标最小时的参数辨识结果,作为最终的参数辨识值。

[0015] 进一步地,所述步骤1)中直驱永磁风电机组的简化模型包括有功环节和无功环节;所述有功环节的输入量为风电机组有功功率参考值与有功功率实际值的偏差,输出环节为d轴电流;所述无功环节的输入量与风电机组的控制方式有关。

[0016] 进一步地,所述步骤2)中曲线拟合,辨识直驱永磁风电机组模型参数的方法。辨识的目标函数为偏差指标err达到最小,即:
$$\min err = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [|P_{est}(k) - P_{real}(k)| + |Q_{est}(k) - Q_{real}(k)|],$$

其中,n为辨识时间窗口内的总点数; $P_{est}(k)$ 和 $Q_{est}(k)$ 分别为辨识时间窗口内第k个基于辨识结果仿真得到的直驱风电机组出口的有功功率和无功功率; $P_{real}(k)$ 和 $Q_{real}(k)$ 分别为辨识时间窗口内第k个基于实际值仿真得到直驱风电机组出口的有功功率和无功功率。

[0017] 进一步地,所述步骤4)中轨迹灵敏度的获取方法如下:

[0018] 41) 将待辨识参数 θ 的数值增大 $\Delta\theta$,基于Matlab/Simulink平台搭建的配电网广义负荷并网系统,仿真得到观测量y的受扰轨迹 $y(\theta)$,其中 $\Delta\theta$ 为增量, $\Delta\theta = 10\% \theta_0$,其中 θ_0 为待辨识参数 θ 的初始值;

[0019] 42) 将待辨识参数 θ 的数值减少 $\Delta\theta$,仿真得到观测量y的受扰轨迹 $y'(\theta)$;

[0020] 43) 根据公式
$$S_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{|y(\theta) - y'(\theta)|}{2\Delta\theta / \theta_0} / y(\theta)$$
,计算参数 θ 的轨迹灵敏度 S_j ,式中,n

为观测量的采样点个数。

[0021] 进一步地,所述步骤4)中重点参数的选择方法为:在所有参数的轨迹灵敏度中,选择轨迹灵敏度最小值 η 倍以上的参数作为重点参数, η 依据经验值选择。

[0022] 进一步地,其特征是,所述 $\eta = 5$ 。

[0023] 进一步地,所述步骤5)辨识广义负荷中的重点参数 $\hat{\theta}$,辨识的目标函数为偏差指标err达到最小,即:
$$\min err = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [|P_{est}(k) - P_{real}(k)| + |Q_{est}(k) - Q_{real}(k)|], \hat{\theta} \in [\theta_{max}, \theta_{min}],$$
其中 θ_{max} 和 θ_{min} 分别为待辨识参数的最大设定值和最小设定值,其他参数值与步骤2)中涉及的参数值代表含义相同。

[0024] 本发明所达到的有益效果:本发明提出的直驱永磁风电机组的简化模型,不仅结构简单,还能反映风电机组在不同电压跌落程度下的动态特性,具有较强的适应性;采用该简化的直驱永磁风电机组并联传统负荷的模型结构,作为含直驱永磁风电场的配电网广义负荷模型结构,参数辨识先用粒子群(PSO)优化算法进行全局寻优,再利用LM算法在PSO优化结果基础上进一步局部寻优。所提建模方法不仅简化了广义负荷的模型结构,且提出的参数辨识方法具有较高的辨识精度。

附图说明

[0025] 图1是本发明的工作流程图;

[0026] 图2(a)(b)分别是简化的直驱永磁风电机组模型的有功环节和无功环节;

[0027] 图3是含直驱永磁风电机组的仿真系统接线图;

[0028] 图4(a) (b) 分别是简化模型辨识结果对三相电压跌落10% U_N 程度、电压跌落30% U_N 的适应性;

[0029] 图5是含直驱永磁风电场的配电网广义负荷模型结构;

[0030] 图6是含直驱风电场的广义负荷仿真测试系统;

[0031] 图7是电压跌落20% U_N 下的参数的轨迹灵敏度;

[0032] 图8是电压跌落80% U_N 下的参数的轨迹灵敏度;

[0033] 图9是电压跌落20% U_N 下基于实际参数与辨识参数的受扰轨线;

[0034] 图10是电压跌落80% U_N 下基于实际参数与辨识参数的受扰轨线。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0036] 下面具体结合实施例对本发明进行阐述:

[0037] 步骤1) 提出直驱永磁风电机组的简化模型,见图2所示。

[0038] 图2中, P_{ref} 和 Q_{ref} 分别为有功功率及无功功率设定值,其数值由2种方式确定,一种由风电场场站级控制系统直接下达,一种由直驱永磁风电机组的运行状态确定。 P 、 Q 、 U 和 θ 分别为风电机组的有功功率、无功功率、端电压幅值和功率因数角。 K_{P_p} 、 K_{P_i} 分别为有功控制环节的比例和积分系数。 T_P 为有功控制环节的测量时间常数。 U_{ref} 为电压参考值。 K_{Q_i} 、 K_{U_i} 分别为无功控制的积分系数和电压控制的积分系数。 i_d 为d轴实际值; i_{dN} 、 i_{qN} 分别为d轴及q轴电流的额定值; $i_{d.cmd}$ 、 $i_{q.cmd}$ 分别为d轴及q轴电流的控制量; $1mt$ 为d轴电流的限幅值; S_1 、 S_2 和 S_3 为开关; s 为拉氏变换因子。

[0039] 开关 S_1 - S_3 的不同状态,用以切换直驱永磁风电机组的不同控制方式,具体如下:

[0040] 1) 当 $S_1=0$ 且 $S_3=0$ 时,对应定无功功率控制方式;

[0041] 2) 当 $S_1=1$ 且 $S_3=0$ 时,对应定功率因数控制方式;

[0042] 3) 当 $S_2=0$ 且 $S_3=1$ 时,对应定电压控制方式;

[0043] 4) 当 $S_2=1$ 且 $S_3=1$ 时,对应电压/无功控制方式。

[0044] 步骤2) 对直驱永磁风电机组的简化模型进行适应性分析。

[0045] 以图3系统为例。其中, $T1$ 和 $T2$ 为升压变, 11 和 12 为输电线路;故障设置为 $t=1.7s$ 时,母线B1处发生三相短路故障 f ,此时母线B2电压跌落了20% U_N 左右,故障持续0.2s后恢复。仿真得到该故障下风电机组有功功率 P 及无功功率 Q 的受扰轨线,以该受扰轨线为基准,采用图2所示的简化模型进行拟合,根据曲线拟合结果辨识简化模型中的各参数 $[K_{P_p}, K_{P_i}, T_P]$ 。

[0046] 曲线拟合时,先采用粒子群优化算法(PSO)获得优化结果,进一步利用Levenberg-Marquardt(LM)算法在PSO优化结果基础上局部寻优;辨识的目标函数为偏差指标 err 达到

最小,即 $\min err = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [|P_{est}(k) - P_{real}(k)| + |Q_{est}(k) - Q_{real}(k)|]$ 。辨识的时间窗口选为 $[1.7,$

$2.3]s$,输出曲线的步长为 $0.00005s$ 。

[0047] 为校验图2所示简化模型的适应性,仍旧在母线B1处设置三相短路故障,通过调整

接地电阻,使得母线B2电压跌落分别为10%U_N和30%U_N,基于电压跌落20%U_N下的参数辨识结果获得风电机组有功功率和无功功率的受扰轨线。2种情况下参考模型和估算模型的受扰轨线见图4,曲线偏差结果分别为err(10%U_N)=0.0029, err(30%U_N)=0.0115, U_N表示额定电压。根据图4说明了直驱永磁风电机组的模型具有较强的适应性。

[0048] 步骤3) 提出含直驱永磁风电场的配电网广义负荷的模型结构,如图5。其中, P_{wg}和 Q_{wg}分别为风电场发出的总有功功率和无功功率。P_{im}和 Q_{im}分别为电动机吸收的有功功率及无功功率。P_{zip}和 Q_{zip}分别为静态负荷吸收的有功功率及无功功率。P_L和 Q_L分别为总负荷有功功率和无功功率。P和 Q分别为系统侧供给广义负荷的有功功率和无功功率。j为虚数单位。

[0049] 定义风电场发电功率以及电动机负荷功率比例系数,分别为 $K_{wg} = \frac{P_{wg}}{P_L}$, $K_{im} = \frac{P_{im}}{P_L}$ 。

其中, ZIP表示静态负荷, IM表示感应电动机负荷,它们的模型表达式如下。

$$[0050] \quad \text{ZIP静态负荷模型:} \begin{cases} P_{ZIP} = P_{ZIP0} \left[Z_p \left(\frac{U_L}{U_{L0}} \right)^2 + I_p \left(\frac{U_L}{U_{L0}} \right) + P_p \right] (1 + L_{DP} \Delta f / f_0) \\ Q_{ZIP} = Q_{ZIP0} \left[Z_q \left(\frac{U_L}{U_{L0}} \right)^2 + I_q \left(\frac{U_L}{U_{L0}} \right) + P_q \right] (1 + L_{DQ} \Delta f / f_0) \end{cases} \quad \circ \text{其中, } Z_p, I_p, P_p,$$

P_p、Z_q、I_q、P_q分别为有功恒阻抗系数、有功恒电流系数、有功恒功率系数、无功恒阻抗系数、

无功恒电流系数和无功恒功率系数,且满足 $\begin{cases} Z_p + I_p + P_p = 1 \\ Z_q + I_q + P_q = 1 \end{cases}$ 。L_{DP}、L_{DQ}分别为有功和无功的频率特性系数。P_{ZIP}和 Q_{ZIP}分别为静态负荷的有功功率和无功功率。P_{ZIP0}和 Q_{ZIP0}分别为静态负荷的初始有功功率和无功功率。U_L为负荷端口电压。U_{L0}为负荷端口电压初始值。f₀为系统频率初始值。Δf为频率偏差, Δf=f-f₀, f为系统频率。

[0051] IM电动机负荷模型: $\begin{cases} T' \frac{dE'}{dt} = -E' + \left(\frac{CU}{\omega_s} \right) \cos \delta + E_f \\ \frac{d\delta}{dt} = (\omega_r - \omega_s) \\ 2H \frac{d\omega_r}{dt} = T_m - \left(\frac{E'U}{X'} \right) \sin \delta \end{cases}$, 式中, ω_r和 ω_s分别为转子角

速度和系统角速度; E'和 E'_f分别为暂态电势和励磁电势; X'为暂态电抗; T'为时间常数; H为惯性时间常数; C为常数; U为电动机端口电压幅值; δ为转子角; T_m为机械转矩。

[0052] 对于电动机负荷,灵敏度较大的参数为定子电抗X_s,初始滑差s₀,以及对暂态稳定计算影响较大的电动机比例K_{im},因此确定广义负荷中待辨识参数为θ=[K_{Pp}, K_{Pi}, T_p, lmt, X_s, H, s₀, K_{wg}, K_{im}],其它参数采用典型值。

[0053] 步骤4) 将含直驱永磁风电场的配电网广义负荷接入无穷大电网,分析各参数的可辨识性及辨识难易度。仿真系统如图6所示,图中WG表示风电机组; Z表示恒阻抗负荷; 11-13为输电线路; T1—T3为变压器。该仿真系统搭建于Matlab 2010b软件中,系统中直驱永磁风电场取自Matlab自带的风电场算例(power_wind_type_4_avg),风电机组采用定无功功率控制方式(Q_{ref}=0)。直驱永磁风电场和常规负荷通过升压变接在25kV的母线B1处,母线B1

进一步升压并入120kV的无穷大系统,静态负荷部分采用恒阻抗负荷模型。

[0054] 扰动设置为母线B1处设置三相短路故障,通过改变接地电阻使得母线B1处电压跌落分别为20% U_N 和80% U_N ,故障起始时间为1.7s,持续时间为0.2s,采集B1处的电压、有功功率、无功功率作为实测数据。

[0055] 计算各参数的轨迹灵敏度,方法如下:

[0056] 41) 将待辨识参数 θ 的数值增大 $\Delta\theta$,基于Matlab/Simulink平台搭建的配电网广义负荷并网系统,仿真得到观测量 y 的受扰轨迹 $y(\theta)$;

[0057] 42) 将待辨识参数 θ 的数值减少 $\Delta\theta$,仿真得到观测量 y 的受扰轨迹 $y'(\theta)$;

[0058] 43) 根据公式 $S_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{[y(\theta) - y'(\theta)] / y(\theta)}{2\Delta\theta / \theta_0}$ 计算参数 θ 的轨迹灵敏度 S_j ,式中, n 为

观测量的采样点个数, $\Delta\theta = 10\% \theta_0$,其中 θ_0 为待辨识参数 θ 的初始值。

[0059] 电压跌落分别为20% U_N 和80% U_N ,且风电比例为 $K_{wg} = 50\%$, $K_{im} = 50\%$ 下各参数的轨迹灵敏度曲线,分别见图7和图8。

[0060] 根据图7在电压跌落较小情况下的轨迹灵敏度曲线,看出广义负荷模型中各参数 $[K_{Pp}, K_{Pi}, T_p, X_s, H]$ 的轨迹灵敏度曲线不同时过零,据此判别参数可唯一辨识。根据图6的轨迹灵敏度大小,判断参数 $[T_p, X_s, H]$ 的轨迹灵敏度数值较大,容易辨识;参数 $[K_{Pp}, K_{Pi}]$ 的轨迹灵敏度数值较小,相对难以辨识。且由于电动机的初始滑差 s_0 、风电场发电功率比例系数 K_{wg} 以及电动机负荷功率比例系数 K_{im} 对广义负荷的动态影像较大,因此在电压跌落较小时,选择参数 $[K_{Pp}, K_{Pi}, T_p, X_s, H, s_0, K_{wg}, K_{im}]$ 作为待辨识参数。

[0061] 根据图8在三相电压跌落较大情况下的轨迹灵敏度大小,得出参数 $[K_{Pp}, K_{Pi}, T_p]$ 的轨迹灵敏度较小,但参数 $[l_{mt}, X_s, H]$ 的轨迹灵敏度较大。根据图8的轨迹灵敏度曲线形状来看,参数 $[l_{mt}, X_s, H]$ 的轨迹灵敏度曲线不同时过零,可唯一辨识。因此在电压跌落较大情况下,选择参数 $[l_{mt}, X_s, H, s_0, K_{wg}, K_{im}]$ 作为待辨识参数。

[0062] 步骤5) 综合PSO及LM方法对含直驱永磁风电场的配电网广义负荷模型进行参数辨识。

[0063] 设工况为: $K_{wg} = 50\%$, $K_{im} = 50\%$,基于Matlab/Simulink平台搭建的详细模型,仿真获得三相电压跌落下广义负荷出口有功功率和无功功率受扰轨线,并以此为基准,基于所提出的含直驱永磁风电场的配电网简化模型进行拟合,据此辨识简化模型中各参数。

[0064] 辨识时先采用PSO方法获得优化结果,再采用LM算法在PSO优化结果基础上局部寻优。

[0065] 目标函数为 $\min err = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [|P_{est}(k) - P_{real}(k)| + |Q_{est}(k) - Q_{real}(k)|]$ 。

[0066] 在 $K_{wg} = 50\%$, $K_{im} = 50\%$ 工况下的参数辨识结果见表1。三相电压跌落20% U_N 下的PSO方法的参数辨识结果,见表1。

[0067] 表1电压跌落20% U_N 下PSO方法的参数辨识结果

[0068]

参数	辨识值					真实值	误差
	1	2	3	4	5		
K_{Pp}	4.5577	5.8996	4.7120	5.0393	7.8797	3.56	41.6%
K_{Pi}	117.9833	121.3885	115.3150	120.1257	161.2913	100	20.1%
T_p	0.1900	0.2277	0.1820	0.1953	0.2038	0.2	-2.4%
X_s	0.0689	0.0779	0.0690	0.0673	0.0717	0.065	3.5%
H	0.4760	0.4421	0.4670	0.4685	0.4155	0.5	-6.3%

[0069]

s_0	0.0442	0.0435	0.0445	0.0441	0.0433	0.0425	3.8%
K_{wg}	52.04	52.52	52.37	52.01	53.96	50	4.0%
K_{im}	50.53	50.30	50.76	50.34	47.43	50	0.7%
err	0.0172	0.0185	0.0174	0.0168	0.0236	/	/

[0070] 步骤6)将PSO算法的结果作为LM算法的初始点,进行局部寻优,目标函数与粒子群算法目标函数一致,电压跌落20%UN下LM算法辨识结果,见表2。选取表2中误差最小的辨识结果作为参数的最终的辨识值,见表2中的第2列参数。根据参数的辨识结果进行实际与辨识结果的仿真曲线对比,见图9。

[0071] 表2电压跌落20%UN下LM方法的参数辨识结果

参数	辨识值					真实值	误差
	1	2	3	4	5		
K_{Pp}	4.2386	6.0553	4.7120	4.7379	5.2455	3.56	70.0%
K_{Pi}	112.4773	130.3142	115.3150	115.5246	113.0243	100	30.0%
T_p	0.1791	0.2357	0.1820	0.1849	0.1852	0.2	18.0%
[0072] X_s	0.0690	0.0656	0.0690	0.0688	0.0696	0.065	1.5%
H	0.4776	0.4650	0.4670	0.4661	0.4697	0.5	7.0%
s_0	0.0442	0.0441	0.0445	0.0444	0.0434	0.0425	3.5%
K_{wg}	52.03	51.91	52.37	52.31	52.73	50	3.8%
K_{im}	50.53	50.17	50.76	50.41	48.72	50	0.3%
err	0.0172	0.0163	0.0174	0.0178	0.0207	/	/

[0073] 采用相同的方法,可得电压跌落80% U_N 的PSO及LM方法的参数辨识结果,见表3。

[0074] 表3电压跌落50% U_N 下的参数辨识结果

参数	辨识值					真实值	误差/%
	1	2	3	4	5		
[0075] lmt	1.0259	0.9871	1.0157	1.0056	1.0231	1.0037	1.2
X_s	0.0659	0.0734	0.0678	0.0693	0.0620	0.065	4.3
H	0.5114	0.4867	0.4965	0.4984	0.5075	0.5	0.7
s_0	0.0426	0.0400	0.0424	0.0415	0.0429	0.0425	0.2
[0076] K_{wg}	47.76	50.92	46.10	48.78	47.59	50	7.8
K_{im}	52.18	46.60	52.71	50.02	50.98	50	5.4
err	0.0360	0.0449	0.0309	0.0318	0.0421	/	/

[0077] 步骤7) 选取表3中误差最小的辨识结果作为参数的最终的辨识值,见表3中的第3列参数。根据参数的辨识结果进行实际与辨识结果的仿真曲线对比,见图10。

[0078] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和变形,这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

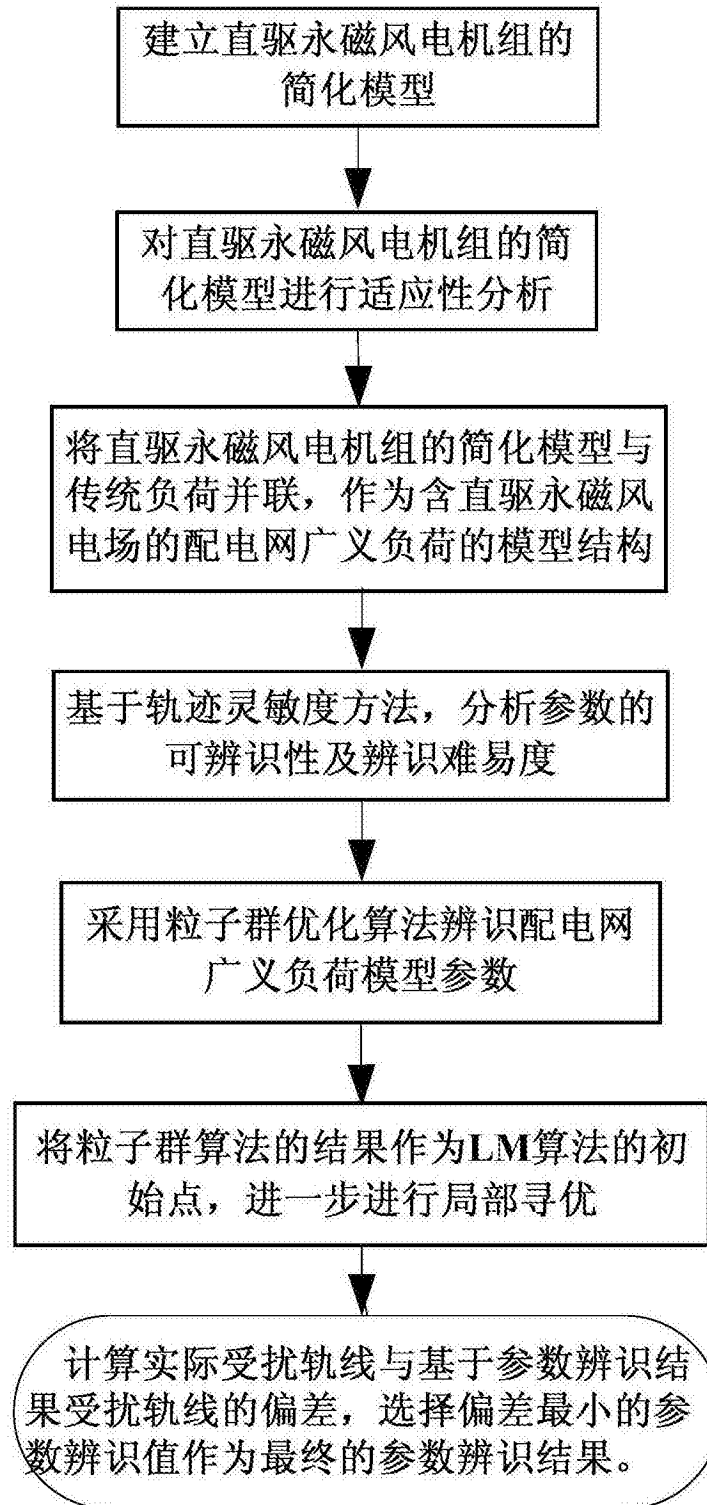


图1

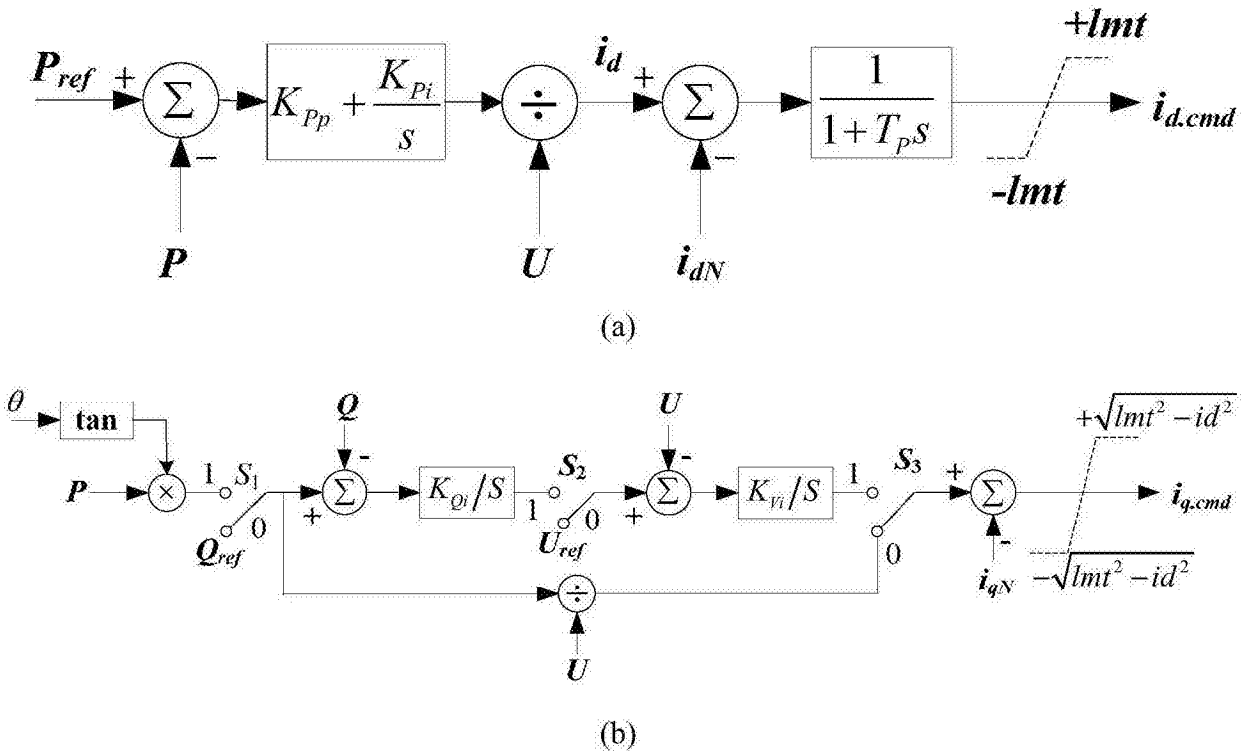


图2

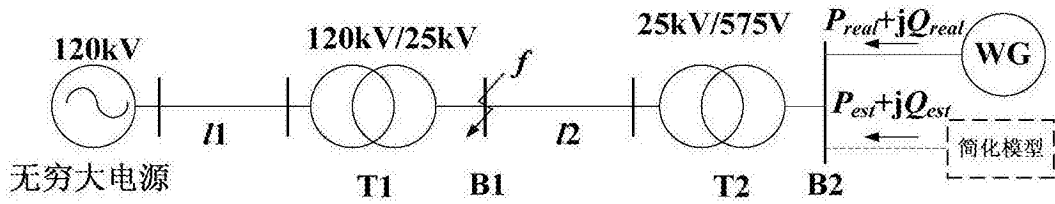
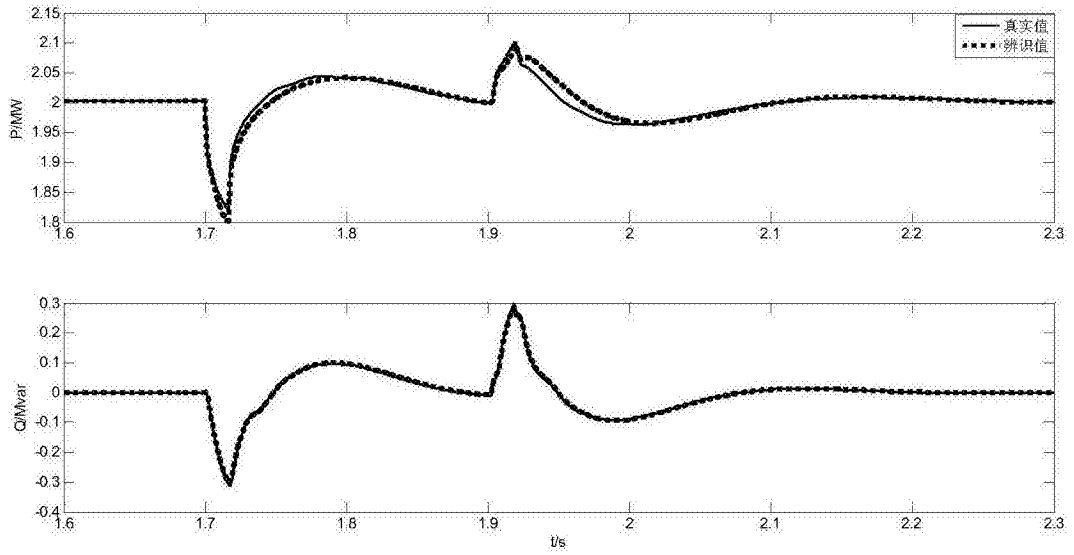
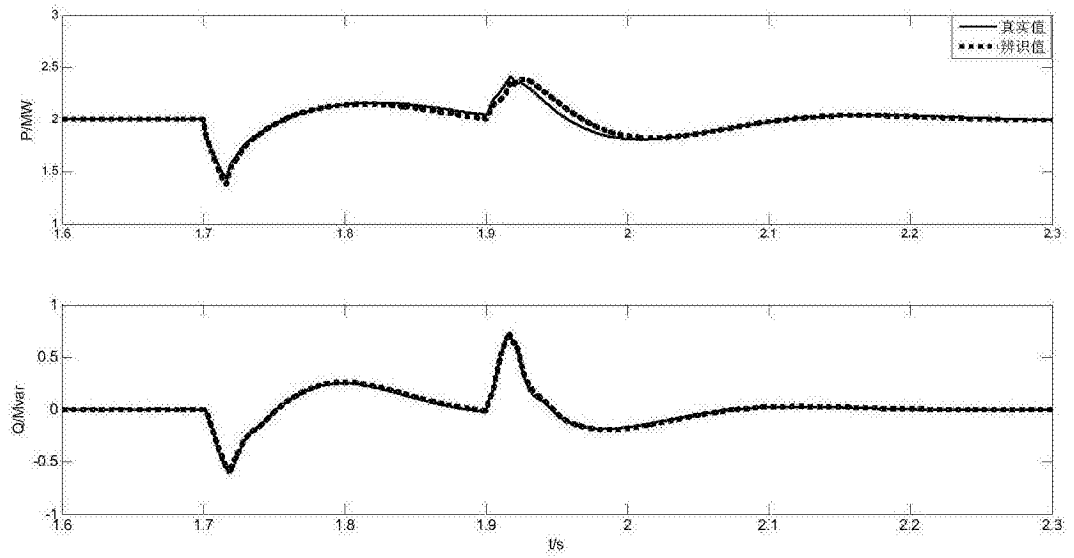


图3



(a)



(b)

图4

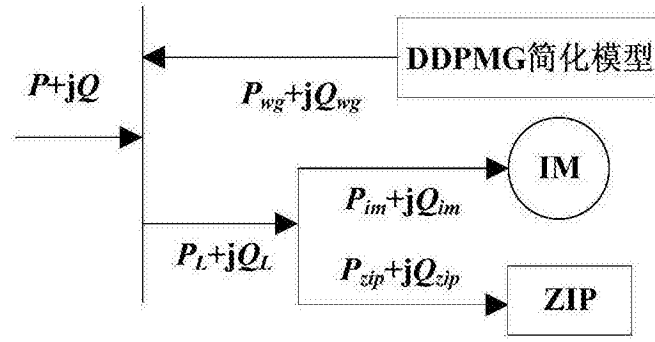


图5

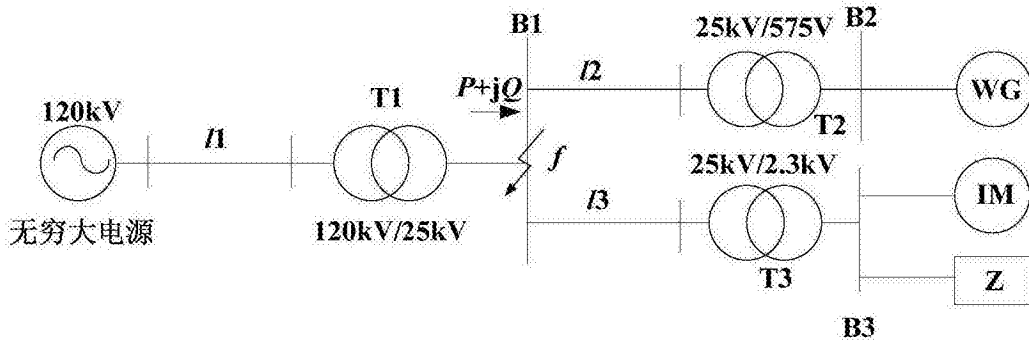


图6

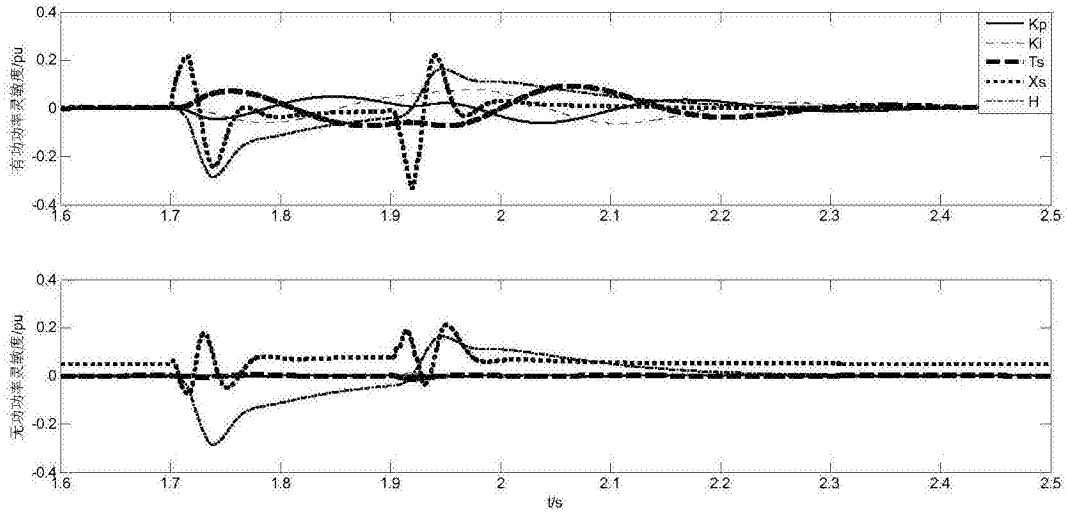


图7

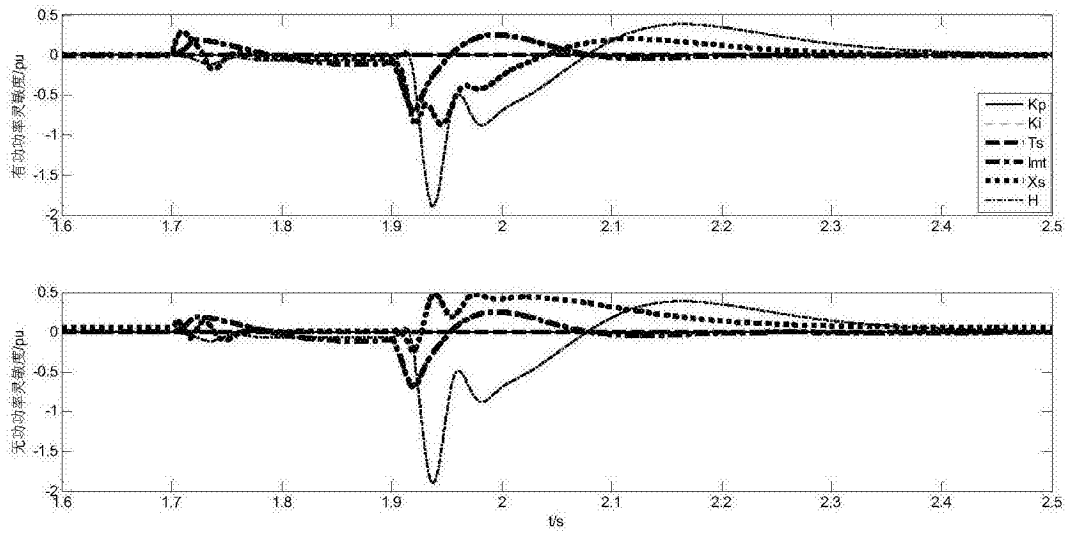


图8

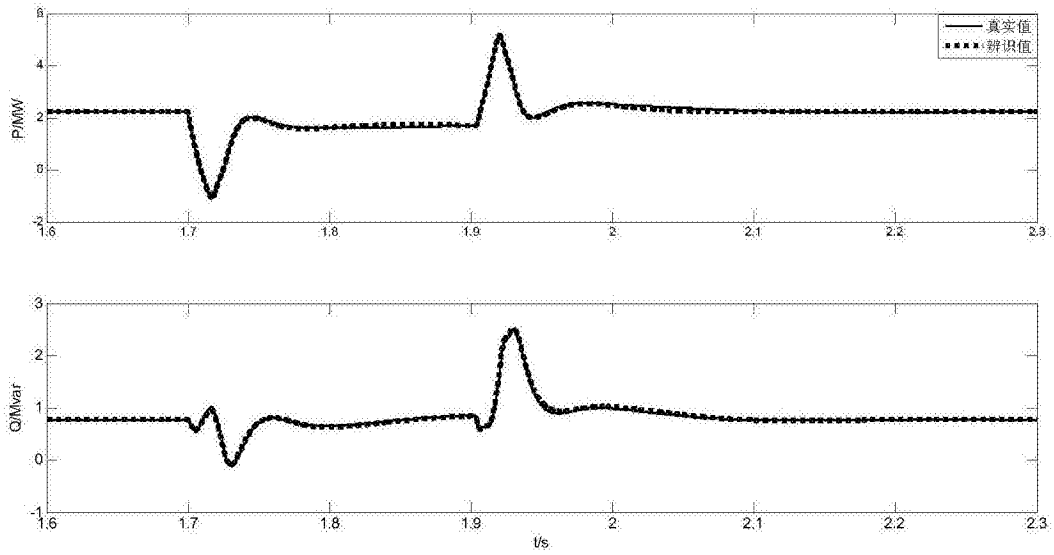


图9

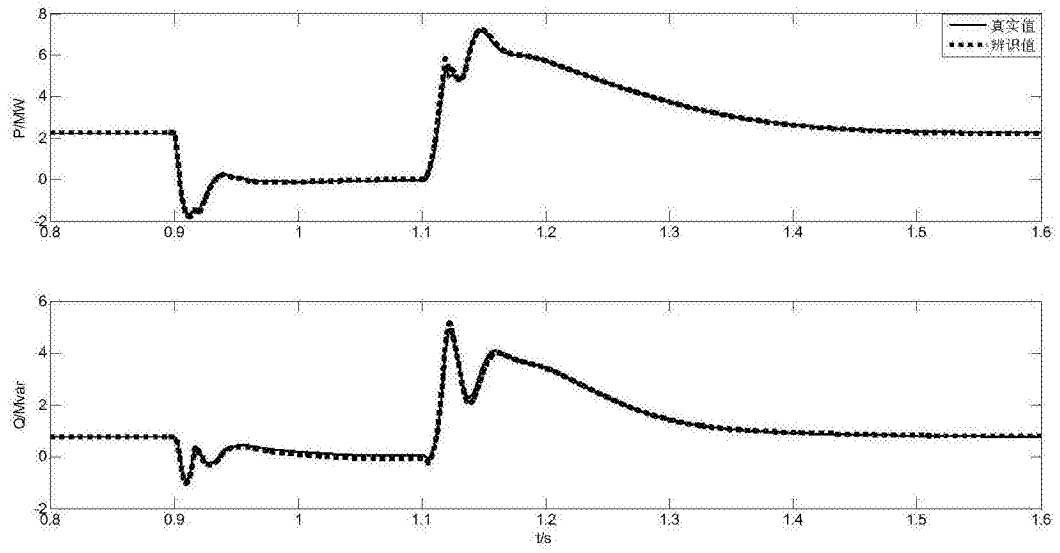


图10