



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110119570 A

(43)申请公布日 2019.08.13

(21)申请号 201910388534.9

(22)申请日 2019.05.10

(71)申请人 东北电力大学

地址 132012 吉林省吉林市船营区长春路
169号

申请人 国网吉林省电力有限公司电力科学
研究院

(72)发明人 安军 刘佳琦 周毅博 李德鑫

姜赫 宋俊达 李同 王佳蕊

(74)专利代理机构 吉林市达利专利事务所

22102

代理人 陈传林

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

G06N 3/00(2006.01)

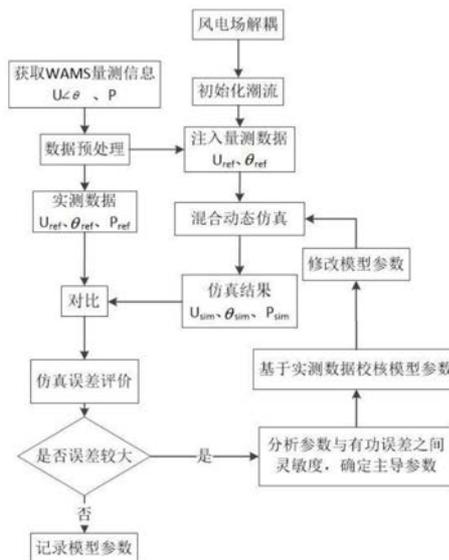
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种实测数据驱动的风电场模型参数校核方法

(57)摘要

本发明是一种实测数据驱动的风电场模型参数校核方法,其特点是,建立风电场等值模型,设置参数的初始值,构建仿真系统;提出基于实测数据的误差评价指标,量化仿真误差;若误差较大不满足仿真精度,进一步摄动参数,通过轨迹灵敏度计算,分析参数对风电场动态特性的影响程度,缩小校核参数集的维度;结合粒子群算法进行模型参数自动校核,获取最优的匹配参数;最后验证校核后仿真精度是否满足要求,获得能够准确描述风电场动态特性的等值模型参数。该方法完全基于实测数据,可以快速有效地验证并校核风电场等值模型参数,为电网调度人员分析预测含高比例风电的电力系统运行状态及其稳定性提供可靠依据。



1. 一种实测数据驱动的风电场等值模型参数校核方法,其特征是,它包括以下内容:

1) 将风电场内所有风电机组按照同步相量测量装置 (PMU) 进行配置,在风电场出口处装有同步相量测量装置 (PMU) 的风电机群等值为一台风电机组,建立风电场的多机等值模型,依据风电场中普遍采用同种型号的风电机组的特点,对仿真参数进行容量加权,设置参数初始值;

2) 利用风电场出口处同步相量测量装置 (PMU) 记录的实测数据,将电压向量或功率,作为风电场的边界条件,代替外部系统给予风电场的激励,避免外部系统的建模对仿真带来的不利影响;

3) 对比风电场出口处的实测数据与仿真结果,若二者之间的误差指标满足风电场仿真精度,则说明其仿真模型参数有效,否则需要对其模型参数进行校核,用扰动时长误差指标 α 、极值误差指标 β 和整体误差指标 E 来评价误差的大小,其表达式如式 (1)、(2)、(3),

$$\alpha = \frac{|t_s - t|}{t} \quad (1)$$

$$\beta = \max \left| \frac{P_t^s - P_t}{P_0} \right| \quad t \in [0, T] \quad (2)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_j)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2} \times 100\% \quad (3)$$

式 (1) 中: t_s 表示仿真系统某物理量的受扰时长; t 为实际系统某物理量的受扰时长;

式 (2) 中: T 为仿真总时长, t 为各观测点的时刻; P_t^s 为 t 时刻仿真有功功率的对应值; P_t 为 t 时刻实测有功功率的对应值; P_0 为实测有功功率的初始值;

式 (3) 中: n 为风电场中的风电机组总台数; y_i 为变量的实测数值; y_j 为变量的仿真数值; y_0 为变量的稳态数值;

误差指标的取值越大说明仿真结果与实测数据之间的误差越小,若误差指标的取值越小说明仿真结果与实测数据之间的误差越大;

4) 基于轨迹的轨迹灵敏度法识别待校核的模型参数,轨迹灵敏度能够反映参数的变化对风电场运行轨迹的影响程度,采用基于轨迹计算单机系统的轨迹灵敏度的卷积法对参数的灵敏度进行排序,减小带校核参数集的维度;

5) 利用粒子群算法自动校核风电场等值模型参数,快速准确获取最优匹配参数,使风电场等值模型参数能够准确反映风电场在实际电力系统中的动态特性;

6) 仿真准确性判断,若仿真精度满足要求则说明模型参数有效,若仿真精度不满足要求则需要继续校核模型参数直至满足精度要求。

一种实测数据驱动的风电场模型参数校核方法

技术领域

[0001] 本发明涉及含高比例风电的电力系统仿真验证领域,是一种实测数据驱动的风电场模型参数校核方法。

背景技术

[0002] 数字仿真一直是电力系统稳定性研究及电力系统规划运行的重要工具,所以电力系统仿真的可信度与准确度直接影响着系统的安全性与经济性。目前,大规模风电并网为电力系统的稳定性带来了新的挑战,对风电场仿真准确性的验证显得日益重要。然而风电场模型参数的准确与否势必会影响电力系统仿真的可信度,校核风电场等值模型参数的研究是提高风电场仿真准确性的前提。

[0003] 目前,针对风电场的等值模型参数的研究主要集中在风电场等值建模及参数辨识两个问题,但是缺乏以实测数据为标准的仿真有效性验证。其一,风电场的等值建模方法分为单机等值法和多机等值法,其中单机等值法由于模型简单可能会带来误差,多机等值法的分群指标不一,且无法适应于风电场并网比例变化的情况。其二,对于生产厂家无法提供的等值参数进行辨识的方法主要是以风电机组的详细模型建立的风电场为标准,对比其动态响应与仿真结果的差异,从而辨识参数取值。但是目前风电场往往含有数百台风电机组,对其建立详细模型耗时费力,而且详细模型仍与实际风电场有无法克服的差异,用现有技术的方法辨识出的参数的准确性较低。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是:解决风电场仿真有效性的验证,提高风电场仿真精度的问题,提供一种实测数据驱动的风电场模型参数校核方法,其方法科学合理,仅利用同步相量测量装置PMU记录的实测扰动数据就可以验证并提高风电场等值模型参数的准确性,为电网调度人员分析预测风电场运行状态提供依据。

[0005] 解决其技术问题采用的方案是:一种实测数据驱动的风电场等值模型参数校核方法,其特征是,它包括以下内容:

[0006] 1) 将风电场内所有风电机组按照同步相量测量装置(PMU)进行配置,在风电场出口处装有同步相量测量装置(PMU)的风电机群等值为一台风电机组,建立风电场的多机等值模型,依据风电场中普遍采用同种型号的风电机组的特点,对仿真参数进行容量加权,设置参数初始值;

[0007] 2) 利用风电场出口处同步相量测量装置(PMU)记录的实测数据,将电压向量或功率,作为风电场的边界条件,代替外部系统给予风电场的激励,避免外部系统的建模对仿真带来的不利影响;

[0008] 3) 对比风电场出口处的实测数据与仿真结果,若二者之间的误差指标满足风电场仿真精度,则说明其仿真模型参数有效,否则需要对其模型参数进行校核,用扰动时长误差指标 α 、极值误差指标 β 和整体误差指标 E 来评价误差的大小,其表达式如式(1)、(2)、(3),

$$[0009] \quad \alpha = \frac{|t_s - t|}{t} \quad (1)$$

$$[0010] \quad \beta = \max \left| \frac{P_t^s - P_t}{P_0} \right| \quad t \in [0, T] \quad (2)$$

$$[0011] \quad E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_j)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2} \times 100\% \quad (3)$$

[0012] 式(1)中： t_s 表示仿真系统某物理量的受扰时长； t 为实际系统某物理量的受扰时长；

[0013] 式(2)中： T 为仿真总时长， t 为各观测点的时刻； P_t^s 为 t 时刻仿真有功功率的对应值； P_t 为 t 时刻实测有功功率的对应值； P_0 为实测有功功率的初始值；

[0014] 式(3)中： n 为风电场中的风电机组总台数； y_i 为变量的实测数值； y_j 为变量的仿真数值； y_0 为变量的稳态数值；

[0015] 误差指标的取值越大说明仿真结果与实测数据之间的误差越小，若误差指标的取值越小说明仿真结果与实测数据之间的误差越大；

[0016] 4) 基于轨迹的轨迹灵敏度法识别待校核的模型参数，轨迹灵敏度能够反映参数的变化对风电场运行轨迹的影响程度，采用基于轨迹计算单机系统的轨迹灵敏度的卷积法对参数的灵敏度进行排序，减小带校核参数集的维度；

[0017] 5) 利用粒子群算法自动校核风电场等值模型参数，快速准确获取最优匹配参数，使风电场等值模型参数能够准确反映风电场在实际电力系统中的动态特性；

[0018] 6) 仿真准确性判断，若仿真精度满足要求则说明模型参数有效，若仿真精度不满足要求则需要继续校核模型参数直至满足精度要求。

[0019] 本发明能够快速准确地获取描述实际风电场动态特性的等值模型参数，为风电场模型参数的验证及校核提供了新的思路，从而提高电力系统仿真精度。

附图说明

[0020] 图1为双馈式风力发电机组结构示意图；

[0021] 图2为风电场四机等值仿真系统示意图；

[0022] 图3为风电场等值模型参数的轨迹灵敏度曲线示意图；

[0023] 图4为粒子群迭代寻优特性曲线示意图；

[0024] 图5为校核前风电场的实测有功与仿真有功对比示意图；

[0025] 图6为校核后风电场的实测有功与仿真有功对比示意图；

[0026] 图7为基于实测数据校核风电场等值模型参数的流程图。

具体实施方式

[0027] 下面利用附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0028] 本发明的一种实测数据驱动的风电场等值模型参数校核方法，包括以下内容：

[0029] 1) 将风电场内所有风电机组按照同步相量测量装置(PMU)进行配置，在风电场出

口处装有同步相量测量装置 (PMU) 的风电机群等值为一台风电机组, 建立风电场的多机等值模型, 依据风电场中普遍采用同种型号的风电机组的特点, 对仿真参数进行容量加权, 设置参数初始值;

[0030] 2) 利用风电场出口处同步相量测量装置 (PMU) 记录的实测数据, 将电压向量或功率, 作为风电场的边界条件, 代替外部系统给予风电场的激励, 避免外部系统的建模对仿真带来的不利影响;

[0031] 3) 对比风电场出口处的实测数据与仿真结果, 若二者之间的误差指标满足风电场仿真精度, 则说明其仿真模型参数有效, 否则需要对其模型参数进行校核, 用扰动时长误差指标 α 、极值误差指标 β 和整体误差指标 E 来评价误差的大小, 其表达式如式 (1)、式 (2)、式 (3);

$$[0032] \quad \alpha = \frac{|t_s - t|}{t} \quad (1)$$

$$[0033] \quad \beta = \max \left| \frac{P_t^s - P_t}{P_0} \right| \quad t \in [0, T] \quad (2)$$

$$[0034] \quad E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_j)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2} \times 100\% \quad (3)$$

[0035] 式 (1) 中: t_s 表示仿真系统某物理量的受扰时长; t 为实际系统某物理量的受扰时长;

[0036] 式 (2) 中: T 为仿真总时长, t 为各观测点的时刻; P_t^s 为 t 时刻仿真有功功率的对应值; P_t 为 t 时刻实测有功功率的对应值; P_0 为实测有功功率的初始值;

[0037] 式 (3) 中: n 为风电场中的风电机组总台数; y_i 为变量的实测数值; y_j 为变量的仿真数值; y_0 为变量的稳态数值;

[0038] 误差指标的取值越大说明仿真结果与实测数据之间的误差越小, 若误差指标的取值越小说明仿真结果与实测数据之间的误差越大;

[0039] 4) 基于轨迹的轨迹灵敏度法识别待校核的模型参数, 轨迹灵敏度能够反映参数的变化对风电场运行轨迹的影响程度, 采用基于轨迹计算单机系统的轨迹灵敏度的卷积法对参数的灵敏度进行排序, 减小带校核参数集的维度;

[0040] 5) 利用粒子群算法自动校核风电场等值模型参数, 快速准确获取最优匹配参数, 使风电场等值模型参数能够准确反映风电场在实际电力系统中的动态特性;

[0041] 6) 仿真准确性判断, 若仿真精度满足要求则说明模型参数有效, 若仿真精度不满足要求则需要继续校核模型参数直至满足精度要求。

[0042] (1) 如图1所示, 选择单台风电机组模型及匹配原始参数, 风电机组模型包括风力机、发电机、转子侧变流器以及网侧变流器。

[0043] (2) 根据实际风电场中同步相量测量装置 (PMU) 安装情况建立风电场多机等值模型参数。以某一实际风电场为例, 由于其内部建有四个同步相量测量装置 (PMU) 量测装置, 因此构建如图2所示的四机等值仿真系统, 其中阻抗值接近于零。将风电场出口处的实测电压数据作为仿真模型的边界条件注入仿真系统, 代替外部系统给予风电场的激励。由于风

电场通常是包含上百台型号相同的风电机组,因此在等值过程中要进行容量加权,求取参数的初始值。等值参数的计算表达式如下:

$$[0044] \quad S' = \sum_{i=1}^n S_i \quad (4)$$

$$[0045] \quad H_m' = \sum_{i=1}^n H_m \quad (5)$$

$$[0046] \quad Z' = Z/n \quad (6)$$

[0047] 式中: S 为风电机组容量; S' 为等值后的风电场容量; H_m 为转子惯性时间常数; H_m' 为等值后转子惯性时间常数; Z 为发电机内部阻抗; Z' 为等值后的发电机内部阻抗; n 为风电场包含的风电机台数。

[0048] (3) 基于实测电压数据和已建立仿真系统进行混合动态仿真。对比风电场出口处的仿真结果与实测数据,结合误差指标评价该模型参数的误差大小。

[0049] (4) 在上一步得到的误差较大的情况下,基于轨迹灵敏度对风电机组的参数进行排序,取灵敏度较大的参数为待校正参数,如图3。根据轨迹灵敏度计算公式得出对风电机组动态特性影响较大的四个主导参数,分别为:定子电阻、转子电阻、激磁电抗、电压控制增益。计算公式如下:

$$[0050] \quad S_\theta = \frac{P(\theta + \Delta\theta, t) - P(\theta, t)}{\Delta\theta} \quad (7)$$

$$[0051] \quad G_\theta = \frac{\sum_{i=1}^n |S_\theta(i)|}{n} \quad (8)$$

[0052] 式中: S_θ 为参数 θ 在观察视窗内的轨迹灵敏度数值; $\Delta\theta$ 为参数 θ 的变化量; $P(\theta, t)$ 为参数摄动前风电场发出的有功; $P(\theta + \Delta\theta, t)$ 为参数摄动后风电场发出的有功。 G_θ 为参数 θ 的轨迹灵敏度; $S_\theta(i)$ 为参数 θ 在观察视窗内的第*i*个点的轨迹灵敏度数值; n 为观察视窗内总点数。

[0053] 利用粒子群法求取使得误差指标取到最小值的参数作为校核结果。粒子群算法利用个体对信息的共享使整个群体的运动在求解空间中产生有序的演化过程,从而获得最优解。在编程中需要设置粒子的速度,惯性权重,当前粒子的位置,学习因子等。迭代结果如图4。

[0054] (5) 采用经过校核之后的模型参数再一次进行混合动态仿真,对比实测数据与仿真结果的误差。校核前后实测与仿真轨迹对比如图5、6所示。计算误差指标数值大小,将其与校核前的误差指标数值进行对比,若误差指标的数值增大说明校核有效,否则无效。验证校核后的误差值是否满足要求,若满足说明该模型参数满足仿真精度,否则需要返回至上一步继续进行模型参数校核,直至满足仿真精度为止。

[0055] 表1校核后四台等值风机参数取值

主导参数	第一台	第二台	第三台	第四台
$R_s/p.u.$	0.1	0.12	0.12	0.12
$R_r/p.u.$	0.08	0.07	0.08	0.08
$X_d/p.u.$	1	1	1.4	1.5
K_v	170	180	170	170

[0056]

[0057] 表2校核前后四台等值风机实测与仿真有功功率误差

误差指标	第一台	第二台	第三台	第四台
校核前 α	0.78	0.83	0.72	0.83
校核后 α	0.01	0.07	0.08	0.05
改善程度	98.7%	91.6%	88.9%	94%
校核前 β	0.93	0.93	0.81	0.81
校核后 β	0.39	0.41	0.43	0.45
改善程度	58%	56%	47%	45%
校核前 E	1.02	1	1	1.01
校核后 E	0.22	0.34	0.36	0.34
改善程度	78.4%	66%	64%	66.3%

[0059] 表2给出校核后四台等值风电机组的主导参数取值,表3给出校核前后实测与仿真结果的误差。通过观察表3中的数据可知,基于实测数据校核后的风电场等值模型比较核前的有功出力更加贴近风电场的实际动态响应,经校核后风电场有功响应的扰动误差、极值误差、总体误差都比校核前小很多,仿真的精度得到了明显提高。

[0060] 通过以上分析可知,本发明提出的一种实测数据驱动的风电场模型参数校核方法,解决了现有的多种等值模型参数不准确的问题,并提供了仿真验证的方法。该方法计算简单,完全符合含大规模风电的电力系统实测信息,物理含义明确,所需模型简单,参数较少,仿真精度高,便于本领域技术人员掌握。本发明实施流程图见图7。

[0061] 以上具体实施方式仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制,所属领域的普通技术人员应该理解,参照上述实施例所作的任何形式的修改、等同变化均在本发明权利要求保护范围之内。

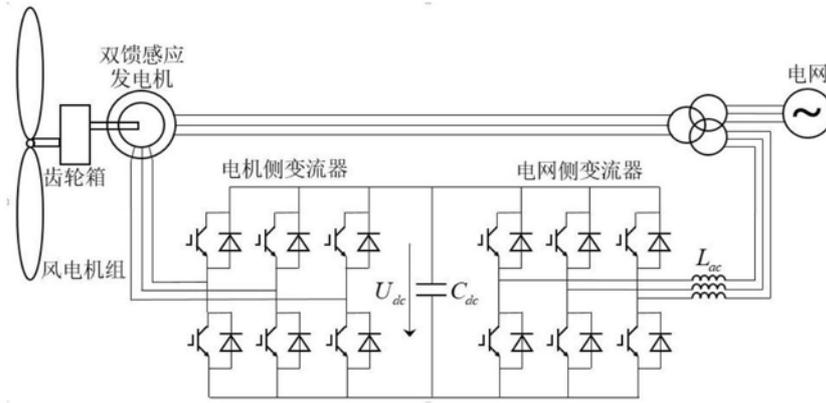


图1

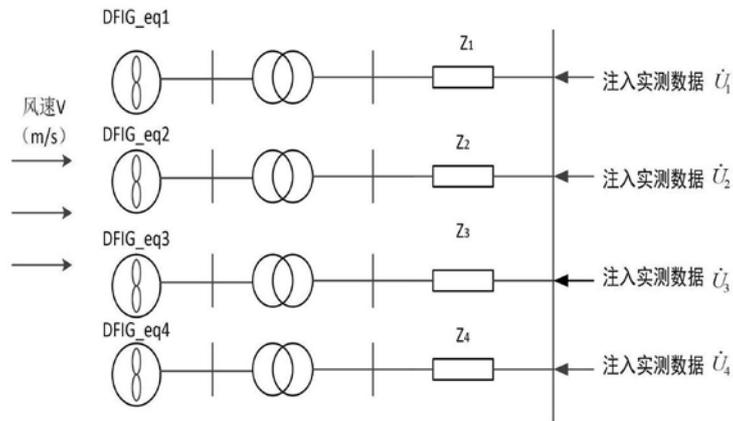


图2

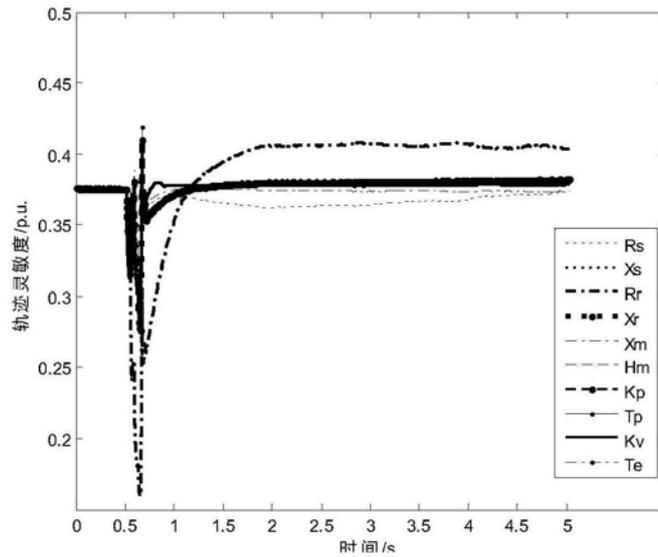


图3

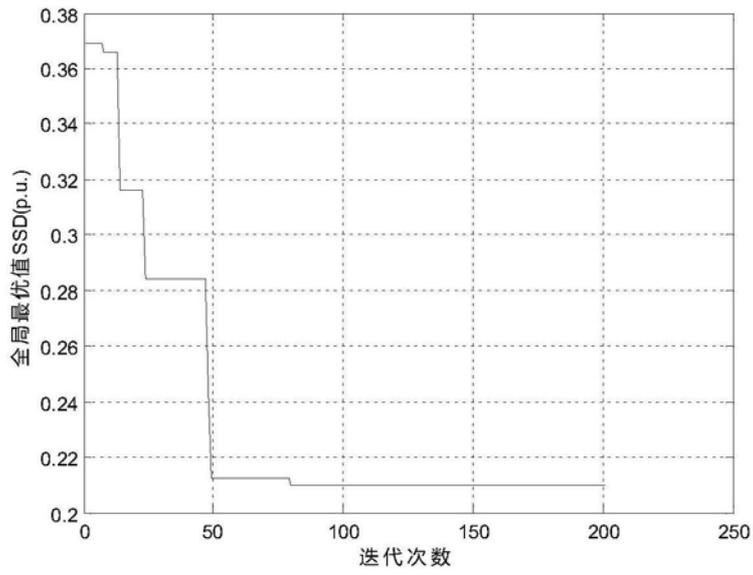


图4

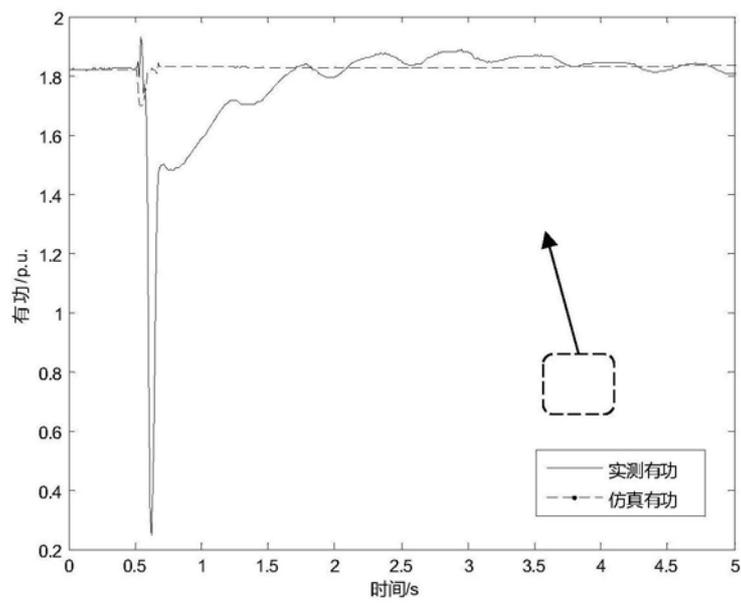


图5

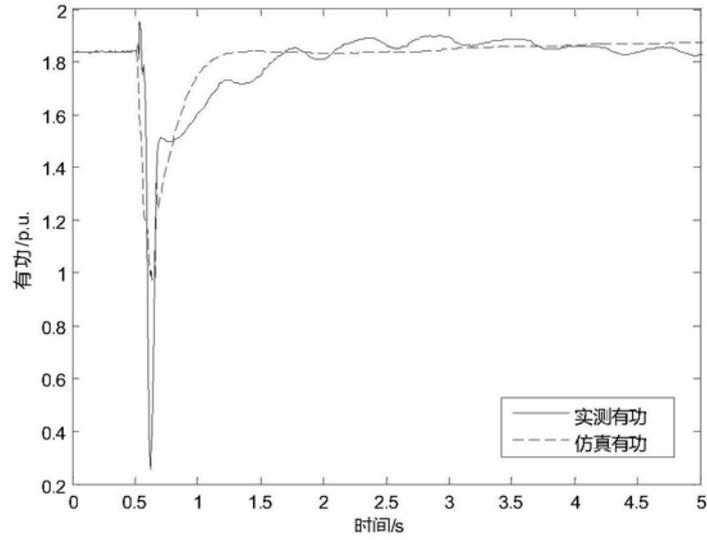


图6

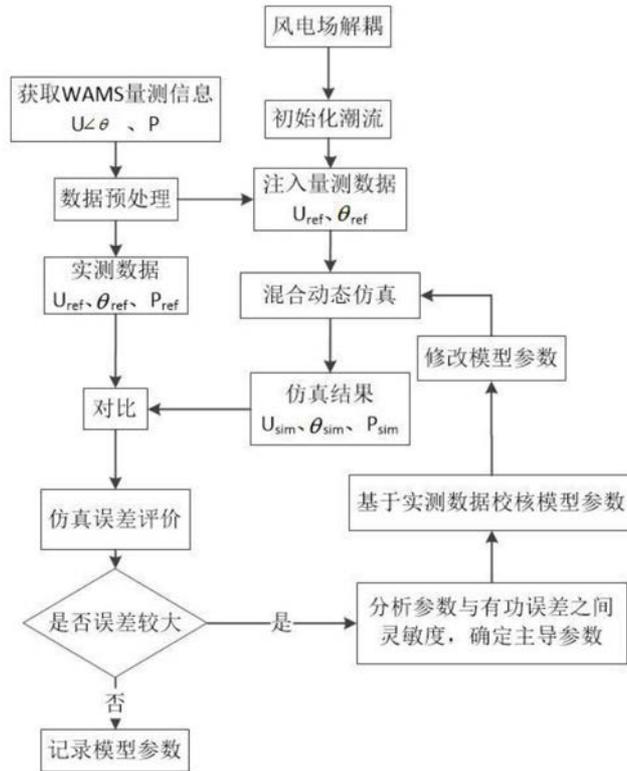


图7