



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116826786 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 29

(21) 申请号 202310715203.8

(22) 申请日 2023.06.15

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72) 发明人 吕敬 高磊 饶仪明

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 31317

专利代理师 张琳

(51) Int. Cl.

H02J 3/24 (2006.01)

H02J 3/00 (2006.01)

G06F 30/18 (2020.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

G06F 113/04 (2020.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图4页

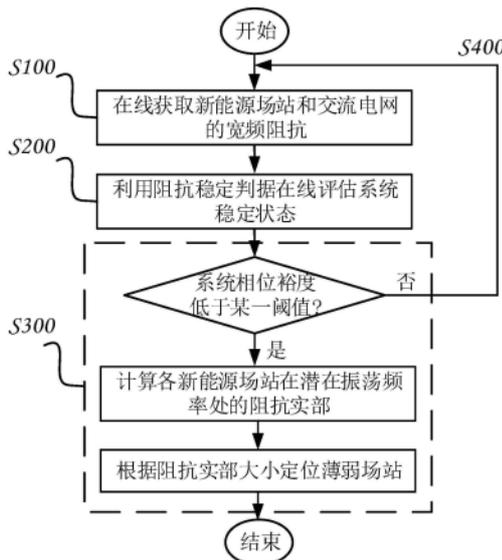
(54) 发明名称

一种新能源电力系统薄弱点定位方法及系统

(57) 摘要

本发明提供了一种新能源电力系统薄弱点定位方法及系统,包括:采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网节点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗;采用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率;如果系统相位裕度低于阈值,则根据在线辨识的宽频阻抗计算各新能源场站在潜在振荡频率处的阻抗实部;按照阻抗实部的大小进行排序,阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点;如果系统相位裕度大于阈值,则按照间隔时间,重复对系统的薄弱点进行滚动在线评估。本发明对新能源电力系统的稳定状态进行实时在线评估;在振荡发生前对系统的薄弱点进行定位从而进一步消除振荡隐患。

CN 116826786 A



1. 一种新能源电力系统薄弱点定位方法,其特征在于,包括:

采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗;

基于所述宽频阻抗,采用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率;

如果所述系统相位裕度低于设定的阈值,则根据在线辨识的所述宽频阻抗计算各新能源场站在潜在振荡频率处的阻抗实部;按照所述阻抗实部的大小进行排序,所述阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点;

如果所述系统相位裕度大于设定的阈值,则根据设置的间隔时间,重复对系统的薄弱点进行滚动在线评估。

2. 根据权利要求1所述的一种新能源电力系统薄弱点定位方法,其特征在于,所述的新能源电力系统包括:永磁直驱风电场、双馈风电场、光伏电站、同步发电机、传输线和储能电站。

3. 根据权利要求1所述的一种新能源电力系统薄弱点定位方法,其特征在于,所述采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗,包括:

针对输入随机不确定的新能源机组,采用数据驱动方法建立覆盖整个稳态运行工况的宽频阻抗在线辨识模型;结合新能源场站的物理结构模型,构建数据-模型融合驱动的新能源场站宽频阻抗在线辨识模型;根据新能源场站间的网络拓扑,通过阻抗网络计算得到新能源集群的宽频阻抗在线辨识模型;

基于所述新能源集群的宽频阻抗在线辨识模型,根据各新能源机组运行状态及电压电流测量数据,得到各个新能源场站的宽频阻抗 $Z_{REx}$ 以及新能源集群的宽频阻抗 $Z_{RE}$ ,并在线获取交流电网的宽频阻抗 $Z_g$ 。

4. 根据权利要求3所述的一种新能源电力系统薄弱点定位方法,其特征在于,所述基于所述宽频阻抗,采用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率,包括:

根据在线获取的新能源集群在并网点处的所述宽频阻抗 $Z_{RE}$ 以及交流电网的所述宽频阻抗 $Z_g$ ,定义系统相位裕度为:

$$\begin{cases} \left| \frac{Z_g(j\omega_c)}{Z_{RE}(j\omega_c)} \right| = 1 \\ PM = 180^\circ - [\angle Z_g(j\omega_c) - \angle Z_{RE}(j\omega_c)] \end{cases}$$

式中:符号 $||$ 指幅值, $\angle$ 指相位,PM表示相位裕度, $\omega_c$ 表示阻抗 $Z_g$ 和 $Z_{RE}$ 幅频曲线交点对应的频率;

设定系统相位裕度PM的阈值为 $\theta_{th}$ 。

如果所述系统相位裕度PM大于设定的阈值 $\theta_{th}$ ,系统稳定裕度较大,则系统处于稳定状态;

如果所述系统相位裕度PM小于设定的阈值 $\theta_{th}$ ,系统稳定裕度较小,存在失稳风险,则称交点频率 $\omega_c$ 为潜在振荡频率。

5. 根据权利要求4所述的一种新能源电力系统薄弱点定位方法,其特征在于,所述如果系统相位裕度低于设定的阈值 $\theta_{th}$ ,则计算各新能源场站在潜在振荡频率 $\omega_c$ 处的阻抗实部,并按所述照所述阻抗实部的大小进行排序,阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点,包括:

分别获取各个新能源场站在不同频率 $\omega_1$ 到 $\omega_n$ 下的端口处宽频阻抗 $Z_{REx}(j\omega_1)$ 、 $Z_{REx}(j\omega_2)$ 、 $\dots$ 、 $Z_{REx}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $Z_{REx}(j\omega_n)$  ( $x=1,2,\dots,n$ , $x$ 代表不同的新能源场站),根据所述潜在振荡频率 $\omega_c$ ,得到各个新能源场站端口处阻抗 $Z_{RE1}(j\omega_c)$ 、 $Z_{RE2}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $Z_{REn}(j\omega_c)$ ,分别提取各个新能源场站端口处阻抗实部 $R_{RE1}(j\omega_c)$ 、 $R_{RE2}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $R_{REn}(j\omega_c)$ ;

按照阻抗实部的大小进行排序,得到最小的一个或几个阻抗的实部,相应的新能源场站被定义为系统的薄弱点。

6. 根据权利要求1所述的一种新能源电力系统薄弱点定位方法,其特征在于,所述时间间隔为15分钟。

7. 根据权利要求4所述的一种新能源电力系统薄弱点定位方法,其特征在于,所述系统相位裕度PM的阈值范围为15~45度。

8. 一种新能源电力系统的薄弱点定位系统,其特征在于,包括:

新能源场站阻抗辨识模块,该模块采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗;

稳定裕度评估模块,该模块基于所述宽频阻抗,利用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率;

薄弱点定位模块,该模块在所述系统相位裕度低于设定的阈值的情况下,根据在线辨识的宽频阻抗计算各新能源场站在潜在振荡频率处的阻抗实部;按照阻抗实部的大小进行排序,阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点;

定时模块,该模块在所述系统相位裕度大于设定的阈值的情况下,间隔设定时间,重复启动新能源场站阻抗辨识模块、稳定裕度评估模块和薄弱点定位模块,对系统的薄弱点进行滚动在线评估。

9. 一种终端,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时可用于执行权利要求1-7中任一项所述的方法,或,运行权利要求8所述的系统。

10. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,该程序被处理器执行时可用于执行权利要求1-7中任一项所述的方法,或,运行权利要求8所述的系统。

## 一种新能源电力系统薄弱点定位方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及新能源发电技术领域,具体地,涉及一种新能源电力系统薄弱点定位方法及系统。

### 背景技术

[0002] 在能源和环境危机的严峻形势下,构建以新能源为主体的新型电力系统已成为行业共识。但随着高比例新能源和高比例电力电子设备的大量接入,新型电力系统区别于传统电力系统的宽频振荡问题凸显,给电网稳定控制提出了挑战。

[0003] 为了减轻宽频振荡对新能源电力系统的冲击,迫切需要研究宽频振荡在线风险评估方法,并且有必要在线评估系统稳定状态并定位系统振荡薄弱点,在发生振荡前提前采取预防措施提升系统稳定性,降低系统振荡风险。现有研究主要是针对传统电力系统或新能源电力系统发生低频或次/超同步振荡后所采取的振荡溯源方法,而鲜有文献对振荡发生前系统的稳定性在线评估并进行薄弱点定位,尤其在以新能源为主的电力系统宽频振荡薄弱点定位方面尚缺乏有效手段。

[0004] 因此,本发明提供一种新能源电力系统薄弱点定位方法及系统。

### 发明内容

[0005] 本发明针对现有技术中存在的上述不足,提供了一种新能源电力系统薄弱点定位方法及系统。

[0006] 根据本发明的第一个方面,提供了一种新能源电力系统薄弱点定位方法,包括:

[0007] 采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗;

[0008] 基于所述宽频阻抗,采用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率;

[0009] 如果所述系统相位裕度低于设定的阈值,则根据在线辨识的所述宽频阻抗计算各新能源场站在潜在振荡频率处的阻抗实部;按照所述阻抗实部的大小进行排序,所述阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点;

[0010] 如果所述系统相位裕度大于设定的阈值,则根据设置的间隔时间,重复对系统的薄弱点进行滚动在线评估。

[0011] 优选的,所述的新能源电力系统包括:永磁直驱风电场、双馈风电场、光伏电站、同步发电机、传输线和储能电站。

[0012] 优选的,所述采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗,包括:

[0013] 针对输入随机不确定的新能源机组,采用数据驱动方法建立覆盖整个稳态运行工况的宽频阻抗在线辨识模型;结合新能源场站的物理结构模型,构建数据-模型融合驱动的新能源场站宽频阻抗在线辨识模型;根据新能源场站间的网络拓扑,通过阻抗网络计算得

到新能源集群的宽频阻抗在线辨识模型；

[0014] 基于所述新能源集群的宽频阻抗在线辨识模型，根据各新能源机组运行状态及电压电流量测数据，得到各个新能源场站的宽频阻抗 $Z_{REx}$ 以及新能源集群的宽频阻抗 $Z_{RE}$ ，并在线获取交流电网的宽频阻抗 $Z_g$ 。

[0015] 优选地，所述基于所述宽频阻抗，采用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性，获取系统相位裕度和潜在振荡频率，包括：

[0016] 根据在线获取的新能源集群在并网点处的所述宽频阻抗 $Z_{RE}$ 以及交流电网的所述宽频阻抗 $Z_g$ ，定义系统相位裕度为：

$$[0017] \quad \begin{cases} \left| \frac{Z_g(j\omega_c)}{Z_{RE}(j\omega_c)} \right| = 1 \\ PM = 180^\circ - [\angle Z_g(j\omega_c) - \angle Z_{RE}(j\omega_c)] \end{cases}$$

[0018] 式中：符号 $||$ 指幅值， $\angle$ 指相位，PM表示相位裕度， $\omega_c$ 表示阻抗 $Z_g$ 和 $Z_{RE}$ 幅频曲线交点对应的频率；

[0019] 设定系统相位裕度PM的阈值为 $\theta_{th}$ ；

[0020] 如果所述系统相位裕度PM大于设定的阈值 $\theta_{th}$ ，系统稳定裕度较大，则系统处于稳定状态；

[0021] 如果所述系统相位裕度PM小于设定的阈值 $\theta_{th}$ ，系统稳定裕度较小，存在失稳风险，则称交点频率 $\omega_c$ 为潜在振荡频率。

[0022] 优选地，所述如果系统相位裕度低于设定的阈值 $\theta_{th}$ ，则计算各新能源场站在潜在振荡频率 $\omega_c$ 处的阻抗实部，并按所述照所述阻抗实部的大小进行排序，阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点，包括：

[0023] 分别获取各个新能源场站在不同频率下( $\omega_1$ 到 $\omega_n$ )的端口处宽频阻抗 $Z_{REx}(j\omega_1)$ 、 $Z_{REx}(j\omega_2)$ 、 $\dots$ 、 $Z_{REx}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $Z_{REx}(j\omega_n)$ ( $x=1,2,\dots,n$ , $x$ 代表不同的新能源场站)，

[0024] 根据所述潜在振荡频率，获取各个新能源场站端口处阻抗 $Z_{RE1}(j\omega_c)$ 、 $Z_{RE2}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $Z_{REn}(j\omega_c)$ ，分别提取各个新能源场站端口处阻抗实部 $R_{RE1}(j\omega_c)$ 、 $R_{RE2}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $R_{REn}(j\omega_c)$ ；

[0025] 按照阻抗实部的大小进行排序，得到最小的一个或几个阻抗的实部，相应的新能源场站被定义为系统的薄弱点。

[0026] 优选的，所述设定的间隔时间为15分钟。

[0027] 优选地，所述系统相位裕度PM的阈值范围为15~45度。

[0028] 根据本发明的第二个方面，提供一种新能源电力系统的薄弱点定位系统，包括：

[0029] 新能源场站阻抗辨识模块，该模块采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法，在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗；

[0030] 稳定裕度评估模块，该模块基于所述宽频阻抗，利用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性，获取系统相位裕度和潜在振荡频率；

[0031] 薄弱点定位模块，该模块在所述系统相位裕度低于设定的阈值的情况下，根据在线辨识的宽频阻抗计算各新能源场站在潜在振荡频率处的阻抗实部；按照阻抗实部的大小进行排序，阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点；

[0032] 定时模块,该模块在所述系统相位裕度大于设定的阈值的情况下,间隔设定时间,重复启动新能源场站阻抗辨识模块、稳定裕度评估模块和薄弱点定位模块,对系统的薄弱点进行滚动在线评估。

[0033] 根据本发明的第三个方面,提供一种终端,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时可用于执行所述的新能源电力系统薄弱点定位方法,或,运行所述的新能源电力系统薄弱点定位系统。

[0034] 根据本发明的第四个方面,提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时可用于执行所述的新能源电力系统薄弱点定位方法,或,运行所述的新能源电力系统薄弱点定位系统。

[0035] 由于采用了上述技术方案,本发明实施例与现有技术相比,具有如下至少一项的有益效果:

[0036] 本发明实施例提供的新能源电力系统薄弱点定位方法及系统,可以对新能源电力系统的稳定状态进行实时在线评估;

[0037] 本发明实施例提供的新能源电力系统薄弱点定位方法及系统,在振荡发生前对系统的薄弱点进行定位从而进一步消除振荡隐患。适用于复杂的新能源电力系统,具有可操作性强、准确性高等优点。

## 附图说明

[0038] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0039] 图1为本发明一实施例中一种新能源场站的薄弱点定位方法流程图;

[0040] 图2为本发明一实施例中一种新能源场站的薄弱点定位系统组成模块示意图。

[0041] 图3为本发明一优选实施例中新能源场站的结构示意图;

[0042] 图4为本发明一优选实施例中将新能源电力系统简化为三个小型的新能源场站的结构示意图;

[0043] 图5为本发明一优选实施例中新能源场站并网点阻抗与交流电网阻抗的伯德图;(a)图反映了阻抗幅值以及频率的关系;(b)图反映了阻抗相位以及频率的关系。

## 具体实施方式

[0044] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0045] 如图1所示,本发明提供一个实施例,一种基于端口时域响应的新能源场站薄弱点定位方法,具体包括以下步骤:

[0046] S100,采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗;

[0047] S200,基于S100获得宽频阻抗,利用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率;

[0048] S300,如果S200中的系统相位裕度低于设定的阈值,则根据在线辨识的宽频阻抗计算各新能源场站在潜在振荡频率处的阻抗实部;按照阻抗实部的大小进行排序,阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点;

[0049] S400,如果S200中的系统相位裕度大于设定的阈值,则根据设置的间隔时间,重复S100-S300,对系统的薄弱点进行滚动在线评估。

[0050] 本实施例可以对新能源电力系统的稳定状态进行实时在线评估;本实施例在振荡发生前对系统的薄弱点进行定位,消除振荡隐患。

[0051] 在本发明的一个优选实施例中,新能源场站,包括全功率永磁直驱风电机组、双馈风电机组、光伏发电机组、同步机、传输线、储能单元等。

[0052] 在本发明的一个优选实施例中,实施S100,采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗,具体包括如下步骤:

[0053] S101,针对输入随机不确定的新能源机组,采用数据驱动方法建立覆盖整个稳态运行工况的宽频阻抗在线辨识模型;

[0054] S102,结合新能源场站的物理结构模型,构建数据-模型融合驱动的新能源场站宽频阻抗在线辨识模型;

[0055] S103,根据新能源场站间的网络拓扑,通过阻抗网络计算进一步得到新能源集群的宽频阻抗在线辨识模型;

[0056] S104,基于S103的新能源场站的宽频阻抗在线辨识模型,根据各新能源机组运行状态及电压电流量测数据,得到各个新能源场站的宽频阻抗 $Z_{REx}$ 以及新能源集群的宽频阻抗 $Z_g$ ,并在线获取交流电网的宽频阻抗 $Z_g$ 。

[0057] 进一步的,S100的详细实现过程可参见申请号为202210991337.8的专利。

[0058] 在本发明的一个优选实施例中,实施S200,基于阻抗稳定判据评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率,具体包括如下步骤:

[0059] S201,根据在线获取的新能源集群在并网点处的宽频阻抗 $Z_{RE}$ 以及交流电网的宽频阻抗 $Z_g$ ,定义系统相位裕度如下:

$$[0060] \begin{cases} \left| \frac{Z_g(j\omega_c)}{Z_{RE}(j\omega_c)} \right| = 1 \\ PM = 180^\circ - [\angle Z_g(j\omega_c) - \angle Z_{RE}(j\omega_c)] \end{cases}$$

[0061] 式中:符号 $||$ 指幅值, $\angle$ 指相位,PM表示相位裕度, $\omega_c$ 表示阻抗 $Z_g$ 和 $Z_{RE}$ 幅频曲线交点对应的频率。

[0062] S202,设定系统相位裕度PM的阈值为 $\theta_{th}$ ,PM的阈值一般选择15到45度。

[0063] 如果所述系统相位裕度PM大于设定的阈值 $\theta_{th}$ ,系统稳定裕度较大,则系统处于稳定状态;

[0064] 如果所述系统相位裕度PM小于设定的阈值 $\theta_{th}$ ,系统稳定裕度较低,存在失稳风险,则称交点频率 $\omega_c$ 为潜在振荡频率。

[0065] 本实施例中,步骤S200基于阻抗稳定判据评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率,确定了潜在振荡频率后,进行步骤S300,定位潜在振荡频率下的薄弱场

站。

[0066] 在本发明的一个优选实施例中,实施S300,如果系统相位裕度低于设定的阈值 $\theta_{th}$ ,则计算各新能源场站在潜在振荡频率 $\omega_c$ 处的阻抗实部,并按照阻抗实部的大小进行排序,阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点,具体包括如下步骤:

[0067] 根据潜在振荡频率,获取各个新能源场站端口处阻抗 $Z_{RE1}(j\omega_c)$ 、 $Z_{RE2}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $Z_{REn}(j\omega_c)$ ,分别提取各个新能源场站端口处阻抗的实部 $R_{RE1}(j\omega_c)$ 、 $R_{RE2}(j\omega_c)$ 、 $\dots$ 、 $R_{REn}(j\omega_c)$ ,根据阻抗实部的大小进行排序,得到最小的一个或几个阻抗的实部,相应的新能源场站被定义为系统的薄弱点(阻抗的实部代表电阻,在潜在振荡频率处,电阻小的场站认为其对振荡的阻尼较小,因此视为薄弱点)。

[0068] 本实施例在振荡发生前对系统的薄弱点进行定位从而进一步消除振荡隐患。适用于复杂的新能源电力系统,具有可操作性强、准确性高等优点。

[0069] 在本发明的一个优选实施例中,实施S400,所述如果系统相位裕度大于设定的阈值,则间隔15分钟继续上述步骤,对系统的薄弱点进行滚动在线评估。

[0070] 本实施例设置定时在线评估系统薄弱点,能够保证系统薄弱点及时发现,避免振荡。

[0071] 参见图2,基于相同的发明构思,在本发明的其他实施例中,提供一种新能源场站的薄弱点定位系统,包括:

[0072] 新能源场站阻抗辨识模块,该模块采用数据和知识联合驱动的新能源场站阻抗辨识方法,在线获取新能源场站在并网点处的宽频阻抗以及交流电网的宽频阻抗;

[0073] 稳定裕度评估模块,该模块宽频阻抗,利用阻抗稳定判据在线评估系统的稳定性,获取系统相位裕度和潜在振荡频率;

[0074] 薄弱点定位模块,该模块在系统相位裕度低于设定的阈值的情况下,根据在线辨识的宽频阻抗计算各新能源场站在潜在振荡频率处的阻抗实部;按照阻抗实部的大小进行排序,阻抗实部最小的一个或几个新能源场站即为系统的薄弱点;

[0075] 定时模块,该模块在系统相位裕度大于设定的阈值的情况下,间隔设定时间,重复启动新能源场站阻抗辨识模块、稳定裕度评估模块和薄弱点定位模块,对系统的薄弱点进行滚动在线评估。

[0076] 本发明上述实例中各模块/单元具体可以参照上述实施例中新能源场站的薄弱点定位方法对应的步骤的实现技术,在此不再赘述。

[0077] 基于相同的发明构思,在本发明的其他实施例中,提供一种终端,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时可用于执行上述的方法,或,运行上述的系统。

[0078] 可选地,存储器,用于存储程序;存储器,可以包括易失性存储器(英文:volatile memory),例如随机存取存储器(英文:random-access memory,缩写:RAM),如静态随机存取存储器(英文:static random-access memory,缩写:SRAM),双倍数据率同步动态随机存取存储器(英文:Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory,缩写:DDR SDRAM)等;存储器也可以包括非易失性存储器(英文:non-volatile memory),例如快闪存储器(英文:flash memory)。存储器用于存储计算机程序(如实现上述方法的应用程序、功能模块等)、计算机指令等,上述的计算机程序、计算机指令等可以分区存储在一个或

多个存储器中。并且上述的计算机程序、计算机指令、数据等可以被处理器调用。

[0079] 处理器,用于执行存储器存储的计算机程序,以实现上述实施例涉及的方法中的各个步骤。具体可以参见前面方法实施例中的相关描述。

[0080] 处理器和存储器可以是独立结构,也可以是集成在一起的集成结构。当处理器和存储器是独立结构时,存储器、处理器可以通过总线耦合连接。

[0081] 基于相同的发明构思,在本发明的其他实施例中,提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时可用于执行上述的方法,或,运行上述的系统。

[0082] 其中,计算机可读介质包括计算机存储介质和通信介质,其中通信介质包括便于从一个地方向另一个地方传送计算机程序的任何介质。存储介质可以是通用或专用计算机能够存取的任何可用介质。一种示例性的存储介质耦合至处理器,从而使处理器能够从该存储介质读取信息,且可向该存储介质写入信息。当然,存储介质也可以是处理器的组成部分。处理器和存储介质可以位于ASIC中。另外,该ASIC可以位于用户设备中。当然,处理器和存储介质也可以作为分立组件存在于通信设备中。

[0083] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0084] 本申请是参照根据本申请的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0085] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0086] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0087] 显然,本领域的技术人员可以对本申请进行各种改动和变型而不脱离本申请的精神和范围。这样,倘若本申请的这些修改和变型属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内,则本申请也意图包含这些改动和变型在内。

[0088] 下面结合一具体应用实例,对本发明上述实施例提供的技术方案进一步详细描述如下。

[0089] 在该具体应用实例中,交流电网电压为220kV/50Hz,新能源场站端口的电压为

230kV/50Hz, 新能源场站之间通过230kV交流线路连接, 交流电网内抗由纯电感 $L_g$ 构成。

[0090] 如图3所示, 本具体应用实例中, 新能源电力系统包括风电场、光伏电站、输电线路、同步机、负荷等。

[0091] 如图4所示, 本具体应用实例中, 将新能源电力系统简化为三个小型的新能源场站, 其中新能源场站3的新能源机组台数为新能源场站1和2的两倍。

[0092] 如图5所示, 图5中的(a)图反映了阻抗幅值以及频率的关系, 图5的(b)图反映了阻抗相位以及频率的关系。通过辨识新能源场站集群在并网点的阻抗以及交流电网的实时阻抗, 从而得到黑色实线所示的新能源场站在并网点处的阻抗幅值与相位曲线, 黑色虚线为交流电网的阻抗幅值与相位曲线。

[0093] 根据在线获取的新能源集群在并网点处的宽频阻抗 $Z_{RE}$ 以及交流电网的宽频阻抗 $Z_g$ , 定义系统相位裕度如下:

$$[0094] \quad \begin{cases} \left| \frac{Z_g(j\omega_c)}{Z_{RE}(j\omega_c)} \right| = 1 \\ PM = 180^\circ - [\angle Z_g(j\omega_c) - \angle Z_{RE}(j\omega_c)] \end{cases}$$

[0095] 式中: 符号 $||$ 指幅值,  $\angle$ 指相位, PM表示相位裕度,  $\omega_c$ 表示阻抗 $Z_g$ 和 $Z_{RE}$ 幅频曲线交点对应的频率。

[0096] 如果系统相位裕度PM小于设定的阈值 $\theta_{th}$ , 则称交点频率 $\omega_c$ 为潜在振荡频率。

[0097] 设定相位阈值为15度, 系统在交点处的频率为293Hz, 相位裕度为9.5度, 低于所设定的相位阈值, 因此定义293Hz为系统的潜在振荡频率。然后, 计算各新能源场站在潜在振荡频率处端口阻抗的实部,  $R_1=R_2=1.22 \Omega$ ,  $R_3=0.60 \Omega$ , 可以看出新能源场站3的阻抗实部最小, 因而新能源场站3为系统的薄弱场站。

[0098] 本实施例基于在线辨识的宽频阻抗, 能够实现新能源电力系统宽频振荡稳定性的在线评估, 并在振荡发生前准确定位系统的薄弱点, 从而为进一步消除振荡隐患奠定基础。

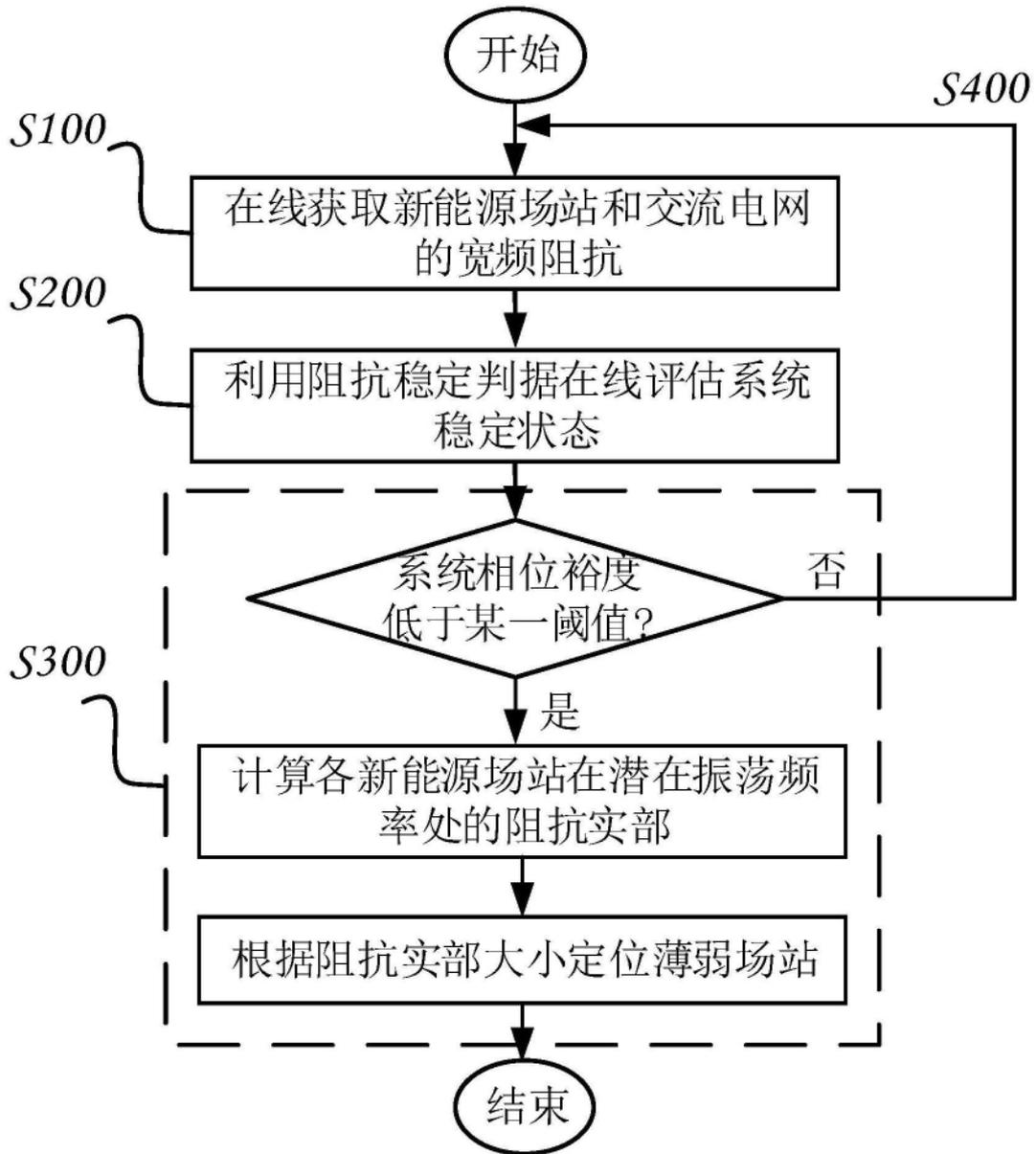


图1

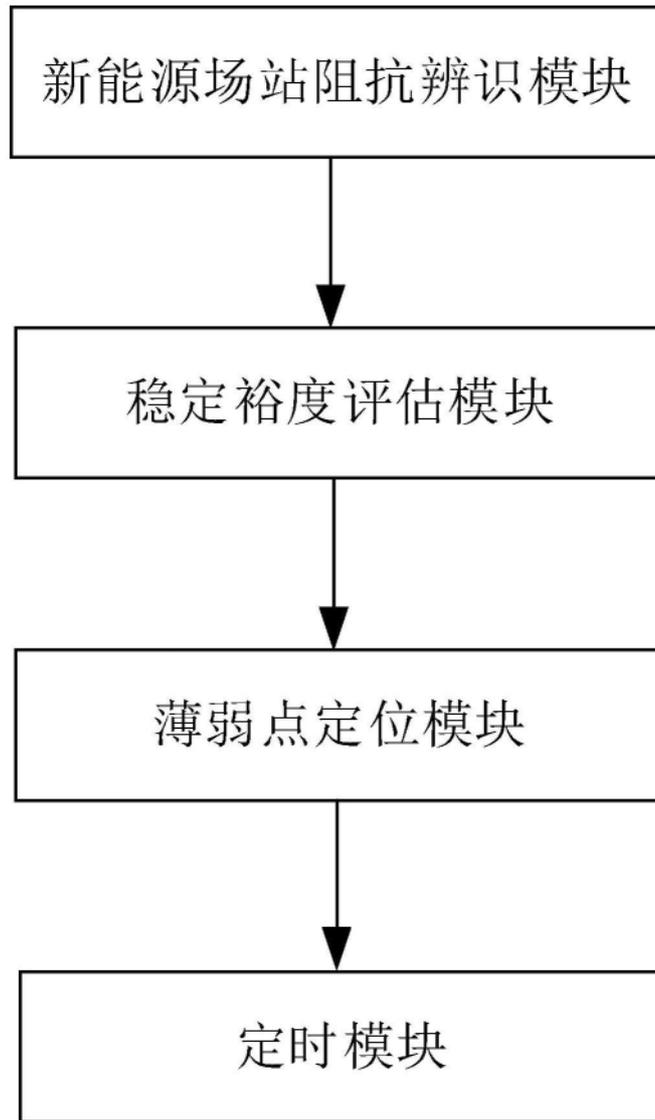


图2

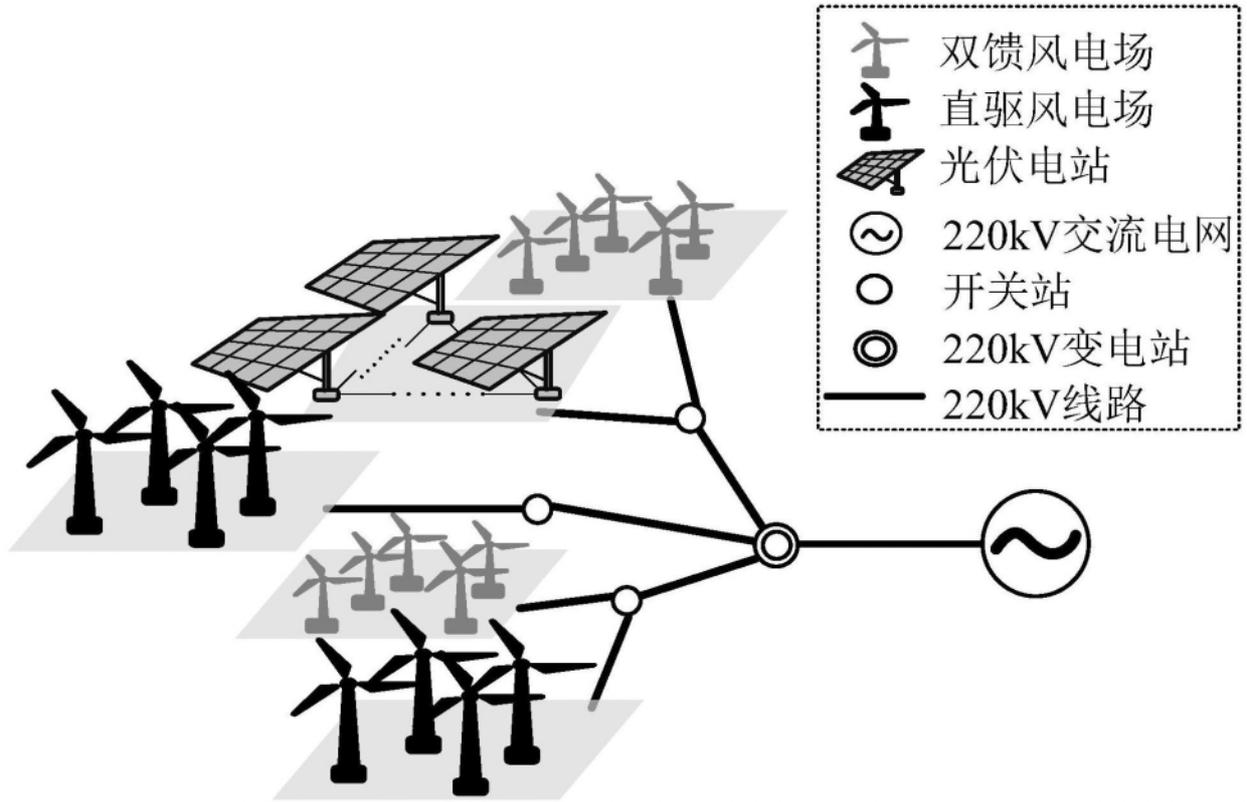


图3

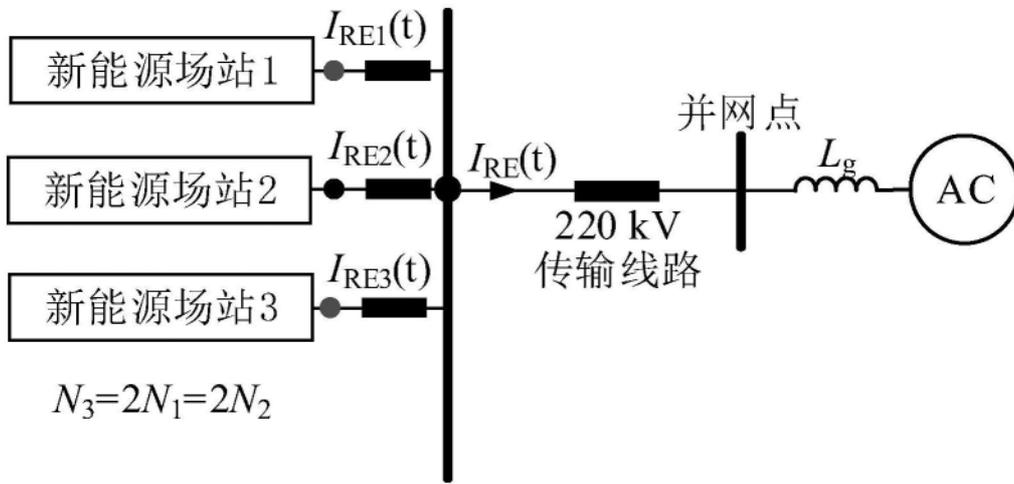


图4

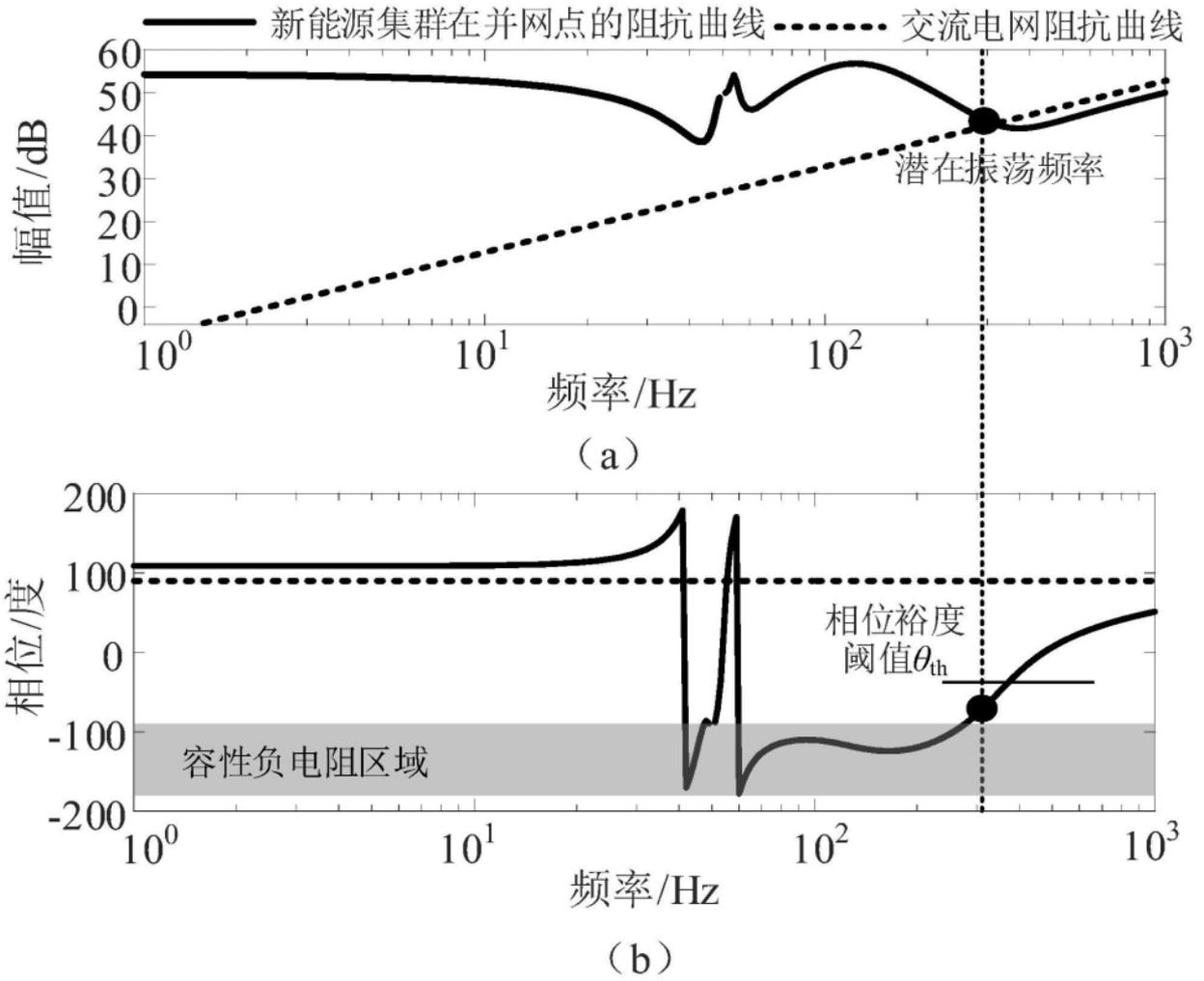


图5