

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017年2月2日 (02.02.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/016020 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/088387
- (22) 国际申请日: 2015年8月28日 (28.08.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510452416.1 2015年7月28日 (28.07.2015) CN
- (71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路92号, Tianjin 300072 (CN)。
- (72) 发明人: 贾宏杰 (JIA, Hongjie); 中国天津市南开区卫津路92号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 赵帅 (ZHAO, Shuai); 中国天津市南开区卫津路92号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 房大中 (FANG, Dazhong); 中国天津市南开区卫津路92号天津大

学, Tianjin 300072 (CN)。 曾沅 (ZENG, Yuan); 中国天津市南开区卫津路92号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 孔祥玉 (KONG, Xiangyu); 中国天津市南开区卫津路92号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。

(74) 代理人: 天津市北洋有限责任专利代理事务所 (BEI & OCEAN); 中国天津市南开区鞍山西道时代公寓A座603室, Tianjin 300193 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) Title: PARTITION AND SYNTHESIS METHOD FOR ONLINE ANALYSIS OF POWER SYSTEM TRANSIENT STABILITY AND DEVICE THEREOF

(54) 发明名称: 电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法及其装置

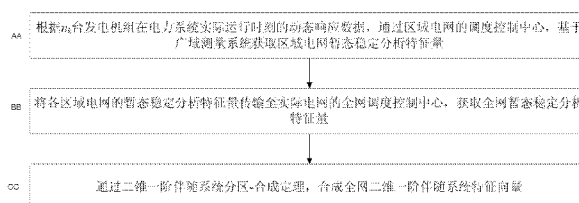


图2

AA ACCORDING TO DYNAMIC RESPONSE DATA OF NK GENERATOR SETS AT AN ACTUAL RUNNING MOMENT OF A POWER SYSTEM, ACQUIRING, BASED ON A WIDE-AREA MEASUREMENT SYSTEM, A TRANSIENT STABILITY ANALYSIS CHARACTERISTIC QUANTITY OF A REGIONAL POWER GRID VIA A SCHEDULE AND CONTROL CENTRE OF THE REGIONAL POWER GRID.

BB TRANSMITTING THE TRANSIENT STABILITY ANALYSIS CHARACTERISTIC QUANTITY OF THE REGIONAL POWER GRID TO A SCHEDULE AND CONTROL CENTRE OF THE WHOLE GRID OF AN ACTUAL POWER GRID, SO AS TO ACQUIRE THE TRANSIENT STABILITY ANALYSIS CHARACTERISTIC QUANTITY OF THE WHOLE GRID.

CC SYNTHESIZING A TWO-DIMENSION-ONE-ORDER ADJOINT SYSTEM CHARACTERISTIC VECTOR BY MEANS OF A TWO-DIMENSION-ONE-ORDER ADJOINT SYSTEM PARTITION-SYNTHESIS THEOREM.

(57) Abstract: A partition synthesis method for an online analysis of power system transient stability and a device thereof. The method comprises: according to dynamic response data of generator sets at an actual running moment of a power system, acquiring, based on a wide-area measurement system, a transient stability analysis characteristic quantity of a required regional power grid via a schedule and control centre of the regional power grid; transmitting the transient stability analysis characteristic quantity of the regional power grid to a schedule and control centre of the whole grid of an actual power grid, so as to acquire the transient stability analysis characteristic quantity of the whole grid; and synthesizing a two-dimension-one-order adjoint system characteristic vector by means of a two-dimension-one-order adjoint system partition-synthesis theorem. The device comprises: a first acquisition module (1), a transmission module (2), a second acquisition module (3) and a synthesis module (4). By means of these modules, transient stability analysis data of the whole grid can be accurately acquired without the limitations of a network structure, a power system model and parameters. The method and device can effectively improve the calculation speed of an online analysis of the power system transient stability and reduce a data storage space.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2017/016020 A1



(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法及其装置。该方法包括: 根据发电机组在电力系统实际运行时刻的动态响应数据, 通过区域电网的调度控制中心, 基于广域测量系统获取所需的区域电网暂态稳定分析特征量; 将各区域电网的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的电全网调度控制中心, 获取全网暂态稳定分析特征量; 通过二维一阶伴随系统分区-合成定理, 合成全网二维一阶伴随系统特征向量。该装置包括: 第一获取模块(1)、传输模块(2)、第二获取模块(3)以及合成模块(4)。通过这些模块, 实现了不受网络结构、电力系统模型和参数的限制, 能够准确地获得全网暂态稳定性分析数据。该方法和装置能够有效提高电力系统暂态稳定性在线分析的计算速度和降低数据存储空间。

电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法及其装置

技术领域

本发明涉及电力系统领域，尤其涉及一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法及其装置，特别涉及一种基于广域测量系统的大电网暂态稳定在线分析的方法及其装置。

背景技术

基于离线数据的传统数字仿真方法和直接法在电力系统暂态稳定性分析领域已经得到广泛应用，但实际在线应用时，这些方法往往会受到元件模型及参数取值误差的影响。这些误差将会导致离线的数值仿真结果无法正确反映电力系统实际的动态过程。

随着广域测量系统(WAMS)的推广应用，基于 WAMS 实时测量数据进行电力系统在线暂态稳定分析与控制，受到越来越多关注。基于 WAMS 的在线暂态稳定分析方法，一般直接利用相角测量单元(PMU)所测量的发电机功角数据来判断电力系统稳定。目前，这类分析方法主要包括基于暂态能量函数(TEF)的轨迹相平面分析法和基于等面积法则的功率-功角曲线分析法。这类分析方法计算量较小，无需离线数据和电力系统模型参数，能够实现基于 WAMS 在线判断电力系统稳定性，因此具有良好的工程应用前景。

但是，这些分析方法在进行稳定性判别的过程中，均需获得全部发电机组的功角信息。在实际大电力系统中，考虑到 WAMS 数据采集频率高、数据量大的特点，实时获得全网发电机数据会影响数据传输环节和分析计算的效率。此外，多数局部故障只与相关发电机有关，实时获得的全网数据，必然存在大量冗余信息。

为解决这一问题，现有技术是采用同调等值方法，对外部网络进行等值和简化，但在线动态等值过程需要较长时间窗口的轨迹信息，且计算过程复杂，其稳定分析的精度受到同调等值方法和电力系统失稳模式的影响。

发明内容

本发明提供了一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法及其装置，本发明基于广域测量系统数据实现，不受电力系统网络结构、电力系统模型以及参数限制，计算过程简单，计算结果精度较高，详见下文描述：

一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，所述分区合成方法包括以下步骤：

根据 n_k 台发电机组在电力系统实际运行时刻的动态响应数据，通过区域电网的调度控制中心，基于广域测量系统获取区域电网暂态稳定分析特征量；

将各区域电网的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的全网调度控制中心，获取全网暂态稳定分析特征量；

通过二维一阶伴随系统分区-合成定理，合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

其中，所述动态响应数据包括：发电机的功角、转速、角加速度、转子惯性常数、电磁功率和机械功率。

所述区域电网暂态稳定分析特征量为：

二维一阶伴随系统特征向量、区域电网惯性中心运动特征向量。

进一步地，所述区域电网暂态稳定分析特征量还包括：

区域电网内，由全部发电机惯性中心的角度和、角速度和、角加速度和组成的求和向量。

所述全网暂态稳定分析特征量为：

二维一阶伴随电力系统特征向量、全网惯性中心运动特征向量。

所述全网惯性中心运动特征向量等于各个区域电网惯性中心运动特征向量的合成。

进一步地，所述通过二维一阶伴随系统分区-合成定理，合成全网二维一阶伴随系统特征向量的步骤具体为：

通过全网暂态稳定分析特征量、求和向量合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成装置，所述分区合成装置包括：

第一获取模块，用于根据 n_k 台发电机组在电力系统实际运行时刻的动态响应数据，通过区域电网的调度控制中心，基于广域测量系统获取区域电网暂态稳定分析特征量；

传输模块，用于将各区域电网的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的全网调度控制中心；

第二获取模块，用于获取全网暂态稳定分析特征量；

合成模块，用于通过二维一阶伴随系统分区-合成定理，合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

所述合成模块包括：

合成子模块，用于通过全网暂态稳定分析特征量、求和向量合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

本发明是一种适用于广域测量系统的大电网区域稳定性分析实用化方法及其装置，本发明不受网络结构、电力系统模型和参数的限制，能够准确地获得全网暂态稳定性分析数据；本发明在判别电力系统稳定性时无需对区域电网进行动态等值和简化，因而规避了等值方法带来的计算误差，具有较高的精确性，本发明的优点如下：

1、本发明无需鉴别临界机群、网络等值或简化，保证了暂态稳定性识别计算过程不受实

际电力系统复杂失稳模式的影响；

2、本发明的计算过程较少、且不受网络结构、电力系统模型和参数的限制，能够实现在线分析电力系统的暂态稳定性；

3、本发明能够有效提高电力系统暂态稳定性分析的计算速度和降低数据存储空间，具备良好的实际工程应用前景。

附图说明

图 1 为基于分区-合成分析方法的数据传递与在线稳定性分析架构示意图；

图 2 为一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法的流程图；

10 图 3 为一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成装置的结构示意图；

图 4 为合成模块的示意图；

图 5 为华北某电网算例系统拓扑结构图；

图 6 为华北某电网算例系统全部发电机组的功角轨迹曲线示意图；

图 7(a)是京津唐电网、山西电网、河北南网对应的角半径-投影角速度相平面的示意图；

15 图 7(b)是内蒙古电网、华北全网对应的角半径-投影角速度相平面的示意图。

附图中，各标号所代表的部件列表如下：

1：第一获取模块； 2：传输模块；

3：第二获取模块； 4：合成模块；

41：合成子模块。

20

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面对本发明实施方式作进一步地详细描述。

实施例 1

25 一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，参见图 1 和图 2，包括以下步骤：

101：按照实际电网的地理位置和电气接线关系，将具有 n 台发电机的电力系统划分为 m 个区域电网($A_1, A_2 \dots A_k \dots A_m$)，并定义各区域电网内发电机数为 $n_k, k=1, 2, \dots, m$ 。

102：在区域电网 A_k 内，提取 WAMS 监测的 n_k 台发电机组在电力系统实际运行时刻 t 的动态响应数据；

30 其中，动态响应数据具体包括：由 WAMS 中的相角测量单元测量获得的发电机 i 的功角 $\delta_i(rad)$ 、转速 $\omega_i(rad/s)$ 、角加速度 $a_i(rad/s^2)$ 、转子惯性常数 $M_i(s^2/rad)$ 、电磁功率 $P_{ei}(p.u.)$

和机械功率 $P_{mi}(p.u.)$ 。

103: 通过区域电网 A_k 的调度控制中心, 动态响应数据, 获取区域电网 A_k 内基于 WAMS 所需的暂态稳定分析特征量, 并将各个区域电网的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的全网调度控制中心, 获取全网暂态稳定分析特征量;

5 其中, 区域电网暂态稳定分析特征量为: 对于含有 n_k 台发电机的区域电网 A_k , 暂态稳定特征量包括: 二维一阶伴随系统特征向量 $\mathbf{X}_k$ 、区域电网惯性中心(COI)运动特征向量 $\mathbf{C}_k$, $\mathbf{X}_k=[R_k, \omega_{\theta,k}, \alpha_{s,k}]^T$; $\mathbf{C}_k=[\delta_{COI,k}, \omega_{COI,k}, \alpha_{COI,k}]^T$ 。

10 其中, R_k 为区域电网 A_k 的角半径, 用于表示发电机角摆开程度的大小; $\omega_{\theta,k}$ 为区域电网 A_k 投影角速度, $\omega_{\theta,k}$ 的值等于角半径 R_k 对时间 t 的导数; $\alpha_{s,k}$ 为区域电网 A_k 投影角加速度, $\alpha_{s,k}$ 的值等于 $\omega_{\theta,k}$ 对时间 t 的导数; $\delta_{COI,k}$ 、 $\omega_{COI,k}$ 和 $\alpha_{COI,k}$ 分别表示区域电网 A_k 惯性中心的角度、角速度和加速度。

此外, 区域电网暂态稳定分析特征量还包括: 区域电网 A_k 内全部发电机相对于区域电网 A_k 惯性中心的角度和、角速度和、角加速度和组成的求和向量 $\mathbf{V}_k=[\theta_{\Sigma,k}, \omega_{\Sigma,k}, \alpha_{\Sigma,k}]^T$ 。

15 全网暂态稳定分析特征量为: 对于含有 n 台发电机的电力系统, 暂态稳定分析特征量包括: 二维一阶伴随系统特征向量 $\mathbf{X}$ 、全网惯性中心特征向量 $\mathbf{C}$, $\mathbf{X}=[R, \omega_{\theta}, \alpha_s]^T$; $\mathbf{C}=[\delta_{COI}, \omega_{COI}, \alpha_{COI}]^T$ 。

20 其中, R 为全网电力系统角半径, 用于表示电力系统中发电机角摆开程度的大小; ω_{θ} 为全网投影角速度, ω_{θ} 的值等于角半径 R 对时间 t 的导数; α_s 为全网投影角加速度, α_s 的值等于 ω_{θ} 对时间 t 的导数; δ_{COI} 、 ω_{COI} 和 α_{COI} 分别表示全网惯性中心的角度、角速度和加速度。而参数计算过程与区域 A_k 计算方法相同, 仅发电机总数不同, 本发明实施例对此不做赘述。

通过惯性中心合成定理, 将各个区域惯性中心特征向量 $\mathbf{C}_k$ 合成全网惯性中心特征向量 $\mathbf{C}$ 。全网惯性中心合成定理为: 全网惯性中心特征向量 $\mathbf{C}$ 等同于各个区域电网惯性中心运动特征向量 $\mathbf{C}_k$ 的合成, 且满足如下公式:

$$\mathbf{C} = \sum_{k=1}^m \frac{M_{T,k}}{M_T} \mathbf{C}_k$$

25 其中, $M_{T,k}$ 表示区域电网 A_k 的全部发电机转子惯性常数之和, M_T 表示全网发电机转子惯性常数之和。

104: 通过二维一阶伴随系统分区-合成定理, 合成全网二维一阶伴随系统特征向量;

二维一阶伴随系统分区-合成定理为: 全网二维一阶伴随系统的运动 $\mathbf{X}$ 是由各区域电网二维一阶伴随系统运动 $\mathbf{X}_k$ 特征向量、求和向量 $\mathbf{V}_k$ 及惯性中心相对运动特征向量 $\mathbf{D}_k$ 合成。

30 105: 判断电力系统实际运行时刻 t , 是否为电力系统暂态稳定分析的结束时刻 $t_{\max}$, 如果是, 则流程结束; 如果否, 令 $t = t + \Delta t$, 执行步骤 101 继续提取 WAMS 数据, 其中, Δt 代

表广域测量系统的采样周期，结束时刻 $t_{\max}$ 根据实际应用中的需要进行设定，本发明实施例对此不做赘述。

本方法通过步骤 101-步骤 105 实现了不受网络结构、电力系统模型和参数的限制，能够准确地获得全网暂态稳定性分析数据。

5

实施例 2

结合具体的计算公式，图 1、图 2 对实施例 1 中的方案进行详细描述，该电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法包括如下步骤：

201：按照实际电网的地理位置和电气接线关系，将具有 n 台发电机的电力系统划分为 m 个区域电网($A_1, A_2 \dots A_k \dots A_m$)，并定义各区域电网内发电机数为 $n_k, k=1, 2, \dots, m$ ；

202：基于能够测量发电机组动态轨迹的 PMU，在区域电网 A_k 中提取 WAMS 监测的 n_k 台发电机组在电力系统实际运行时刻 t 的功角 $\delta_i(\text{rad})$ 、转速 $\omega_i(\text{rad/s})$ 、角加速度 $\alpha_i(\text{rad/s}^2)$ 、转子惯性常数 $M_i(\text{s}^2/\text{rad})$ 、电磁功率 $P_{ei}(\text{p.u.})$ 和机械功率 $P_{mi}(\text{p.u.})$ ， $i=1, 2, 3 \dots n_k$ 。

203：在区域电网 A_k 的调度控制中心内，计算区域电网 A_k 内基于 WAMS 的所需的暂态稳定分析特征量，包括：二维一阶伴随系统特征向量 $\mathbf{X}_k$ 、COI 运动特征向量 $\mathbf{C}_k$ 以及求和向量 $\mathbf{V}_k$ 。

特征向量 $\mathbf{X}_k$ 和 $\mathbf{C}_k$ 分别利用下式进行计算：

$$\begin{cases} R_k = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} (\delta_i - \delta_{COI,k})^2} \\ \omega_{\theta,k} = \sum_{i=1}^{n_k} \frac{(\delta_i - \delta_{COI,k})(\omega_i - \omega_{COI,k})}{R_k} \\ \alpha_{s,k} = \sum_{i=1}^{n_k} \frac{(\delta_i - \delta_{COI,k})\alpha_i}{R_k} + \frac{\sum_{i=1}^{n_k} (\omega_i - \omega_{COI,k})^2 - \omega_{\theta,k}^2}{R_k} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \delta_{COI,k} = \frac{1}{M_{T,k}} \sum_{i=1}^{n_k} M_i \delta_i \\ \omega_{COI,k} = \frac{1}{M_{T,k}} \sum_{i=1}^{n_k} M_i \omega_i \\ \alpha_{COI,k} = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} (P_{mi} - P_{ei})}{M_{T,k}} \end{cases} \quad (2)$$

其中， $M_{T,k} = \sum_{i=1}^{n_k} M_i$ ， M_i 代表第 i 台发电机的转动惯量。

此外，暂态稳定分析特征量还包括：区域电网 A_k 内全部发电机相对于该区域惯性中心的

20

角度和、角速度和、角加速度和组成的求和向量， $\mathbf{V}_k = [\theta_{\Sigma,k}, \dot{\theta}_{\Sigma,k}, \alpha_{\Sigma,k}]^T$ ，由如下公式计算：

$$\begin{cases} \theta_{\Sigma,k} = \sum_{i \in A_k} (\delta_i - \delta_{COI,k}); \\ \dot{\theta}_{\Sigma,k} = \frac{d\theta_{\Sigma,k}}{dt} = \sum_{i \in A_k} (\omega_i - \omega_{COI,k}) \\ \alpha_{\Sigma,k} = \frac{d\dot{\theta}_{\Sigma,k}}{dt} = \sum_{i \in A_k} \alpha_i \end{cases} \quad (3)$$

进一步，将各个区域电网的暂态稳定分析特征量 $\mathbf{X}_k$ 、 $\mathbf{C}_k$ 、 $\mathbf{V}_k$ 和 $M_{T,k}$ 传输至实际电网的全网调度控制中心，以便于获得全网暂态稳定分析特征量。

- 5 204：利用惯性中心合成定理，将各个区域电网惯性中心特征向量 $\mathbf{C}_k$ 合成全网惯性中心特征向量 $\mathbf{C}$ ；

全网惯性中心特征向量 $\mathbf{C}$ 等同于各个子区域惯性中心特征向量 $\mathbf{C}_k$ 的合成，且满足如下公式：

$$\mathbf{C} = \sum_{k=1}^m \frac{M_{T,k}}{M_T} \mathbf{C}_k \quad (4)$$

- 10 205：利用二维一阶伴随系统分区-合成定理合成全网二维一阶伴随系统特征向量；

全网二维一阶伴随系统的运动特征向量 $\mathbf{X}$ 是由各区域电网二维一阶伴随系统运动 $\mathbf{X}_k$ 特征向量、求和向量 $\mathbf{V}_k$ 及惯性中心相对运动特征向量 $\mathbf{D}_k$ 合成，并满足如下非线性公式：

$$\begin{cases} R = \sqrt{\sum_{k=1}^m (R_k^2 + n_k l_k^2 + 2l_k \theta_{\Sigma,k})} \\ \omega_{\theta} = \frac{1}{R} \sum_{k=1}^m (R_k \omega_{\theta,k} + n_k l_k \omega_k + \omega_k \theta_{\Sigma,k} + l_k \dot{\theta}_{\Sigma,k}) \\ \alpha_s = \frac{1}{R} \left[\sum_{k=1}^m (\omega_{\theta,k}^2 + R_k \alpha_{s,k} + n_k \omega_k^2 + n_k l_k \alpha_k + \right. \\ \left. \alpha_k \theta_{\Sigma,k} + 2\omega_k \dot{\theta}_{\Sigma,k} + l_k \alpha_{\Sigma,k}) \right] + \frac{-\omega_{\theta}^2}{R} \end{cases} \quad (5)$$

- 15 其中， $\mathbf{D}_k = [l_k, \omega_k, \alpha_k]^T$ ，代表区域惯性中心 COI_k 到全网惯性中心 COI 的距离、速度和加速度组成的惯性中心 COI 的运动特征向量，由如下公式计算：

$$\begin{cases} l_k = \delta_{COI,k} - \delta_{COI} \\ \omega_k = \frac{dl_k}{dt} = \omega_{COI,k} - \omega_{COI} \\ \alpha_k = \frac{d\omega_k}{dt} = \alpha_{COI,k} - \alpha_{COI} \end{cases} \quad (6)$$

改写成矩阵形式，即： $\mathbf{D}_k = \mathbf{C}_k - \mathbf{C}$ 。

206: 判断电力系统实际运行时刻 t 是否为电力系统暂态稳定分析的结束时刻 $t_{\max}$, 如果是, 则过程结束; 如果否, 令 $t = t + \Delta t$, 执行步骤 201 继续提取广域测量系统数据。

本方法通过步骤 201-步骤 206 实现了不受网络结构、电力系统模型和参数的限制, 能够准确地获得全网的暂态稳定性分析数据。

5

实施例 3

一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成装置, 参见图 3 和图 4, 该分区合成装置包括:

第一获取模块 1, 用于根据 n_k 台发电机组在电力系统实际运行时刻的动态响应数据, 通过区域电网的调度控制中心, 基于广域测量系统获取所需的区域电网暂态稳定分析特征量;

传输模块 2, 用于将各区域电网的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的全网调度控制中心;

第二获取模块 3, 用于获取全网暂态稳定分析特征量;

合成模块 4, 用于通过二维一阶伴随系统分区-合成定理, 合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

其中, 上述动态响应数据包括: 发电机的功角、转速、角加速度、转子惯性常数、电磁功率和机械功率。

其中, 区域电网暂态稳定分析特征量为:

二维一阶伴随系统特征向量、区域电网惯性中心运动特征向量;

进一步地, 区域电网暂态稳定分析特征量还包括:

区域电网内, 由全部发电机惯性中心的角度和、角速度和、角加速度和组成的求和向量。

其中, 全网暂态稳定分析特征向量为:

二维一阶伴随电力系统特征向量、全网惯性中心运动特征向量。

其中, 全网惯性中心运动特征向量等于各个区域电网惯性中心运动特征向量的合成。

进一步地, 参见图 4, 合成模块 4 包括:

合成子模块 41, 用于通过全网暂态稳定分析特征量、求和向量合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

具体实现时, 上述模块、子模块均可以通过单片机、PC 机等具有运算功能的器件实现, 本发明实施例对器件的型号、类型不做限制。

本装置通过上述的第一获取模块 1、传输模块 2、第二获取模块 3 和合成模块 4, 实现了不受网络结构、电力系统模型和参数的限制, 能够准确地获得全网的暂态稳定性分析数据。

实施例 4

下面结合具体实例来介绍本发明的操作流程和实际效果。本实例在华北电网进行仿真分析，其网络拓扑示意图如图 5 所示，圆圈点代表电力系统母线节点，如母线 1IFB51 和母线 1DFW51；实线代表输电线路，如线路“1IFB51-1DFW51”；空心箭头代表电力系统潮流流向。广域测量系统数据利用机电暂态仿真程序模拟，仿真步长为 0.01 秒。本实例通过一个发生在区域间联络线上的故障激发电力系统的动态过程，并通过计算二维一阶伴随系统的 (R, ω_θ) 相平面来验证本方法的正确性和有效性。其故障形式为：“1IFB51-1DFW51”线路在 0s 三相短路，故障持续 0.14s。图 6 所示为该电网故障后全部发电机组的功角轨迹，从图 6 中可以看出，电力系统在故障清除后首先出现了区间失稳，即内蒙古电网相对于主网失稳，之后内蒙古电网区域内部失稳。

首先，结合图 5 至图 7(a)、7(b)介绍本发明的计算过程：

第一步：按照实际电网的地理位置和电气接线关系，将具有 288 台发电机的华北电网划分为 4 个区域(京津唐电网、山西电网、河北南网、内蒙古电网)。划分结果如图 5 所示，各区域用虚线标示，区域间由若干联络线连接而成，例如，图 5 中标示的内蒙古电网与京津唐电网之间通过两条输电线路(线路“1IFB51-1DFW51”和线路“1TGY51-1CPA51”)相连接。

第二步：各个区域提取广域测量系统监测的 n_k 台发电机组在电力系统实际时刻 t 的动态响应数据，其中，最终的发电机功角轨迹动态响应数据如图 6 所示。

第三步：在区域调度控制中心中，计算基于广域测量系统的区域内所需的暂态稳定分析特征量，计算结果如图 7(a)、7(b)所示。进一步，将各个区域的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的全网调度控制中心，获取全网暂态稳定分析特征量。

第四步：利用惯性中心合成定理将各个区域惯性中心特征向量 C_k 合成全网惯性中心特征向量 C ，利用二维一阶伴随系统分区-合成定理合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

采用分区合成方法合成的计算结果如图 7(b)所示，其与采用全网全部发电机数据计算获得的动态响应轨迹保持一致，表明了本发明的正确性和有效性。此外，从图 7(a)可以看出，京津唐电网、山西电网、河北南网在故障过程中均保持了各自相平面的稳定，即功角暂态稳定性；而全网计算结果和内蒙古电网计算结果表明电力系统出现了失稳现象，从轨迹中可以看出全网发电机先失稳，即出现了区域失稳；之后，内蒙古电网内部出现失稳。图 7(a)、7(b)相平面分析的稳定性结果与图 6 所示的发电机功角轨迹运动过程相一致，表明本发明能够有效实现暂态稳定性的分析。

然后，结合表 1 和表 2 介绍本发明在计算效率和存储效率方面的特点：

表 1 华北电网计算效率比较

	全网计算方法					分区合成计算	
	全网	京津唐	河北南网	山西	内蒙古	全网	
						合成算法	总计
时间(s)	0.1004	0.0462	0.0452	0.0451	0.0433	0.0062	0.0524

表 2 华北电网存储效率比较

	全网计算方法	分区合成计算
占用空间	10.547MB	337.5KB

5 表 1 所示为采用合成计算和全网发电机数据分别计算所需的计算时间，从表 1 中可以看出，全网计算需要 0.1004s 而采用分区合成方法计算仅需要 0.0524s，而合成算法本身仅仅需要 0.0062s。由此可见，本发明能够有效地提高计算效率。

表 2 所示为采用合成计算和全网发电机数据分别需要的存储空间比较。其中，考虑全网计算方法需要存储每一台发电机的 $\delta_i, \omega_i, P_{mi}$ 和 P_{ei} ，而分区计算仅需要存储 $\mathbf{X}_k, \mathbf{C}_k$ 和 $\mathbf{V}_k$ 。从
10 表 2 中可以看出，全网计算需要 10.547MB 而采用分区合成方法计算仅需要 337.5KB。由此可见，本发明能够有效地降低存储数据所需的空间。

本领域技术人员可以理解附图只是一个优选实施例的示意图，上述本发明实施列序号仅仅为了描述，不代表实施列的优劣。

以上所述仅为本发明的较佳实施列，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之
15 内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

10
权 利 要 求

1、一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，其特征在于，所述分区合成方法包括以下步骤：

根据 n_k 台发电机组在电力系统实际运行时刻的动态响应数据，通过区域电网的调度控制中心，基于广域测量系统获取区域电网暂态稳定分析特征量；

将各区域电网的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的全网调度控制中心，获取全网暂态稳定分析特征量；

通过二维一阶伴随系统分区-合成定理，合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

2、根据权利要求 1 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，其特征在于，所述动态响应数据包括：发电机的功角、转速、角加速度、转子惯性常数、电磁功率和机械功率。

3、根据权利要求 1 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，其特征在于，所述区域电网暂态稳定分析特征量为：

二维一阶伴随系统特征向量、区域电网惯性中心运动特征向量。

4、根据权利要求 1 或 3 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，其特征在于，所述区域电网暂态稳定分析特征量还包括：

区域电网内，由全部发电机惯性中心的角度和、角速度和、角加速度和组成的求和向量。

5、根据权利要求 1 或 2 或 3 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，其特征在于，所述全网暂态稳定分析特征量为：

二维一阶伴随电力系统特征向量、全网惯性中心运动特征向量。

6、根据权利要求 5 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，其特征在于，所述全网惯性中心运动特征向量等于各个区域电网惯性中心运动特征向量的合成。

7、根据权利要求 4 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成方法，其特征在于，所述通过二维一阶伴随系统分区-合成定理，合成全网二维一阶伴随系统特征向量的步骤具体为：

通过全网暂态稳定分析特征量、求和向量合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

8、一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成装置，其特征在于，所述分区合成装置包括：

- 5 第一获取模块，用于根据 n_k 台发电机组在电力系统实际运行时刻的动态响应数据，通过区域电网的调度控制中心，基于广域测量系统获取区域电网暂态稳定分析特征量；
- 传输模块，用于将各区域电网的暂态稳定分析特征量传输至实际电网的全网调度控制中心；
- 第二获取模块，用于获取全网暂态稳定分析特征量；
- 10 合成模块，用于通过二维一阶伴随系统分区-合成定理，合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

9、根据权利要求 8 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成装置，其特征在于，

- 15 所述动态响应数据包括：发电机的功角、转速、角加速度、转子惯性常数、电磁功率和机械功率；
- 所述区域电网暂态稳定分析特征量为：
- 二维一阶伴随系统特征向量、区域电网惯性中心运动特征向量；
- 所述区域电网暂态稳定分析特征量还包括：
- 20 区域电网内，由全部发电机惯性中心的角度和、角速度和、角加速度和组成的求和向量。

10、根据权利要求 8 或 9 所述的一种电力系统暂态稳定性在线分析的分区合成装置，其特征在于，

- 所述全网暂态稳定分析特征量为：
- 25 二维一阶伴随电力系统特征向量、全网惯性中心运动特征向量；
- 所述全网惯性中心运动特征向量等于各个区域电网惯性中心运动特征向量的合成；
- 所述合成模块包括：
- 合成子模块，用于通过全网暂态稳定分析特征量、求和向量合成全网二维一阶伴随系统特征向量。

30

附图

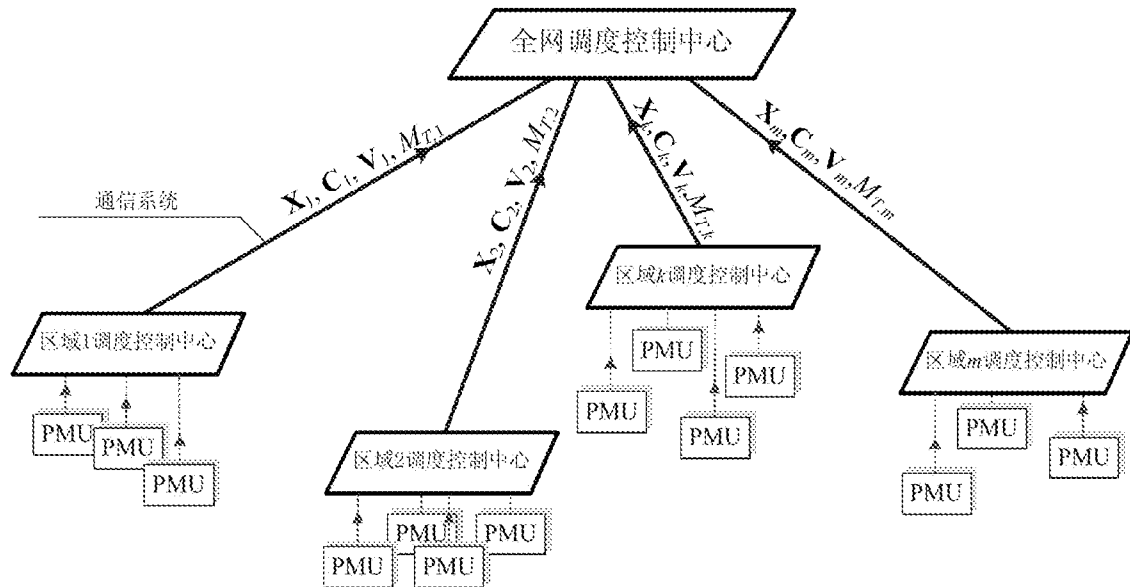


图 1

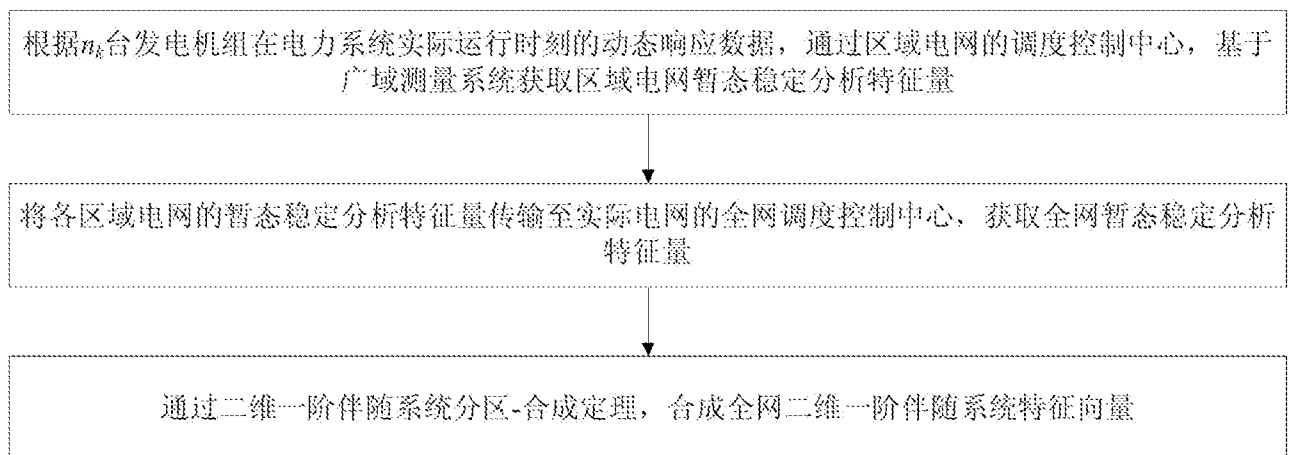


图 2

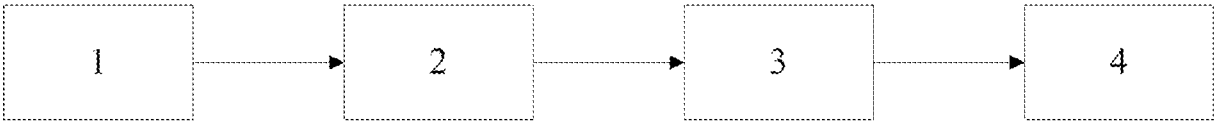


图 3

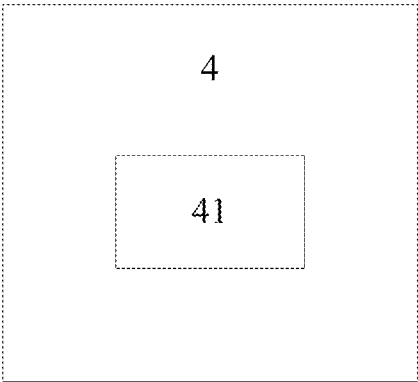


图 4

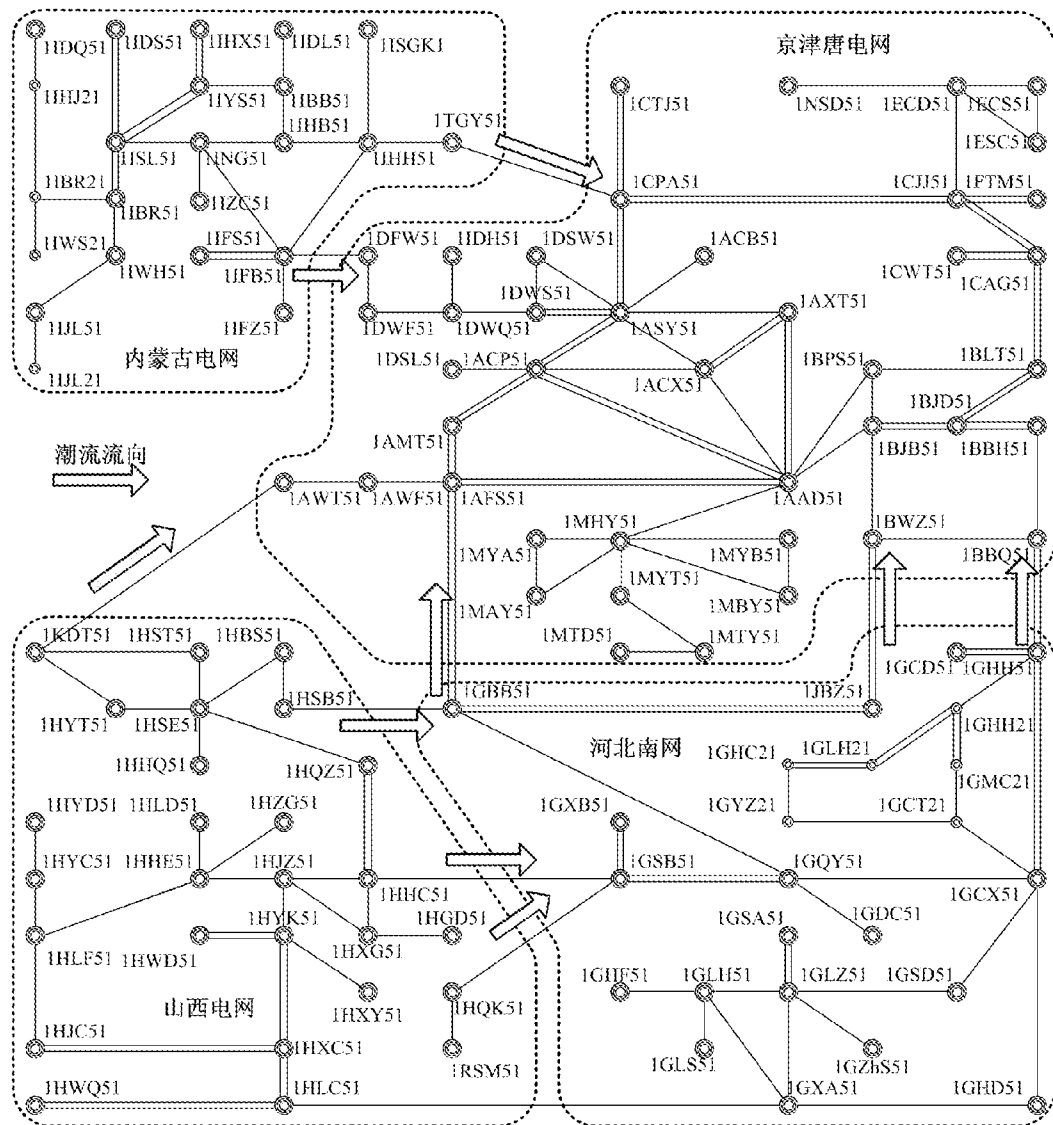


图 5

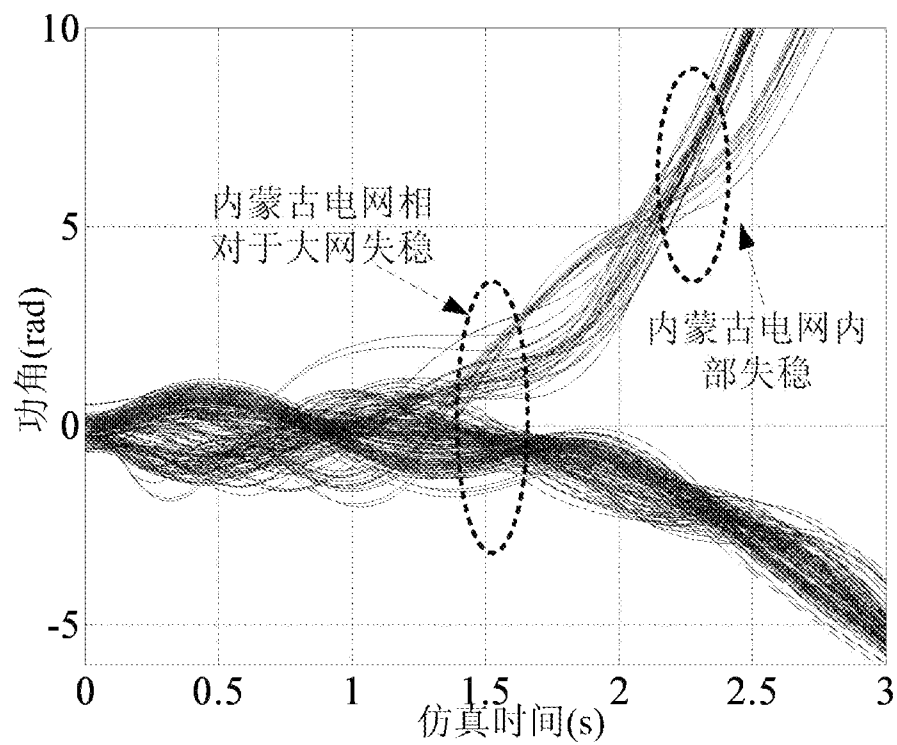


图 6

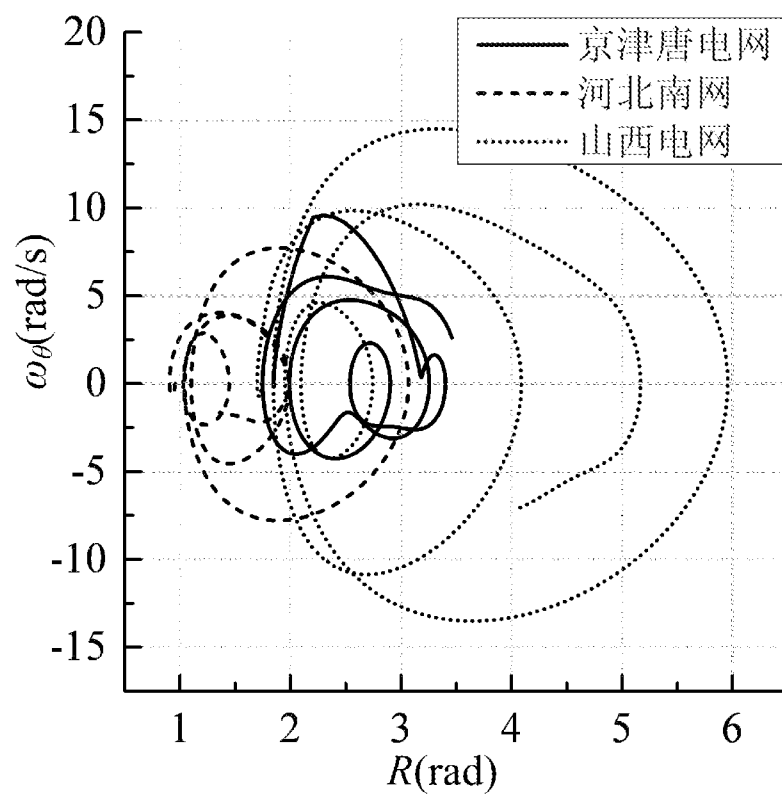


图 7(a)

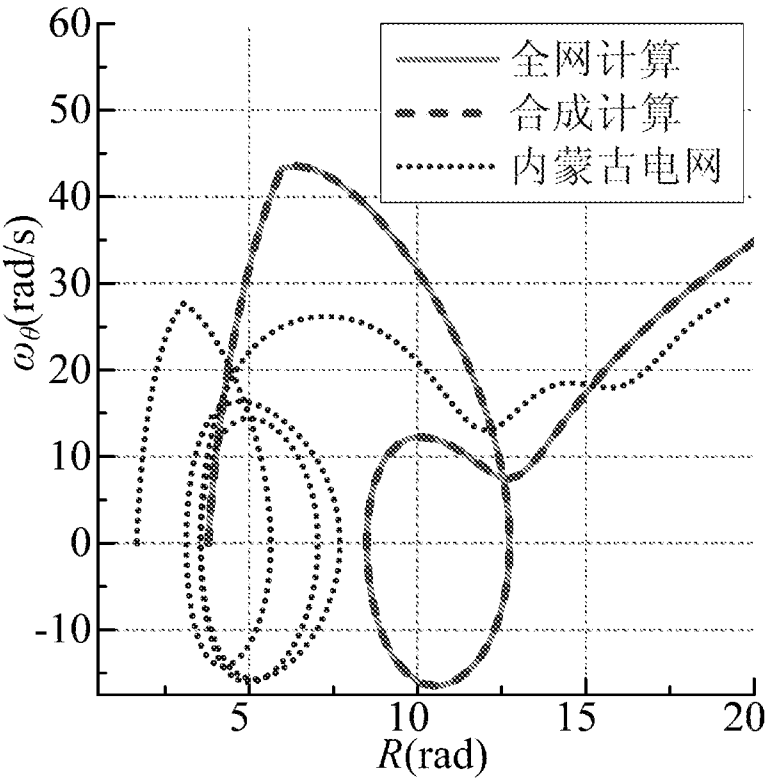


图 7(b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/088387

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, DWPI, EPODOC: power system, transient, stability, on-line, two-dimensional, first-order

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103399234 A (UNIVERSITY WUHAN et al.) 20 November 2013 (20.11.2013) see the whole document	1-10
A	CN 102545209 A (HUBEI ELECTRIC POWER CO. et al.) 04 July 2012 (04.07.2012) see the whole document	1-10
A	CN 103346558 A (UNIVERSITY TIANJIN et al.) 09 October 2013 (09.10.2013) see the whole document	1-10
A	KR 20080086794 A (PARK EUN HEUI et al.) 26 September 2008 (26.09.2008) see the whole document	1-10
A	SUN, Wen et al. "A Method for On-line Analysis of Power System Transient Stability", Power System Technology, vol. 33, no. 14, 20 July 2009 (20.07.2009) ISSN: 1000-3673, pages 16 to 20	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 19 April 2016	Date of mailing of the international search report 05 May 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer CHAI, Dee Telephone No. (86-10) 62089106

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/088387

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103399234 A	20 November 2013	None	
CN 102545209 A	04 July 2012	CN 102545209 B	30 October 2013
CN 103346558 A	09 October 2013	None	
KR 20080086794 A	26 September 2008	KR 100872273 B1	05 December 2008

A. 主题的分类 H02J 3/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) H02J 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNKI, CNPAT, DWPI, EPDOC: 电力系统, 暂态, 稳定, 在线, 二维, 一阶, power system, transient, stability, on-line, two-dimensional, first-order		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103399234 A (武汉大学等) 2013年 11月 20日 (2013 - 11 - 20) 见全文	1-10
A	CN 102545209 A (湖北省电力公司等) 2012年 7月 4日 (2012 - 07 - 04) 见全文	1-10
A	CN 103346558 A (天津大学等) 2013年 10月 9日 (2013 - 10 - 09) 见全文	1-10
A	KR 20080086794 A (PARK EUN HEUI等) 2008年 9月 26日 (2008 - 09 - 26) 见全文	1-10
A	孙闻等. "电力系统在线暂态稳定分析方法" 电网技术, 第33卷, 第14期, 2009年 7月 20日 (2009 - 07 - 20), ISSN: 1000-3673, 第16-20页	1-10
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2016年 4月 19日		国际检索报告邮寄日期 2016年 5月 5日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		授权官员 柴德娥 电话号码 (86-10) 62089106

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/088387

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	103399234	A	2013年 11月 20日	无	
CN	102545209	A	2012年 7月 4日	CN 102545209	B 2013年 10月 30日
CN	103346558	A	2013年 10月 9日	无	
KR	20080086794	A	2008年 9月 26日	KR 100872273	B1 2008年 12月 5日