

(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  
2013年6月6日 (06.06.2013)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号  
WO 2013/078871 A 1

- (51) 国际专利分类号 : G01R 31/08 (2006.01)
- (21) 国际申请号 : PCT/CN20 12/078950
- (22) 国际申请日 : 2012年7月20日 (07.20.2012)
- (25) 申报语言 : 中文
- (26) 公布语言 : 中文
- (30) 优先权 : 201110390520.4 2011年12月1日 (1.12.2011) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 武汉华中电力电网技术有限公司 (WUHAN CENTRAL CHINA ELECTRIC POWER & GRID TECHNOLOGY COMPANY, LTD.) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市武昌徐东大街359号, Hubei 430077 (CN)。国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街86号 Beijing 100031 (CN)。
- (72) 发明人及 (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 杨东俊 (YANG, Dongjun) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市武昌徐东大街359号 Hubei 430077 (CN)。李继升 (LI, Jisheng) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市武昌徐东大街359号, Hubei 430077 (CN)。丁坚勇 (DING, Jianyong) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市武昌武汉大学电气工程学院 Hubei 430077 (CN)。许汉平 (XU, Hanping) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市武昌徐东大街359号, Hubei 430077 (CN)。罗纯坚 (LUO, Chunjian) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市武昌徐东大街359号, Hubei 430077 (CN)。
- (74) 代理人: 武汉荆楚联合知识产权代理有限公司 (WUHAN JINGCHU LIANHE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY, LTD.); 中国湖北省武汉市武昌广八路8号省知识产权局一楼王健, Hubei 430072 (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD,

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING POSITION OF FORCED POWER OSCILLATION DISTURBANCE SOURCE IN REGIONAL INTERCONNECTED POWER GRID

(54) 发明名称 : 一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法

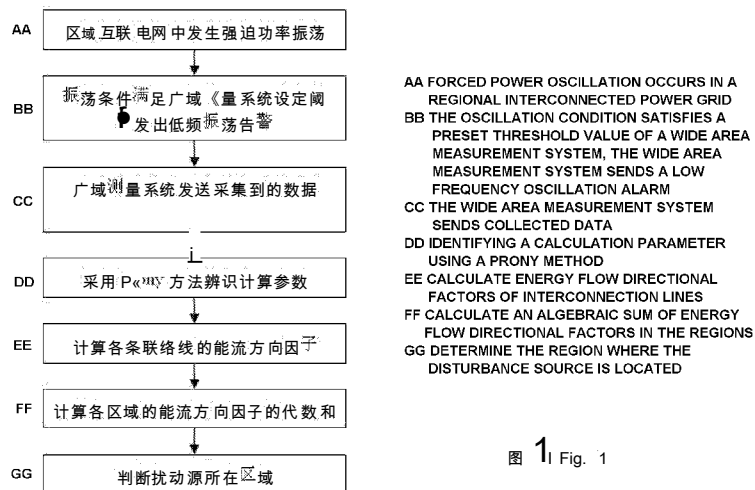


图 1 Fig. 1

(57) Abstract: Disclosed is a method for determining a position of a forced power oscillation disturbance source in a regional inter-connected power grid, relating to dispatching automation of an electric power system and safety operation of a power grid. According to the method, when forced power oscillation occurs in a regional power grid, an algebraic sum of energy flow directional factors in the regions of the regional interconnected power grid is calculated so as to determine the position of the disturbance source. Compared with the conventional disturbance source positioning method based on an energy function, the disturbance source positioning method based on calculation of the energy flow directional factors provided by the present invention can reduce the impact of a periodic disturbance component and an initial constant on the determination of an aperiodic component of branch potential energy, thus achieving higher accuracy; moreover, the integration links are reduced and the calculation process is simplified, thus better meeting the requirements for real-time power grid calculation.

(57) 摘要 :

[见续页]



W 2013/0 8871 A1



GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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。

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, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

(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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 叙亚 (AM,

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

本发明公开了一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法, 涉及电力系统调度自动化及电网的安全运行。在区域电网中发生强迫功率振荡时, 该方法通过计算区域互联电网中各区域能流方向因子的代数和, 实时在线地判断出扰动源所在的位置。与传统的基于能量函数的扰动源定位方法相比, 本发明提出基于计算能流方向因子的扰动源定位方法, 能够减少周期性扰动分量和初始常数对支路势能非周期性分量判断的影响, 具有更好的准确性。且减少了积分环节, 简化了计算过程, 能够更好的适应电网实时计算的要求。

## 一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统调度自动化及电网的安全运行，更具体涉及区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置的判断。

### 背景技术

[0002] 电力系统在扰动下会发生电机转子间的相对摇摆并在缺乏阻尼的情况下引起持续振荡，振荡频率范围在 0.1 ~ 2.5Hz，故称为低频振荡。低频振荡问题属于小扰动稳定范畴，随着互联电力系统的规模扩大、远距离重负荷输电系统的投入运行、快速自动励磁调节器和快速励磁系统的应用，国内外不少电力系统出现了低频振荡问题，低频振荡是影响电力系统安全稳定运行的重要因素之一。

[0003] 强迫功率振荡是低频振荡的一种形式，即当系统受到外界持续周期性功率扰动的频率接近系统功率振荡的固有频率时，会引起大幅度的功率振荡。汤涌在《电网技术》2006，30(10)：29-33 发表的《电力系统强迫功率振荡的基础理论》；杨东俊等在《电力系统自动化》2009，33(23)：24-28 发表的《基于 WAMS 量测数据的低频振荡机理分析》；以及杨东俊等在《电力系统自动化》2011，35(10)：99-103 发表的《同步发电机非同期并网引起电力系统强迫功率振荡分析》等论文中，分别通过理论及电网实际案例分析，论证了对于强迫功率振荡最有效的处理措施是迅速找到并切除扰动源，但未提出找到扰动源的具体方法。

[0004] 广域测量系统由基于全球定位系统(GPS)的同步相量测量单元(PMU)及其通信系统组成，能够在广域电力系统中同步、高速采集机组和运行设备的有功功率、无功功率、电压、电流、相角以及重要的开关信号，是一种能对电力系统动态过程进行监测和分析的工具。广域测量系统为电网的频振荡的监测、振荡事件分析和振荡预防及抑制等几个方面提供了新的技术手段。

[0005] 对于区域互联电网强迫功率振荡的扰动源定位问题，目前研究成果尚不多见，其中余一平等在《电力系统自动化》2010，34(5)：1-6 发表的《基于能量函数的强迫功率振荡扰动源定位》采用基于线性化的系统运动方程建立能量函数，借助系统中的能量转换特性识别强迫功率振荡扰动源所在位置。文献指出在多机系统中由外施扰动引发的强迫功率振荡所产生的能量，只有通过扰动源所在的机组才能注入系统，而被系统中各网络元件的阻尼所消耗，因此通过扰动源所在机组的势能变化与其他机组不同的特点，就可以找到扰动源。由于外施扰动做功注入系统的能量通过势能在网络中传播，并且系统中任一节点的势能守恒，即流入

节点的势能之和等于流出节点的势能，发电机的势能可以用与其相连的支路势能表示。系统中*i*节点和*j*节点之间的支路为*L<sub>ij</sub>*，其*i*端势能函数为：

$$V_{PBi}(t) = \int_0^t \Delta P_{ij} \Delta \delta_i dt \tag{1}$$

$$= \int_0^t \Delta P_{ij} \Delta \omega_i \omega_0 dt$$

式中： $\Delta P_{ij}$ 为支路*L<sub>ij</sub>*电功率改变量， $\Delta \delta_i$ 为*i*节点相角偏移， $\Delta \omega_i$ 为支路*i*端角频率改变量，基准角频率 $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， $f_0$ 为电网基准频率，*t*为扰动时间。根据支路势能函数计算结果，若大于0则支路*L<sub>ij</sub>*扰动能量从*i*节点流向*j*节点，扰动源在*i*节点方向；若小于0则支路*L<sub>ij</sub>*扰动能量从*j*节点流向*i*节点，扰动源在*j*节点方向，据此判断扰动源所在的位置，经论证该方法可以适用于多机系统。但是，该方法需要通过积分求出支路势能函数，计算过程比较复杂不利于实时计算，并且在势能函数中主要通过非周期性分量来判断扰动源的位置，而势能函数中的周期性分量和积分初值的选取则会对判断的准确性产生一定的干扰。

[0006] 由于在强迫振荡的稳态阶段，各状态量都以扰动频率周期性的变化，对于电网中节点*i*和节点*j*之间的支路*m*，设在*i*端观测到的振荡功率为 $\Delta P_{ij} = \Delta P_{mij} \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)$ ，振荡频率 $\Delta \omega_i = \Delta \omega_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_2)$ ，其中 $\Delta P_{mij}$ 、 $\Delta \omega_m$ 分别为支路*m*功率和*i*端频率变化幅度， $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 为支路*m*功率和*i*端频率变化初相位， $\omega$ 为扰动频率；代入(1)式可得势能函数为：

$$V_{PBi}(t) = \int_0^t \Delta P_{mij} \cdot \cos(\omega t + \varphi_1) \cdot \Delta \omega_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_2) \cdot \omega_0 dt$$

$$= \frac{1}{4\omega} \Delta P_{mij} \cdot \Delta \omega_m \cdot \omega_0 \sin(2\omega t + \varphi_1 + \varphi_2)$$

$$+ \frac{1}{2} \Delta P_{mij} \cdot \Delta \omega_m \cdot \omega_0 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot t$$

$$+ \frac{1}{2} \Delta P_{mij} \cdot \Delta \omega_m \cdot \omega_0 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2)$$
(3)

令：

$$a = \frac{1}{4\omega} \Delta P_{mij} \cdot \Delta \omega_m \cdot \omega_0 \tag{4}$$

$$b = \frac{1}{2} \Delta P_{mij} \cdot \Delta \omega_m \cdot \omega_0 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \tag{5}$$

$$c = \frac{1}{2} \Delta P_{mij} \cdot \Delta \omega_m \cdot \omega_0 \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2) \tag{6}$$

即有：

$$\Delta V_{PBi}(t) = a \cdot \sin(2\omega t + \varphi_1 + \varphi_2) + b \cdot t + c \tag{7}$$

可以看到势能函数是由一条幅值为*a*，频率为 $2\omega$ ，初相角为 $\varphi_1 + \varphi_2$ 的正弦曲线和一条斜率

为  $b$  的直线叠加而成。由外施扰动注入系统并在网络中传播消耗的能量主要由非周期分量体现。定义势能流出节点  $i$  为正，流入节点  $j$  为负，由于  $\omega$  为不随时间变化的初始常数，通过斜率  $b$  即可判断支路势能的方向，当  $b > 0$  时势能趋势由节点  $i$  流向节点  $j$ ，当  $b < 0$  时势能趋势由节点  $j$  流向节点  $i$ 。由此， $b$  表征了支路势能中非周期性分量的大小和流动方向，本发明定义  $b$  为能流方向因子。

[0007] 王铁强等在中国电力 2001，11(34):38-41 上发表的《Prony 算法分析低频振荡的有效性研究》论证了 Prony 分析方法在电网低频振荡分析中的有效性。基于轨迹线的 Prony 分析方法直接对现场记录的数据波形进行信号分析，将实测轨线视为某些频率固定，幅值按指数规律变化的正弦信号(振荡模式)的线性组合，其模型表示为：

$$x(t) = \sum_{i=1}^n A_{0i} e^{-\sigma_i t} \cos(\omega_i t + \varphi_{0i}) \quad (2)$$

其中： $n$  为振荡模式的个数；对于第  $i$  个振荡模式， $A_{0i}$  为振荡幅值； $\sigma_i$  为阻尼因子； $\omega_i$  为振荡角频率； $\varphi_{0i}$  为初始相位。从而将问题归纳为对各频率、幅值与阻尼系数的识别。Prony 算法能根据采样得到的以  $n$  个振荡周波为一组的有功功率、节点频率及主导振荡频率数据进行参数辨识，估算得到主导振荡频率模式下的功率幅值、频率振荡幅值、功率初相位和频率振荡初相位。在确定振荡特征方面是一种较好的分析方法，在工程实践中被较为广泛应用。

[0008 ]

发明内容

[0009] 本发明的目的是提供一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法。在区域电网中发生强迫功率振荡时，该方法通过计算区域互联电网中各区域能流方向因子的代数和，实时在线地判断出扰动源所在的位置。本发明简单、易行，经实际案例检验，能够为电网调度人员快速查找和解决故障提供参考。

[0010] 为了达到上述目的，本发明采用如下技术方案：通过对广域测量系统实时测量的低频振荡有功和频率变化量，采用 Prony 分析方法进行参数辨识，根据公式 (5) 求解支路的能流方向因子，据此判断扰动源所在的位置。

[0011] 一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法，该方法包含下列步骤：

- a、在设有广域测量系统，由  $M$  个区域组成的交流区域互联电网中，区域间联络线支路有  $L$  条，各联络线支路的起始节点和终止节点装设同步相量测量单元 PMU；
- b、当广域测量系统监测到电网中振荡的主导振荡频率  $\omega$ 、有功功率振荡幅度  $A_{PT}$ 、持续的周波数  $n$  均满足低频振荡告警阈值时，立即发出低频振荡告警；

c、广域测量系统发出低频振荡告警后，以 $n$ 个振荡周波为一组，持续传递各条联络线支路的有功功率 $\Delta P_m$ ，起始节点频率 $\Delta \omega_m$ 及主导振荡频率 $\omega$ 的数据，其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；

d、将接收到的数据以 $n$ 个振荡周波为一组，采用 Prony 分析方法，对第 $m$ 条联络线支路的有功功率 $\Delta P_m$ 、起始节点频率 $\Delta \omega_m$ 数据进行参数辨识，得到主导振荡频率 $\omega$ 模式下，第 $m$ 条联络线支路的功率幅值 $\Delta P_{m1}$ 、起始节点频率振荡幅值 $\Delta \omega_{m1}$ 、功率初相位 $\varphi_{m1}$ 、频率振荡初相位 $\varphi_{m2}$ ，其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；

e、将 Prony 分析方法辨识的 $\Delta P_{m1}$ 、 $\Delta \omega_{m1}$ 、 $\varphi_{m1}$ 、 $\varphi_{m2}$ 结果代入下式：

$$b_m = \frac{1}{2} \Delta P_{m1} \Delta \omega_{m1} \cos(\varphi_{m1} - \varphi_{m2}),$$

其中： $\omega_0$ 为基准角频率， $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， $f_0$ 为电网基准频率；得到第 $m$ 条联络线支路起始节点的能流方向因子 $b_m$ ，其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；以功率流出节点方向为正，当能流方向因子 $b_m > 0$ 时，扰动源位于第 $m$ 条联络线支路起始节点所在的区域；当 $b_m < 0$ 时，扰动源位于第 $m$ 条联络线支路终止节点区域；

f、求出 $M$ 个区域中每个区域各条联络线支路的能流方向因子，如果第 $m$ 条联络线支路起始节点位于该区域，能流方向因子取 $b_m$ ；如果第 $m$ 条联络线支路终止节点位于该区域，能流方向因子取 $-b_m$ ；其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；

g、求出每个区域的能流方向因子代数和，能流方向因子代数和最大的区域即为扰动源所在区域。

[0012] 本发明具有以下优点：

1、与传统的基于能量函数的扰动源定位方法相比，本发明提出基于计算能流方向因子的扰动源定位方法，能够减少周期性扰动分量和初始常数对支路势能非周期性分量判断的影响，具有更好的准确性。

[0013] 2、本方法减少了积分环节，简化了计算过程，能够更好的适应电网实时计算的要求。

#### 附图说明

[0014] 图1为一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法的流程示意图。

[0015] 图2为区域互联电网地理位置示意图。

#### 具体实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明作进一步的说明。

[0017] 实施例一

本方法通过对广域测量系统实时测量的低频振荡有功和频率变化量，采用 Prony 分析方法进行参数辨识，根据公式 (5) 求解支路的能流方向因子，据此判断扰动源所在的位置。该方法包含下列步骤：

a、在有  $M$  个区域组成的交流区域互联电网中，区域间联络线支路有  $J$  条，设在其中一个区域存在一个周期性功率振荡的扰动源，引发整个区域互联电网产生强迫功率振荡，各区域间联络线至少一端装设有 PMU，数据同步传输到电网调度中心的广域测量系统中。

[0018] b、当广域测量系统监测到电网中振荡的主导振荡频率  $\omega$ 、有功功率振荡幅度  $\Delta P_T$ 、持续的周波数  $N$  均满足低频振荡告警阈值，即发出低频振荡告警。

[0019] c、在广域测量系统发出振荡告警后，以  $N$  个振荡周波为一组将广域测量系统采集到的有功功率，频率及主导振荡频率数据持续传递给分析程序。设：节点  $i$  和节点  $j$  分别为两区域间联络线支路  $m$  的起始节点和终止节点，则需要将联络线任一端（如  $i$  端）所采集联络线支路  $N$  个振荡周波有功功率  $\Delta P_{ij}$ ， $i$  端的频率  $\Delta \omega_i$  及主导振荡频率  $\omega$  数据持续传递给扰动源定位分析程序。

[0020] d、扰动源定位分析程序以  $N$  个振荡周波为一组数据，采用 Prony 分析方法对联络线支路  $m$  有功功率  $\Delta P_{ij}$ 、 $i$  端的频率  $\Delta \omega_i$  数据进行参数辨识，得到主导振荡频率  $\omega$  模式下联络线支路功率幅值  $\Delta P_{ij}$ 、 $i$  端频率振荡幅值  $\Delta \omega_{mi}$ 、支路功率初相位  $\varphi_1$ 、频率振荡初相位  $\varphi_2$ ，并依次对每条联络线一端数据进行分析。

[0021] e、将 Prony 分析方法辨识的  $\Delta P_{ij}$ 、 $\Delta \omega_{mi}$ 、 $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  计算结果代入公式 (5) 求解各联络线的能流方向因子。对于节点  $i$  与节点  $j$  之间的联络线支路  $m$ ，以  $i$  端测量数据判断，当能流方向因子  $b > 0$  时扰动源位于节点  $i$  所在区域侧，当  $b < 0$  时扰动源位于节点  $j$  所在区域侧，分别计算各条联络线的能流方向因子  $b_m$ 。

[0022] f、分区域求出一条联络线两端区域的能流方向因子。若测量节点  $i$  位于区域  $I$  对端节点  $j$  位于区域  $J$  则  $b_m^I = b_m$ ， $b_m^J = -b_m$ 。

[0023] g、区域能流方向因子为每一区域联络线能流方向因子的代数和，求出各区域的能流方向因子。如：与第  $I$  个区域相连的联络线有  $E$  条 ( $I = 1, 2, \dots, M$ ;  $g = 1, 2, \dots, E$ )，则第

$I$  个区域能流方向因子为  $b^I = \sum_{m=1}^E b_m^I$ ；能流方向因子代数和最大的区域即为扰动源所在区

域，如：区域  $E$  的能流方向因子  $b^E = \max\{b^1, b^2, \dots, b^M\}$ ，则区域  $E$  即为扰动源所在区

域。

[0024] 实施例二

一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法，以附图 2 所示的 5 区域互联电网为例，说明本发明的实际应用过程。具体步骤如下：

a、在附图 2 所示的交流互联电网包括：S1、S2、S3、S4、S5 共 5 个供电区域，分别通过 4 条区域间联络线：m1、m2、m3、m4 将 S1 和 S3、S3 和 S5、S3 和 S4、S3 和 S2 区域相连。联络线 m1 两端节点为 i1 和 j1，m2 两端节点为 i2 和 j2，m3 两端节点为 i3 和 j3，m4 两端节点为 i4 和 j4；其中 j1 为区域 S1 中的节点，j2 为区域 S5 中的节点，j3 为区域 S4 中的节点，i4 为区域 S2 中的节点，i1、i2、i3、j4 为区域 S3 中的节点。设在区域 S1 中存在一个振荡频率为 0.62Hz 的周期性功率振荡的扰动源，引发整个区域互联电网产生强迫功率振荡，在节点 i1、i2、i3、i4 装设有 PMU 设备，振荡发生后数据同步传输到电网调度中心的广域测量系统。

[0025] b、设广域测量系统低频振荡的阈值需同时满足：主导振荡频率在 0.1-2.5Hz，有功功率振荡幅度 10MW，持续 5 个周波，当监测到电网中发生主导频率 0.62Hz 的功率振荡满足所设定的阈值，即发出低频振荡告警。

[0026] c、在广域测量系统发出振荡告警后，将节点 i1、i2、i3、j4 采集的联络线支路 m1、m2、m3、m4 的有功功率，频率及主导振荡频率  $\omega$  数据的以 5 个周波为一组持续传递给分析程序。

[0027] d、分析程序以 5 个振荡周波为一组数据，采用 Prony 分析方法对联络线 m1、m2、m3、m4 有功功率和频率数据进行参数辨识，得到主导振荡频率 0.62Hz 模式下联络线功率振荡幅值  $\Delta P_{mi}$ 、频率振荡幅值  $\Delta \omega_{mi}$ 、支路功率初相位  $\varphi_1$ 、频率振荡初相位  $\varphi_2$ 。

[0028] 表 1 联络线振荡参数辨识结果

线路名称	$\Delta P_{mi}$ (MW)	$\Delta \omega_{mi}$ (Hz)	$\varphi_1$ (°)	$\varphi_2$ (:)
m1	141.82	0.018	-87.64	160.07
m2	88.81	0.008	126.84	77.19
m3	116.64	0.006	45.20	14.65
m4	33.49	0.006	-157.14	5.21

e、将 Prony 分析方法辨识的  $\Delta P_{mi}$ 、 $\Delta \omega_{mi}$ 、 $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  计算结果代入公式 (5) 求解能流方向因

子  $b$  取电网基准频率  $f_0 = 50 \text{ Hz}$ , 计算结果如下:

表 2 联络线能流方向因子计算结果

线路名称	能流方向因子名称	能流方向因子
m1	$b_{m1}$	-153.34
m2	$b_{m2}$	74.45
m3	$b_{m3}$	101.00
m4	$b_{m4}$	-10.78

由于联络线 m1、m2、m3、m4 的广域测量数据取自节点 i1、i2、i3、j4, 节点 i1、i2、i3 属于区域 S3, 节点 i4 属于区域 S2, 因此, 联络线 m1 能流方向因子  $b_{m1} < 0$  说明振荡能量从区域 S1 流向区域 S3;  $b_{m2} > 0$  说明振荡能量从区域 S3 流向区域 S5;  $b_{m3} > 0$  说明振荡能量从区域 S3 流向区域 S4; 联络线 m4 能流方向因子  $b_{m4} < 0$  说明振荡能量从区域 S3 流向区域 S2。

[0029] f、分区域求出联络线 m1、m2、m3、m4 两端区域的能流方向因子, 计算结果如表 3 所示:

表 3 联络线能流方向因子计算结果

联络线能流方向因子	数值
$b_{m1}^{S1}$	153.34
$b_{m1}^{S3}$	-153.34
$b_{m2}^{S3}$	74.45
$b_{m2}^{S5}$	-74.45
$b_{m3}^{S3}$	101.00
$b_{m3}^{S4}$	-101.00
$b_{m4}^{S3}$	10.78
$b_{m4}^{S2}$	-10.78

g、求出 S1、S2、S3、S4、S5 各区域的能流方向因子, 计算结果如表 4 所示:

表 4 区域能流方向因子计算结果

区域能流方向因子	数值
$b^{s1}$	153.34
$b^{s2}$	-10.78
$b^{s3}$	32.89
$b^{s4}$	-101.00
$b^{s5}$	-74.45

根据计算结果，区域 S1 为能流方向因子代数和最大的区域，即扰动源位于区域 S1 内。

[0030] 经案例证明，本发明能够实现区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置的快速判断。

## 权 利 要 求 书

1. 一种区域互联电网强迫功率振荡扰动源位置判断方法，其特征在于，该方法包含下列步骤：

a、在设有广域测量系统，由  $M$  个区域组成的交流区域互联电网中，区域间联络线支路有  $L$  条，各联络线支路的起始节点和终止节点装设同步相量测量单元 PMU；

b、当广域测量系统监测到电网中振荡的主导振荡频率  $\omega$ 、有功功率振荡幅度  $\Delta P_T$ 、持续的周波数  $n$  均满足低频振荡告警阈值时，立即发出低频振荡告警；

c、广域测量系统发出低频振荡告警后，以  $n$  个振荡周波为一组，持续传递各条联络线支路的有功功率  $\Delta P_m$ ，起始节点频率  $\Delta \omega_m$  及主导振荡频率  $\omega$  的数据，其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；

d、将接收到的数据以  $n$  个振荡周波为一组，采用 Prony 分析方法，对第  $m$  条联络线支路的有功功率  $\Delta P_m$ 、起始节点频率  $\Delta \omega_m$  数据进行参数辨识，得到主导振荡频率  $\omega$  模式下，第  $m$  条联络线支路的功率幅值  $\Delta P_{m,2}$ ；起始节点频率振荡幅值  $\Delta \omega_{m1}$ 、功率初相位  $\varphi_{m1}$ 、频率振荡初相位  $\varphi_{m2}$ ，其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；

e、将 Prony 分析方法辨识的  $\Delta P_{m,2}$ 、 $\Delta \omega_{m1}$ 、 $\varphi_{m1}$ 、 $\varphi_{m2}$  结果代入下式：

$$b_m = \frac{1}{2} \Delta P_{m,2} \Delta \omega_{m1} \omega_0 \cos(\varphi_{m1} - \varphi_{m2}),$$

其中： $\omega_0$  为基准角频率， $\omega = 2\pi f_0$ ， $f_0$  为电网基准频率；得到第  $m$  条联络线支路起始节点的能流方向因子  $b_m$ ，其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；以功率流出节点方向为正，当能流方向因子  $b_m > 0$  时，扰动源位于第  $m$  条联络线支路起始节点所在的区域；当  $b_m < 0$  时，扰动源位于第  $m$  条联络线支路终止节点区域；

f、求出  $M$  个区域中每个区域各条联络线支路的能流方向因子，如果第  $m$  条联络线支路起始节点位于该区域，能流方向因子取  $b_m$ ；如果第  $m$  条联络线支路终止节点位于该区域，能流方向因子取  $-b_m$ ；其中： $m=1, 2, 3, \dots, L$ ；

g、求出每个区域的能流方向因子代数和，能流方向因子代数和最大的区域即为扰动源所在区域。

## 说明书附图

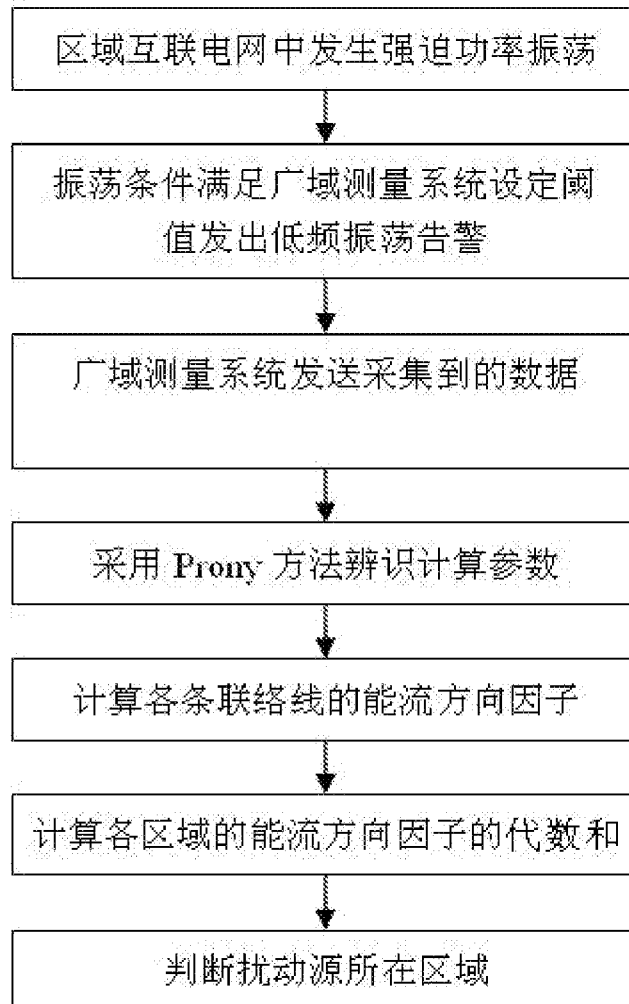


图 1

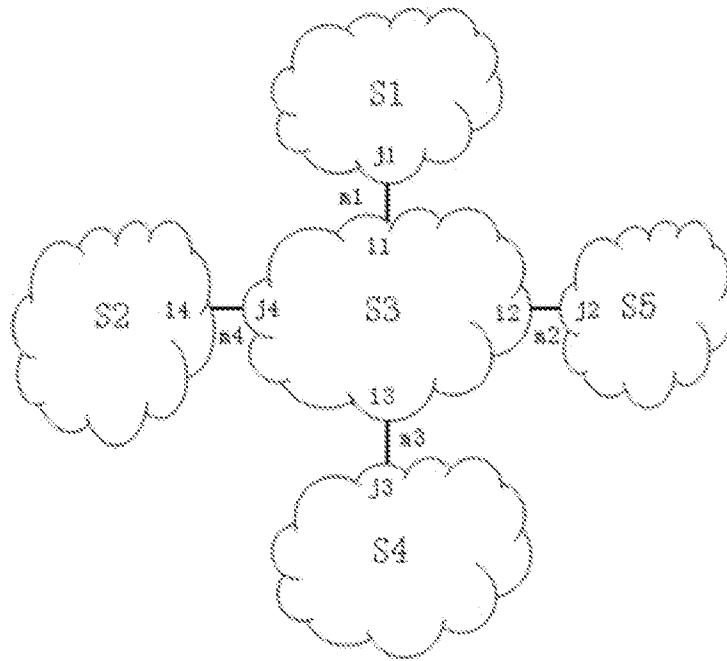


图 2

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/078950

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/08 (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: G01R

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; CNABS; CNTXT; VEN; USTXT; WOTXT; EPTXT: forced power oscillation, active power, initial phase, forced power oscillation, forced oscillation, position, location, low frequency, prony, oscillation frequency, electric network, power line, transmission line

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 102411118 A (WUHAN CENTRAL CHINA POWER GRID CO., LTD.), 11 April 2012 (11.04.2012), claim 1	1
PX	YANG, Dongjun et al., A Disturbance Source Location Method for Forced Power Oscillations Based on Parameter Identification, AUTOMATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS, 25 January 2012, vol. 36, no. 2, pages 26-30, ISSN 1000-1026	1
A	CN 102170127 A (STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 31 August 2011 (31.08.2011), description, paragraphs 0008-0011	1
A	CN 102122823 A (NARI-RELAYS ELECTRIC CO., LTD. et al.), 13 July 2011 (13.07.2011), the whole document	1
A	CN 102055201 A (BEIJING SIFANG AUTOMATION CO., LTD. et al.), 11 May 2011 (11.05.2011), the whole document	1
A	JP 6230066 A (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.), 19 August 1994 (19.08.1994), the whole document	1

 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  
21 September 2012 (21.09.2012)Date of mailing of the international search report  
04 October 2012 (04.10.2012)Name and mailing address of the ISA/CN:  
State Intellectual Property Office of the P. R. China  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao  
Haidian District, Beijing 100088, China  
Facsimile No.: (86-10) 62019451Authorized officer  
SUN, Yi  
Telephone No.: (86-10) 62085713

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/CN2012/078950

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	RU 2025740 C I (POTENTIAL RES. FIRM), 30 December 1994 (30.12.1994), the whole document	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/CN2012/078950

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102411118 A	11.04.2012	None	
CN 102170127 A	31.08.2011	None	
CN 102122823 A	13.07.2011	None	
CN 102055201 A	11.05.2011	None	
JP 6230066 A	19.08.1994	None	
RU 2025740 C I	30.12.1994	None	

A. 主题的分类		
G01R3 1/08 (2006.01)1		
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)		
IPC: G01R		
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;CNABS;CNTXT;VEN;USTXT;WOTXT;EPTXT: 位置, 定位, 振荡频率, 低频, 强迫功率振荡, 电网, 有功功率, 初相位, forced power oscillation, forced oscillation, position, location, low frequency, prony, oscillation frequency, electric network, power line, transmission line		
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
PX	CN10241 1118 A (武汉华中电力电网技术有限公司) 11.4 月 2012 (11.04.2012) 权利要求 1	1
PX	杨东俊等, 基于参数辨识的强迫功率振荡扰动源定位方法, 电力系统自动化, 25.1 月 2012, 第 36 卷, 第 2 期, 第 26—30 页, ISSN 1000-1026	1
A	CN102170127 A (国网电力科学研究院等) 31.08 月 2011 (31.08.2011) 说明书第 0008—0011 段	1
A	CN102122823 A (南京南瑞继保电气有限公司等) 13.07 月 2011 (13.07.2011) 全文	1
A	CN102055201 A (北京四方继保自动化股份有限公司等) 11.05 月 2011 (11.05.2011) 全文	1
A	JP6230066 A (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 19.08 月 1994 (19.08.1994) 全文	1
因 其余文件在 C 栏的续页中列出。 因 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	"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
"E"	在国际申请日的 3/4 之后公布的在先申请或专利	"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
"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)	"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
"O"	涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件	"&" 同族专利的文件
"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	
国际检索实际完成的日期 21.9 月 2012 (21.09.2012)	国际检索报告邮寄日期 04.10 月 2012 (04.10.2012)	
ISA/CN 的名称和邮寄地址: 中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号: (86-10)62019451	受权官员  孙毅  电话号码: (86-10) 62085713	

c (续). 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	RU2025740 CI (POTENTIAL RES. FIRM) 30.12 月 1994 (30.12.1994) 全文	1

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2012/078950

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN10241 1118 A	11.04.2012	无	
CN102170127 A	31.08.2011	无	
CN102122823 A	13.07.2011	无	
CN102055201 A	11.05.2011	无	
JP6230066 A	19.08.1994	无	
RU2025740 C I	30.12.1994	无	