

(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 2017/016019 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/088385
- (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:
201510454081.7 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)。 姜涛 (JIANG, Tao); 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。
- (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))。

(54) Title: HOMOLOGICAL RECOGNITION METHOD AND DEVICE FOR A WIDE AREA OF A POWER SYSTEM

(54) 发明名称: 一种电力系统广域同调辨识方法及其装置

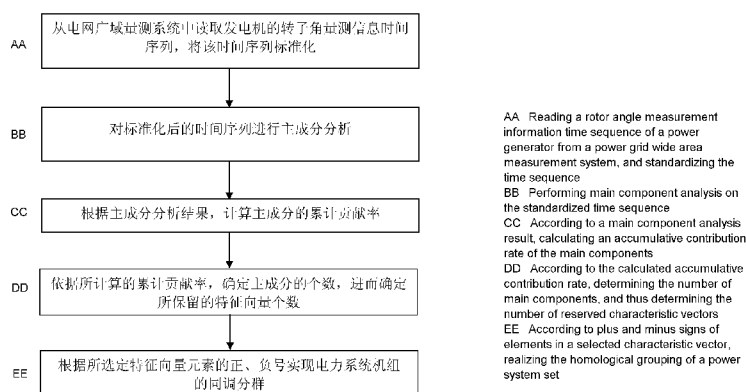


图 1

(57) Abstract: A homologous recognition method and device for a wide area of a power system. The method comprises: standardizing a wide area measurement time sequence of a power generator rotor angle in a power system; performing main component analysis on the standardized wide area measurement time sequence, and according to an accumulative contribution rate of the main components, determining the number of main components of the wide area measurement time sequence and a characteristic vector corresponding thereto; and according to plus and minus signs of elements in the selected characteristic vector, realizing the homologous grouping of a power system set. The device comprises: a standardized module (1), a main component analysis module (2), an acquisition module (3) and a dividing module (4). By means of the modules, the online recognition of a power system homologous group based on wide area measurement information is realized. As stated above, a power system homologous group is divided completely based on wide area measurement information, thereby avoiding the influence on a homologous grouping result due to the model precision and the parameter accuracy of a power system.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2017/016019 A1

一种电力系统广域同调辨识方法及其装置，方法包括：对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化；对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析，根据主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量；根据所选定特征向量中元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。装置包括：标准化模块(1)、主成分分析模块(2)、获取模块(3)和划分模块(4)，通过上述模块实现了基于广域量测信息的电力系统同调机群在线辨识。上述完全基于广域量测信息进行电力系统同调机群划分，避免了因电力系统的模型精度和参数准确性对同调分群结果的影响。

一种电力系统广域同调辨识方法及其装置

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广域同调辨识方法及其装置，特别是
5 涉及利用电力系统的广域量测信息进行电力系统同调辨识的方法。

背景技术

区域间电网互联规模不断扩大，大容量远距离输电不断增加，间隙性新能源大规模接入，使得区域电网振荡已成为威胁电网安全稳定运行的主要因素之一。为抑制区域间功率振荡，
10 改善整个互联系统的动态稳定，电力系统研究和运行人员提出多种措施来改善电力系统的阻尼特性，例如：加装电力系统稳定器、直流功率调制、改变电网运行方式等，并在紧急情况下，通过主动解列以防止长时间区域间功率振荡所诱发的电网大停电事故。而在主动解列过程中，快速搜索和确定电力系统的同调机群是其关键。

目前，识别同调机群的方法主要分为两类：基于电力系统模型的同调机群识别方法和基
15 于电力系统广域量测信息的同调机群识别方法。其中，基于电力系统模型的同调机群识别方法又有如下方法：①基于图分割，将慢同调理论应用于电力系统同调分群中；②通过计算电力系统微分方程的右特征向量矩阵中发电机转子角所对应行向量之间的方向余弦来确定电力系统中的同调机群；③构造动态电力网络的加权拉普拉斯矩阵，借助复杂网络社团结构理论实现电力系统的同调分群；④将电力系统在非平衡点处线性化，根据电力系统运动轨迹的特征值进行同调分群。上述基于电力系统模型的同调机群识别方法均依赖于电力系统的详细模型和准确参数，难以考虑电力系统运行方式变化及故障类型对同调分群的影响。因而，基于
20 电力系统模型的同调分群方法，多用于电力系统离线安全稳定分析。

广域量测系统在电力系统中的广泛应用，为电力系统在线实现同调分群提供了可能。当前，基于电力系统广域量测信息的同调机群识别方法主要有：①基于最小二乘支持向量机实现电力系统同调机群的在线辨识；②基于独立分量法对电力系统中的机组进行同调分群；③
25 基于广域实测信号的主成分，采用聚类分析方法对电力系统中发电机进行同调分群；④借助小波相位差来辨识电力系统中的同调机群；⑤通过对广域实测信号进行库普曼模式分解实现电力系统的同调分群；⑥在方法⑤的基础上，通过对广域实测信息进行动态振荡模式解耦来识别电力系统的同调机群。

30 采用上述方法均可实现基于广域量测信息的电力系统同调机群准确辨识，但上述方法在辨识过程中都会面临对海量数据的处理，如何挖掘其关键信息，提高识别效率是利用广域量

测信息进行电力系统同调辨识亟需解决的问题。

发明内容

本发明提供了一种电力系统广域同调辨识方法及其装置，本发明将电力系统广域量测信息
5 息与多元统计中的主成分分析方法相结合，实现了基于广域量测信息的电力系统同调机群在线辨识，提到了识别效率，详见下文描述：

一种电力系统广域同调辨识方法，所述方法包括以下步骤：

对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化；

对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析，根据主成分的累计贡献率，确定广域
10 量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量；

根据所选定特征向量中元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。

所述对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化的步骤具体为：

在同一时间断面，同一量测长度的条件下，获取广域量测时间序列的方差和均值；

通过所述方差和所述均值，对广域量测时间序列标准化。

15 所述对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析的步骤具体为：

通过主成分分析，获取标准化后的广域量测时间序列的特征值及特征向量。

所述根据主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量的步骤具体为：

根据所述特征值，获取各主成分的贡献率及前 k 个主成分的累计贡献率；

20 当累计贡献率达到阈值后，确定广域量测时间序列的主成分个数为 k ，并保留这 k 个主成分所对应的特征向量。

所述根据所选定特征向量元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群的步骤具体为：

将所选定特征向量中元素正、负号组合完全相同的发电机划分为一组同调机群，进而获取多组同调机群，实现基于广域量测信息的电力系统同调辨识。

25 一种电力系统广域同调辨识装置，所述装置包括：

标准化模块，用于对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化；

主成分分析模块，用于对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析；

获取模块，用于根据主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量；

30 划分模块，用于根据所选定特征向量中元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。

其中，所述标准化模块包括：

方差和均值模块，用于在同一时间断面，同一量测长度的条件下，得到广域量测时间序列的方差和均值；

标准化子模块，用于通过所述方差和所述均值，对广域量测时间序列标准化。

其中，所述主成分分析模块包括：

- 5 主成分分析子模块，用于通过主成分分析，获取标准化后的广域量测时间序列的特征值及特征向量。

进一步地，所述获取模块包括：

第一获取子模块，用于根据所述特征值，获取各主成分的贡献率及前 k 个主成分的累计贡献率；

- 10 第二获取子模块，用于当累计贡献率达到阈值后，确定广域量测时间序列的主成分个数为 k ，并保留这 k 个主成分所对应的特征向量。

进一步地，所述划分模块包括：

第一划分子模块，用于将所选定特征向量中元素正、负号组合完全相同的发电机划分为一组同调机群；

- 15 第二划分子模块，用于获取多组同调机群，实现基于广域量测信息的电力系统同调辨识。

本发明提供的技术方案的有益效果是：本发明通过计算主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应的特征值向量，顺序提取各发电机在各保留特征向量中所对应元素的正、负号，将正、负号顺序排列组合完全一致的发电机划分为一组同调机群，从而得到多组同调机群，本发明完全基于广域量测信息进行电力系统同调机群划分，避免了电力系统模型精度和参数准确性对同调分群结果的影响，实现了基于广域量测信息的电力系统同调机群在线辨识，降低了计算复杂度，提高了识别效率。

20

附图说明

图 1 为一种电力系统广域同调辨识方法的流程图；

- 25 图 2 为一种电力系统广域同调辨识装置的示意图；

图 3 为标准化模块的示意图；

图 4 为主成分分析模块的示意图；

图 5 为获取模块的示意图；

图 6 为划分模块的示意图；

- 30 图 7 为典型 4 机 11 节点测试系统的示意图；

图 8 为转子角摇摆曲线的示意图。

附图中，各标号所代表的部件列表如下：

- | | |
|---------------|--------------|
| 1: 标准化模块; | 2: 主成分分析模块; |
| 3: 获取模块; | 4: 划分模块; |
| 11: 方差和均值子模块; | 12: 标准化子模块; |
| 21: 主成分分析子模块; | 31: 第一获取子模块; |
| 32: 第二获取子模块; | 41: 第一划分子模块; |
| 42: 第二划分子模块。 | |

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。

本发明根据完善电力系统安全稳定在线监测的需要、提高电网防御大停电事故风险的需求，将电力系统广域量测信息与多元统计中的主成分分析方法相结合，提出一种利用电力系统广域量测信息在线辨识系统同调机群的技术框架，下面结合具体的实施例对本方法进行详细的描述：

实施例 1

一种电力系统广域同调辨识方法，参见图 1，该方法包括以下步骤：

101: 对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化；
102: 对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析，根据主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量；

103: 根据所选定特征向量元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。

其中，步骤 101 具体为：在同一时间断面，同一量测长度的条件下，获取广域量测时间序列的方差和均值；通过方差和所述均值，对广域量测时间序列标准化。

其中，步骤 102 具体为：通过主成分分析，获取标准化后的广域量测时间序列的特征值及特征向量；根据特征值，获取各主成分的贡献率及前 k 个主成分的累计贡献率；当累计贡献率达到阈值后，确定广域量测时间序列的主成分个数为 k ，并保留这 k 个主成分所对应的特征向量。

该步骤 103 具体为：顺序提取出各发电机在各保留特征向量中所对应的元素的正、负号；将正、负号顺序排列组合完全一致的发电机划分为一组同调机群，从而得到多组同调机群，实现基于广域量测信息的电力系统同调机群辨识。

本方法通过步骤 101-步骤 103 实现了基于广域量测信息的电力系统同调机群在线辨识，提高了识别效率，满足了实际应用中的多种需要。

实施例 2

5 下面结合具体的计算公式，对实施例 1 中的方案进行详细描述：

201：从电网广域量测系统中读取发电机转子角的广域量测时间序列，将广域量测时间序列标准化；

假设电力系统中发电机数量为 p ，发电机转子角量测信息可通过广域量测系统获取，则电力系统中发电机的广域量测时间序列 X 为：

$$10 \quad X = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 & \mathbf{x}_2 & \text{L} & \mathbf{x}_i & \text{L} & \mathbf{x}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \text{L} & x_{i1} & \text{L} & x_{p1} \\ x_{12} & x_{22} & \text{L} & x_{i2} & \text{L} & x_{p2} \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ x_{1j} & x_{2j} & \text{L} & x_{ij} & \text{L} & x_{pj} \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ x_{1n} & x_{2n} & \text{L} & x_{in} & \text{L} & x_{pn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中， n 为广域量测序列的长度； $\mathbf{x}_i$ 为第 i 个发电机的转子角量测时间序列； x_{ij} 为第 i 个发电机的第 j 次的转子角量测信息。

15 按在同一时间断面，同一量测长度的条件下，计算式(1)中广域量测时间序列 X 的均值向量 $\bar{X}$ 及方差 $\text{var}(X)$ ：

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \text{L} & \bar{x}_i & \text{L} & \bar{x}_p \end{bmatrix} \\ \bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ki}, k=1, 2, \text{L}, i, \text{L}, p \\ \text{var}(X) = \begin{bmatrix} \text{var}(x_1) & \text{var}(x_2) & \text{L} & \text{var}(x_i) & \text{L} & \text{var}(x_p) \end{bmatrix} \\ \text{var}(x_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_k)^2, k=1, 2, \text{L}, i, \text{L}, p \end{array} \right. \quad (2)$$

20 式中，结合式(2)， $\bar{x}_i$ 为第 i 台发电机的广域量测时间序列的均值； $\text{var}(x_i)$ 为第 i 台发电机的广域量测时间序列的方差； x_{ki} 为第 k 个发电机的第 i 次的转子角量测信息；对式(1)的时间序列 X 进行标准化得：

$$X^* = \begin{bmatrix} \frac{x_{11} - \bar{x}_1}{\text{var}(x_1)} & \frac{x_{21} - \bar{x}_2}{\text{var}(x_2)} & \text{L} & \frac{x_{p1} - \bar{x}_p}{\text{var}(x_p)} \\ \frac{x_{12} - \bar{x}_1}{\text{var}(x_1)} & \frac{x_{22} - \bar{x}_2}{\text{var}(x_2)} & \text{L} & \frac{x_{p2} - \bar{x}_p}{\text{var}(x_p)} \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ \frac{x_{1n} - \bar{x}_1}{\text{var}(x_1)} & \frac{x_{2n} - \bar{x}_2}{\text{var}(x_2)} & \text{L} & \frac{x_{pn} - \bar{x}_p}{\text{var}(x_p)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, X^* 为标准化后的广域量测时间序列。

202: 对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析;

其中, 该步骤 202 具体为: 求解 X^* 的协方差矩阵 Σ 、协方差矩阵 Σ 的特征值 λ_1 、 λ_2 、...、 λ_p , 以及相应的单位正交化特征向量 $A(1)$ 、 $A(2)$ 、...、 $A(p)$ 。具体的求解步骤为本领域技术人员所公知, 本发明实施例对此不做赘述。

203: 根据主成分分析结果, 计算主成分的累计贡献率;

即, 依据协方差矩阵 Σ 的特征值 λ_1 、 λ_2 、...、 λ_p 按式(4)计算前 k 个主成分的累计贡献率 ζ_k

$$\zeta_k = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \quad (4)$$

204: 根据累计贡献率, 确定主成分的个数, 进而确定所保留的特征向量个数;

例如: 设定累计贡献率的阈值为 80%, 若 $\zeta_k \geq 80\%$ 且 $\zeta_{k-1} < 80\%$, 则广域量测时间序列 X 的主成分个数为 k , 可认为前 k 个主成分所能反映的发电机同调信息与广域量测时间序列 X 所能反映的发电机同调信息基本一致, 进而保留前 k 个特征值 λ_1 、 λ_2 、...、 λ_k 对应的单位正交化特征向量 $A(1)$ 、 $A(2)$ 、...、 $A(k)$ 。

其中, 累计贡献率的阈值根据实际应用中的需要进行设定, 本发明实施例对此不做限制。

205: 根据所选定特征向量元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。

即, 提取 p 台发电机在前 k 个单位正交化特征向量 $A(1)$ 、 $A(2)$ 、...、 $A(k)$ 中对应元素的正、负号, 构成下列符号矩阵 **SGN**:

$$\mathbf{SGN} = [\mathbf{SGN}(1), \mathbf{SGN}(2), \text{L}, \mathbf{SGN}(i), \text{L}, \mathbf{SGN}(p)] = \begin{bmatrix} \text{sign}(A(1,1)) & \text{sign}(A(2,1)) & \text{L} & \text{sign}(A(1,j)) & \text{L} & \text{sign}(A(k,1)) \\ \text{sign}(A(2,1)) & \text{sign}(A(2,2)) & \text{L} & \text{sign}(A(1,j)) & \text{L} & \text{sign}(A(k,2)) \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ \text{sign}(A(i,1)) & \text{sign}(A(i,1)) & \text{L} & \text{sign}(A(i,j)) & \text{L} & \text{sign}(A(k,j)) \\ \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ \text{sign}(A(1,p)) & \text{sign}(A(2,p)) & \text{L} & \text{sign}(A(k,j)) & \text{L} & \text{sign}(A(k,p)) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, **SGN**(i) 表示矩阵 **SGN** 的第 i 列, 对应于第 i 台发电机; $\text{sign}(\cdot)$ 为符号运算, $\text{sign}(A(i,j))$

表示取元素 $A(i,j)$ 的正、负号；元素 $A(i,j)$ 表示为第 i 个单位正交化特征向量 $A(i)$ 的第 j 个元素。

将符号矩阵 **SGN** 中各行正、负号完全相同的发电机划分为一组，将其视为一组同调机群，进而根据各行正、负号的不同组合，划分出多组同调机群，实现基于广域量测信息的电力系统同调机群在线辨识。

- 5 本发明实施例通过步骤 201-步骤 205 实现了基于广域量测信息的电力系统同调机群在线辨识，满足了实际应用中的多种需要。

实施例 3

一种电力系统广域同调辨识装置，参见图 2，装置包括：

- 10 标准化模块 1，用于对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化；
主成分分析模块 2，用于对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析；
获取模块 3，用于根据主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量；

划分模块 4，用于根据所选定特征向量中元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。

- 15 其中，参见图 3，标准化模块 1 包括：

方差和均值子模块 11，用于在同一时间断面，同一量测长度的条件下，得到广域量测时间序列的方差和均值；

标准化子模块 12，用于通过所述方差和所述均值，对广域量测时间序列标准化。

其中，参见图 4，主成分分析模块 2 包括：

- 20 主成分分析子模块 21，用于通过主成分分析，获取标准化后的广域量测时间序列的特征值及特征向量。

其中，参见图 5，获取模块 3 包括：

第一获取子模块 31，用于根据特征值，获取各主成分的贡献率及前 k 个主成分的累计贡献率；

- 25 第二获取子模块 32，用于当累计贡献率达到阈值后，确定广域量测时间序列的主成分个数为 k ，并保留这 k 个主成分所对应的特征向量。

其中，参见图 6，划分模块 4 包括：

第一划分子模块 41，用于将所选定特征向量中元素正、负号组合完全相同的发电机划分为一组同调机群；

- 30 第二划分子模块 42，用于获取多组同调机群，实现基于广域量测信息的电力系统同调辨识。

本装置通过上述的标准化模块 1、主成分分析模块 2、获取模块 3 和划分模块 4 实现了基于广域量测信息的电力系统同调辨识，满足了实际应用中的需要。

本发明实施例中的上述模块、子模块可以采用单片机、PC 机等实现，具体实现时，本发明实施例对上述模块、子模块对应的主体器件不做限制。

5

实施例 4

下面结合一个实例来介绍本发明的实施方法和实际效果。本实例在典型 4 机 11 节点测试系统上进行测试，其网络拓扑示意图如图 7 所示。该测试系统包括 11 个节点(1、2、...、11)、4 台发电机组(G1、G2、G3、G4)、2 个负荷节点(L7、L9)。本实例通过将本方法与仿真曲线进行对比，验证本方法的高效性和准确性。

以发电机 G3 为参考机，在母线 8、9 之间的任一支路设置三相永久性故障，故障持续时间 0.1s，0.1s 后故障线路切除，仿真时间为 20s，发电机转子角摇摆曲线如图 8 所示。由图 8 不难看出，测试系统中存在两组同调机群，其中 G1 和 G2 为一组，G4 为一组。采用图 8 所示的发电机转子角信息作为本发明中同调辨识方法的输入信号 X 。其余的操作步骤参见实施例 1 和 2，本发明实施例对此不做赘述。

15

根据以上步骤可计算测试系统的特征值、特征向量及累计贡献率指标，如表 1 所示。

表 1 同调辨识的主成分计算结果

单位正交化特征向量			特征值	累积贡献率/%
G1	G2	G4		
0.7300	0.6823	-0.0393	68.0571	99.175 5
-0.1863	0.2540	-0.9491	0.4964	99.898 9
0.6575	-0.6855	0.436 5	0.06940	100.000 0

从表 1 可看出累计贡献率 $\zeta_i > 80\%$ ，即可认为图 8 中发电机转子角广域量测时间序列 X 的主成分个数为 1，对应的发电机同调信息可由第一个主成分反映，进而保留第一个特征值 λ_1 对应的单位正交化特征向量 $A(1)$ 。

20

由表 1 可知第一个特征值 λ_1 对应的单位正交化特征向量 $A(1)$ 为 $[0.7300, 0.6823, -0.0393]$ ，可见发电机 G1 和 G2 在 $A(1)$ 方向上取值为正，G4 为负，表明 G1 与 G2 同调而与 G4 相反，因此在第一主成分所反映的同调信息为：发电机 G1 与 G2 一组，G4 单独一组，该结论与图 8 完全一致。

25

类似的，可进一步深入研究第二主成分反映的同调信息，表 1 中第二个特征值 λ_2 对应的

单位正交化特征向量 $A(2)$ 为 $[-0.1863, 0.2540, -0.9491]$, 可见发电机 G1 和 G4 在 $A(2)$ 上取值为负, G2 为正, 表明 G1 与 G4 同调而与 G2 相反, 因此第二主成分所反映的同调信息为: 发电机 G1 与 G4 一组, G2 单独一组, 此主成分所反映的是测试系统的局部同调模式。

上述基于主成分分析的同调分群方法可解释为: 母线 8 和 9 之间的任一支路三相永久性故障后, 主要激发区域间振荡模式, 此时 G1 与 G2 同调, G4 同调, 此为测试系统主同调模式; 此外, 该故障还诱发测试系统的局部振荡, 即 G1、G2 间的相对运动, 本发明同样可对其进行准确反映如表 1 中的第二特征值所对应的特征向量。但由于 G1 与 G2 间的振荡不是测试系统的主振荡模式, 因而在图 8 中, G1 与 G2 的转子摇摆曲线呈相同趋势运动。

因此可以得出结论, 本方法相对与传统的同调辨识方法具有更高的精度和计算效率。

10

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, 上述本发明实施例序号仅仅为了描述, 不代表实施例的优劣。

以上所述仅为本发明的较佳实施例, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内, 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。

15

权利要求

1、一种电力系统广域同调辨识方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化；

对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析，根据主成分的累计贡献率，确定广域

5 量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量；

根据所选定特征向量中元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。

2、根据权利要求 1 所述的一种电力系统广域同调辨识方法，其特征在于，所述对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化的步骤具体为：

10 在同一时间断面，同一量测长度的条件下，获取广域量测时间序列的方差和均值；

通过所述方差和所述均值，对广域量测时间序列标准化。

3、根据权利要求 1 所述的一种电力系统广域同调辨识方法，其特征在于，所述对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析的步骤具体为：

15 通过主成分分析，获取标准化后的广域量测时间序列的特征值及特征向量。

4、根据权利要求 3 所述的一种电力系统广域同调辨识方法，其特征在于，所述根据主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应的特征向量的步骤具体为：

根据所述特征值，获取各主成分的贡献率及前 k 个主成分的累计贡献率；

20 当累计贡献率达到阈值后，确定广域量测时间序列的主成分个数为 k ，并保留这 k 个主成分所对应的特征向量。

5、根据权利要求 1 所述的一种电力系统广域同调辨识方法，其特征在于，所述根据所选定特征向量元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群的步骤具体为：

25 将所选定特征向量中元素正、负号组合完全相同的发电机划分为一组同调机群，进而获取多组同调机群，实现基于广域量测信息的电力系统同调辨识。

6、一种电力系统广域同调辨识装置，其特征在于，所述装置包括：

标准化模块，用于对电力系统中发电机转子角的广域量测时间序列进行标准化；

30 主成分分析模块，用于对标准化后的广域量测时间序列进行主成分分析；

获取模块，用于根据主成分的累计贡献率，确定广域量测时间序列的主成分个数及对应

的特征向量；

划分模块，用于根据所选定特征向量中元素的正、负号实现电力系统机组的同调分群。

- 7、根据权利要求 6 所述的一种电力系统广域同调辨识装置，其特征在于，所述标准化模块包括：

方差和均值子模块，用于在同一时间断面，同一量测长度的条件下，得到广域量测时间序列的方差和均值；

标准化子模块，用于通过所述方差和所述均值，对广域量测时间序列标准化。

- 8、根据权利要求 6 所述的一种电力系统广域同调辨识装置，其特征在于，所述主成分分析模块包括：

主成分分析子模块，用于通过主成分分析，获取标准化后的广域量测时间序列的特征值及特征向量。

- 9、根据权利要求 8 所述的一种电力系统广域同调辨识装置，其特征在于，所述获取模块包括：

第一获取子模块，用于根据所述特征值，获取各主成分的贡献率及前 k 个主成分的累计贡献率；

- 第二获取子模块，用于当累计贡献率达到阈值后，确定广域量测时间序列的主成分个数为 k ，并保留这 k 个主成分所对应的特征向量。

- 10、根据权利要求 6 所述的一种电力系统广域同调辨识装置，其特征在于，所述划分模块包括：

- 第一划分子模块，用于将所选定特征向量中元素正、负号组合完全相同的发电机划分为一组同调机群；

第二划分子模块，用于获取多组同调机群，实现基于广域量测信息的电力系统同调辨识。

附图

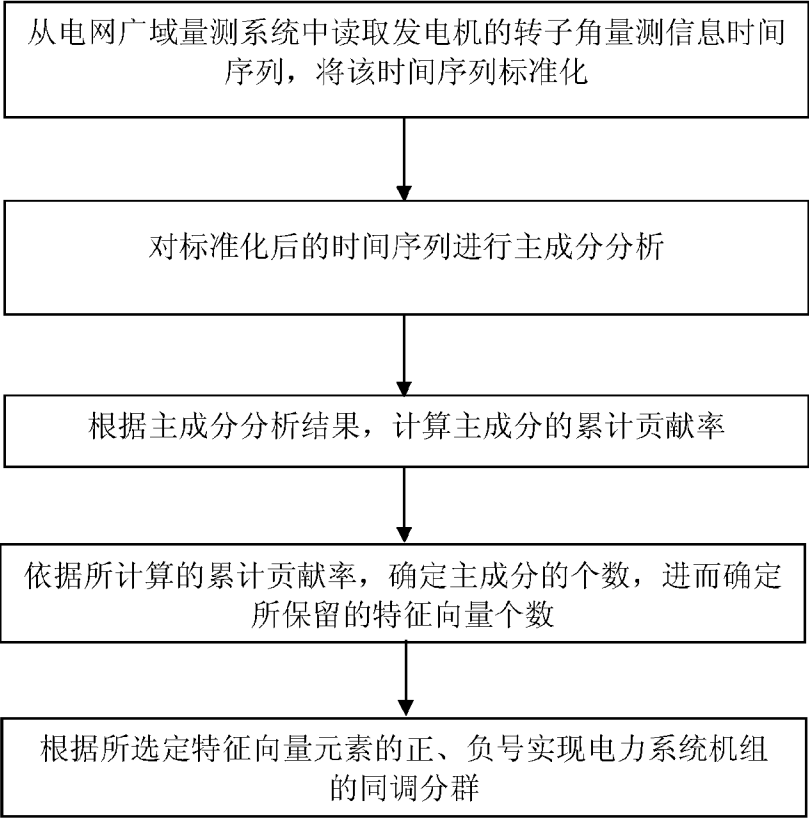


图 1



图 2

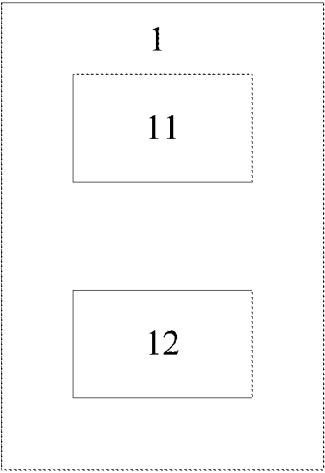


图 3

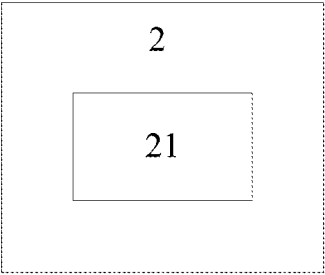


图 4

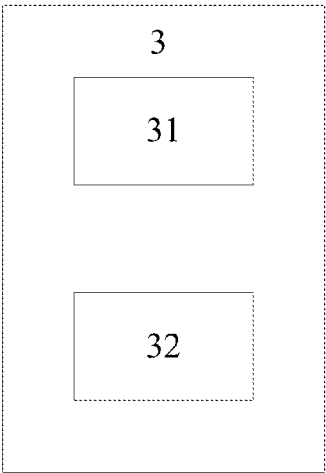


图 5

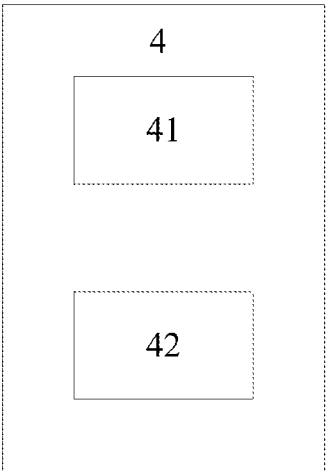


图 6

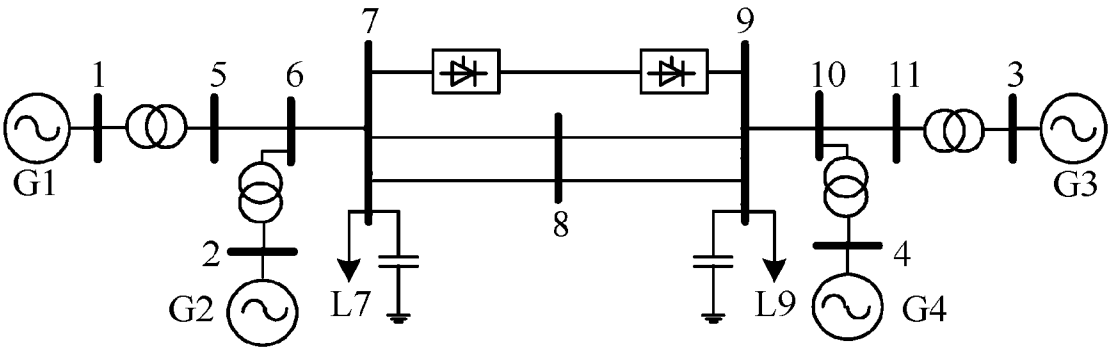


图 7

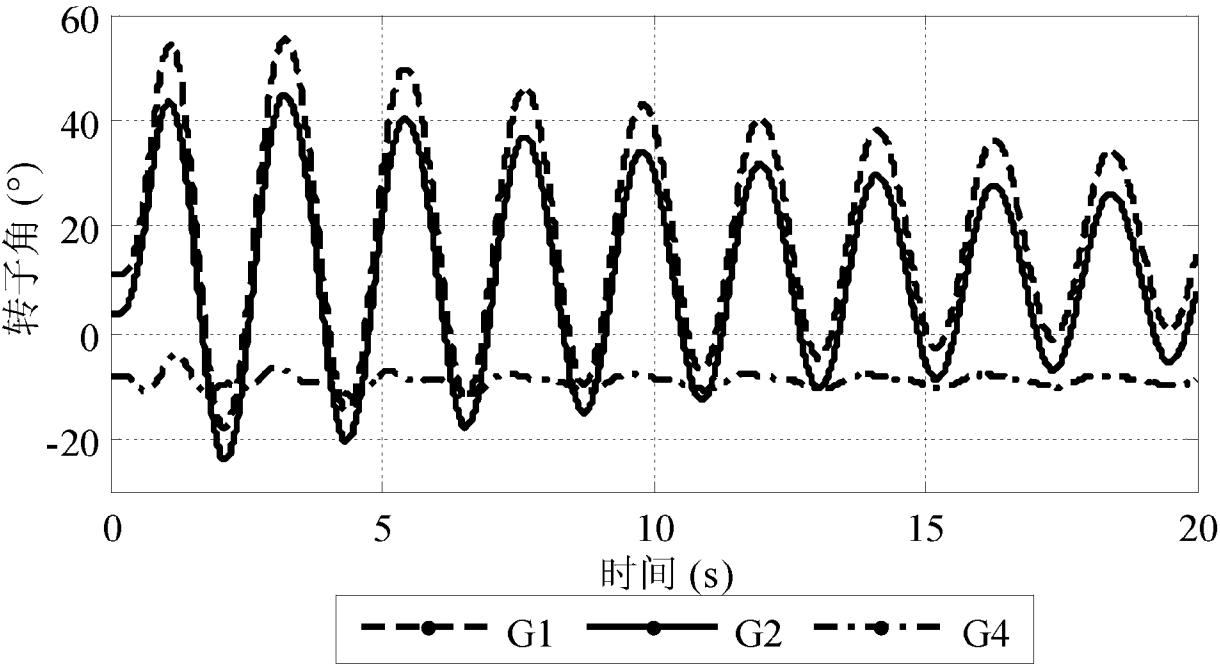


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/088385

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)

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: TIANJIN UNIVERSITY, JIA Hongjie, JIANG Tao, wide w area, adjustable, identification, rotor, angle, vector, main, principal, component, positive, negative, generator, eigenvector, sign, positive, defeat

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103425883 A (CHINA SOUTHERN POWER GRID CO., LTD.) 04 December 2013 (04.12.2013) description, paragraphs [0052]-[0092], and figure 1	1-10
A	CN 103178518 A (NORTHEAST DIANLI UNIVERSITY) 26 June 2013 (26.06.2013) the whole document	1-10
A	CN 104319762 A (HUABEI DIANLI UNIVERSITY BAODING) 28 January 2015 (28.01.2015) the whole document	1-10
A	US 2009099798 A1 (GONG, YANFENG et al.) 16 April 2009 (16.04.2009) the whole document	1-10
A	AN, Jun et al. "Recognition of Power System Coherent Generators Based on Principal Component Analysis" Power System Technology, vol. 33, no. 3, 28 February 2009 (28.02.2009), ISSN: 1000-3673, the whole document	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 06 April 2016	Date of mailing of the international search report 28 April 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 LI, Wei Telephone No. (86-10) 61648117

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2015/088385

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FENG, Kangheng et al. "A Wide Area Information Based Online Recognition of Coherent Generators in Power System" Power System Technology, vol. 38, no. 8, 31 August 2014 (31.08.2014) ISSN: 1000-3673, the whole document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/088385

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103425883 A	04 December 2013	None	
CN 103178518 A	26 June 2013	CN 103178518 B	13 August 2014
CN 104319762 A	28 January 2015	None	
US 2009099798 A1	16 April 2009	WO 2009048964 A1	16 April 2009
		US 7987059 B2	26 July 2011

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/088385

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))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 天津大学, 贾宏杰, 姜涛, 广域, 同调, 辨识, 识别, 转子, 角, 位置, 主成分, 发电机, 特征向量, 符号, 正, 负, wide w area, adjustable, identification, rotor, angle, vector, main, principal, component, positive, negative

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 103425883 A (中国南方电网有限责任公司) 2013年 12月 4日 (2013 - 12 - 04) 说明书第52-92段, 附图1	1-10
A	CN 103178518 A (东北电力大学) 2013年 6月 26日 (2013 - 06 - 26) 全文	1-10
A	CN 104319762 A (华北电力大学保定) 2015年 1月 28日 (2015 - 01 - 28) 全文	1-10
A	US 2009099798 A1 (GONG, YANFENG 等) 2009年 4月 16日 (2009 - 04 - 16) 全文	1-10
A	安军 等. "基于主成分分析法的电力系统同调机群识别" 电网技术, 第33卷, 第3期, 2009年 2月 28日 (2009 - 02 - 28), ISSN: 1000-3673, 全文	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 6日

国际检索报告邮寄日期

2016年 4月 28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

李炜

电话号码 (86-10)61648117

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	冯康恒 等. “基于广域信息的同调机群在线识别方法” 电网技术, 第38卷, 第8期, 2014年 8月 31日 (2014 - 08 - 31), ISSN: 1000-3673, 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2015/088385

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	103425883	A	2013年 12月 4日	无			
CN	103178518	A	2013年 6月 26日	CN	103178518	B	2014年 8月 13日
CN	104319762	A	2015年 1月 28日	无			
US	2009099798	A1	2009年 4月 16日	WO	2009048964	A1	2009年 4月 16日
				US	7987059	B2	2011年 7月 26日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)