

(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
2020 年 8 月 6 日 (06.08.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/154849 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/00 (2006.01)

王贵斌(WANG, Guibin); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/073442

(22) 国际申请日: 2019 年 1 月 28 日 (28.01.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 深圳大学(SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(72) 发明人: 江辉(JIANG, Hui); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。
彭建春(PENG, Jianchun); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(74) 代理人: 深圳中一联合知识产权代理有限公司 (SHENZHEN ZHONGYI UNION INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO.,LTD.); 中国广东省深圳市福田区园岭街道深南中路1014号报春大厦9楼(5号信箱), Guangdong 518028 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: SYMMETRIC METHOD FOR OBTAINING BRANCH SQUARE CURRENT COMPONENT OF SOURCE LOAD IN ALTERNATING CURRENT POWER NETWORK

(54) 发明名称: 获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法

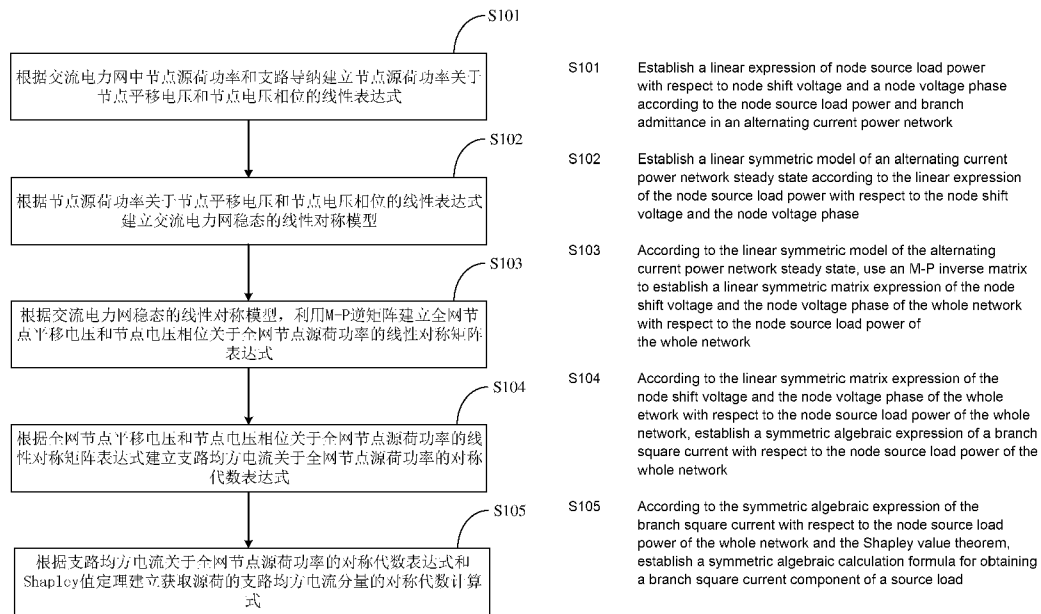


图 1

(57) Abstract: A symmetric method for obtaining a branch square current component of a source load in an alternating current power network. First, a linear expression of node source load power with respect to node shift voltage and a node voltage phase is established according to the node source load power and branch admittance in an alternating current power network. Then, according to the linear expression, a linear symmetric model of an alternating current power network steady state is established. Next, an M-P inverse matrix

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))。

is used to establish a linear symmetric matrix expression of the node shift voltage and the node voltage phase of the whole network with respect to the node source load power of the whole network. Then, a symmetric algebraic expression of a branch square current with respect to the node source load power of the whole network is established according to the linear symmetric matrix expression. Finally, the Shapley value theorem is used to establish a symmetric algebraic calculation formula for obtaining the branch square current component of the source load, thereby achieving the acquisition of the branch square current component of the source load in the alternating current power network. The branch square current component of the source load provides a new, efficient and accurate tool for the safe correction of the alternating current power network and ensuring the safe operation thereof.

(57) 摘要: 一种获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法, 首先根据交流电力网中节点源荷功率和支路导纳建立节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式; 再据此建立交流电力网稳态的线性对称模型; 接着利用M-P逆矩阵建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式; 然后根据该线性对称矩阵表达式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式; 最后利用Shapley值定理建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式, 从而实现交流电力网中源荷的支路均方电流分量的获取。这种源荷的支路均方电流分量为实现交流电力网安全校正、保障其安全运行提供了一种新的高效准确工具。

获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法

技术领域

本发明涉及电力工程领域，尤其涉及一种获取交流电力网中（电）源（负）荷的支路均方电流分量的对称方法和计算机可读存储介质。

背景技术

在交流电网中，支路均方电流（有效值的平方）与源荷功率的深层次简洁精准关系，是高效实现交流电力网安全校正、保障其安全运行的关键。源荷的支路均方电流分量是一种深层次的实现交流电力网安全校正的新工具、亟待研发。

现有的交流电力网安全校正方法，要么先构建安全校正优化模型，再通过优化得到校正方案实现；要么先获取支路电流对源荷功率的灵敏度，再利用灵敏度表达的近似线性关系实现。前者因为是优化模型而不仅无法保障可靠得到安全校正方案、且优化求解的计算量总是很大，后者因为支路电流对源荷功率的灵敏度的局部线性特征而使安全校正不准确，继而导致反复校正。

因此，现有的交流电力网安全校正方法要么费时且不可靠、要么不准确和低效能。

发明内容

本发明实施例提供一种获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法和计算机可读存储介质，旨在解决现有的交流电力网安全校正方法不可靠且效率低的问题。

本发明实施例第一方面提供了一种获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法，包括：

根据交流电力网中节点源荷功率和支路导纳建立节点源荷功率关于节点平

移电压和节点电压相位的线性表达式；

根据所述节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式建立交流电力网稳态的线性对称模型；

根据所述交流电力网稳态的线性对称模型，利用 M-P 逆矩阵建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式；

根据所述全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式；

根据所述支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式和 Shapley 值定理建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式。

本发明实施例第二方面提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法的步骤。

上述获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法在实施过程中根据支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式和 Shapley 值定理建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式，实现交流电力网中源荷的支路均方电流分量的获取。一方面，由于源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式适用交流电力网中全部支路的均方电流和全部节点的源荷功率、全部节点的源荷功率都被等同对待，源荷的支路均方电流分量因此对所有源荷都是对称的；另一方面，由于源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式是源荷功率的全变量（而非增量）表达式，因此对源荷功率的大范围变化都准确，且减少了计算量。这种支路均方电流分量与源荷功率之间的对称精准关系解决了现有的交流电力网安全校正方法费时且不可靠、不准确和低效能的问题。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中附图是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根

据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本发明实施例提供的一种获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法的实现流程图；

图 2 是本发明实施例提供的交流电力网通用模型的结构示意图。

具体实施方式

以下描述中，为了说明而不是为了限定，提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节，以便透彻理解本发明实施例。然而，本领域的技术人员应当清楚，在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况中，省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明，以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

为了说明本发明所述的技术方案，下面通过具体实施例来进行说明。

请参见图 1 和图 2，本发明实施例提供的一种获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法，包括：

步骤 S101, 根据已知的交流电力网中节点源荷功率和支路导纳建立节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式；

步骤 S102, 根据所述节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式建立交流电力网稳态的线性对称模型；

步骤 S103, 根据所述交流电力网稳态的线性对称模型，利用 M-P 逆矩阵建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式；

步骤 S104, 根据所述全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式；

步骤 S105, 根据所述支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式和 Shapley 值定理建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式。

对交流电力网中全部支路均方电流和全部节点源荷功率都按照上述对称代

数计算式计算，即可得到全部节点源荷的支路均方电流分量，从而实现交流电力网中源荷的支路均方电流分量的获取。这种支路均方电流分量与源荷功率之间的对称精准关系解决了现有的交流电力网安全校正对称方法费时且不可靠、不准确和低效能的问题。

步骤 S101 中，所述根据所述交流电力网中节点源荷功率和支路导纳建立节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式的方法具体为：

按照如下关系式建立节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式：

$$P_i = \sum_{k=1, k \neq i}^n (-\theta_i b_{ik} + v_i g_{ik} + \theta_k b_{ik} - v_k g_{ik})$$

$$Q_i = \sum_{k=1, k \neq i}^n (-\theta_i g_{ik} - v_i b_{ik} + \theta_k g_{ik} + v_k b_{ik})$$

其中， i 和 k 均为交流电力网中节点的编号，且都属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$ ； n 为所述交流电力网中节点的总个数； P_i 和 Q_i 分别为接于节点 i 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 i 的源荷功率；所述 P_i 等于接于节点 i 的电源有功功率减去负荷有功功率，所述 Q_i 等于接于节点 i 的电源无功功率减去负荷无功功率； g_{ik} 和 b_{ik} 分别是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的电导和电纳，且统称为支路 ik 的导纳； θ_i 和 θ_k 分别为节点 i 和节点 k 的电压相位； v_i 和 v_k 分别为节点 i 和节点 k 的平移电压，且都是平移 -1.0 后的标么值电压。

步骤 S102 中，所述根据所述节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式建立交流电力网稳态的线性对称模型的方法具体为：

按照如下关系式建立交流电力网稳态的线性对称模型：

$$[P_1 Q_1 \cdots P_i Q_i \cdots P_n Q_n]^T = (G_{*,*})[\theta_1 v_1 \cdots \theta_i v_i \cdots \theta_n v_n]^T$$

且 $(G_{*,*})$ 先置零、再扫描支路按下式累加构建： $G_{2i-1, 2i-1} = G_{2i-1, 2i-1} - b_{ij}$ ，
 $G_{2i-1, 2i} = G_{2i-1, 2i} + g_{ij}$ ， $G_{2i-1, 2j-1} = G_{2i-1, 2j-1} + b_{ij}$ ， $G_{2i-1, 2j} = G_{2i-1, 2j} - g_{ij}$ ，
 $G_{2i, 2i-1} = G_{2i, 2i-1} - g_{ij}$ ， $G_{2i, 2i} = G_{2i, 2i} - b_{ij}$ ， $G_{2i, 2j-1} = G_{2i, 2j-1} + g_{ij}$ ，

$$G_{2i,2j} = G_{2i,2j} + b_{ij}。$$

其中, i 和 j 均为交流电力网中节点的编号, 且都属于连续自然数的集合 $\{1,2,\dots,n\}$; n 为所述交流电力网中节点的总个数; P_1 和 Q_1 分别为接于节点 1 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 1 的源荷功率; 所述 P_1 等于接于节点 1 的电源有功功率减去负荷有功功率, 所述 Q_1 等于接于节点 1 的电源无功功率减去负荷无功功率; P_i 和 Q_i 分别为接于节点 i 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 i 的源荷功率; 所述 P_i 等于接于节点 i 的电源有功功率减去负荷有功功率, 所述 Q_i 等于接于节点 i 的电源无功功率减去负荷无功功率; P_n 和 Q_n 分别为接于节点 n 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 n 的源荷功率; 所述 P_n 等于接于节点 n 的电源有功功率减去负荷有功功率, 所述 Q_n 等于接于节点 n 的电源无功功率减去负荷无功功率; g_{ij} 和 b_{ij} 分别是连接在节点 i 和节点 j 之间的支路 ij 的电导和电纳, 且统称为支路 ij 的导纳; θ_1 、 θ_i 和 θ_n 分别为节点 1、节点 i 和节点 n 的电压相位; v_1 、 v_i 和 v_n 分别为节点 1、节点 i 和节点 n 的平移电压, 且都是平移 -1.0 后的标幺值电压; $(G_{*,*})$ 是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵; $G_{2i-1,2i-1}$ 、 $G_{2i-1,2i}$ 、 $G_{2i-1,2j-1}$ 、 $G_{2i-1,2j}$ 、 $G_{2i,2i-1}$ 、 $G_{2i,2i}$ 、 $G_{2i,2j-1}$ 、 $G_{2i,2j}$ 都分别是所述全节点导纳矩阵 $(G_{*,*})$ 中第 $2i-1$ 行第 $2i-1$ 列、第 $2i-1$ 行第 $2i$ 列、第 $2i-1$ 行第 $2j-1$ 列、第 $2i-1$ 行第 $2j$ 列、第 $2i$ 行第 $2i-1$ 列、第 $2i$ 行第 $2i$ 列、第 $2i$ 行第 $2j-1$ 列、第 $2i$ 行第 $2j$ 列的元素。

上述电力网稳态模型是线性的, 且全部节点源荷功率都被列入该模型中、都被等同对待, 这正是称之为线性对称模型的缘故。

步骤 S103 中, 所述根据所述交流电力网稳态的线性对称模型, 利用 M-P 逆矩阵建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式的方法具体为:

按照如下关系式建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式:

$$[\theta_1 v_1 \cdots \theta_i v_i \cdots \theta_n v_n]^T = (a_{*,*})[P_1 Q_1 \cdots P_i Q_i \cdots P_n Q_n]^T$$

$$(a_{*,*}) = (G_{*,*})^+$$

其中, i 为交流电力网中节点的编号, 且属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$; n 为所述交流电力网中节点的总个数; θ_1 、 θ_i 和 θ_n 分别为节点 1、节点 i 和节点 n 的电压相位; v_1 、 v_i 和 v_n 分别为节点 1、节点 i 和节点 n 的平移电压, 且都是平移 -1.0 后的标么值电压; P_1 和 Q_1 分别为接于节点 1 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 1 的源荷功率; 所述 P_1 等于接于节点 1 的电源有功功率减去负荷有功功率, 所述 Q_1 等于接于节点 1 的电源无功功率减去负荷无功功率; P_i 和 Q_i 分别为接于节点 i 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 i 的源荷功率; 所述 P_i 等于接于节点 i 的电源有功功率减去负荷有功功率, 所述 Q_i 等于接于节点 i 的电源无功功率减去负荷无功功率; P_n 和 Q_n 分别为接于节点 n 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 n 的源荷功率; 所述 P_n 等于接于节点 n 的电源有功功率减去负荷有功功率, 所述 Q_n 等于接于节点 n 的电源无功功率减去负荷无功功率; $(G_{*,*})$ 是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵; 上标符号 $+$ 是求 M-P 逆矩阵的运算符; $(a_{*,*})$ 是所述全节点导纳矩阵 $(G_{*,*})$ 的 M-P 逆矩阵。

步骤 S104 中, 所述根据所述全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式的方法具体为:

基于支路均方电流表达式常识: $I_{ik}^2 = (g_{ik}^2 + b_{ik}^2)[(\theta_i - \theta_k)^2 + (v_i - v_k)^2]$, 按照如下关系式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式:

$$I_{ik}^2 = (g_{ik}^2 + b_{ik}^2) \left\{ \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i-1,2h-1} - a_{2k-1,2h-1})P_h + (a_{2i-1,2h} - a_{2k-1,2h})Q_h) \right]^2 + \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i,2h-1} - a_{2k,2h-1})P_h + (a_{2i,2h} - a_{2k,2h})Q_h) \right]^2 \right\}$$

其中, i 、 k 和 h 均为交流电力网中节点的编号, 且都属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$; n 为所述交流电力网中节点的总个数; g_{ik} 和 b_{ik} 分别是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的电导和电纳, 且统称为支路 ik 的导纳; I_{ik}^2 是连接在节点 i 和

节点 k 之间的支路 ik 的均方电流； $a_{2i-1,2h-1}$ 、 $a_{2k-1,2h-1}$ 、 $a_{2i-1,2h}$ 、 $a_{2k-1,2h}$ 、 $a_{2i,2h-1}$ 、 $a_{2k,2h-1}$ 、 $a_{2i,2h}$ 、 $a_{2k,2h}$ 都分别是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵的 M-P 逆矩阵中第 $2i-1$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2k-1$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2i-1$ 行第 $2h$ 列、第 $2k-1$ 行第 $2h$ 列、第 $2i$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2k$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2i$ 行第 $2h$ 列、第 $2k$ 行第 $2h$ 列的元素； P_h 和 Q_h 分别为接于节点 h 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 h 的源荷功率；所述 P_h 等于接于节点 h 的电源有功功率减去负荷有功功率，所述 Q_h 等于接于节点 h 的电源无功功率减去负荷无功功率。

步骤 S105 中，所述根据所述支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式和 Shapley 值定理建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式的方法具体为：

按照如下关系式建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式：

$$I_{ik,j}^2 = (g_{ik}^2 + b_{ik}^2) \left\{ \begin{aligned} & \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i-1,2h-1} - a_{2k-1,2h-1})P_h + (a_{2i-1,2h} - a_{2k-1,2h})Q_h) \right] \\ & \times ((a_{2i-1,2j-1} - a_{2k-1,2j-1})P_j + (a_{2i-1,2j} - a_{2k-1,2j})Q_j) \\ & + \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i,2h-1} - a_{2k,2h-1})P_h + (a_{2i,2h} - a_{2k,2h})Q_h) \right] \\ & \times ((a_{2i,2j-1} - a_{2k,2j-1})P_j + (a_{2i,2j} - a_{2k,2j})Q_j) \end{aligned} \right\}$$

其中， i 、 j 、 k 和 h 均为交流电力网中节点的编号，且都属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$ ； n 为所述交流电力网中节点的总个数； $I_{ik,j}^2$ 是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的均方电流中归属接于节点 j 的源荷的分量，简称源荷的支路均方电流分量； g_{ik} 和 b_{ik} 分别是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的电导和电纳，且统称为支路 ik 的导纳； $a_{2i-1,2h-1}$ 、 $a_{2k-1,2h-1}$ 、 $a_{2i-1,2h}$ 、 $a_{2k-1,2h}$ 、 $a_{2i,2h-1}$ 、 $a_{2k,2h-1}$ 、 $a_{2i,2h}$ 、 $a_{2k,2h}$ 、 $a_{2i-1,2j-1}$ 、 $a_{2k-1,2j-1}$ 、 $a_{2i-1,2j}$ 、 $a_{2k-1,2j}$ 、 $a_{2i,2j-1}$ 、 $a_{2k,2j-1}$ 、 $a_{2i,2j}$ 、 $a_{2k,2j}$ 都分别是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵的 M-P 逆矩阵中第 $2i-1$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2k-1$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2i-1$ 行第 $2h$ 列、第 $2k-1$ 行第 $2h$ 列、第 $2i$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2k$ 行第 $2h-1$ 列、第 $2i$ 行第 $2h$ 列、第 $2k$ 行第 $2h$ 列、第 $2i-1$ 行第 $2j-1$ 列、第 $2k-1$ 行第 $2j-1$ 列、第 $2i-1$ 行第 $2j$ 列、第 $2k-1$ 行第 $2j$ 列、第 $2i$ 行第 $2j-1$ 列、

第 $2k$ 行第 $2j-1$ 列、第 $2i$ 行第 $2j$ 列、第 $2k$ 行第 $2j$ 列的元素； P_h 和 Q_h 分别为接于节点 h 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 h 的源荷功率；所述 P_h 等于接于节点 h 的电源有功功率减去负荷有功功率，所述 Q_h 等于接于节点 h 的电源无功功率减去负荷无功功率； P_j 和 Q_j 分别为接于节点 j 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 j 的源荷功率；所述 P_j 等于接于节点 j 的电源有功功率减去负荷有功功率，所述 Q_j 等于接于节点 j 的电源无功功率减去负荷无功功率。

上述源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式适用交流电力网中全部支路的均方电流和全部节点的源荷功率，全部节点的源荷功率都被等同对待，这正是称本发明为获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法的缘故。此外，该对称代数计算式是源荷功率的全变量（而非增量）表达式，它因此对源荷功率的大范围变化都准确。这种支路均方电流分量与源荷功率之间的对称精准关系解决了现有的交流电力网安全校正方法费时且不可靠、不准确和低效能的问题。

本发明实施例提供的一种计算机可读存储介质，是存储有计算机程序的介质。所述计算机程序可以为源代码程序、对象代码程序、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机程序被处理器执行时实现如上实施例所述获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法的步骤。所述计算机可读存储介质可以包括能够携带所述计算机程序的任何实体或装置，例如 U 盘、移动硬盘、光盘、计算机存储器、随机存取存储器等。

以上所述实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法，其特征在于，包括：

根据交流电力网中节点源荷功率和支路导纳建立节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式；

根据所述节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式建立交流电力网稳态的线性对称模型；

根据所述交流电力网稳态的线性对称模型，利用 M-P 逆矩阵建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式；

根据所述全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式；

根据所述支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式和 Shapley 值定理建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式。

2. 根据权利要求 1 所述的获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法，其特征在于，所述根据所述交流电力网中节点源荷功率和支路导纳建立节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式的方法具体为：

按照如下关系式建立节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式：

$$P_i = \sum_{k=1, k \neq i}^n (-\theta_i b_{ik} + v_i g_{ik} + \theta_k b_{ik} - v_k g_{ik})$$

$$Q_i = \sum_{k=1, k \neq i}^n (-\theta_i g_{ik} - v_i b_{ik} + \theta_k g_{ik} + v_k b_{ik})$$

其中， i 和 k 均为交流电力网中节点的编号，且都属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$ ； n 为所述交流电力网中节点的总个数； P_i 和 Q_i 分别为接于节点 i 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 i 的源荷功率； g_{ik} 和 b_{ik} 分别是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的电导和电纳，且统称为支路 ik 的导纳； θ_i 和 θ_k 分别为节点 i 和节点 k 的电压相位； v_i 和 v_k 分别为节点 i 和节点 k 的平移电压，且都是

平移-1.0后的标么值电压。

3. 根据权利要求1所述的获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法，其特征在于，所述根据所述节点源荷功率关于节点平移电压和节点电压相位的线性表达式建立交流电力网稳态的线性对称模型的方法具体为：

按照如下关系式建立交流电力网稳态的线性对称模型：

$$[P_1 Q_1 \cdots P_i Q_i \cdots P_n Q_n]^T = (G_{*,*})[\theta_1 v_1 \cdots \theta_i v_i \cdots \theta_n v_n]^T$$

且 $(G_{*,*})$ 先置零、再扫描支路按下式累加构建： $G_{2i-1,2i-1} = G_{2i-1,2i-1} - b_{ij}$ ， $G_{2i-1,2i} = G_{2i-1,2i} + g_{ij}$ ， $G_{2i-1,2j-1} = G_{2i-1,2j-1} + b_{ij}$ ， $G_{2i-1,2j} = G_{2i-1,2j} - g_{ij}$ ， $G_{2i,2i-1} = G_{2i,2i-1} - g_{ij}$ ， $G_{2i,2i} = G_{2i,2i} - b_{ij}$ ， $G_{2i,2j-1} = G_{2i,2j-1} + g_{ij}$ ， $G_{2i,2j} = G_{2i,2j} + b_{ij}$ ；

其中， i 和 j 均为交流电力网中节点的编号，且都属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$ ； n 为所述交流电力网中节点的总个数； P_1 和 Q_1 分别为接于节点1的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点1的源荷功率； P_i 和 Q_i 分别为接于节点 i 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 i 的源荷功率； P_n 和 Q_n 分别为接于节点 n 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 n 的源荷功率； g_{ij} 和 b_{ij} 分别是连接在节点 i 和节点 j 之间的支路 ij 的电导和电纳，且统称为支路 ij 的导纳； θ_1 、 θ_i 和 θ_n 分别为节点1、节点 i 和节点 n 的电压相位； v_1 、 v_i 和 v_n 分别为节点1、节点 i 和节点 n 的平移电压，且都是平移-1.0后的标么值电压； $(G_{*,*})$ 是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵； $G_{2i-1,2i-1}$ 、 $G_{2i-1,2i}$ 、 $G_{2i-1,2j-1}$ 、 $G_{2i-1,2j}$ 、 $G_{2i,2i-1}$ 、 $G_{2i,2i}$ 、 $G_{2i,2j-1}$ 、 $G_{2i,2j}$ 都是所述全节点导纳矩阵 $(G_{*,*})$ 中的元素。

4. 根据权利要求1所述的获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法，其特征在于，所述根据所述交流电力网稳态的线性对称模型，利用M-P逆矩阵建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式的方法具体为：

按照如下关系式建立全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式：

$$[\theta_1 v_1 \cdots \theta_i v_i \cdots \theta_n v_n]^T = (a_{*,*}) [P_1 Q_1 \cdots P_i Q_i \cdots P_n Q_n]^T$$

$$(a_{*,*}) = (G_{*,*})^+$$

其中, i 为交流电力网中节点的编号, 且属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$; n 为所述交流电力网中节点的总个数; θ_1 、 θ_i 和 θ_n 分别为节点 1、节点 i 和节点 n 的电压相位; v_1 、 v_i 和 v_n 分别为节点 1、节点 i 和节点 n 的平移电压, 且都是平移 -1.0 后的标么值电压; P_1 和 Q_1 分别为接于节点 1 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 1 的源荷功率; P_i 和 Q_i 分别为接于节点 i 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 i 的源荷功率; P_n 和 Q_n 分别为接于节点 n 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 n 的源荷功率; $(G_{*,*})$ 是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵; 上标符号 $+$ 是求 M-P 逆矩阵的运算符; $(a_{*,*})$ 是所述全节点导纳矩阵 $(G_{*,*})$ 的 M-P 逆矩阵。

5. 根据权利要求 1 所述的获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法, 其特征在于, 所述根据所述全网节点平移电压和节点电压相位关于全网节点源荷功率的线性对称矩阵表达式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式的方法具体为:

基于支路均方电流表达式常识: $I_{ik}^2 = (g_{ik}^2 + b_{ik}^2)[(\theta_i - \theta_k)^2 + (v_i - v_k)^2]$, 按照如下关系式建立支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式:

$$I_{ik}^2 = (g_{ik}^2 + b_{ik}^2) \left\{ \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i-1,2h-1} - a_{2k-1,2h-1})P_h + (a_{2i-1,2h} - a_{2k-1,2h})Q_h) \right]^2 + \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i,2h-1} - a_{2k,2h-1})P_h + (a_{2i,2h} - a_{2k,2h})Q_h) \right]^2 \right\}$$

其中, i 、 k 和 h 均为交流电力网中节点的编号, 且都属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$; n 为所述交流电力网中节点的总个数; g_{ik} 和 b_{ik} 分别是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的电导和电纳, 且统称为支路 ik 的导纳; I_{ik}^2 是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的均方电流; $a_{2i-1,2h-1}$ 、 $a_{2k-1,2h-1}$ 、 $a_{2i-1,2h}$ 、 $a_{2k-1,2h}$ 、 $a_{2i,2h-1}$ 、 $a_{2k,2h-1}$ 、 $a_{2i,2h}$ 、 $a_{2k,2h}$ 都是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵的 M-P 逆矩阵中的元素; P_h 和 Q_h 分别为接于节点 h 的源荷有功功率和源荷无功功率, 且统称为节点 h 的源

荷功率。

6. 根据权利要求 1 所述的获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法，其特征在于，所述根据所述支路均方电流关于全网节点源荷功率的对称代数表达式和 Shapley 值定理建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式的方法具体为：

按照如下关系式建立获取源荷的支路均方电流分量的对称代数计算式：

$$I_{ik,j}^2 = (g_{ik}^2 + b_{ik}^2) \left\{ \begin{aligned} & \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i-1,2h-1} - a_{2k-1,2h-1})P_h + (a_{2i-1,2h} - a_{2k-1,2h})Q_h) \right] \\ & \times ((a_{2i-1,2j-1} - a_{2k-1,2j-1})P_j + (a_{2i-1,2j} - a_{2k-1,2j})Q_j) \\ & + \left[\sum_{h=1}^n ((a_{2i,2h-1} - a_{2k,2h-1})P_h + (a_{2i,2h} - a_{2k,2h})Q_h) \right] \\ & \times ((a_{2i,2j-1} - a_{2k,2j-1})P_j + (a_{2i,2j} - a_{2k,2j})Q_j) \end{aligned} \right\}$$

其中， i 、 j 、 k 和 h 均为交流电力网中节点的编号，且都属于连续自然数的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$ ； n 为所述交流电力网中节点的总个数； $I_{ik,j}^2$ 是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的均方电流中归属接于节点 j 的源荷的分量，简称源荷的支路均方电流分量； g_{ik} 和 b_{ik} 分别是连接在节点 i 和节点 k 之间的支路 ik 的电导和电纳，且统称为支路 ik 的导纳； $a_{2i-1,2h-1}$ 、 $a_{2k-1,2h-1}$ 、 $a_{2i-1,2h}$ 、 $a_{2k-1,2h}$ 、 $a_{2i,2h-1}$ 、 $a_{2k,2h-1}$ 、 $a_{2i,2h}$ 、 $a_{2k,2h}$ 、 $a_{2i-1,2j-1}$ 、 $a_{2k-1,2j-1}$ 、 $a_{2i-1,2j}$ 、 $a_{2k-1,2j}$ 、 $a_{2i,2j-1}$ 、 $a_{2k,2j-1}$ 、 $a_{2i,2j}$ 、 $a_{2k,2j}$ 都是 $2n \times 2n$ 维全节点导纳矩阵的 M-P 逆矩阵中的元素； P_h 和 Q_h 分别为接于节点 h 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 h 的源荷功率； P_j 和 Q_j 分别为接于节点 j 的源荷有功功率和源荷无功功率，且统称为节点 j 的源荷功率。

7. 一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 6 任一项所述获取交流电力网中源荷的支路均方电流分量的对称方法的步骤。

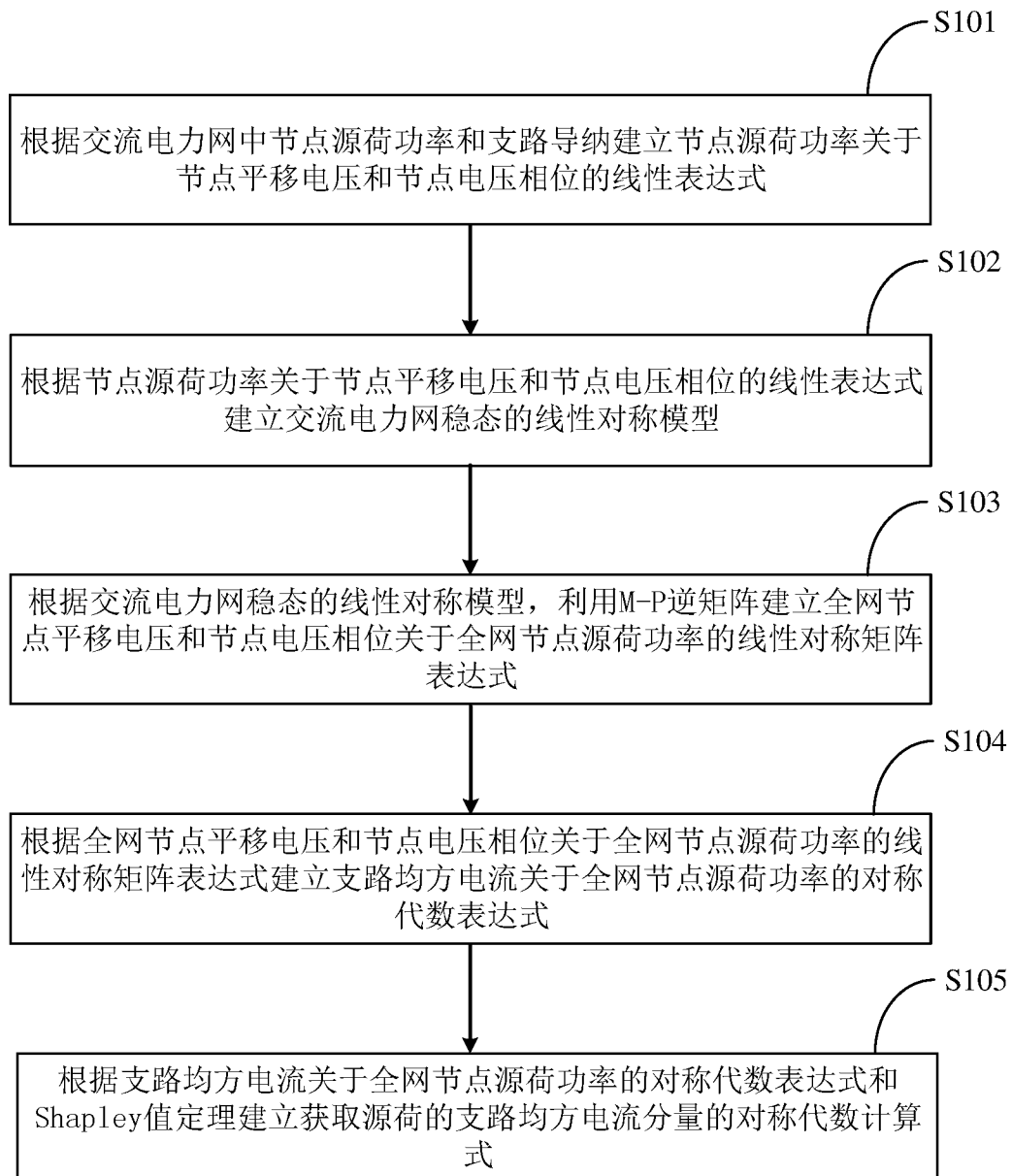


图 1

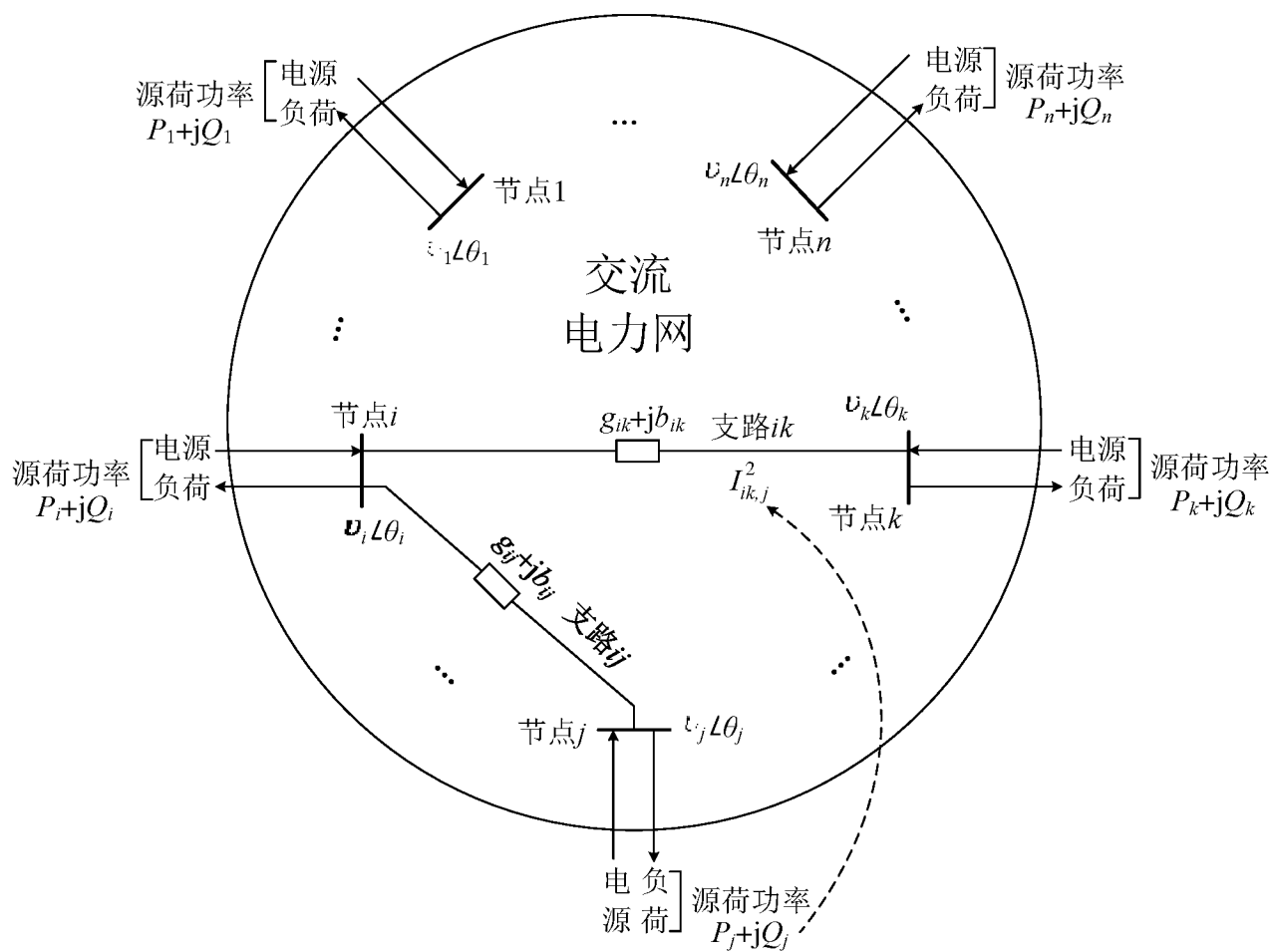


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/073442

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)

H02J3/-

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)

DWPI; CNABS; SIPOABS; CNKI; IEEE: 电力源, 负荷, 支路, 均方电流, 对称, 节点, 功率, 电压, 矩阵, source, load, branch, mean square, current, symmetry, balance, node, power, voltage, matrix

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104995810 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 21 October 2015 (2015-10-21) see description, paragraphs 2-53, and figures 1-2	1-7
A	CN 103795063 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY) 14 May 2014 (2014-05-14) see entire document	1-7
A	CN 104362619 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 18 February 2015 (2015-02-18) see entire document	1-7
A	US 6904372 B2 (ABB TECHNOLOGY AG) 07 June 2005 (2005-06-07) see entire document	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 September 2019

Date of mailing of the international search report

24 October 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/073442

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	104995810	A	21 October 2015	CN	104995810	B	07 July 2017
				WO	2016077994	A1	26 May 2016
				US	9774188	B2	26 September 2017
				US	2016301209	A1	13 October 2016
CN	103795063	A	14 May 2014	CN	103795063	B	28 October 2015
CN	104362619	A	18 February 2015	CN	104362619	B	31 August 2016
US	6904372	B2	07 June 2005	US	2003139887	A1	24 July 2003
				PL	351292	A1	30 June 2003
				PL	199780	B1	31 October 2008
				EP	1324457	A2	02 July 2003
				EP	1324457	A3	15 December 2004

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/073442

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) H02J3/- 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)) DWPI; CNABS; SIPOABS; CNKI; IEEE: 电力源, 负荷, 支路, 均方电流, 对称, 节点, 功率, 电压, 矩阵, source, load, branch, mean square, current, symmetry, balance, node, power, voltage, matrix																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 104995810 A (深圳大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 见说明书第2-53段, 附图1-2</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103795063 A (华北电力大学) 2014年 5月 14日 (2014 - 05 - 14) 见全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104362619 A (深圳大学) 2015年 2月 18日 (2015 - 02 - 18) 见全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6904372 B2 (ABB TECHNOLOGY AG) 2005年 6月 7日 (2005 - 06 - 07) 见全文</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 104995810 A (深圳大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 见说明书第2-53段, 附图1-2	1-7	A	CN 103795063 A (华北电力大学) 2014年 5月 14日 (2014 - 05 - 14) 见全文	1-7	A	CN 104362619 A (深圳大学) 2015年 2月 18日 (2015 - 02 - 18) 见全文	1-7	A	US 6904372 B2 (ABB TECHNOLOGY AG) 2005年 6月 7日 (2005 - 06 - 07) 见全文	1-7
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
A	CN 104995810 A (深圳大学) 2015年 10月 21日 (2015 - 10 - 21) 见说明书第2-53段, 附图1-2	1-7															
A	CN 103795063 A (华北电力大学) 2014年 5月 14日 (2014 - 05 - 14) 见全文	1-7															
A	CN 104362619 A (深圳大学) 2015年 2月 18日 (2015 - 02 - 18) 见全文	1-7															
A	US 6904372 B2 (ABB TECHNOLOGY AG) 2005年 6月 7日 (2005 - 06 - 07) 见全文	1-7															
☐ 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 2019年 9月 30日		国际检索报告邮寄日期 2019年 10月 24日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (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 张海春 电话号码 (86-10)62412326															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/073442

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	104995810	A	2015年 10月 21日	CN	104995810	B	2017年 7月 7日		
				WO	2016077994	A1	2016年 5月 26日		
				US	9774188	B2	2017年 9月 26日		
				US	2016301209	A1	2016年 10月 13日		
CN	103795063	A	2014年 5月 14日	CN	103795063	B	2015年 10月 28日		
CN	104362619	A	2015年 2月 18日	CN	104362619	B	2016年 8月 31日		
US	6904372	B2	2005年 6月 7日	US	2003139887	A1	2003年 7月 24日		
				PL	351292	A1	2003年 6月 30日		
				PL	199780	B1	2008年 10月 31日		
				EP	1324457	A2	2003年 7月 2日		
				EP	1324457	A3	2004年 12月 15日		