



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108802491 A
(43)申请公布日 2018.11.13

(21)申请号 201810735975.7

(22)申请日 2018.07.06

(71)申请人 四川大学

地址 610000 四川省成都市一环路南一段
24号

(72)发明人 徐方维 舒勤 彭安庆

(74)专利代理机构 成都行之专利代理事务所
(普通合伙) 51220

代理人 唐邦英

(51) Int. Cl.

G01R 23/16(2006.01)

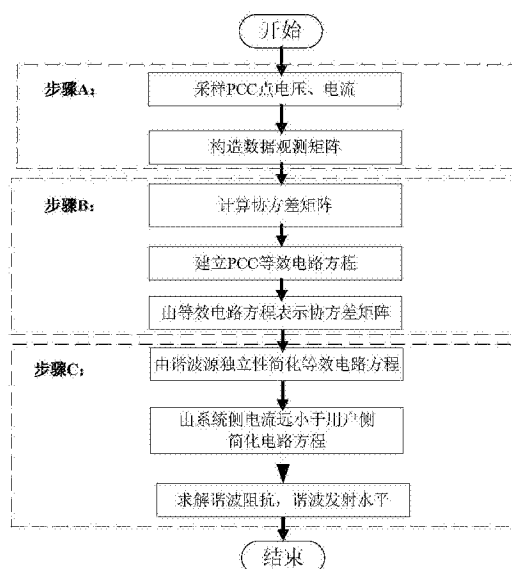
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法

(57)摘要

本发明公开了基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法,所述方法包括以下步骤:步骤(A):对一定时间段内的公共耦合点电压、电流值进行采样,使用采用的量测数据建立量测数据矩阵;步骤(B):对步骤(A)中的量测数据矩阵,计算其协方差矩阵;同时根据已知的电路方程,建立其协方差矩阵的另一个表达式,根据两个协方差矩阵表达式的对应关系,建立阻抗计算方程;步骤(C):基于PCC点两侧谐波源独立的特性,对步骤(B)中的协方差矩阵的另一个表达式进行简化,由两协方差矩阵表达式对应相等建立方程组求解谐波阻抗。



1. 基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法, 其特征在于, 所述方法包括以下步骤:

步骤(A): 对一定时间段内的公共耦合点电压、电流值进行采样, 使用采用的量测数据建立量测数据矩阵;

步骤(B): 对步骤(A)中的量测数据矩阵, 计算其协方差矩阵; 同时根据已知的电路方程, 建立其协方差矩阵的另一个表达式, 根据两个协方差矩阵表达式的对应关系, 建立阻抗计算方程;

步骤(C): 基于PCC点两侧谐波源独立的特性, 对步骤(B)中的协方差矩阵的另一个表达式进行简化, 由两协方差矩阵表达式对应相等建立方程组求解谐波阻抗。

2. 根据权利要求1所述的基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法, 其特征在于, 所述步骤(A)中的量测数据矩阵建立按照以下步骤进行:

步骤(A1): 假设采样电压、电流为 V_{pcc} 、 I_{pcc} , 采样点数为 N ; 对采样值去均值后, 建立量测数据矩阵 A ;

$$A = \begin{bmatrix} \Delta V_{pcc}(1) & \Delta V_{pcc}(2) & \cdots & \Delta V_{pcc}(N-1) \\ \Delta I_{pcc}(1) & \Delta I_{pcc}(2) & \cdots & \Delta I_{pcc}(N-1) \end{bmatrix}$$

上式中 ΔV_{pcc} 为PCC点电压波动量, ΔI_{pcc} 为PCC点电流波动量;

步骤(A2): 上式中的 ΔV_{pcc} 、 ΔI_{pcc} 可由下式计算得到:

$$\Delta V_{pcc} = V_{pcc}(n+1) - V_{pcc}(n) \quad n=1, 2, \dots, N-1;$$

$$\Delta I_{pcc} = I_{pcc}(n+1) - I_{pcc}(n) \quad n=1, 2, \dots, N-1.$$

3. 根据权利要求1所述的基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法, 其特征在于, 所述步骤(B)中的协方差矩阵的两个表达式的建立按照以下步骤进行:

步骤(B1): 量测数据矩阵 A 的协方差矩阵(1)建立如下:

$$AA^H = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2 & \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^* \\ \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n) & \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

上式中上注符 H 表示共轭转置; 上注符 * 表示共轭;

步骤(B2): 根据PCC诺顿等效电路可建立方程:

$$A = ZI$$

$$Z = \frac{1}{Z_c + Z_u} \begin{bmatrix} Z_u Z_c & Z_u Z_c \\ Z_u & -Z_c \end{bmatrix}$$

$$I = \begin{bmatrix} \Delta I_u(1) & \Delta I_u(2) & \cdots & \Delta I_u(N-1) \\ \Delta I_c(1) & \Delta I_c(2) & \cdots & \Delta I_c(N-1) \end{bmatrix}$$

上式中, Z_u 、 Z_c 分别为PCC诺顿等效电路系统侧和用户侧的等效阻抗; ΔI_u 和 ΔI_c 分别为系统侧和用户侧电流波动量, Z 为等效阻抗矩阵, I 为PCC两侧电流波动量矩阵;

步骤(B3): 由电路方程改写量测数据矩阵 A 的协方差矩阵的另一个表达式(2)如下:

$$AA^H = (ZI)(ZI)^H = Z(II^H)Z^H \quad (2).$$

4. 根据权利要求1所述的基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法,其特征在于,所述步骤(C)中的协方差矩阵简化和谐波阻抗计算按照以下步骤进行:

步骤(C1): Π^H 可简化如下:

$$\Pi^H = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

其中, λ_1 、 λ_2 为PCC系统侧和用户侧的电流波动量幅值平方和,可由下式表示:

$$\lambda_1 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_u(n)|^2$$

$$\lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_c(n)|^2$$

步骤(C2): 由(B2)计算协方差矩阵 AA^H 如下:

$$AA^H = \begin{bmatrix} \left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (\lambda_1 + \lambda_2) & \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) \\ \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c^* \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) & \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2 \end{bmatrix}$$

步骤(C3): 联立(B1)和(C2)中协方差矩阵 AA^H 计算方程可建立方程组:

$$\left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (\lambda_1 + \lambda_2) = \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2$$

$$\left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^*$$

$$\left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c^* \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n)$$

$$\left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_1 + \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2$$

步骤(C4): (C3)中方程可简化如下,求解简化后方程即可求解谐波阻抗并计算谐波发射水平:

$$\left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2$$

$$- \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^*$$

$$- \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n)$$

$$\left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2$$

基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法

技术领域

[0001] 本发明涉及谐波源定位中的谐波发射水平研究领域,具体地,涉及一种基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法。

背景技术

[0002] 随着电网的不断发展,越来越多的电力电子元件接入了电网中,从而引发的谐波问题越来越引起重视,如何定量划分接入系统中各谐波源的谐波责任是实现电能质量智能管理、控制的前提。

[0003] 通常采用等效电路的方法。即选定一个公共连接点(PCC),将PCC两端的系统侧电路和用户侧电路等效成谐波电压源和谐波电流源,并定义系统侧和用户侧谐波参考阻抗,将谐波责任表示成PCC处量测电压、电流和参考阻抗,并划分两侧的谐波责任。

[0004] 目前进行谐波责任划分的方法主要有波动量法、线性回归方法、独立分量法等。

[0005] 综上所述,本申请发明人在实现本申请发明技术方案的过程中,发现上述技术至少存在如下技术问题:

[0006] 在现有技术中,现有的波动量方法、线性回归方法存在估计误差随着两侧谐波源发射水平逐渐接近,误差增长速度较快的技术问题。波动量法根据波动量比值特征符号进行估计,在某些场景下估计精度不能保证;线性回归方法适用于系统侧和用户侧平稳的条件,在波动量较大时拟合效果不好。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种根据谐波源独立性计算谐波阻抗的计算方法,依据谐波源之间的独立性,通过PCC处测量得到的电压、电流波动量,建立量测数据矩阵并计算其协方差矩阵;同时通过等效电路建立PCC处测量电压、电流与谐波源电流波动量、参考阻抗的方程;由系统侧谐波源电流波动量远小于用户侧谐波源电流波动量的特性,可对方程进行简化,并求解谐波阻抗和谐波发射水平。

[0008] 为实现上述发明目的,本申请提供了基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤(A):对一定时间段内的公共耦合点电压、电流值进行采样,使用采用的量测数据建立量测数据矩阵;

[0010] 步骤(B):对步骤(A)中的量测数据矩阵,计算其协方差矩阵;同时根据已知的电路方程,建立其协方差矩阵的另一个表达式,根据两个协方差矩阵表达式的对应关系,建立阻抗计算方程;

[0011] 步骤(C):基于PCC点两侧谐波源独立的特性,对步骤(B)中的协方差矩阵的另一个表达式进行简化,由两协方差矩阵表达式对应相等建立方程组求解谐波阻抗。

[0012] 进一步的,所述步骤(A)中的量测数据矩阵建立按照以下步骤进行:

[0013] 步骤(A1):假设采样电压、电流为 V_{pcc} 、 I_{pcc} ,采样点数为 N ;对采样值去均值后,建立

量测数据矩阵A;

$$[0014] \quad A = \begin{bmatrix} \Delta V_{pcc}(1) & \Delta V_{pcc}(2) & \cdots & \Delta V_{pcc}(N-1) \\ \Delta I_{pcc}(1) & \Delta I_{pcc}(2) & \cdots & \Delta I_{pcc}(N-1) \end{bmatrix}$$

[0015] 上式中 ΔV_{pcc} 为PCC点电压波动量, ΔI_{pcc} 为PCC点电流波动量;

[0016] 步骤(A2): 上式中的 ΔV_{pcc} 、 ΔI_{pcc} 可由下式计算得到:

$$[0017] \quad \Delta V_{pcc} = V_{pcc}(n+1) - V_{pcc}(n) \quad n=1, 2, \dots, N-1;$$

$$[0018] \quad \Delta I_{pcc} = I_{pcc}(n+1) - I_{pcc}(n) \quad n=1, 2, \dots, N-1。$$

[0019] 进一步的, 所述步骤(B) 中的协方差矩阵的两个表达式的建立按照以下步骤进行:

[0020] 步骤(B1): 量测数据矩阵A的协方差矩阵(1) 建立如下:

$$[0021] \quad AA^H = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2 & \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^* \\ \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n) & \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0022] 上式中上注符^H表示共轭转置; 上注符*表示共轭;

[0023] 步骤(B2): 根据PCC诺顿等效电路可建立方程:

$$[0024] \quad A = ZI$$

$$[0025] \quad Z = \frac{1}{Z_c + Z_u} \begin{bmatrix} Z_u Z_c & Z_u Z_c \\ Z_u & -Z_c \end{bmatrix}$$

$$[0026] \quad I = \begin{bmatrix} \Delta I_u(1) & \Delta I_u(2) & \cdots & \Delta I_u(N-1) \\ \Delta I_c(1) & \Delta I_c(2) & \cdots & \Delta I_c(N-1) \end{bmatrix}$$

[0027] 上式中, Z_u 、 Z_c 分别为PCC诺顿等效电路系统侧和用户侧的等效阻抗; ΔI_u 和 ΔI_c 分别为系统侧和用户侧电流波动量, Z 为等效阻抗矩阵, I 为PCC两侧电流波动量矩阵;

[0028] 步骤(B3): 由电路方程改写量测数据矩阵A的协方差矩阵的另一个表达式(2) 如下:

$$[0029] \quad AA^H = (ZI) (ZI)^H = Z(II^H) Z^H \quad (2)。$$

[0030] 进一步的, 所述步骤(C) 中的协方差矩阵简化和谐波阻抗计算按照以下步骤进行:

[0031] 步骤(C1): II^H 可简化如下:

$$[0032] \quad II^H = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

[0033] 其中, λ_1 、 λ_2 为PCC系统侧和用户侧的电流波动量幅值平方和, 可由下式表示:

$$[0034] \quad \lambda_1 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_u(n)|^2$$

$$[0035] \quad \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_c(n)|^2$$

[0036] 步骤(C2): 由(B2) 计算协方差矩阵 AA^H 如下:

$$[0037] \quad AA^H = \begin{bmatrix} \left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (\lambda_1 + \lambda_2) & \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) \\ \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c^* \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) & \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2 \end{bmatrix}$$

[0038] 步骤(C3):联立(B1)和(C2)中协方差矩阵 AA^H 计算方程可建立方程组:

$$[0039] \quad \left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (\lambda_1 + \lambda_2) = \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2$$

$$[0040] \quad \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^*$$

$$[0041] \quad \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c^* \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n)$$

$$[0042] \quad \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_1 + \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2$$

[0043] 步骤(C4): (C3)中方程可简化如下,求解简化后方程即可求解谐波阻抗并计算谐波发射水平:

$$[0044] \quad \left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2$$

$$[0045] \quad - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^*$$

$$[0046] \quad - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n)$$

$$[0047] \quad \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2$$

[0048] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:

[0049] 本发明基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法,在建立量测数据协方差矩阵时可忽略谐波源电流波动量之间交叉相乘项,减少了PCC两侧谐波源的相互影响对计算结果的影响;2本发明基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法,可减少谐波责任计算的计算量,加快计算速度;3本发明基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法,算法计算结果较为准确快速,误差较小,具有良好的实用性。

附图说明

[0050] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定;

[0051] 图1为本发明流程示意图;

[0052] 图2为实施例一的PCC点等效电路模型图。

具体实施方式

[0053] 本发明提供了一种基于双目立体视觉的接触网几何参数检测测量系统,解决了现有的基于单目视觉的检测方法存在先天的误差的技术问题,实现了测量系统设计合理,几何参数检测测量结果准确的技术效果。

[0054] 为了能够更清楚地理解本发明的上述目的、特征和优点,下面结合附图和具体实施方式对本发明进行进一步的详细描述。需要说明的是,在相互不冲突的情况下,本申请的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0055] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是,本发明还可以采用其他不同于在此描述范围内的其他方式来实施,因此,本发明的保护范围并不受下面公开的具体实施例的限制。

[0056] 请参考图1,本申请提供了基于谐波源独立性的谐波发射水平估计求解新方法,所述方法包括以下步骤:

[0057] 步骤(A):对一定时间段内的公共耦合点电压、电流值进行采样,使用采用的量测数据建立量测数据矩阵;

[0058] 步骤(B):对步骤(A)中的量测数据矩阵,计算其协方差矩阵;同时根据已知的电路方程,建立其协方差矩阵的另一个表达式,根据两个协方差矩阵表达式的对应关系,建立阻抗计算方程;

[0059] 步骤(C):基于PCC点两侧谐波源独立的特性,对步骤(B)中的协方差矩阵的另一个表达式进行简化,由两协方差矩阵表达式对应相等建立方程组求解谐波阻抗;

[0060] 实施例一:在Matlab中搭建如图2所示的PCC点等效电路,各元件参数表1所示,使用本发明对谐波阻抗进行求解。并将计算结果、计算误差与其他方法进行比较如表2-表3所示。

[0061] 表1

参数	数值
Z_u/Ω	5+j24
Z_c/Ω	60+j120
V_{pcc}/V	由 Matlab 仿真随机生成
[0062] I_{pcc}/A	由 Matlab 仿真随机生成
I_u/A	由 Matlab 仿真随机生成
I_c/A	由 Matlab 仿真随机生成

[0063] 表2

Z_u 幅值误差

编号	系统侧电流波动量/用户侧电流波动量	幅值均方根值误差/%		
		波动量法	最小二乘线性回归法	本发明
[0064]				
1	0.05	4.8	4.6	1.1
2	0.10	7.63	4.9	1.15
3	0.20	9.24	7.18	4.56
4	0.25	10.27	9.25	6.61
5	0.40	19.31	14.36	12.57

[0065] 表3

Z_u 相角误差

编号	系统侧电流波动量/用户侧电流波动量	相角均方根值误差/%		
		波动量法	最小二乘线性回归法	本发明
[0066]				
1	0.05	5.75	3.25	2.02
2	0.10	8.10	3.79	2.55
3	0.20	10.48	4.65	3.89
4	0.25	13.22	6.66	4.81
5	0.40	14.70	9.78	7.20

[0067] 其中,在本申请实施例中,所述步骤(A)中的量测数据矩阵建立按照以下步骤进行:

[0068] 步骤(A1):假设采样电压、电流为 V_{pcc} 、 I_{pcc} ,采样点数为 N ;对采样值去均值后,建立量测数据矩阵 A ;

[0069]
$$A = \begin{bmatrix} \Delta V_{pcc}(1) & \Delta V_{pcc}(2) & \cdots & \Delta V_{pcc}(N-1) \\ \Delta I_{pcc}(1) & \Delta I_{pcc}(2) & \cdots & \Delta I_{pcc}(N-1) \end{bmatrix}$$

[0070] 式中 ΔV_{pcc} 为PCC点电压波动量, ΔI_{pcc} 为PCC点电流波动量。

[0071] 步骤(A2):式(1)中的 ΔV_{pcc} 、 ΔI_{pcc} 可由下式计算得到:

[0072] $\Delta V_{pcc} = V_{pcc}(n+1) - V_{pcc}(n) \quad n=1, 2, \dots, N-1;$

[0073] $\Delta I_{pcc} = I_{pcc}(n+1) - I_{pcc}(n) \quad n=1, 2, \dots, N-1;$

[0074] 其中,在本申请实施例中,所述步骤(B)中的协方差矩阵的两个表达式的建立按照以下步骤进行:

[0075] 步骤(B1):量测数据矩阵 A 的协方差矩阵(1)建立如下:

[0076]
$$AA^H = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2 & \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^* \\ \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n) & \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0077] 式中上上注符 H 表示共轭转置;上注符 * 表示共轭。

[0078] 步骤(B2):根据PCC诺顿等效电路可建立方程:

[0079] $A=ZI$

[0080]
$$Z = \frac{1}{Z_c + Z_u} \begin{bmatrix} Z_u Z_c & Z_u Z_c \\ Z_u & -Z_c \end{bmatrix}$$

[0081]
$$I = \begin{bmatrix} \Delta I_u(1) & \Delta I_u(2) & \cdots & \Delta I_u(N-1) \\ \Delta I_c(1) & \Delta I_c(2) & \cdots & \Delta I_c(N-1) \end{bmatrix}$$

[0082] 式中, Z_u 、 Z_c 分别为PCC诺顿等效电路系统侧和用户侧的等效阻抗; ΔI_u 和 ΔI_c 分别为系统侧和用户侧电流波动量, Z 为等效阻抗矩阵, I 为PCC两侧电流波动量矩阵。

[0083] 步骤(B3):由电路方程改写量测数据矩阵A的协方差矩阵的另一个表达式(2)如下:

[0084] $AA^H = (ZI)(ZI)^H = Z(II^H)Z^H \quad (2)$

[0085] 其中,在本申请实施例中,所述步骤(C)中的协方差矩阵简化和谐波阻抗计算按照以下步骤进行:

[0086] 步骤(C1): II^H 可简化如下:

[0087]
$$I I^H = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

[0088] 其中, λ_1 、 λ_2 为PCC系统侧和用户侧的电流波动量幅值平方和,可由下式表示:

[0089]
$$\lambda_1 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_u(n)|^2$$

[0090]
$$\lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_c(n)|^2$$

[0091] 步骤(C2):由(B2)计算协方差矩阵 AA^H 如下:

[0092]
$$AA^H = \begin{bmatrix} \left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (\lambda_1 + \lambda_2) & \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) \\ \left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c^* \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) & \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2 \end{bmatrix}$$

[0093] 步骤(C3):联立(B1)和(C2)中协方差矩阵 AA^H 计算方程可建立方程组:

[0094]
$$\left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (\lambda_1 + \lambda_2) = \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2$$

[0095]
$$\left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^*$$

[0096]
$$\left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_c^* \lambda_1) - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n)$$

[0097]
$$\left| \frac{Z_u}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_1 + \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2$$

[0098] 步骤(C4):(C3)中方程可简化如下,求解简化后方程即可求解谐波阻抗并计算谐

波发射水平：

$$[0099] \quad \left| \frac{Z_u Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta V_{pcc}(n)|^2$$

$$[0100] \quad - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n) \Delta I_{pcc}(n)^*$$

$$[0101] \quad - \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 (Z_u^* \lambda_2) = \sum_{n=1}^N \Delta V_{pcc}(n)^* \Delta I_{pcc}(n)$$

$$[0102] \quad \left| \frac{Z_c}{Z_u + Z_c} \right|^2 \lambda_2 = \sum_{n=1}^N |\Delta I_{pcc}(n)|^2$$

[0103] 尽管已描述了本发明的优选实施例，但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念，则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以，所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。

[0104] 显然，本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

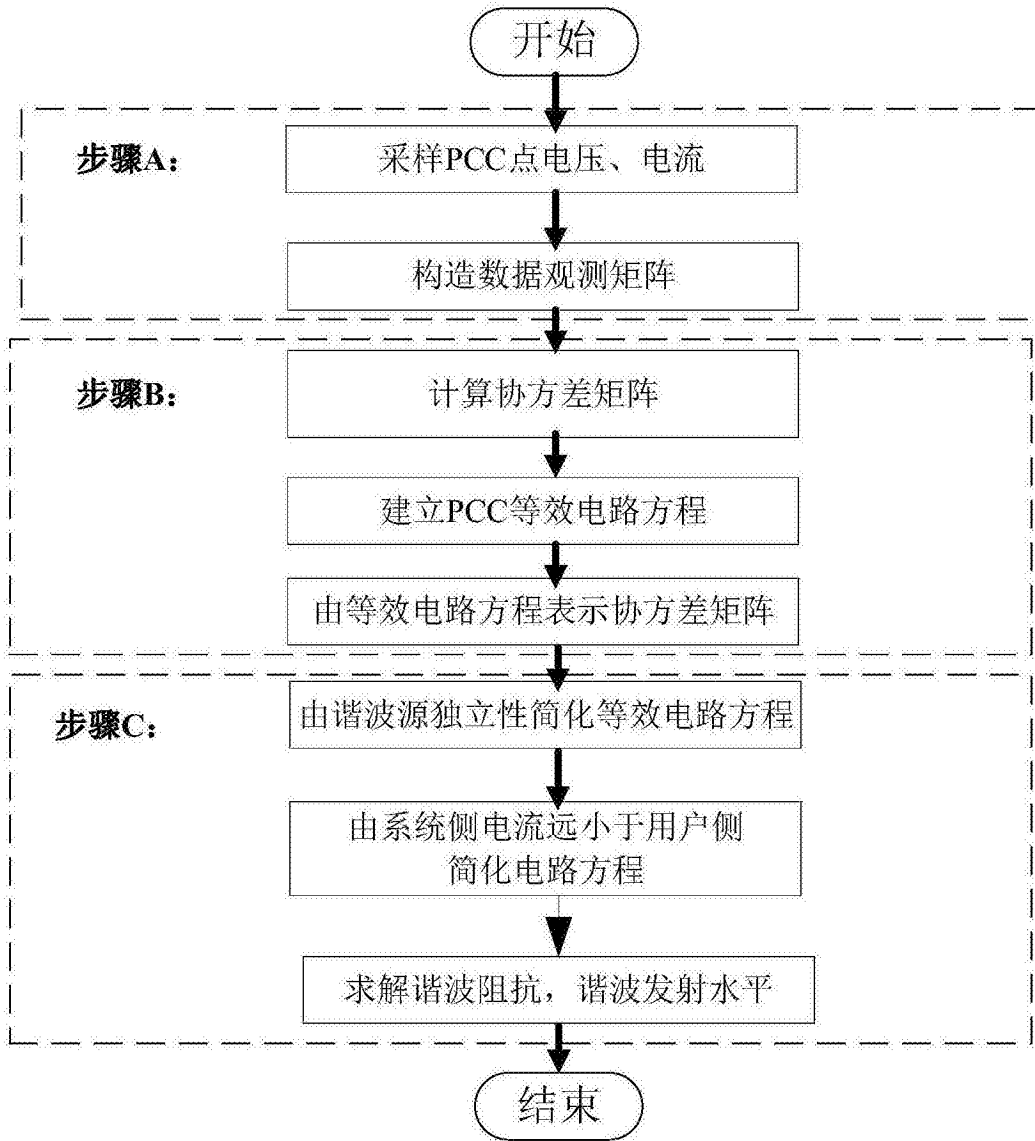


图1

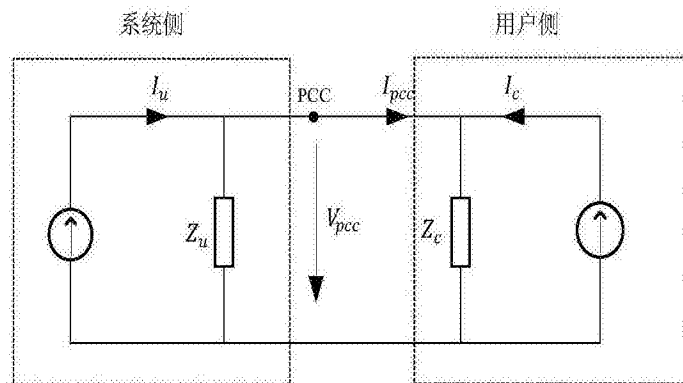


图2