



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115112934 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 27

(21) 申请号 202111333521.5

(22) 申请日 2021.11.11

(71) 申请人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙正街174号

申请人 国家电网有限公司

国网陕西省电力有限公司

(72) 发明人 杨鸣 司马文霞 杨柳 王冲

张华 胡广富 袁涛 孙魄韬

雷俊豪 程可昕 许晟铭 王霖

(74) 专利代理机构 重庆缙云专利代理事务所

(特殊普通合伙) 50237

专利代理师 王翔

(51) Int. Cl.

G01R 15/06 (2006.01)

G01R 23/16 (2006.01)

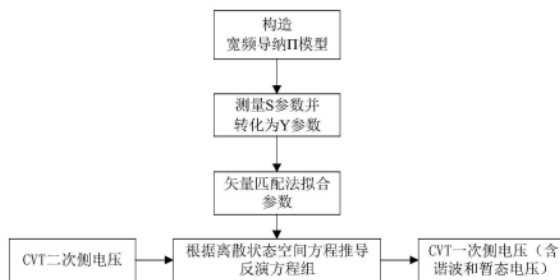
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法

(57) 摘要

本发明公开一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,步骤包括: 1) 建立电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型; 2) 获取电容式电压互感器的宽频导纳参数; 将二端口S参数转化为Y参数; 3) 得到表征宽频响应特性的连续状态空间方程; 4) 将表征宽频响应特性的连续状态空间方程转换为离散状态空间方程; 5) 基于离散状态空间方程推导得到电容式电压互感器逆向离散状态空间方程; 6) 基于逆向离散状态空间方程设计电容式电压互感器的谐波和暂态电压测量算法; 7) 完成对一次侧电压谐波和暂态电压的测量。本发明在已知电容式电压互感器二次侧电压 u_2 条件下,通过迭代计算得到其一次侧电压 u_1 ,从而实现对谐波、暂态电压等信号的监测。



1. 一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

- 1) 建立所述基于二端口网络的电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型。
- 2) 测量电容式电压互感器的二端口S参数,从而获取电容式电压互感器的宽频导纳参数;将二端口S参数转化为Y参数;
- 3) 利用矢量匹配法对宽频导纳参数进行拟合,得到表征宽频响应特性的连续状态空间方程;
- 4) 将表征宽频响应特性的连续状态空间方程转换为离散状态空间方程;
- 5) 基于离散状态空间方程推导得到电容式电压互感器逆向离散状态空间方程;
- 6) 基于逆向离散状态空间方程建立电容式电压互感器的谐波和暂态电压测量模块;
- 7) 监测电容式电压互感器二次侧电压,并输入到谐波和暂态电压测量模块中,得到电容式电压互感器一次侧电压,从而完成对一次侧电压谐波和暂态电压的测量。

2. 根据权利要求1所述的一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,其特征在于:电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型的导纳二端口方程如下所示:

$$\begin{bmatrix} Y_A + Y_C & -Y_C \\ -Y_C & Y_B + Y_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, I_1 、 I_2 、 V_1 、 V_2 为二端口电流电压; Y_A 、 Y_B 、 Y_C 为宽频 Π 导纳模型参数。

3. 根据权利要求1所述的一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,其特征在于:电容式电压互感器S参数的测量装置包括矢量网络分析仪。

4. 根据权利要求1所述的一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,其特征在于:表征宽频响应特性的连续状态空间方程如下所示:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}v \\ i &= \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}v + Ev \end{aligned} \quad (2)$$

式中, \mathbf{A} 为 $N \times N$ 的对角矩阵,其对角元素为极点, \mathbf{C} 为 $1 \times N$ 的行向量,其元素为留数, \mathbf{B} 为 $N \times 1$ 的列向量,其元素等于1, \mathbf{D} 和 E 分别对应常数项和线性项系数。 $\dot{\mathbf{x}}$ 表示状态变量向量 \mathbf{x} 的导数。 i 为输出变量。

5. 根据权利要求1所述的一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,其特征在于:将表征宽频响应特性的连续状态空间方程转换为离散状态空间方程的方法包括中心差分法。

6. 根据权利要求1所述的一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,其特征在于:所述离散状态空间方程如下所示:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'_k &= \mathbf{a}\mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}}v_{k-1} \\ i_k &= \mathbf{C}\mathbf{x}'_k + Gv_k \end{aligned} \quad (3)$$

式中, v_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电压; v_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代电容式电压互感器电压; i_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电流; \mathbf{x}'_k 为第 k 次迭代中间参数; \mathbf{x}'_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代中间参数; \mathbf{C} 为 $1 \times N$ 的行向量,向量 $\tilde{\mathbf{B}}$ 、 G 、 \mathbf{a} 分别如下所示:

$$\begin{aligned}
 \tilde{\mathbf{B}} &= (\boldsymbol{\alpha}\lambda + \boldsymbol{\mu})\mathbf{B} \\
 G &= D + \mathbf{C}\lambda\mathbf{B} \\
 \boldsymbol{\alpha} &= \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \left(\mathbf{I} + \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)
 \end{aligned} \tag{4}$$

式中, 参数 $\lambda = \boldsymbol{\mu} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \frac{\Delta t}{2}$; Δt 为时间差; \mathbf{A} 为 $N \times N$ 的对角矩阵, 其对角元素为极点; \mathbf{B} 为 $N \times 1$ 的列向量, 其元素等于 1; \mathbf{C} 为 $1 \times N$ 的行向量, 其元素为留数; \mathbf{I} 为单位矩阵; D 为常数项。

7. 根据权利要求 1 所述的一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法, 其特征在于: 第 k 次迭代电容式电压互感器一次侧电压 u_{1k} 如下所示:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{x}'_k &= \tilde{\boldsymbol{\alpha}}\mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}}'u_{2_{k-1}} \\
 u_{1k} &= \tilde{\mathbf{C}}\mathbf{x}'_k + G'u_{2k}
 \end{aligned} \tag{5}$$

式中, $u_{2_{k-1}}$ 为第 k 次迭代电容式电压互感器二次侧电压; 向量 $\tilde{\mathbf{B}}'$ 、 $\tilde{\mathbf{C}}$ 、 G' 、 $\tilde{\boldsymbol{\alpha}}$ 分别如下所示:

$$\begin{aligned}
 \tilde{\boldsymbol{\alpha}} &= \boldsymbol{\alpha} - \frac{\tilde{\mathbf{B}}\mathbf{C}}{G} \\
 \tilde{\mathbf{B}}' &= \frac{\tilde{\mathbf{B}}}{G} \\
 \tilde{\mathbf{C}} &= -\frac{\mathbf{C}}{G} \\
 G' &= \frac{1}{G}
 \end{aligned} \tag{6}$$

一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电容式电压互感器暂态电压和谐波测量领域,具体是一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法。

背景技术

[0002] 风电、太阳能等间歇性发电的新能源并网规模也逐年增多,加之各类用电侧电力电子设备的广泛应用,致使电网中的非线性负载的比重不断增加,由此导致电力系统中的谐波、暂态等问题日益严重,对电网中以工频为设计依据的各类设备以及多种精密仪器的正常运行造成了较大威胁,同时大大增加了设备和电网的运行成本。电容式电压互感器(CVT)是广泛用于电力系统的电压测量设备,同时也是为国家电网公司谐波和暂态电压监测提供电压信号的主要设备。鉴于电能质量是一个需要在确保电力系统安全可靠性的基础之上再行考虑的问题,因此解决电能质量监测问题主要从CVT对谐波和暂态电压测量入手。

[0003] 然而,目前CVT但在测量谐波、暂态电压等信号时,CVT中由电容分压器等值电容和补偿电抗器电感组成的工频串联谐振回路工作点将发生偏离,变比的幅频和相频特性呈现严重的非线性,带宽极窄,难以完成谐波监测任务。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,包括以下步骤:

[0005] 1) 建立基于二端口网络的电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型。

[0006] 电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型的导纳二端口方如下所示:

$$[0007] \begin{bmatrix} Y_A + Y_C & -Y_C \\ -Y_C & Y_B + Y_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0008] 式中, I_1 、 I_2 、 V_1 、 V_2 为二端口电流电压。 Y_A 、 Y_B 、 Y_C 为宽频 Π 导纳模型参数。

[0009] 2) 测量电容式电压互感器的二端口S参数,从而获取电容式电压互感器的宽频导纳参数。将二端口S参数转化为Y参数。

[0010] 电容式电压互感器S参数的测测装置包括矢量网络分析仪。

[0011] 3) 利用矢量匹配法对宽频导纳参数进行拟合,得到表征宽频响应特性的连续状态空间方程。

[0012] 表征宽频响应特性的连续状态空间方程如下所示:

$$[0013] \begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{Ax} + \mathbf{Bv} \\ i &= \mathbf{Cx} + \mathbf{Dv} + \mathbf{Ev} \end{aligned} \quad (2)$$

[0014] 式中,A为 $N \times N$ 的对角矩阵,其对角元素为极点,C为 $1 \times N$ 的行向量,其元素为留数,B为 $N \times 1$ 的列向量,其元素等于1,D和E分别对应常数项和线性项系数。 $\dot{\mathbf{x}}$ 表示状态变量向量的导数。i为输出变量。

[0015] 4) 将表征宽频响应特性的连续状态空间方程转换为离散状态空间方程:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'_k &= \boldsymbol{\alpha} \mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}} v_{k-1} \\ i_k &= \mathbf{C} \mathbf{x}'_k + G v_k \end{aligned} \quad (3)$$

[0017] 式中, v_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电压; v_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代电容式电压互感器电压; i_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电流; x'_k 为第 k 次迭代中间参数; x'_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代中间参数; C 为 $1 \times N$ 的行向量, 向量 $\tilde{\mathbf{B}}$ 、 G 、 $\boldsymbol{\alpha}$ 分别如下所示:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{B}} &= (\boldsymbol{\alpha} \boldsymbol{\lambda} + \boldsymbol{\mu}) \mathbf{B} \\ G &= D + \mathbf{C} \boldsymbol{\lambda} \mathbf{B} \\ \boldsymbol{\alpha} &= \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \left(\mathbf{I} + \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

[0019] 式中, 参数 $\boldsymbol{\lambda} = \boldsymbol{\mu} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \frac{\Delta t}{2}$; Δt 为时间差; A 为 $N \times N$ 的对角矩阵, 其对角元素为极点; B 为 $N \times 1$ 的列向量, 其元素等于 1; C 为 $1 \times N$ 的行向量, 其元素为留数; I 为单位矩阵; D 为常数项。

[0020] 将表征宽频响应特性的连续状态空间方程转换为离散状态空间方程的方法包括中心差分法。

[0021] 5) 基于离散状态空间方程推导得到电容式电压互感器逆向离散状态空间方程;

[0022] 6) 基于逆向离散状态空间方程建立电容式电压互感器的谐波和暂态电压测量模块;

[0023] 7) 监测电容式电压互感器二次侧电压, 并输入到谐波和暂态电压测量模块中, 得到电容式电压互感器一次侧电压, 从而完成对一次侧电压谐波和暂态电压的测量。

[0024] 第 k 次迭代电容式电压互感器一次侧电压 u_k 如下所示:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'_k &= \tilde{\boldsymbol{\alpha}} \mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}}' u_{2_{k-1}} \\ u_k &= \tilde{\mathbf{C}} \mathbf{x}'_k + G' u_{2_k} \end{aligned} \quad (5)$$

[0026] 式中, $u_{2_{k-1}}$ 为第 k 次迭代电容式电压互感器二次侧电压; 向量 $\tilde{\mathbf{B}}'$ 、 $\tilde{\mathbf{C}}$ 、 G' 、 $\tilde{\boldsymbol{\alpha}}$ 分别如下所示:

$$\begin{aligned} \tilde{\boldsymbol{\alpha}} &= \boldsymbol{\alpha} - \frac{\tilde{\mathbf{B}} \mathbf{C}}{G} \\ \tilde{\mathbf{B}}' &= \frac{\tilde{\mathbf{B}}}{G} \\ \tilde{\mathbf{C}} &= -\frac{\mathbf{C}}{G} \\ G' &= \frac{1}{G} \end{aligned} \quad (6)$$

[0028] 值得说明的是, 本发明利用矢量网络分析仪测量 S 参数, 通过矢量匹配法将宽频导纳参数拟合, 构建一个基于二端口网络的电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型, 最后对 Π 模型的离散状态空间方程进行推导, 得到只需把电容式电压互感器二次侧电压作为输入, 即可计算一次侧电压的反演方程, 从而实现谐波、暂态电压的测量方法。

[0029] 本发明的技术效果是毋庸置疑的, 本发明在仅已知电容式电压互感器二次侧电压 u_2 条件下, 由通过迭代计算得到其一次侧电压 u_1 , 从而实现谐波、暂态电压等信号的监测。

[0030] 本发明提供了一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,理论严谨,严格由公式推导而来,谐波与暂态电压测量效果好。

[0031] 本发明提供了一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,只需对设备进行频率扫描获取参数,即可实现对谐波与暂态电压的测量,便于实际工程应用。

[0032] 本发明提供了一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,对同型号参数差异不大的电容式电压互感器只需某一台的参数,具有一定通用性。

附图说明

[0033] 图1为谐波和暂态电压测量流程图。

[0034] 图2为CVT的II型宽频导纳电路。

[0035] 图3为CVT的Y参数。图3(a)、图3(b)、图3(c)、图3(d)分别为CVT的Y11参数、Y12参数、Y21参数、Y22参数。

[0036] 图4为该方法计算CVT一次侧电压的示例图。

具体实施方式

[0037] 下面结合实施例对本发明作进一步说明,但不应该理解为本发明上述主题范围仅限于下述实施例。在不脱离本发明上述技术思想的情况下,根据本领域普通技术知识和惯用手段,做出各种替换和变更,均应包括在本发明的保护范围内。

[0038] 实施例1:

[0039] 参见图1、2、3、4,一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,包括以下步骤:

[0040] 1) 建立基于二端口网络的电容式电压互感器宽频导纳II模型。

[0041] 电容式电压互感器宽频导纳II模型的导纳二端口方如下所示:

$$[0042] \begin{bmatrix} Y_A + Y_C & -Y_C \\ -Y_C & Y_B + Y_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0043] 式中, I_1 、 I_2 、 V_1 、 V_2 为二端口电流电压。 Y_A 、 Y_B 、 Y_C 为宽频II导纳模型参数。

[0044] 2) 测量电容式电压互感器的二端口S参数,从而获取电容式电压互感器的宽频导纳参数。将二端口S参数转化为Y参数。

[0045] 电容式电压互感器S参数的测测装置包括矢量网络分析仪。

[0046] 3) 利用矢量匹配法对宽频导纳参数进行拟合,得到表征宽频响应特性的连续状态空间方程。

[0047] 表征宽频响应特性的连续状态空间方程如下所示:

$$[0048] \begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{Ax} + \mathbf{Bv} \\ i &= \mathbf{Cx} + \mathbf{Dv} + \mathbf{Ev} \end{aligned} \quad (2)$$

[0049] 式中,A为 $N \times N$ 的对角矩阵,其对角元素为极点,C为 $1 \times N$ 的行向量,其元素为留数,B为 $N \times 1$ 的列向量,其元素等于1,D和E分别对应常数项和线性项系数。 $\dot{\mathbf{x}}$ 表示状态变量向量的导数。i为输出变量。

[0050] 4) 将表征宽频响应特性的连续状态空间方程转换为离散状态空间方程。

[0051] 将表征宽频响应特性的连续状态空间方程转换为离散状态空间方程的方法包括中心差分法。

[0052] 所述离散状态空间方程如下所示：

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'_k &= \alpha \mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}} v_{k-1} \\ i_k &= \mathbf{C} \mathbf{x}'_k + G v_k \end{aligned} \quad (3)$$

[0054] 式中, v_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电压; v_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代电容式电压互感器电压; i_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电流; x'_k 为第 k 次迭代中间参数; x'_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代中间参数; C 为 $1 \times N$ 的行向量, 向量 $\tilde{\mathbf{B}}$ 、 G 、 α 分别如下所示：

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{B}} &= (\alpha \lambda + \mu) \mathbf{B} \\ G &= D + \mathbf{C} \lambda \mathbf{B} \\ \alpha &= \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \left(\mathbf{I} + \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

[0056] 式中, 参数 $\lambda = \mu = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \frac{\Delta t}{2}$; Δt 为时间差; A 为 $N \times N$ 的对角矩阵, 其对角元素为极点; B 为 $N \times 1$ 的列向量, 其元素等于 1; C 为 $1 \times N$ 的行向量, 其元素为留数; I 为单位矩阵; D 为常数项。

[0057] 5) 基于离散状态空间方程推导得到电容式电压互感器逆向离散状态空间方程;

[0058] 6) 基于逆向离散状态空间方程建立电容式电压互感器的谐波和暂态电压测量模块;

[0059] 7) 监测电容式电压互感器二次侧电压, 并输入到谐波和暂态电压测量模块中, 得到电容式电压互感器一次侧电压, 从而完成对一次侧电压谐波和暂态电压的测量。

[0060] 第 k 次迭代电容式电压互感器一次侧电压 u_k 如下所示：

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'_k &= \tilde{\alpha} \mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}}' u_{2_{k-1}} \\ u_k &= \tilde{\mathbf{C}} \mathbf{x}'_k + G' u_{2_k} \end{aligned} \quad (5)$$

[0062] 式中, $u_{2_{k-1}}$ 为第 k 次迭代电容式电压互感器二次侧电压; 向量 $\tilde{\mathbf{B}}'$ 、 $\tilde{\mathbf{C}}$ 、 G' 、 $\tilde{\alpha}$ 分别如下所示：

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha} &= \alpha - \frac{\tilde{\mathbf{B}} \mathbf{C}}{G} \\ \tilde{\mathbf{B}}' &= \frac{\tilde{\mathbf{B}}}{G} \\ \tilde{\mathbf{C}} &= -\frac{\mathbf{C}}{G} \\ G' &= \frac{1}{G} \end{aligned} \quad (6)$$

[0064] 实施例 2:

[0065] 一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法, 包括以下步骤:

[0066] 1) 构建一个基于二端口网络的电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型;

[0067] 2) 采用矢量网络分析仪测量电容式电压互感器的二端口 S 参数, 将 S 参数转化为 Y 参数;

[0068] 3) 利用矢量匹配法将宽频导纳参数拟合成有理函数部分分式和的形式,得到表征宽频响应特性的连续状态空间方程;

[0069] 4) 采用中心差分法将电容式电压互感器宽频导纳子模型的连续状态空间方程组变换为离散状态空间方程;

[0070] 5) 基于离散状态空间方程推导得到电容式电压互感器逆向离散状态空间方程;

[0071] 6) 基于逆向离散状态空间方程设计电容式电压互感器的谐波和暂态电压测量算法;

[0072] 7) 根据电容式电压互感器的谐波和暂态电压测量算法,将二次侧电压作为输入变量,即可计算一次侧电压的反演方程,完成对一次侧电压进行谐波和暂态电压的测量。

[0073] 实施例3:

[0074] 一种基于电容式电压互感器宽频模型的谐波和暂态电压测量方法,包括以下步骤:

[0075] 1) 构建一个基于二端口网络的电容式电压互感器宽频导纳 Π 模型。其导纳二端口方程为:

$$[0076] \begin{bmatrix} Y_A + Y_C & -Y_C \\ -Y_C & Y_B + Y_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

[0077] I_1 、 I_2 、 V_1 、 V_2 为二端口电流电压, Y_A 、 Y_B 、 Y_C 为宽频 Π 导纳模型参数。

[0078] 2) 采用矢量网络分析仪测量电容式电压互感器的S参数。

[0079] 3) 利用二端口S参数与Y参数关系进行参数转换。

[0080] 4) 矢量匹配法将宽频导纳参数拟合成有理函数部分分式和的形式:

$$[0081] f(s) \approx \sum_{n=1}^N \frac{c_n}{s - a_n} + d + es$$

[0082] 其中, $s = j\omega$, c_n 和 a_n 分别为函数的留数和极点,既可以取实数,也可以取共轭复数对,通常,为了更加精确地拟合具有谐振点的复杂曲线,极点往往需要包含共轭复数对;参数 d 、 e 为实常数; N 为拟合阶数。

[0083] 5) 采用中心差分法将电容式电压互感器宽频导纳子模型的连续状态空间方程组变换为离散状态空间方程:

$$[0084] \begin{cases} \mathbf{x}'_k = \alpha \mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}} v_{k-1} \\ i_k = \mathbf{C} \mathbf{x}'_k + G v_k \end{cases} \quad (3)$$

[0085] 式中, v_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电压; v_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代电容式电压互感器电压; i_k 为第 k 次迭代电容式电压互感器电流; \mathbf{x}'_k 为第 k 次迭代中间参数; \mathbf{x}'_{k-1} 为第 $k-1$ 次迭代中间参数; \mathbf{C} 为 $1 \times N$ 的行向量,向量 $\tilde{\mathbf{B}}$ 、 G 、 α 分别如下所示:

$$[0086] \begin{cases} \tilde{\mathbf{B}} = (\alpha \lambda + \mu) \mathbf{B} \\ G = D + \mathbf{C} \lambda \mathbf{B} \\ \alpha = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \left(\mathbf{I} + \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right) \end{cases} \quad (4)$$

[0087] 式中,参数 $\lambda = \mu = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \frac{\Delta t}{2} \right)^{-1} \frac{\Delta t}{2}$; Δt 为时间差; \mathbf{A} 为 $N \times N$ 的对角矩阵,其对角元素为

极点;B为 $N \times 1$ 的列向量,其元素等于1;,C为 $1 \times N$ 的行向量,其元素为留数;I为单位矩阵;D为常数项。

[0088] 6) 步骤5的离散方程为已知电容式电压互感器一次侧电压的条件下的宽频导纳的离散状态方程组,式中 v_k 作为输入变量, i_k 作为输出变量,可表征宽频导纳电压与电流之间的时域变化关系。本发明的谐波和暂态电压测量方法只需把二次侧电压 u_2 作为输入变量,即可计算一次侧电压 u_1 ,从而得到电源谐波成分以及暂态电压。通过推导得到:

$$[0089] \quad \mathbf{x}'_k = \tilde{\mathbf{a}}\mathbf{x}'_{k-1} + \tilde{\mathbf{B}}'u_{2_{k-1}}$$

$$[0090] \quad u_{1_k} = \tilde{\mathbf{C}}\mathbf{x}'_k + G'u_{2_k}$$

[0091] 其中各个参数分别为:

$$[0092] \quad \tilde{\mathbf{a}} = \mathbf{a} - \frac{\tilde{\mathbf{B}}\mathbf{C}}{G}$$

$$[0093] \quad \tilde{\mathbf{B}}' = \frac{\tilde{\mathbf{B}}}{G}$$

$$[0094] \quad \tilde{\mathbf{C}} = -\frac{\mathbf{C}}{G}$$

$$[0095] \quad G' = \frac{1}{G}$$

[0096] 在已知电容式电压互感器二次侧电压 u_2 条件下,由上式的n次迭代能得到反演计算的一次侧电压 u_1 。

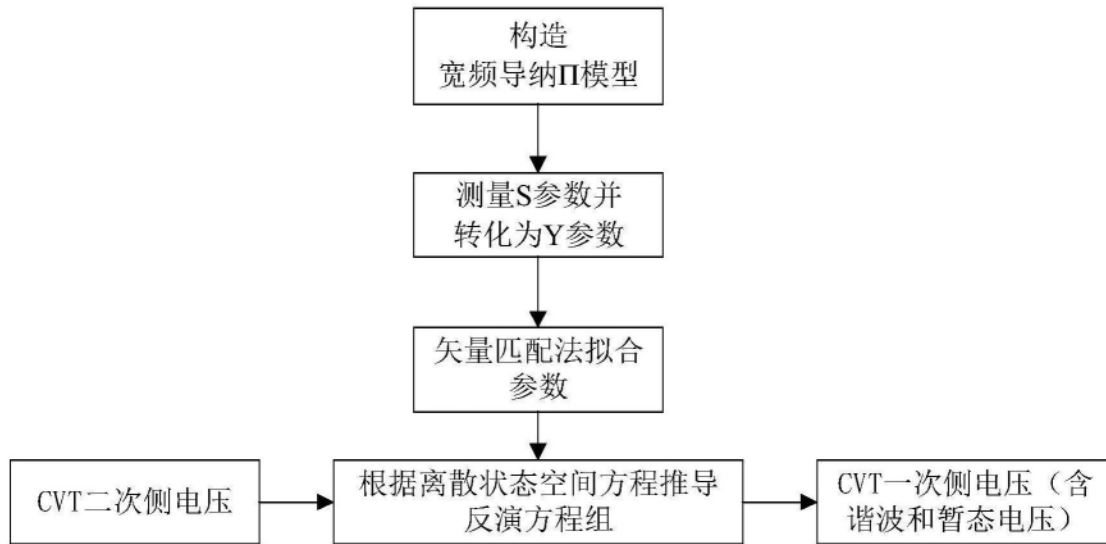


图1

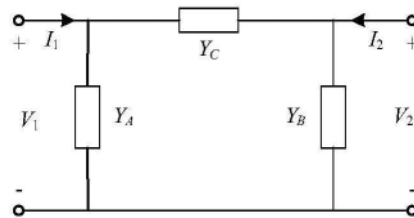


图2

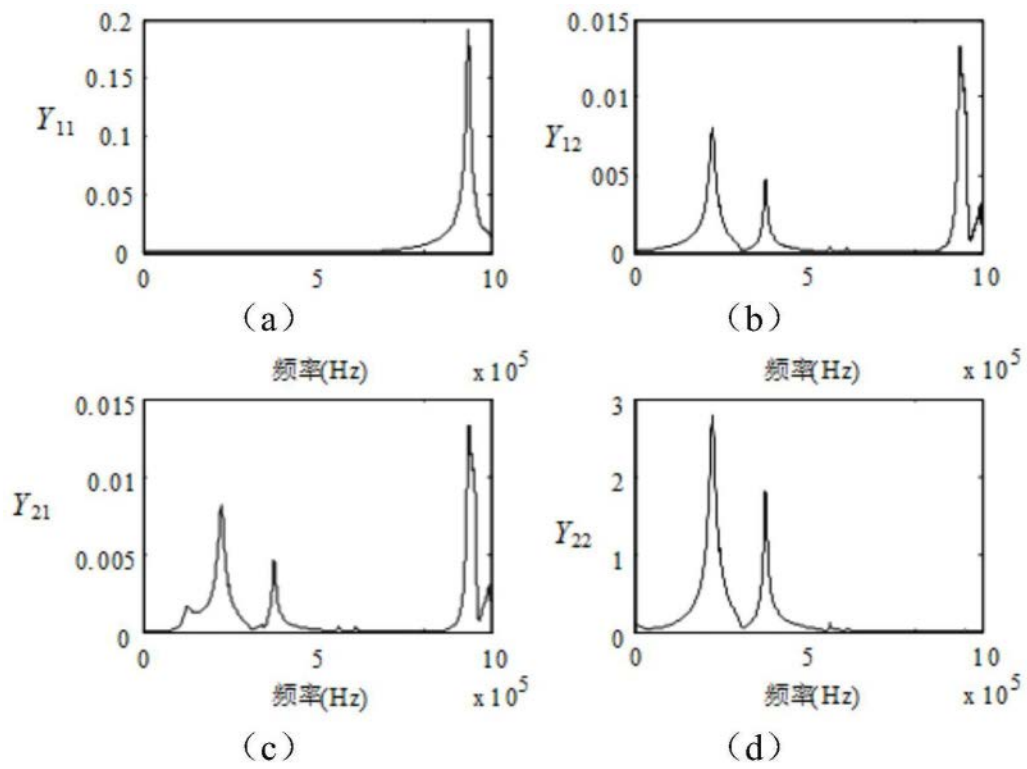


图3

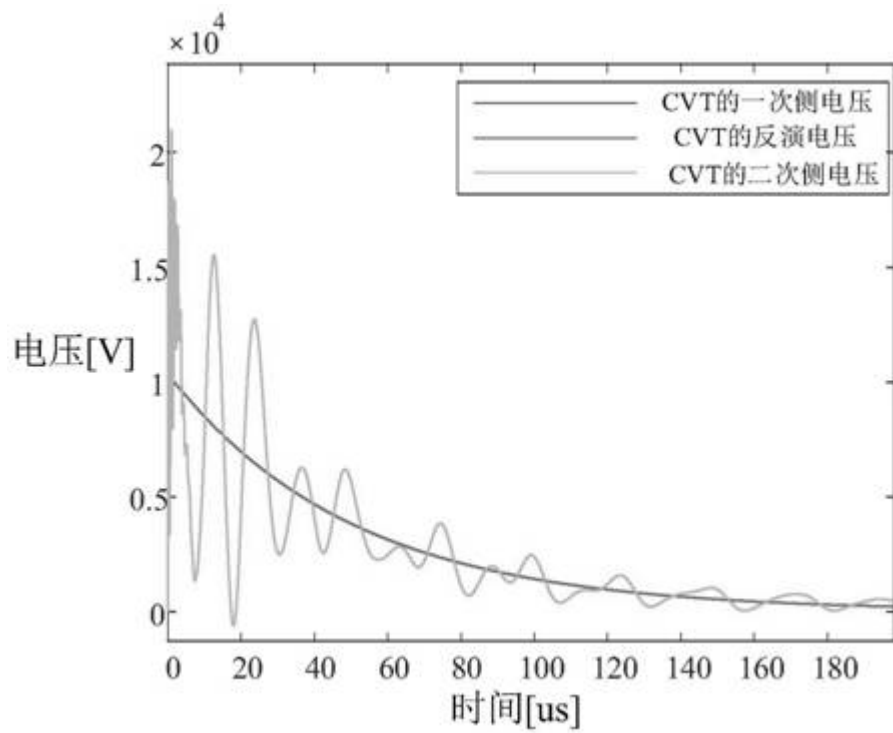


图4