



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104655988 B

(45)授权公告日 2018.02.23

(21)申请号 201510091837.6

(22)申请日 2015.02.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104655988 A

(43)申请公布日 2015.05.27

(73)专利权人 华南理工大学
地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 李海锋 郭履星 蔡颖倩 麦国浩
梁远升

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245
代理人 罗观祥

(51)Int. Cl.
G01R 31/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 104345249 A, 2015.02.11,
CN 103558481 A, 2014.02.05,
CN 101232176 A, 2008.07.30,
WO 2013/056144 A1, 2013.04.18,
US 2011/0227581 A1, 2011.09.22,
US 2009/0230974 A1, 2009.09.17,
周尚礼等.同塔双回高压直流输电线路故障
行波特性研究.《电力系统保护与控制》.2014,第
42卷(第23期),第69-75页.
束洪春等.±800kV直流输电线路单端行波
故障定位的红绿色彩模式检测.《电工技术学
报》.2010,第25卷(第11期),第155-163页.

审查员 黄金霞

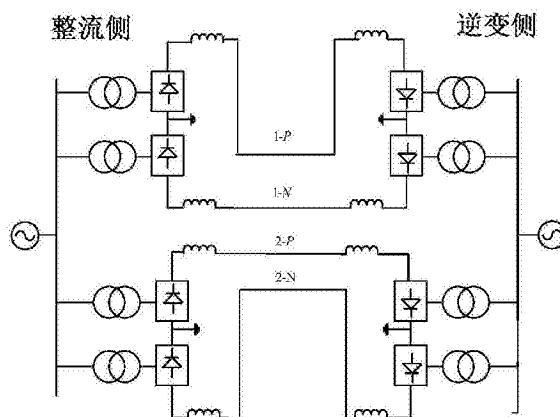
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于单回信息的同塔双回直流线路行
波故障定位方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于单回信息的同塔双
回直流线路行波故障定位方法,包括以下步骤:
1、利用阻抗矩阵和导纳矩阵构造相模变换矩阵,
得到电压解耦矩阵;2、根据得到的电压解耦矩
阵,得到消除第三线模量的单回电压变换矩阵;
3、采用信号处理方法得到单回变换矩阵解耦后
的故障电压行波分量波头到达首末端的时间;4、
构造基于单回信息的故障定位判据。本发明具有
提高了故障定位精度、响应速度快、可靠性高、运
算量少和易于实现等优点。



1. 一种基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、利用阻抗矩阵和导纳矩阵构造电压解耦矩阵;

步骤2、根据步骤1得到的电压解耦矩阵构造变换矩阵,得到消除第三线模分量的单回线路电压变换矩阵,得到消除第三线模分量的故障电压行波分量;

步骤3、对经过单回线路电压变换矩阵变换得到的故障电压行波分量进行信号处理,得到单回数据消除第三线模分量后的故障电压行波分量波头到达首末端的时间;

步骤4、构造基于单回线路电压变换矩阵的故障测距判据;利用单回线路电压变换矩阵得到的故障电压行波分量稳定,波头捕捉准确。

2. 如权利要求1所述的基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障定位方法,其特征在于,在步骤1中,所述电压解耦矩阵的构造方法包括以下步骤:

步骤11、分别用1P、1N、2P和2N分别代表同塔架设的I回正极线路、I回负极线路、II回正极线路和II回负极线路;

步骤12、设 $[U_{phase}] = [u_{1P} u_{1N} u_{2P} u_{2N}]^T$ 为极线电压列向量; $[I_{phase}] = [i_{1P} i_{1N} i_{2P} i_{2N}]^T$ 为极线电流列向量; $[Z_{phase}]$ 为线路的阻抗矩阵; $[Y_{phase}]$ 为线路的导纳矩阵,因此,得到电压电流的二阶微分方程为:

$$\begin{cases} \frac{d^2}{dx^2} [U_{phase}] = [Z_{phase}] [Y_{phase}] [U_{phase}] \\ \frac{d^2}{dx^2} [I_{phase}] = [Y_{phase}] [Z_{phase}] [I_{phase}] \end{cases};$$

步骤13、依据矩阵特征值理论,把两个矩阵对角化,设 $[Z_{phase}] [Y_{phase}]$ 的特征值矩阵为 $[\Lambda]$,特征向量矩阵为 $[T_v]$,因此有:

$$[Z_{phase}] [Y_{phase}] = [T_v] [\Lambda] [T_v]^{-1},$$

即:得到电压解耦矩阵 $[T_v]$ 。

3. 如权利要求1所述的基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障定位方法,其特征在于,在步骤2中,包括以下步骤:

步骤21、根据步骤1得到的电压解耦矩阵构造变换矩阵的变换式如下:

$$\begin{bmatrix} u_{1P} \\ u_{1N} \\ u_{2P} \\ u_{2N} \end{bmatrix} = [T_v] \begin{bmatrix} u_e \\ u_f \\ u_g \\ u_h \end{bmatrix},$$

其中,e表示地模分量,f、g和h分别表示第一线模分量、第二线模分量和第三线模分量, u_{1P} 表示I回正极线路故障电压量, u_{1N} 表示I回负极线路故障电压量, u_{2P} 表示II回正极线路故障电压量, u_{2N} 表示II回负极线路故障电压量, T_v 表示根据步骤1得到的电压解耦矩阵, u_e 表示经过步骤21的变换式得到的故障电压地模分量, u_f 表示经过步骤21的变换式得到的故障电压第一线模分量, u_g 表示经过步骤21的变换式得到的故障电压第二线模分量, u_h 表示经过步骤21的变换式得到的故障电压第三线模分量;

步骤22:根据此变换式构造消除第三线模分量的单回线路电压变换矩阵,单回线路电压变换式为:

$$\begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} = T_I \begin{bmatrix} U_{1P} \\ U_{1N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -T_{v24} & T_{v14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{1P} \\ U_{1N} \end{bmatrix} \text{ 或 } \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} = T_{II} \begin{bmatrix} U_{2P} \\ U_{2N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -T_{v44} & T_{v34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{2P} \\ U_{2N} \end{bmatrix},$$

其中, T_{v14} 、 T_{v24} 、 T_{v34} 、 T_{v44} 分别为1P、1N和2P、2N电压量在 $[T_v]$ 中第三线模分量的系数; T_{I} 、 T_{II} 分别为单回I线路、单回II线路的变换矩阵, U_y 即为单回I或单回II线路电压消除第三线模分量后的故障电压行波分量。

4. 如权利要求1所述的基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障定位方法, 其特征在于, 在步骤3中, 所述得到单回数据消除第三线模分量后的故障电压行波分量波头到达首末端的时间, 包括以下步骤:

步骤31、对经过变换后的故障电压行波分量进行信号处理;

步骤32、得到该故障电压行波分量波头到达线路首末端的时间。

5. 如权利要求1所述的基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障定位方法, 其特征在于, 在步骤4中, 构造所述故障测距判据包括以下步骤:

步骤41、根据双端量行波测距法的原理构造故障测距判据如下:

$$x = \frac{l - v_i(t_2 - t_1)}{2},$$

式中, x 表示故障点距首端的距离, l 表示线路全长, t_1 表示经过单回线路电压变换矩阵消除第三线模分量后的故障电压行波分量第一个波头到达首端的时间, t_2 表示到达末端的时间; v_i 为 i 模下的波速度, $i = 1, 2$; 上层故障或者上下层同时故障时经过单回线路电压变换矩阵得到的故障电压行波分量波头为第二线模分量, 当 $i = 2$ 时, 采用第二线模分量的波速度; 下层故障时经过单回线路电压变换矩阵得到的故障电压行波分量第一线模分量的奇异值明显高于第二线模分量, 捕捉到的波头为第一线模分量, 当 $i = 1$ 时, 采用第一线模分量的波速度;

步骤42、根据故障所发生的极线选择行波波速度, 若下层故障, 则选择第一线模分量的波速度, 若上层故障或者上下层同时故障, 则选择第二线模分量的波速度。

一种基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及同塔双回直流输电线路的测距方法,具体涉及一种基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障定位方法,该行波故障定位方法是一种基于同塔双回直流线路单回测量数据的两端量行波测距方法。

背景技术

[0002] 与高压交流输电相比,高压直流输电具有输送容量大,控制灵活迅速,单极传输功率大,线路成本低等优势,在长距离大容量电能传输、异步电网互联等领域有着广泛的应用。随着经济不断发展,土地资源愈加紧张,同塔双回直流输电线路由于具有占用输电走廊通道小,节省投资,有利于保护环境,建设速度快等特点,已经被各个国家广泛关注并得到了具体的工程应用。可以预见,随着我国直流工程建设的推进,同塔双回直流输电技术必将成为电能传输的主要方式。

[0003] 高压直流输电线路传输距离长,沿途经过的区域环境、地形等多变,是电力系统中比较容易发生故障的环节。因此,高压直流输电线路的故障测距意义重大。在故障发生后,快速准确的故障测距能大大减少巡线人员的工作量,迅速恢复供电,减少经济损失。在直流线路故障测距方法中,行波法测距通过测量暂态行波在故障点和测量点之间的传输距离进行测距,响应速度快,理论上不受线路类型、过渡电阻、故障类型等因素的影响,测距精度高,是直流输电线路故障测距的主要方法。然而,行波测距方法的精确性依赖于对初始行波达到时刻的准确标定。对于同塔双回直流线路,各回直流系统的控制保护对直流线路故障的判别还是基于本回电气量信息。在传统的两极单回直流线路行波故障定位方法中,通常采用相模变换的方法消去模量叠加对行波波头的影响。但对于同塔双回直流输电线路而言,由于同时存在线间耦合和相间耦合,且线路不采用对称换位措施,使得同塔双回直流输电线路的故障电磁耦合特性非常复杂,不能简单地作为平衡线路进行处理,

[0004] 因此,现有的传统的单回直流输电线路的相模变换方法以及故障测距算法不再适用同塔双回直流线路,亟需针对同塔双回直流输电线路的特点,研究新的单回直流输电线路变换矩阵并得到其适用的故障测距算法。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于弥补现有同塔双回直流输电线路故障测距技术的空白,提供一种基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障测距方法;该方法考虑到实际工程输电线路不采用对称换位措施,利用两端量行波法测距,具有响应速度快和测距精度高的特点。

[0006] 本发明的目的通过下述技术方案实现:一种基于单回信息的同塔双回直流线路行波故障测距方法,包括以下步骤:

[0007] (1) 构造解耦矩阵:由于故障后电压行波奇异值大于电流行波奇异值,因此根据电压行波进行故障测距。同塔双回输电线路不可视为对称线路,因此需要根据实际的线路阻抗矩阵和导纳矩阵构造相模变换矩阵。分别用1P、1N和2P、2N分别表示同塔双回线路的单回

I 正极、负极和单回 II 正极、负极线路。根据电力系统电磁暂态理论可以得到同塔双回的均匀传输线方程：

$$[0008] \quad \begin{cases} -\frac{d}{dx} [U_{phase}] = [Z_{phase}] [I_{phase}] \\ -\frac{d}{dx} [I_{phase}] = [Y_{phase}] [U_{phase}] \end{cases},$$

[0009] 式中, $[U_{phase}] = [u_{1P} u_{1N} u_{2P} u_{2N}]^T$ 为极线电压列向量; $[I_{phase}] = [i_{1P} i_{1N} i_{2P} i_{2N}]^T$ 为极线电流列向量; $[Z_{phase}]$ 为线路的阻抗矩阵; $[Y_{phase}]$ 为线路的导纳矩阵。

[0010] 根据上式可以得到电压电流的二阶微分方程：

$$[0011] \quad \begin{cases} \frac{d^2}{dx^2} [U_{phase}] = [Z_{phase}] [Y_{phase}] [U_{phase}] \\ \frac{d^2}{dx^2} [I_{phase}] = [Y_{phase}] [Z_{phase}] [I_{phase}] \end{cases},$$

[0012] 依据矩阵特征值理论, 把两个矩阵对角化, 设 $[Z_{phase}] [Y_{phase}]$ 的特征值矩阵为 $[\Lambda]$, 特征向量矩阵为 $[T_v]$, 因此有：

$$[0013] \quad [Z_{phase}] [Y_{phase}] = [T_v] [\Lambda] [T_v]^{-1},$$

[0014] 即得到了电压解耦矩阵 $[T_v]$ 。

[0015] (2) 构造单回变换矩阵：

[0016] 同塔双回线路解耦后的 3 个线模分量中第二线模分量和第三线模分量先到达且波速十分接近, 这两个分量在波头重叠使波头不易准确捕获, 且第三线模分量易受大地参数和线路参数的影响, 降低了测距的精确度; 而传统的单回解耦矩阵不能消除第三线模量的影响, 因此需要构造新的单回变换矩阵来消除第三线模分量。根据以上得到的电压解耦矩阵, 用各个模量线性表示线路各极电压量。求出同塔双回直流输电线路测量端的电压瞬时值, 其中 e 表示地模分量, f、g 和 h 分别表示第一线模分量、第二线模分量和第三线模分量, 则各极的电压量可以表示为：

$$[0017] \quad \begin{bmatrix} u_{1P} \\ u_{1N} \\ u_{2P} \\ u_{2N} \end{bmatrix} = [T_v] \begin{bmatrix} u_e \\ u_f \\ u_g \\ u_h \end{bmatrix},$$

[0018] 根据 $[T_v]$ 中第三线模分量在单回 I 正极、负极和单回 II 正极、负极极电压中所占比例构造单回变换矩阵。根据新的单回变换矩阵即可得到单回线路电压消除第三线模分量后的电压分量。新的单回变换矩阵形式为：

$$[0019] \quad \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} = T_I \begin{bmatrix} U_{1P} \\ U_{1N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -T_{v24} & T_{v14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{1P} \\ U_{1N} \end{bmatrix} \text{ 或 } \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} = T_{II} \begin{bmatrix} U_{2P} \\ U_{2N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -T_{v44} & T_{v34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{2P} \\ U_{2N} \end{bmatrix},$$

[0020] 其中, T_{v14} 、 T_{v24} 、 T_{v34} 、 T_{v44} 分别为 1P、1N 和 2P、2N 电压量在 $[T_v]$ 中第三线模分量的系数; T_I 、 T_{II} 为单回 I、II 的变换矩阵, U_y 即为单回 I 或单回 II 线路电压消除第三线模量后的电压分量。

[0021] (3) 获取故障行波波头到达时间：

[0022] 利用信号处理方法对处理后的电压行波分量进行分析, 获取故障行波分量到达首

末端的时间。

[0023] (4) 构造基于单回信息的故障测距判据：

[0024] 设故障点距首端的距离为 x ，线路全长 l ，经过单回变换矩阵消除第三线模分量后的故障电压行波第一个波头到达首端的时间为 t_1 ，到达末端的时间为 t_2 ，则：

$$[0025] \quad \frac{l-x}{v_i} - \frac{x}{v_i} = t_2 - t_1,$$

[0026] 因此有：

$$[0027] \quad x = \frac{l - v_i(t_2 - t_1)}{2},$$

[0028] 其中， v_i 为 i 模下的波速度， $i=1,2$ ，上层故障或者上下层同时故障时经过单回变换矩阵得到的电压分量波头为第二线模分量，因此 $i=2$ 即用第二个线模量的波速度，下层故障时经过单回变换矩阵得到的电压分量第一个线模分量的奇异值明显高于第二个线模分量，捕捉到的波头为第一个线模分量，因此 $i=1$ 即用第一个线模分量的波速度。

[0029] 本发明的工作原理：本发明的基于单回信息的同塔双回直流输电线路行波测距方法是构造一种新的单回变换矩阵来消除线路电压第三线模分量的双端量行波测距方法。由于同塔双回直流输电线路不仅同一回线存在相间互感，而且不同回线间也存在线间互感，实际工程中的同塔双回直流线路不采用对称换位措施，即不能把线路简单地作为平衡线路进行处理，因此利用传统的单回解耦矩阵已经不适用于同塔双回直流线路单回数据量解耦，经过传统解耦矩阵解耦后的电压分量仍然包含地模量和三个线模分量，而由于第二线模分量和第三线模分量波速度相近，在波头叠加，使得波头捕获的难度增大，且第三线模分量受线路频率参数和大地电阻影响大。因此，需要构造一种新的单回变换矩阵对单回数据进行解耦消除第三线模分量对行波测距的影响。因此本发明基于单回数据，根据同塔双回相模解耦矩阵构造单回变换矩阵消除第三线模分量从而得到相对稳定的波形，并在上层线路故障或上下层线路同时故障时采用第二线模波速，下层故障时采用第一线模波速构造测距算法，从而得到了一种同塔双回直流输电线路的行波测距方法。

[0030] 与现有技术相比，本发明具有以下优点与有益效果：

[0031] 第一、适用于不对称换位的同塔双回直流输电线路故障测距。

[0032] 第二、基于单回信息进行行波测距，仅需提取本回线路的数据，运算量少、响应速度快。

[0033] 第三、精确度高。基于消除第三线模分量的单回变换矩阵，避免了利用传统的单回解耦矩阵解耦后电压不稳定、波头不易获取的缺点，且对于不同极故障利用不同线模量波速度，提高了测距精确度。

[0034] 第四、可靠性高，故障精度基本不受过渡电阻、线路类型、故障类型的影响，保证了故障测距精度。

附图说明

[0035] 图1是本发明的同塔双回直流输电系统模型图。

[0036] 图2是本发明的同塔双回直流输电系统杆塔结构图。

[0037] 图3(a)是单回首端数据经过单回变换矩阵解耦后的电压行波分量。

[0038] 图3 (b) 是单回末端数据经过单回变换矩阵解耦后的电压行波分量。

[0039] 图4 (a) 是单回首端数据经过单回变换矩阵解耦后的电压行波分量小波分解结果。

[0040] 图4 (b) 是单回末端数据经过单回变换矩阵解耦后的电压行波分量小波分解结果。

具体实施方式

[0041] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步地详细说明,但本发明的实施方式不限于此。

[0042] 实施例

[0043] 如图1所示,采用PSCAD/EMTDC仿真软件,构建溪洛渡送电广东±500kV同塔双回直流输电系统模型,其杆塔结构如图2所示;同塔双回双极直流输电线路模型采用依频参数模型(Frequency Dependent Model),线路全长1254km;采样频率为1MHz,设置单极故障发生于1N的不同位置,故障过渡电阻包括金属性接地和经500Ω过渡电阻接地;该系统利用本发明的故障测距方法,具体包括以下步骤:

[0044] S1、提取单位阻抗矩阵和单位导纳矩阵:根据杆塔的模型得到同塔双回直流输电线路的单位阻抗矩阵 $[Z_{\text{phase}}]$ 和单位导纳矩阵 $[Y_{\text{phase}}]$:

[0045]

$$Z_{\text{phase}} = \begin{bmatrix} 0.3878\text{E-}02+\text{i}^*0.7751\text{E-}01 & 0.4396\text{E-}02+\text{i}^*0.2816\text{E-}01 & 0.4376\text{E-}02+\text{i}^*0.2325\text{E-}01 & 0.3782\text{E-}02+\text{i}^*0.2715\text{E-}01 \\ 0.4396\text{E-}02+\text{i}^*0.2816\text{E-}01 & 0.5196\text{E-}02+\text{i}^*0.8052\text{E-}01 & 0.5086\text{E-}02+\text{i}^*0.2656\text{E-}01 & 0.4377\text{E-}02+\text{i}^*0.2326\text{E-}01 \\ 0.4377\text{E-}02+\text{i}^*0.2326\text{E-}01 & 0.5086\text{E-}02+\text{i}^*0.2656\text{E-}01 & 0.5196\text{E-}02+\text{i}^*0.8052\text{E-}01 & 0.4396\text{E-}02+\text{i}^*0.2816\text{E-}01 \\ 0.3783\text{E-}02+\text{i}^*0.2716\text{E-}01 & 0.4377\text{E-}02+\text{i}^*0.2326\text{E-}01 & 0.4396\text{E-}02+\text{i}^*0.2816\text{E-}01 & 0.3879\text{E-}02+\text{i}^*0.7751\text{E-}01 \end{bmatrix},$$

[0046]

$$Y_{\text{phase}} = \begin{bmatrix} 0.1000\text{E-}10+\text{i}^*0.7505\text{E-}06 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.9326\text{E-}07 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.3654\text{E-}07 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.1384\text{E-}06 \\ 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.9326\text{E-}07 & 0.1000\text{E-}10+\text{i}^*0.9348\text{E-}06 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.2514\text{E-}07 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.3654\text{E-}07 \\ 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.3654\text{E-}07 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.2514\text{E-}07 & 0.1000\text{E-}10+\text{i}^*0.9348\text{E-}06 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.9326\text{E-}07 \\ 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.1384\text{E-}06 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.3654\text{E-}07 & 0.0000\text{E+}00+\text{i}^*-.9326\text{E-}07 & 0.1000\text{E-}10+\text{i}^*0.7505\text{E-}06 \end{bmatrix},$$

[0047] S2、构造相模变换矩阵:根据得到的单位阻抗矩阵 $[Z_{\text{phase}}]$ 和单位导纳矩阵 $[Y_{\text{phase}}]$,求取电压解耦矩阵 $[T_v]$:

$$[Z_{\text{phase}}][Y_{\text{phase}}] = [T_v][\Lambda][T_v]^{-1},$$

[0049] 根据上述式子可以得到:

$$[0050] \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \\ U_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4153 - 0.0144\text{i} & -0.1725 + 0.0007\text{i} & 0.6964 & 0.6596 \\ 0.5721 & -0.6858 & -0.1229 + 0.0006\text{i} & -0.2544 + 0.0134\text{i} \\ 0.5721 & 0.6858 & 0.1229 - 0.0006\text{i} & -0.2544 + 0.0134\text{i} \\ 0.4153 - 0.0144\text{i} & 0.1725 - 0.0007\text{i} & -0.6964 & 0.6596 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_e \\ U_f \\ U_g \\ U_h \end{bmatrix},$$

[0051] S3、构造单回变换矩阵:

[0052] 依据所得到的电压解耦矩阵,线路故障发生在1N极,则可以构造单回I线路的变换矩阵:

$$[0053] T_r = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.2544 - 0.0134\text{i} & 0.6596 \end{bmatrix},$$

[0054] 则单回线路I测量数据经过变换矩阵 T_r 后得到电压分量:

$$[0055] U_y = 0.483U_0 - 0.496U_1 + 0.0965U_2;$$

[0056] S4、对经过单回变换矩阵解耦后的单回I的两端电压分量进行5层小波分解,得到解耦后的故障电压行波分量波头到达首末端的时间。

[0057] S5、故障测距:线路1N极故障,属于下层故障,采用第一线模分量的波速,根据实际参数取波速为 $v_1=2.77*10^8\text{m/s}$,根据两端行波测距判据得到故障点位置:

$$[0058] \quad x = \frac{l - v_i(t_2 - t_1)}{2},$$

[0059] 其中, x 为故障点距离首端的距离; l 为线路总长度; v_i 为 i 模下的波速度, $i=1,2$,当上层故障时 $i=2$,下层故障时 $i=1$; t_1 为单回线路数据消除第三线模量的首端电压行波分量波头到达时间; t_2 为单回线路数据消除第三线模量的末端电压行波分量波头到达时间。

[0060] 如图3(a)和图3(b)所示,为距离首端1000km处1N极发生金属性接地故障时首、末端电压行波经过单回变换矩阵后的电压行波分量,图4(a)和图4(b)分别为图3(a)和图3(b)中电压行波分量5层小波分解后的结果。

[0061]

故障距离/km	过渡电阻/ Ω	t_1 /ms	t_2 /ms	测距结果/km
1N 极 10	0	0.04	4.49	10.675
	500	0.06	4.50	9.808
1N 极 200	0	0.72	3.80	200.420
	500	0.72	3.80	200.420
1N 极 627	0	2.26	2.26	627.000
	500	2.26	2.26	627.000
1N 极 1000	0	3.62	0.92	1000.950
	500	3.62	0.92	1000.950
2N 极 10	0	0.04	4.16	11.040
	500	0.04	4.16	11.040
2N 极 200	0	0.66	3.52	199.430
	500	0.66	3.52	199.430
2N 极 627	0	2.10	2.10	627.000
	500	2.10	2.10	627.000
2N 极 1000	0	0.84	3.34	1000.750
	500	0.84	3.34	1000.750

[0062] 表1

[0063] 如表1所示,列出了单极故障发生于不同位置、经过不同过渡电阻接地的故障定位结果。

[0064] 由表1的故障定位结果可知,本发明所提的故障定位方法是准确有效的,且在故障情况下依然具有良好的精度。

[0065] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受所述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

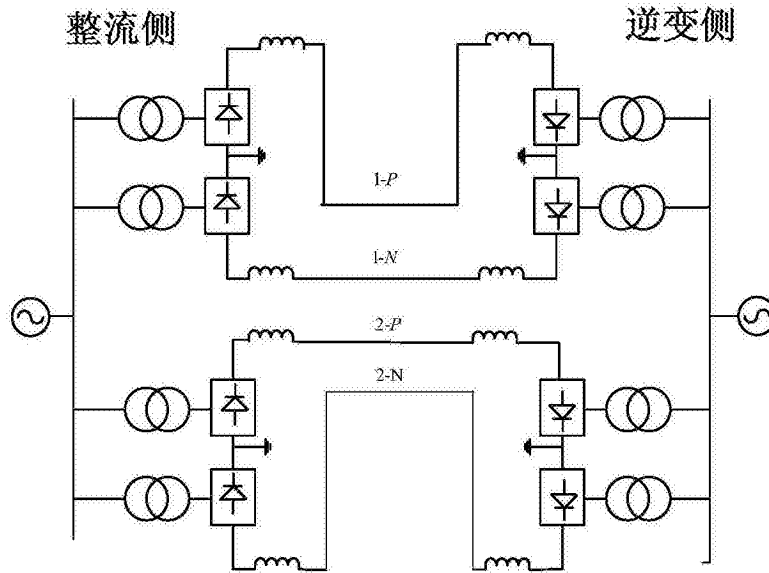


图1

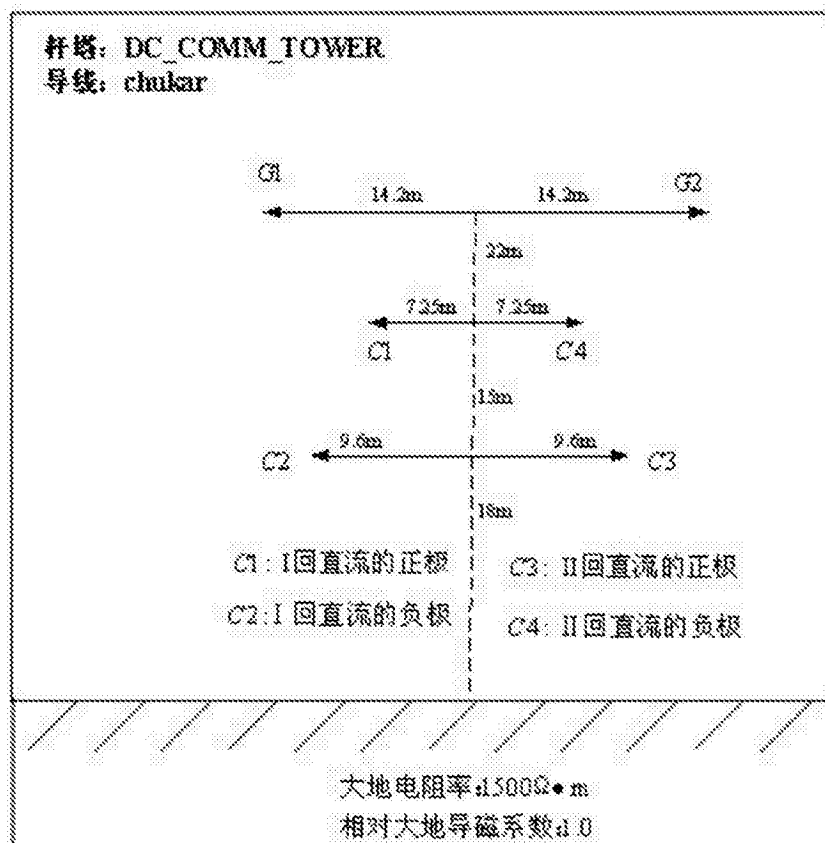


图2

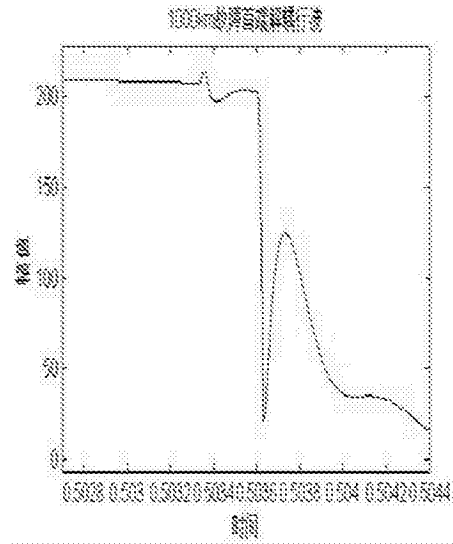


图3 (a)

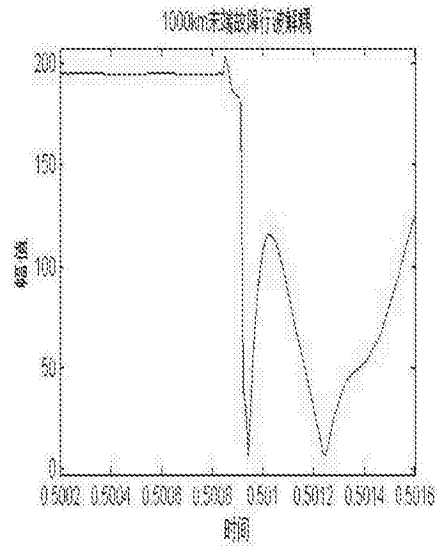


图3 (b)

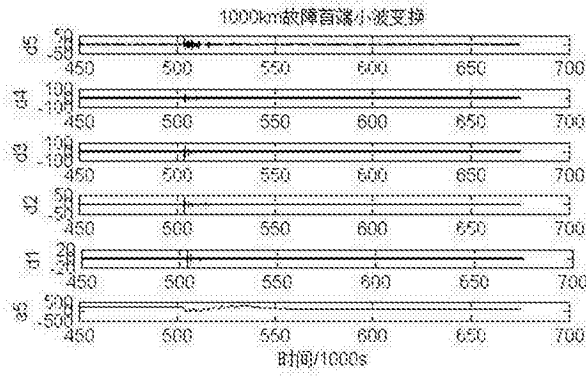


图4 (a)

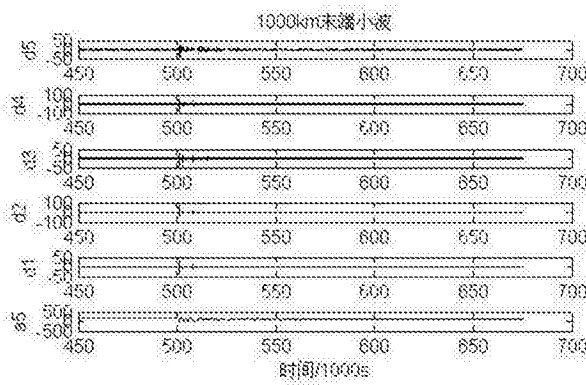


图4 (b)