



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105548802 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 04

(21) 申请号 201510881677. 5

(22) 申请日 2015. 12. 04

(71) 申请人 昆明理工大学

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路  
253 号

(72) 发明人 束洪春 余多 田鑫萃

(51) Int. Cl.

G01R 31/08(2006. 01)

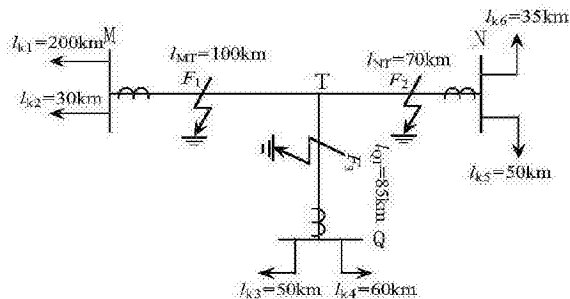
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于故障行波沿线分布特性的 T 接线路  
三端不同步故障测距方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于故障行波沿线分布特性的 T 接线路三端不同步故障测距方法,属于电力系统继电保护技术领域。当三端都装设有行波测距装置的 T 接输电线路发生故障时,于三端观测,分别对短时窗内量测端获得的故障行波数据计算沿线电压分布和沿线电流分布,根据得到的沿线电压分布、沿线电流分布和波阻抗进行沿线方向行波分解获得沿线分布的方向行波,再利用其正向行波和反向行波构造测距函数,最后根据三端的测距函数分布规律实现 T 接输电线路的故障定位。本发明针对 T 接输电线路进行故障定位,其原理简单,不依赖三端数据的同步,且不受故障瞬时性、故障过渡电阻变化等因素的影响,测距结果准确可靠。



1.一种基于故障行波沿线分布特性的T接线路三端不同步故障测距方法,其特征在于:三端都装设有行波测距装置的T接输电线路发生故障时,于三端观测,分别对短时窗内量测端获得的故障行波数据计算沿线电压分布和沿线电流分布,根据得到的沿线电压分布、沿线电流分布和波阻抗进行沿线方向行波分解获得沿线分布的方向行波,再利用其正向行波和反向行波构造测距函数,最后根据三端的测距函数分布规律实现T接输电线路的故障定位。

2.按照权利要求1所述的基于故障行波沿线分布特性的T接线路三端不同步故障测距方法,其特征在于具体步骤如下:

(1)沿线行波分布的计算:当三端都装设有行波测距装置的T接输电线路中,任一支路发生单相接地故障时,量测端M、N和Q分别获得短时窗内的故障行波数据,利用式(1)和式(2)分别计算T接线路的三条支路沿线电压分布和沿线电流分布;

$$u_{k,x,s}(x,t) = \frac{1}{2} \left( \frac{Z_{c,s} + r_s x/4}{Z_{c,s}} \right)^2 \left[ u_{k,s} \left( t + \frac{x}{v_s} \right) - i_{k,s} \left( t + \frac{x}{v_s} \right) \left( Z_{c,s} + \frac{r_s x}{4} \right) \right] \\ + \frac{1}{2} \left( \frac{Z_{c,s} - r_s x/4}{Z_{c,s}} \right)^2 \left[ u_{k,s} \left( t - \frac{x}{v_s} \right) + i_{k,s} \left( t - \frac{x}{v_s} \right) \left( Z_{c,s} - r_s x \right) \right] \\ - \left( \frac{r_s x/4}{Z_{c,s}} \right)^2 u_{k,s}(t) - \frac{r_s x}{4} \left( \frac{Z_{c,s} + r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) \left( \frac{Z_{c,s} - r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) i_{k,s}(t) \quad (1)$$

$$i_{k,x,s}(x,t) = \frac{1}{2Z_{c,s}} \left( \frac{Z_{c,s} + r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) [u_{k,s}(t+x/v_s) - i_{k,s}(t+x/v_s) \cdot (Z_{c,s} + r_s x/4)] \\ - \frac{1}{2Z_{c,s}} \left( \frac{Z_{c,s} - r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) [u_{k,s}(t-x/v_s) + i_{k,s}(t-x/v_s) \cdot (Z_{c,s} - r_s x/4)] \\ - \frac{1}{2Z_{c,s}} \cdot \frac{r_s x}{2Z_{c,s}} [u_{k,s}(t) - i_{k,s}(t)(r_s x/4)] \quad (2)$$

式中,s为线模分量;k表示T接输电线路的三端母线;x为沿线任意一点到k端的距离;v为线路的波速度;Z<sub>c,s</sub>为线路的特征阻抗;r<sub>s</sub>为线路单位长度电阻;t表示当前时刻;u<sub>k,s</sub>(t)为k端获得的s模分量电压行波;i<sub>k,s</sub>(t)为k端获得的s模分量电流行波;u<sub>k,x,s</sub>(x,t)为t时刻距k端距离为x处的电压;i<sub>k,x,s</sub>(x,t)为t时刻距k端距离为x处的电流;

(2)沿线分布的正向行波和反向行波计算:根据式(3)和式(4)分别计算T接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波、沿线分布的反向电压行波,即:

$$u^+_{k,x,s} = (u_{k,x,s} + Z_{c,s} i_{k,x,s})/2 \quad (3)$$

$$u^-_{k,x,s} = (u_{k,x,s} - Z_{c,s} i_{k,x,s})/2 \quad (4)$$

式中,u<sup>+</sup><sub>k,x,s</sub>为T接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波;u<sup>-</sup><sub>k,x,s</sub>为T接线路的三条支路沿线分布的反向电压行波;

(3)沿线分布的正向行波梯度和反向行波梯度的计算:利用沿线分布的正向电压行波相邻两个采样值之差构造T接线路的三条支路沿线分布的正向电压梯度,即:

$$c^+_{k,dif\_u}(t) = [u^+_{k,x,s}(t) - u^+_{k,x,s}(t - \Delta t)] / \Delta t \quad (5)$$

利用沿线分布的反向电压行波相邻两个采样值之差构造T接线路的三条支路沿线分布

的反向电压梯度,即:

$$c_{k,dif\_u}^-(t)=[u_{k,x,s}^-(t)-u_{k,x,s}^-(t-\Delta t)]/\Delta t \quad (6)$$

式中, $t$ 表示当前时刻, $\Delta t$ 表示采样间隔,以毫秒为单位; $c_{k,dif\_u}^+(t)$ 为T接线路的三条支路沿线分布的正向电压梯度; $c_{k,dif\_u}^-(t)$ 为T接线路的三条支路沿线分布的反向电压梯度;

(4)构造沿线分布的正向行波突变和反向行波突变:根据式(7)提取T接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波的突变,即:

$$S_{k,2u}^+(x,t)=\sum_{n=t-R\Delta t+1}^t [c_{k,dif\_u}^+(t)]^3 \quad (7)$$

根据式(8)提取T接线路的三条支路沿线分布的反向电压行波的突变,即:

$$S_{k,2u}^-(x,t)=\sum_{n=t-R\Delta t+1}^t [c_{k,dif\_u}^-(t)]^3 \quad (8)$$

式中, $\Delta t$ 表示采样间隔, $R$ 取为3; $S_{k,2u}^+(x,t)$ 为T接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波的突变; $S_{k,2u}^-(x,t)$ 为T接线路的三条支路沿线分布的反向电压行波的突变;

(5)测距函数的构造:利用式(11)构造T接线路三条支路的测距函数,即:

$$f_{ku}(x)=\int_{t_0}^{t_0+l_{kT}/v} S_{k,2u}^+(x,t) \times S_{k,2u}^-(x,t) dt \quad x \in [0, l_{kT}] \quad (9)$$

式中, $k$ 表示T接输电线路的三端母线; $t_0$ 表示故障初始行波到达量测端的时刻; $l_{kT}$ 为T接线路三条支路的线长; $f_{ku}(x)$ 为T接线路三条支路的测距函数;

(6)故障定位判据的构造:

根据步骤(5)计算得到的T接线路三条支路的测距函数 $f_{ku}(x)$ , $k$ 表示T接输电线路的三端母线, $k$ 为M、N或Q,即 $f_{Mu}(x)$ 、 $f_{Nu}(x)$ 和 $f_{Qu}(x)$ ,它们分别沿支路 $l_{MT}$ 、 $l_{NT}$ 和 $l_{QT}$ 线长范围内的突变点对应距离为 $x_M$ 、 $x_N$ 和 $x_Q$ ;将 $x_M$ 、 $x_N$ 和 $x_Q$ 两两做“与”的计算,得到 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N)$ 、 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q)$ 、 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q)$ ;其中, $\text{sgn}$ 为符号函数;&为“与”运算;最后构造T接输电线路故障定位判据如下:

若 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N) = 0$ ,且 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,且 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q) = 1$ ,则故障位于MT支路,且当 $\text{sgn}(x_M) < 0$ 时,故障距离M端 $x_M$ ;当 $\text{sgn}(x_M) > 0$ 时,故障距离M端 $l_1 - x_M$ ;

若 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N) = 0$ , $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q) = 1$ ,且 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,则故障位于NT支路,且当 $\text{sgn}(x_N) < 0$ 时,故障距离N端 $x_N$ ;当 $\text{sgn}(x_N) > 0$ 时,故障距离N端 $l_2 - x_N$ ;

若 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N) = 1$ , $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,且 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,则故障位于QT支路,且当 $\text{sgn}(x_Q) < 0$ 时,故障距离Q端 $x_Q$ ;当 $\text{sgn}(x_Q) > 0$ 时,故障距离Q端 $l_3 - x_Q$ ;

若测距函数 $f_u(x)$ 在其沿线路分布上没有突变,则首先判断该故障不在测距函数所在支路,且不参与上述判断。

## 一种基于故障行波沿线分布特性的T接线路三端不同步故障测距方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于故障行波沿线分布特性的T接线路三端不同步故障测距方法,属于电力系统继电保护技术领域。

### 背景技术

[0002] 在电力系统中,T接线路一般具有输送功率大,负荷重等特点,一旦线路发生故障,可能会造成大面积的停电事故。因此,在T接线路故障时,快速、准确地对T接线路的故障点进行定位,不仅能够降低电气维护人员排除故障的工作难度和工作量,缩短因故障造成的停电时间,提高供电可靠性,而且会给电力生产部门产生巨大的经济效益和社会效益。

[0003] 故障测距方法按原理分为阻抗法、故障分析法和行波法。行波测距是利用故障行波在母线与故障点之间的传播时间来测定故障距离,其测距精度较高,适用范围较广。T型线路由于结构上的特殊性,仅利用单端数据无法确定故障点位置,现有的测距算法都是基于多端数据。由于实际中同步误差、互感器相移等因素,很难同时接收到三段数据,做到完全同步。因此,急需提出一种不依赖三端数据同步的T接线路行波测距方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是克服传统T接输电线路故障测距需要三端数据同步的局限性,提出一种基于故障行波沿线分布特性的T接线路三端不同步故障测距方法。

[0005] 本发明的技术方案为:一种基于故障行波沿线分布特性的T接线路三端不同步故障测距方法,三端都装设有行波测距装置的T接输电线路发生故障时,于三端观测,分别对短时窗内量测端获得的故障行波数据计算沿线电压分布和沿线电流分布,根据得到的沿线电压分布、沿线电流分布和波阻抗进行沿线方向行波分解获得沿线分布的方向行波,再利用其正向行波和反向行波构造测距函数,最后根据三端的测距函数分布规律实现T接输电线路的故障定位。

[0006] 具体步骤是:

[0007] (1)沿线行波分布的计算:当三端都装设有行波测距装置的T接输电线路中,任一支路发生单相接地故障时,量测端M、N和Q分别获得短时窗内的故障行波数据。利用式(1)和式(2)分别计算T接线路的三条支路沿线电压分布和沿线电流分布。

$$\begin{aligned}
u_{k,x,s}(x,t) &= \frac{1}{2} \left( \frac{Z_{c,s} + r_s x/4}{Z_{c,s}} \right)^2 \left[ u_{k,s} \left( t + \frac{x}{v_s} \right) - i_{k,s} \left( t + \frac{x}{v_s} \right) \left( Z_{c,s} + \frac{r_s x}{4} \right) \right] \\
&+ \frac{1}{2} \left( \frac{Z_{c,s} - r_s x/4}{Z_{c,s}} \right)^2 \left[ u_{k,s} \left( t - \frac{x}{v_s} \right) + i_{k,s} \left( t - \frac{x}{v_s} \right) \left( Z_{c,s} - r_s x \right) \right] \\
&- \left( \frac{r_s x/4}{Z_{c,s}} \right)^2 u_{k,s}(t) - \frac{r_s x}{4} \left( \frac{Z_{c,s} + r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) \left( \frac{Z_{c,s} - r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) i_{k,s}(t)
\end{aligned}
\tag{1}$$

$$\begin{aligned}
i_{k,x,s}(x,t) &= \frac{1}{2Z_{c,s}} \left( \frac{Z_{c,s} + r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) [u_{k,s}(t+x/v_s) - i_{k,s}(t+x/v_s) \cdot (Z_{c,s} + r_s x/4)] \\
&- \frac{1}{2Z_{c,s}} \left( \frac{Z_{c,s} - r_s x/4}{Z_{c,s}} \right) [u_{k,s}(t-x/v_s) + i_{k,s}(t-x/v_s) \cdot (Z_{c,s} - r_s x/4)] \\
&- \frac{1}{2Z_{c,s}} \cdot \frac{r_s x}{2Z_{c,s}} [u_{k,s}(t) - i_{k,s}(t)(r_s x/4)]
\end{aligned}
\tag{2}$$

[0010] 式中,  $s$  为线模分量;  $k$  表示 T 接输电线路的三端母线;  $x$  为沿线任意一点到  $k$  端的距离;  $v$  为线路的波速度;  $Z_{c,s}$  为线路的特征阻抗;  $r_s$  为线路单位长度电阻;  $t$  表示当前时刻;  $u_{k,s}(t)$  为  $k$  端获得的  $s$  模分量电压行波;  $i_{k,s}(t)$  为  $k$  端获得的  $s$  模分量电流行波;  $u_{k,x,s}(x,t)$  为  $t$  时刻距  $k$  端距离为  $x$  处的电压;  $i_{k,x,s}(x,t)$  为  $t$  时刻距  $k$  端距离为  $x$  处的电流。

[0011] (2) 沿线分布的正向行波和反向行波计算: 根据式(3)和式(4)分别计算 T 接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波、沿线分布的反向电压行波, 即

$$u_{k,x,s}^+ = (u_{k,x,s} + Z_{c,s} i_{k,x,s}) / 2 \tag{3}$$

$$u_{k,x,s}^- = (u_{k,x,s} - Z_{c,s} i_{k,x,s}) / 2 \tag{4}$$

[0014] 式中,  $u_{k,x,s}^+$  为 T 接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波;  $u_{k,x,s}^-$  为 T 接线路的三条支路沿线分布的反向电压行波。

[0015] (3) 沿线分布的正向行波梯度和反向行波梯度的计算: 利用沿线分布的正向电压行波相邻两个采样值之差构造 T 接线路的三条支路沿线分布的正向电压梯度, 即

$$c_{k,dif-u}^+ = [u_{k,x,s}^+(t) - u_{k,x,s}^+(t - \Delta t)] / \Delta t \tag{5}$$

[0017]

[0018] 利用沿线分布的反向电压行波相邻两个采样值之差构造 T 接线路的三条支路沿线分布的反向电压梯度, 即

$$c_{k,dif-u}^- = [u_{k,x,s}^-(t) - u_{k,x,s}^-(t - \Delta t)] / \Delta t \tag{6}$$

[0020]

[0021] 式中,  $t$  表示当前时刻,  $\Delta t$  表示采样间隔, 以毫秒为单位;  $c_{k,dif-u}^+(t)$  为 T 接线路的三条支路沿线分布的正向电压梯度;  $c_{k,dif-u}^-(t)$  为 T 接线路的三条支路沿线分布的反向电压梯度。

[0022] (4) 构造沿线分布的正向行波突变和反向行波突变: 根据式(7)提取 T 接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波的突变, 即

$$[0023] \quad S_{k,2u}^+(x,t) = \sum_{n=t-R\Delta t+1}^t [c_{k,dif-u}^+(t)]^3 \quad (7)$$

[0024] 根据式(8)提取T接线路的三条支路沿线分布的反向电压行波的突变,即

$$[0025] \quad S_{k,2u}^-(x,t) = \sum_{n=t-R\Delta t+1}^t [c_{k,dif-u}^-(t)]^3 \quad (8)$$

[0026] 式中,  $\Delta t$ 表示采样间隔,R取为3; $S_{k,2u}^+(x,t)$ 为T接线路的三条支路沿线分布的正向电压行波的突变; $S_{k,2u}^-(x,t)$ 为T接线路的三条支路沿线分布的反向电压行波的突变。

[0027] (5)测距函数的构造:利用式(11)构造T接线路三条支路的测距函数,即

$$[0028] \quad f_{ku}(x) = \int_{t_0}^{t_0+l_{kT}/v} S_{k,2u}^+(x,t) \times S_{k,2u}^-(x,t) dt \quad x \in [0, l_{kT}] \quad (9)$$

[0029] 式中,k表示T接输电线路的三端母线; $t_0$ 表示故障初始行波到达量测端的时刻;

[0030]  $l_{kT}$ 为T接线路三条支路的线长; $f_{ku}(x)$ 为T接线路三条支路的测距函数。

[0031] (6)故障定位判据的构造:

[0032] 根据步骤(5)计算得到的T接线路三条支路的测距函数 $f_{ku}(x)$ ,k表示T接输电线路的三端母线,k为M、N或Q,即 $f_{Mu}(x)$ 、 $f_{Nu}(x)$ 和 $f_{Qu}(x)$ ,它们分别沿支路 $l_{MT}$ 、 $l_{NT}$ 和 $l_{QT}$ 线长范围内的突变点对应距离为 $x_M$ 、 $x_N$ 和 $x_Q$ ;将 $x_M$ 、 $x_N$ 和 $x_Q$ 两两做“与”的计算,得到 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N)$ 、 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q)$ 、 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q)$ 。其中,sgn为符号函数;&为“与”运算;最后构造T接输电线路故障定位判据如下:

[0033] 若 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N) = 0$ ,且 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,且 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q) = 1$ ,则故障位于MT支路。且当 $\text{sgn}(x_M) < 0$ 时,故障距离M端 $x_M$ ;当 $\text{sgn}(x_M) > 0$ 时,故障距离M端 $l_1 - x_M$ 。

[0034] 若 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N) = 0$ , $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q) = 1$ ,且 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,则故障位于NT支路。且当 $\text{sgn}(x_N) < 0$ 时,故障距离N端 $x_N$ ;当 $\text{sgn}(x_N) > 0$ 时,故障距离N端 $l_2 - x_N$ 。

[0035] 若 $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_N) = 1$ , $\text{sgn}(x_M) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,且 $\text{sgn}(x_N) \& \text{sgn}(x_Q) = 0$ ,则故障位于QT支路。且当 $\text{sgn}(x_Q) < 0$ 时,故障距离Q端 $x_Q$ ;当 $\text{sgn}(x_Q) > 0$ 时,故障距离Q端 $l_3 - x_Q$ 。

[0036] 若测距函数 $f_u(x)$ 在其沿线路分布上没有突变,则首先判断该故障不在测距函数所在支路,且不参与上述判断。

[0037] 本发明的有益效果是:

[0038] 本发明针对T接输电线路进行故障定位,其原理简单,不依赖三端数据的同步,且不受故障瞬时性、故障过渡电阻变化等因素的影响,测距结果准确可靠。

## 附图说明

[0039] 图1为实施例1、实施例2、实施例3的T接输电线路结构图;

[0040] 图2为实施例1中MT支路金属性接地故障时三个量测端测距函数的沿线分布;

[0041] 图3为实施例2中NT支路金属性接地故障时三个量测端测距函数的沿线分布;

[0042] 图4为实施例3中QT支路金属性接地故障时三个量测端测距函数的沿线分布。

## 具体实施方式

[0043] 以下结合附图和具体实施方式,对本发明作进一步说明。

[0044] 一种基于故障行波沿线分布特性的T接线路三端不同步故障测距方法,三端都装有行波测距装置的T接输电线路发生故障时,于三端观测,分别对短时窗内量测端获得的

故障行波数据计算沿线电压分布和沿线电流分布,根据得到的沿线电压分布、沿线电流分布和波阻抗进行沿线方向行波分解获得沿线分布的方向行波,再利用其正向行波和反向行波构造测距函数,最后根据三端的测距函数分布规律实现T接输电线路的故障定位。

[0045] 实施例1:如图1所示T接线路,分别由线路 $l_{MT}$ 、 $l_{NT}$ 和 $l_{QT}$ 组成,其中 $l_{MT}=100\text{km}$ , $l_{NT}=70\text{km}$ , $l_{QT}=85\text{km}$ 。该T接输电线路的三端母线M、N和Q端均为多出线母线,且三端都装设有行波测距装置。当MT支路距离M端40km发生A相接地故障。于M端,窗长为 $l_1/(2v)=0.168\text{ms}$ ,测距函数 $f_{Mu}(x)$ 在 $l_1$ 线长范围内分布结果如图2(a)所示;于N端,窗长为 $l_2/(2v)=0.118\text{ms}$ ,测距函数 $f_{Nu}(x)$ 在 $l_2$ 线长范围内分布结果如图2(b)所示;于Q端,窗长为 $l_3/(2v)=0.142\text{ms}$ ,测距函数 $f_{Qu}(x)$ 在 $l_3$ 线长范围内分布结果如图2(d)所示。

[0046] 由图2可知,于M端观测,在 $[t_0, t_0+l_1/(2v)]$ 时窗内,在 $[0, l_1]$ 线长范围内,测距函数 $f_{Mu}(x)$ 负极性最大的突变点对应 $x=40.00\text{km}$ ;对于N端来说在 $[t_0, t_0+l_2/(2v)]$ 时窗内,在 $[0, l_2]$ 线长范围内测距函数没有突变点,可以判断出故障不是位于NT支路;对于Q端来说在 $[t_0, t_0+l_3/(2v)]$ 时窗内,在 $[0, l_3]$ 线长范围内测距函数 $f_{Qu}(x)$ 正极性最大的突变点对应 $x=39.9\text{km}$ ,且 $\text{sgn}(x_M)\&\text{sgn}(x_Q)=0$ ,可知故障位于MT支路或QT支路。为了进一步判断故障支路,于N端,窗长为 $l_3/(2v)=0.142\text{ms}$ 时窗内计算测距函数沿线路 $l_2$ 分布,由图2(c)可知, $f_{Nu}(x)$ 正极性最大的突变点对应 $x=40\text{km}$ ,可知 $\text{sgn}(x_M)\&\text{sgn}(x_N)=0$ ,且 $\text{sgn}(x_M)\&\text{sgn}(x_Q)=0$ ,且 $\text{sgn}(x_N)\&\text{sgn}(x_Q)=1$ ,可知故障位于MT支路,且 $\text{sgn}(x_M)<0$ ,可知故障离开M端40.0km。

[0047] 实施例2:

[0048] 如图1所示T接线路,分别由线路 $l_{MT}$ 、 $l_{NT}$ 和 $l_{QT}$ 组成,其中 $l_{MT}=100\text{km}$ , $l_{NT}=70\text{km}$ , $l_{QT}=85\text{km}$ 。该T接输电线路的三端母线M、N和Q端均为多出线母线,且三端都装设有行波测距装置。当NT支路距离T节点25km发生A相接地故障,分别于M、N和Q端,时窗分别为 $[t_0, t_0+l_1/(2v)]$ 、 $[t_0, t_0+l_2/(2v)]$ 和 $[t_0, t_0+l_3/(2v)]$ ,测距函数 $f_u(x)$ 沿线路 $l_1$ 、 $l_2$ 和 $l_3$ 的结果如图3所示。

[0049] 由图3可知,将M、N和Q端测距函数 $f_{Mu}(x)$ 、 $f_{Nu}(x)$ 和 $f_{Qu}(x)$ 两两做“与”逻辑可知, $\text{sgn}(x_M)\&\text{sgn}(x_N)=0$ , $\text{sgn}(x_M)\&\text{sgn}(x_Q)=1$ ,且 $\text{sgn}(x_N)\&\text{sgn}(x_Q)=0$ ,可知故障位于NT支路。由图3(c)可知, $\text{sgn}(x_N)>0$ ,可知故障离开T节点24.7km。

[0050] 实施例3:

[0051] 如图1所示T接线路,分别由线路 $l_{MT}$ 、 $l_{NT}$ 和 $l_{QT}$ 组成,其中 $l_{MT}=100\text{km}$ , $l_{NT}=70\text{km}$ , $l_{QT}=85\text{km}$ 。该T接输电线路的三端母线M、N和Q端均为多出线母线,且三端都装设有行波测距装置。当QT支路距离T节点20km发生A相接地故障,分别于M、N和Q端,时窗分别为 $[t_0, t_0+l_1/(2v)]$ 、 $[t_0, t_0+l_2/(2v)]$ 和 $[t_0, t_0+l_3/(2v)]$ ,测距函数 $f_u(x)$ 沿线路 $l_1$ 、 $l_2$ 和 $l_3$ 的结果如图4所示。

[0052] 由图4可知,将M、N和Q端测距函数 $f_{Mu}(x)$ 、 $f_{Nu}(x)$ 和 $f_{Qu}(x)$ 两两做“与”逻辑可知, $\text{sgn}(x_M)\&\text{sgn}(x_N)=1$ , $\text{sgn}(x_M)\&\text{sgn}(x_Q)=0$ ,且 $\text{sgn}(x_N)\&\text{sgn}(x_Q)=0$ ,可知故障位于QT支路,且 $\text{sgn}(x_Q)>0$ ,可知故障距离T节点20km。

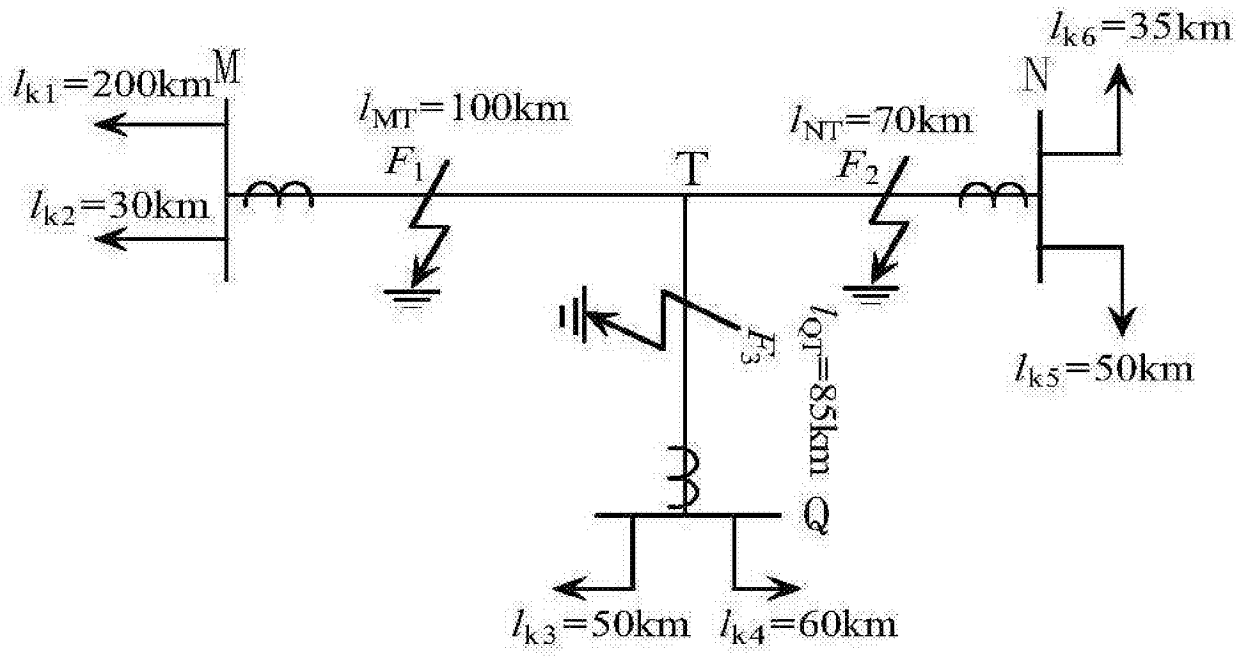
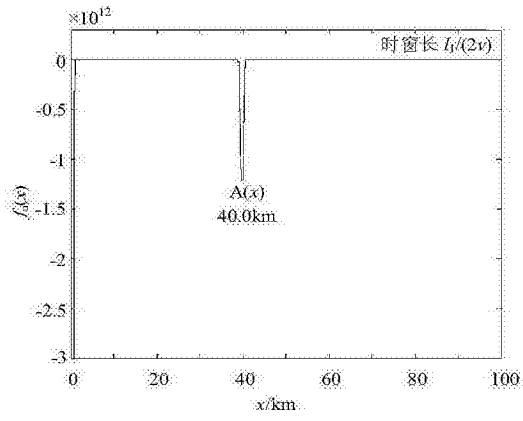
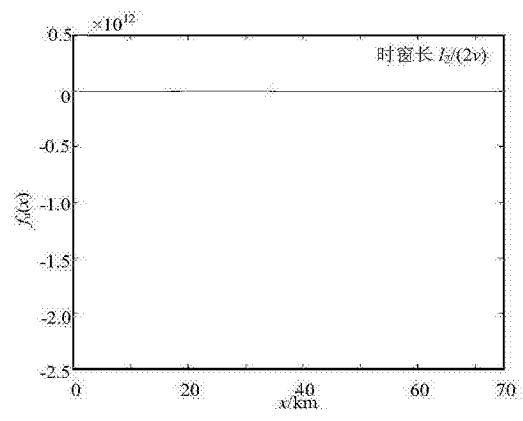


图1

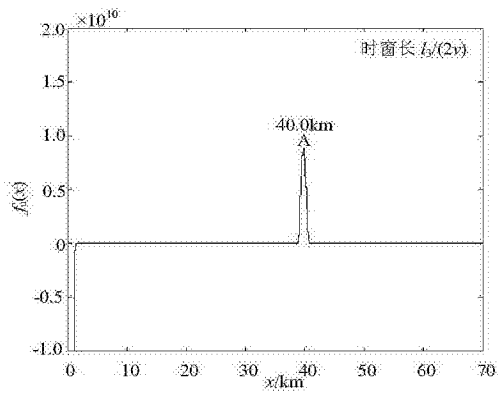




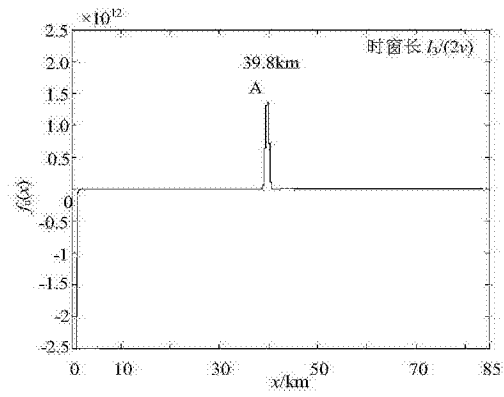
(a) M 端测距函数  $f_{Mu}(x)$  沿线分布



(b) N 端测距函数  $f_{Nu}(x)$  沿线分布

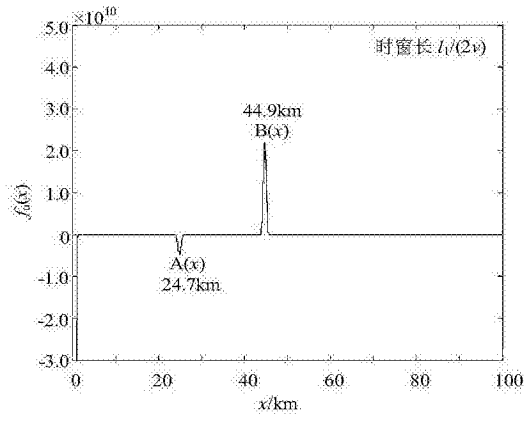


(c) N 端测距函数  $f_{Nu}(x)$  沿线分布

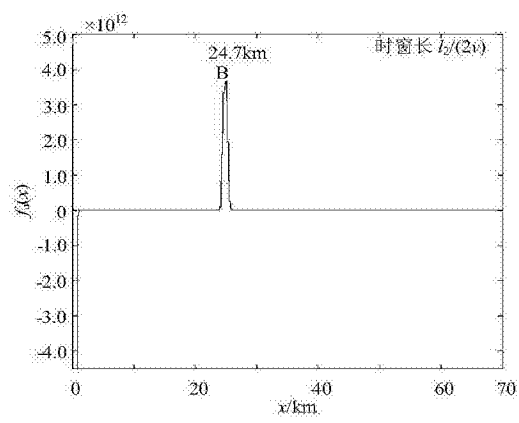


(d) Q 端测距函数  $f_{Qu}(x)$  沿线分布

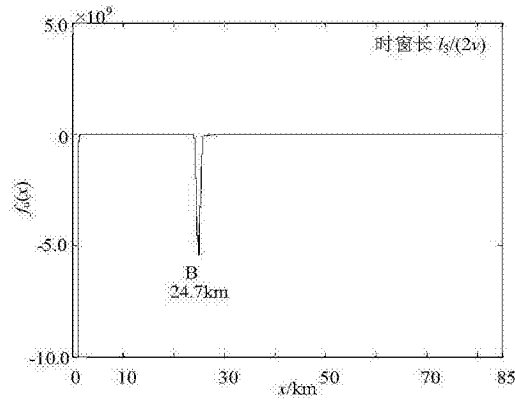
图2



(a) M 端测距函数  $f_{Mu}(x)$  沿线分布

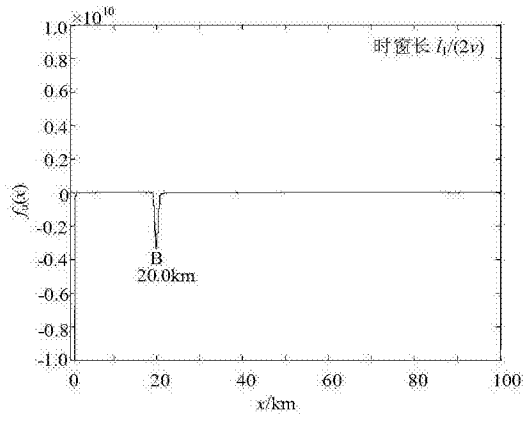


(b) N 端测距函数  $f_{Nu}(x)$  沿线分布

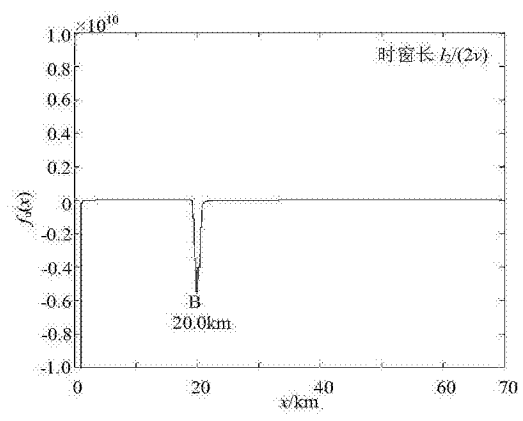


(c) Q 端测距函数  $f_{Qu}(x)$  沿线分布

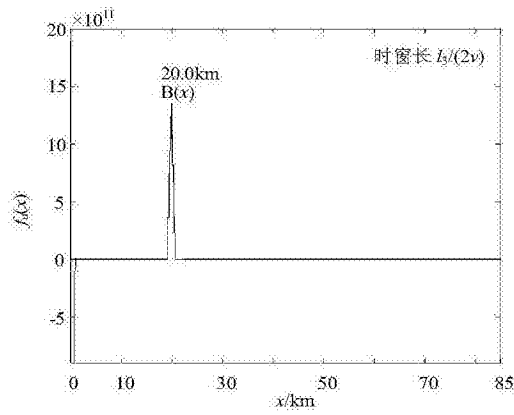
图3



(a) M 端测距函数  $f_{Mu}(x)$  沿线分布



(b) N 端测距函数  $f_{Nu}(x)$  沿线分布



(c) Q 端测距函数  $f_{Qu}(x)$  沿线分布

图4