



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103792465 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 14

(21) 申请号 201310721987. 1

(22) 申请日 2013. 12. 24

(71) 申请人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市大学路1号中国矿业大学科研院

(72) 发明人 梁睿 崔连华 高列 傅国庆 刘建华 王崇林

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51) Int. Cl.

G01R 31/08 (2006. 01)

G01R 31/02 (2006. 01)

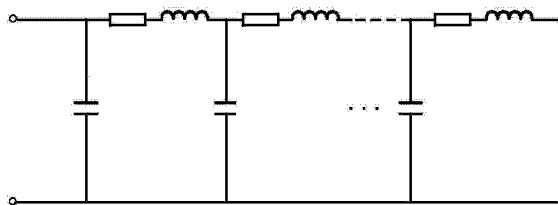
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于零序电压的配电网单相接地故障测距的方法

(57) 摘要

一种基于零序电压的配电网单相接地故障测距的方法,属于配电网接地故障测距的方法。该故障测距方法是从单端辐射状中压配电网整体零序参数出发,分析单相接地故障时考虑分布参数模型的影响,测量母线处及各出线末端故障后稳态零序电压值及各馈线零序电流,找出故障馈线及非故障馈线零序电压变化特点。本发明是通过利用大量现有的设备,对数据采样实时性要求低,容易实现;经按实际参数建立的仿真模型分析,在中性点不接地或中性点经消弧线圈接地系统都能实现故障测距,且精度很高。本发明的定位方法可应用于中低压配电网中。



1. 一种基于零序电压的配电网单相接地故障测距的方法,其特征是:该故障测距方法是从单端辐射状中压配电网整体零序参数出发,分析单相接地故障时考虑分布参数模型的影响,测量母线处及各出线末端故障后稳态零序电压值及各馈线零序电流,找出故障馈线及非故障馈线零序电压变化特点;

具体步骤如下:

#### (1)、分布参数线路模型

对配电网进行故障测距,利用分布参数模型进行故障测距;通过对线路参数进行计算,单相接地故障发生时,对地电导电流远小于电容电流,故可忽略对地电导的影响,零序等值电路分布参数模型简化为线路阻抗及对地电容沿线平均分布;

#### (2)、非故障线路分析

将馈电线路分成  $n$  个小区间,取其中任一小区间并记作  $[x, x + \Delta x]$ ,这个小区间所产生的对地电流  $\Delta I_c = I_c \cdot \Delta x$ ,  $I_c$  为单位长度的线路对地电容电流;

对于非故障线路,每个小区间产生的电流  $\Delta I_c$  在线路上流过的范围由母线到小区间所在的位置  $x$ ,然后经地流向故障点;设每小区间对应的起始位置为  $x$ ,则电流作用产生的电压量分别为  $\Delta I_c \cdot X \cdot x$ ,每个区间产生的对地电流作用于线路上产生的电压: $\Delta U = \Delta I_c \cdot X \cdot x$ ,式中: $X$  是线路单位长度的阻抗值;

根据叠加定理可知,线路两端的零序电压差是零序电流作用的结果,上式两边同时对  $x$  积分得: $\int_0^l d\dot{U} = \int_0^l \dot{I}_c \cdot X \cdot x \cdot dx$ ,计算得: $\dot{U}_2 - \dot{U}_1 = \frac{1}{2} I_c \cdot X \cdot l^2$  (1),  $l$  为非故障线路长度, $\dot{U}_1, \dot{U}_2$  分别非故障线路首、末端零序电压;

#### (3)、中性点不接地系统故障线路分析

对于故障线路,故障点流过电流包括非故障对地电容电流以及故障线路对地电容电流;故障点后的电压、电流分布情况与非故障线路相同,小区间对地电容电流由电容流向大地,再由故障点流回线路,对故障点前的线路无作用,相当于在线路、对地电容、地和故障点之间形成环形回路;小区间对地电容电流通过对地电容流向大地,然后经故障点通过线路流回母线;因此小区间对地电流作用产生电压的范围是由小区间到故障点,小区间到母线段电流一出一进相互抵消;设故障距离为  $x$ ,则距离母线  $x'$  的小区间产生的对地电流作用于线路上产生的电压变化量  $\Delta U' = \Delta I_c \cdot X \cdot (x - x')$ ;同上,可得母线到故障点线路对地电流作用于线路产生的电压变化量:

$\int_0^x d\dot{U}' = \int_0^x -\dot{I}_c \cdot X \cdot (x - x') \cdot dx'$ ,即  $\dot{U}' = -\frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot X \cdot x^2$ ;

故障点到母线段零序电流还包含非故障线路对地电流和  $\dot{I}_{c_x}$ ,  $\dot{I}_{c_x}$  在此区间产生的电压变化量:

$\dot{U}'' = \dot{I}_{c_x} \cdot X \cdot x$ ;根据叠加定理可知: $\dot{U}' + \dot{U}'' = -(\frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot x - \dot{I}_{c_x}) X \cdot x = \dot{U}_f - \dot{U}'_1$  (2);故障点

线路的电压变化与非故障线路情况相同,因此, $\frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot X \cdot (l' - x)^2 = \dot{U}'_2 - \dot{U}_f$  (3);其中: $l'$  为

故障线路总长度, $\dot{U}'_1, \dot{U}'_2, \dot{U}_f$  分别对应故障线路首、末端零序电压及故障点电压;(2),(3)

式相加得: $\dot{U}'_2 - \dot{U}'_1 = \frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot X \cdot (l'^2 - 2l' \cdot x) + \dot{I}_{c_x} \cdot X \cdot x$  (4);

## (4)、中性点经消弧线圈故障线路分析

中性点经消弧线圈接地系统的非故障线路零序电流及零序电压变化情况与中性点不接地系统相同；而故障线路零序电流情况相当于在中性点不接地系统故障线路基础上在故障点叠加流过消弧线圈的感性电流  $I_L$ ；即如系统工作于全补偿状态是，故障点无功电流为零，如果忽略系统有功电流，从故障支路首端测得的零序电流即是由本支路自身所产生的电容电流，应用零序电压变化无法测距；但消弧线圈运行时为避免谐振出现，一般运行在过补偿状态，也即在发生单相接地时故障支路的零序电流性质与非故障支路相似，由于过补偿情况的不同比自身分布参数产生的电容电流要更大些，且  $I_L$  的大小可由消弧线圈调谐时的参数获得；零序电压作用于消弧线圈产生的电流滞后  $90^\circ$ ，而对地电容电流超前零序电压  $90^\circ$ ，因此  $I_L$  与  $I_{C_2}$  相位相反。 $I_L$  在故障区间产生的电压变化量： $\dot{U}^m = -\dot{I}_L \cdot X \cdot x$ ；最终，得出对应于经消弧线圈接地系统的公式： $\dot{U}_2' - \dot{U}_1' = \frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot X \cdot (l^2 - 2l \cdot x) + (\dot{I}_{C_2} - \dot{I}_L) \cdot X \cdot x$  (5)。

## 一种基于零序电压的配电网单相接地故障测距的方法

### 技术领域：

[0001] 本发明涉及一种配电网接地故障测距的方法，特别是一种基于零序电压的配电网单相接地故障测距的方法。

### 背景技术：

[0002] 配电网安全运行对社会生产生活提供重要保证，一旦发生重大故障经济损失难以估计。因此，快速准确测距故障，对电力系统的经济性、安全性和可靠性非常重要。配电网中单相接地故障发生概率最大。

[0003] 随着配电网自动化技术的发展，在馈线上安装具有测量和通信功能的新型配电开关，可以获取大量的线路电量信息，然后使用电工网络图论原理建立节点的邻接矩阵和节点信息矩阵，进而得出故障判断矩阵并对其元素分析，可以判断出故障区段。故障区段的识别可以实现快速切除故障，却不能精确的实现故障测距，无法满足后续工作要求。针对故障测距主要有两种方法：行波法和阻抗法。其中行波法具有良好的精确性，阻抗法具有良好的稳定性，综合两种方法的优点，并利用测量点负序电流与故障点负序电压的相位关系可进行测距。但配电线路结构复杂、分支众多、线路距离短，难以解决故障波头的识别及混和线路波阻抗变化的问题。同时需要多套行波检测设备，经济成本较高。故行波法难以适用于配电网。若采用阻抗法，不但可以克服行波法的测距难题，而且可以利用大量现有的投运设备，硬件投资小，容易实现。对于双端阻抗法，可采用相位补偿法消除非同步采集到的零序电流、电压之间的误差以进行故障距离计算。然而以往采用的阻抗法大多采用集中参数模型计算，由于没有考虑分布电容的影响，计算结果误差较大。基于分布参数模型的故障测距方法，克服了基于集中参数模型时忽略分布电容影响的弊端，可提高测距精度。部分计算方法采用固定的线路参数计算，同样存在较大误差。我国中压配电网多为单端辐射状电网，多发生单相接地故障，故障选线及故障区间确定研究方面取得了丰硕的成果并获得了很好的应用，如何实现中压配电网的准确故障测距困难较大。单相接地故障时暂态能量小，行波信号量测困难；而传统的基于阻抗法的测距技术多用于高压电网，中性点接地方式与中低压配电网不同，研究时多从正序参数考虑且多考虑单一线路，无法直接应用于中压配电网。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是要提供一种基于零序电压的配电网单相接地故障测距的方法，解决配电网线路结构复杂、分支众多、线路距离短特征带来的单相接地故障测距误差大的问题。

[0005] 本发明的目的是这样实现的：该故障测距方法是从单端辐射状中压配电网整体零序参数出发，分析单相接地故障时考虑分布参数模型的影响，测量母线处及各出线末端故障后稳态零序电压值及各馈线零序电流，找出故障馈线及非故障馈线零序电压变化特点。

[0006] 具体步骤如下：

[0007] (1)、分布参数线路模型

[0008] 对配电网进行故障测距,利用分布参数模型进行故障测距;通过对线路参数进行计算,单相接地故障发生时,对地电导电流远小于电容电流,故可忽略对地电导的影响,零序等值电路分布参数模型简化为线路阻抗及对地电容沿线平均分布;

[0009] (2)、非故障线路分析

[0010] 将馈电线路分成  $n$  个小区间,取其中任一小区间并记作  $[x, x+\Delta x]$ ,这个小区间所产生的对地电流  $\Delta I_c = I_c \cdot \Delta x$ ,  $I_c$  为单位长度的线路对地电容电流;

[0011] 对于非故障线路,每个小区间产生的电流  $\Delta I_c$  在电路上流过的范围由母线到小区间所在的位置  $x$ ,然后经地流向故障点;设每小区间对应的起始位置为  $x$ ,则电流作用产生的电压量分别为  $\Delta I_c \cdot X \cdot x$ ,每个区间产生的对地电流作用于电路上产生的电压: $\Delta U = \Delta I_c \cdot X \cdot x$ ,式中: $X$  是线路单位长度的阻抗值;

[0012] 根据叠加定理可知,线路两端的零序电压差是零序电流作用的结果,上式两边同时对  $x$  积分得: $\int_0^l d\dot{U} = \int_0^l \dot{I}_c \cdot X \cdot x \cdot dx$ ,计算得: $\dot{U}_2 - \dot{U}_1 = \frac{1}{2} I_c \cdot X \cdot l^2$  (1),  $l$  为非故障线路长度,

$\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$  分别非故障线路首、末端零序电压;

[0013] (3)、中性点不接地系统故障线路分析

[0014] 对于故障线路,故障点流过电流包括非故障对地电容电流以及故障线路对地电容电流;故障点后的电压、电流分布情况与非故障线路相同,小区间对地电容电流由电容流向大地,再由故障点流回线路,对故障点前的线路无作用,相当于在线路、对地电容、地和故障点之间形成环形回路;小区间对地电容电流通过对地电容流向大地,然后经故障点通过线路流回母线;因此小区间对地电流作用产生电压的范围是由小区间到故障点,小区间到母线段电流一出一进相互抵消;设故障距离为  $x$ ,则距离母线  $x'$  的小区间产生的对地电流作用于电路上产生的电压变化量  $\Delta U' = \Delta I_c \cdot X \cdot (x-x')$ ;同上,可得母线到故障点线路对地电流作用于线路产生的电压变化量: $\int_0^x d\dot{U}' = \int_0^x -\dot{I}_c \cdot X \cdot (x-x') \cdot dx'$ ,即  $\dot{U}' = -\frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot X \cdot x^2$ ;

故障点到母线段零序电流还包含非故障线路对地电流和  $\dot{I}_{c_2}$ ,  $\dot{I}_{c_2}$  在此区间产生的电压变化量: $\dot{U}'' = \dot{I}_{c_2} \cdot X \cdot x$ ;根据叠加定理可知: $\dot{U}' + \dot{U}'' = -(\frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot x - \dot{I}_{c_2}) X \cdot x = \dot{U}_f - \dot{U}_1'$  (2);故障

点线路的电压变化与非故障线路情况相同,因此, $\frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot X \cdot (l'-x)^2 = \dot{U}_2' - \dot{U}_f$  (3);其中: $l'$

为故障线路总长度, $\dot{U}_1'$ 、 $\dot{U}_2'$ 、 $\dot{U}_f$  分别对应故障线路首、末端零序电压及故障点电压;(2),

(3) 式相加得: $\dot{U}_2' - \dot{U}_1' = \frac{1}{2} \dot{I}_c \cdot X \cdot (l'^2 - 2l' \cdot x) + \dot{I}_{c_2} \cdot X \cdot x$  (4);

[0015] (4)、中性点经消弧线圈故障线路分析

[0016] 中性点经消弧线圈接地系统的非故障线路零序电流及零序电压变化情况与中性点不接地系统相同;而故障线路零序电流情况相当于在中性点不接地系统故障线路基础上在故障点叠加流过消弧线圈的感性电流  $\dot{I}_L$ ;即如系统工作于全补偿状态是,故障点无功电流为零,如果忽略系统有功电流,从故障支路首端测得的零序电流即是由

本支路自身所产生的电容电流,应用零序电压变化无法测距;但消弧线圈运行时为避免谐振出现,一般运行在过补偿状态,也即在发生单相接地时故障支路的零序电流性质与非故障支路相似,由于过补偿情况的不同比自身分布参数产生的电容电流要更大些,且 $\dot{I}_L$ 的大小可由消弧线圈调谐时的参数获得;零序电压作用于消弧线圈产生的电流滞后 $90^\circ$ ,而对地电容电流超前零序电压 $90^\circ$ ,因此 $\dot{I}_L$ 与 $\dot{I}_{C_x}$ 相位相反。 $\dot{I}_L$ 在故障区间产生的电压变化量: $\dot{U}^m = -\dot{I}_L \cdot X \cdot x$ ;最终,得出对应于经消弧线圈接地系统的公式:

$$\dot{U}'_2 - \dot{U}'_1 = \frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot X \cdot (l'^2 - 2l' \cdot x) + (\dot{I}_{C_x} - \dot{I}_L) \cdot X \cdot x \quad (5)。$$

[0017] 有益效果,采用了上述方案,可以利用大量现有的投运设备,实现简单,具有较强经济性和较好的实用价值;采用分布参数模型计算,克服了配电网传统故障定位方法中由于使用集总参数模型造成误差较大的问题;该方法不仅适用于中性点不接地系统,还适用于中性点经消弧线圈接地系统,并且只需获得单相接地故障后各支路零序电流及支路末端零序电压稳态值及消弧线圈调谐情况,在正确选出故障馈线的基础上即可准确测距。

#### 附图说明

- [0018] 图 1 零序等值电路分布参数模型。  
 [0019] 图 2 非故障线路零序电流分布图。  
 [0020] 图 3 中性点不接地系统故障线路零序电流构成特点。  
 [0021] 图 4 中性点消弧线圈接地系统故障线路零序电流构成特点。  
 [0022] 图 5 基于零序电压的配电网单相接地故障测距的方法流程图。  
 [0023] 图 6 PSCAD 仿真模型。

#### 具体实施方式:

[0024] 实施例 1:该故障测距方法是从单端辐射状中压配电网整体零序参数出发,分析单相接地故障时考虑分布参数模型的影响,测量母线处及各出线末端故障后稳态零序电压值及各馈线零序电流,找出故障馈线及非故障馈线零序电压变化特点。

[0025] 具体步骤如下:

[0026] 1、分布参数线路模型

[0027] 利用分布参数模型对配电网进行故障测距;通过对线路参数进行计算,单相接地故障发生时,对地电导电流远小于电容电流,故可忽略对地电导的影响,零序等值电路分布参数模型简化为线路阻抗及对地电容沿线平均分布;

[0028] 2、非故障线路分析

[0029] 将馈电线路分成 n 个小区间,取其中任一小区间并记作  $[x, x + \Delta x]$ ,这个小区间所产生的对地电流  $\Delta I_C = I_C \cdot \Delta x$ ,  $I_C$  为单位长度的线路对地电容电流;

[0030] 对于非故障线路,每个小区间产生的电流  $\Delta I_C$  在电路上流过的范围由母线到小区间所在的位置  $x$ ,然后经地流向故障点;设每小区间对应的起始位置为  $x$ ,则电流作用产生的电压量分别为  $\Delta I_C \cdot X \cdot x$ ,每个区间产生的对地电流作用于电路上产生的电压: $\Delta U = \Delta I_C \cdot X \cdot x$ ,式中: $X$  是线路单位长度的阻抗值;

[0031] 根据叠加定理可知,线路两端的零序电压差是零序电流作用的结果,上式两边同时对  $x$  积分得:  $\int_0^l d\dot{U} = \int_0^l \dot{I}_C \cdot X \cdot x \cdot dx$ , 计算得:  $\dot{U}_2 - \dot{U}_1 = \frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot X \cdot l^2$  (1),  $l$  为非故障线路长度

$\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$  分别非故障线路首、末端零序电压;

[0032] 3、中性点不接地系统故障线路分析

[0033] 对于故障线路,故障点流过电流包括非故障对地电容电流以及故障线路对地电容电流;故障点后的电压、电流分布情况与非故障线路相同,小区间对地电容电流由电容流向大地,再由故障点流回线路,对故障点前的线路无作用,相当于在线路、对地电容、地和故障点之间形成环形回路;小区间对地电容电流通过对地电容流向大地,然后经故障点通过线路流回母线;因此小区间对地电流作用产生电压的范围是由小区间到故障点,小区间到母线段电流一出一进相互抵消;设故障距离为  $x$ ,则距离母线  $x'$  的小区间产生的对地电流作用于线路上产生的电压变化量  $\Delta U' = \Delta I_C \cdot X \cdot (x-x')$ ;同上,可得母线到故障点线路对

地电流作用于线路产生的电压变化量:  $\int_0^x d\dot{U}' = \int_0^x -\dot{I}_C \cdot X \cdot (x-x') \cdot dx'$ , 即  $\dot{U}' = -\frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot X \cdot x^2$ ;

故障点到母线段零序电流还包含非故障线路对地电流和  $\dot{I}_{C_2}$ ,  $\dot{I}_{C_2}$  在此区间产生的电压变

化量:  $\dot{U}'' = \dot{I}_{C_2} \cdot X \cdot x$ ; 根据叠加定理可知:  $\dot{U}' + \dot{U}'' = -(\frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot x - \dot{I}_{C_2}) X \cdot x = \dot{U}_f - \dot{U}'_1$  (2); 故

障点线路的电压变化与非故障线路情况相同,因此,  $\frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot X \cdot (l'-x)^2 = \dot{U}'_2 - \dot{U}_f$  (3); 其中:

$l'$  为故障线路总长度,  $\dot{U}'_1$ 、 $\dot{U}'_2$ 、 $\dot{U}_f$  分别对应故障线路首、末端零序电压及故障点电压;

(2), (3) 式相加得:  $\dot{U}'_2 - \dot{U}'_1 = \frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot X \cdot (l'^2 - 2l' \cdot x) + \dot{I}_{C_2} \cdot X \cdot x$  (4);

[0034] 4、中性点经消弧线圈故障线路分析

[0035] 中性点经消弧线圈接地系统的非故障线路零序电流及零序电压变化情况与中性点不接地系统相同;而故障线路零序电流情况相当于在中性点不接地系统故障线路基础上在故障点叠加流过消弧线圈的感性电流  $\dot{I}_L$ ; 即如系统工作于全补偿状态是,故障点无功电流为零,如果忽略系统有功电流,从故障支路首端测得的零序电流即是由本支路自身所产生的电容电流,应用零序电压变化无法测距;但消弧线圈运行时为避免谐振出现,一般运行在过补偿状态,也即在发生单相接地时故障支路的零序电流性质与非故障支路相似,由于过补偿情况的不同比自身分布参数产生的电容电流要更大些,且  $\dot{I}_L$  的大小可由消弧线圈调谐时的参数获得;零序电压作用于消弧线圈产生的电流滞后  $90^\circ$ , 而对地电容电流超前零序电压  $90^\circ$ , 因此  $\dot{I}_L$  与  $\dot{I}_{C_2}$  相位相反。 $\dot{I}_L$  在故障区间产生的电压变化量:  $\dot{U}''' = -\dot{I}_L \cdot X \cdot x$ ; 最终, 得出对应于经消弧线圈接地系统的公式:

$\dot{U}'_2 - \dot{U}'_1 = \frac{1}{2} \dot{I}_C \cdot X \cdot (l'^2 - 2l' \cdot x) + (\dot{I}_{C_2} - \dot{I}_L) \cdot X \cdot x$  (5)。

[0036] 本方法具体实现流程图如图 5 所示, 具体实现步骤如下:

[0037] 从录波装置中读取流过消弧线圈电流(对于中性点经消弧线圈接地系统)、母线电压、各馈线故障后首端零序电流及末端零序电压波形数据；

[0038] 对读取到的数据进行快速傅里叶变换(FFT),获取各信号对应的工频有效值,采用工频信号进行计算可消除谐波等信号产生的误差；

[0039] 在选线完成的基础上确定出故障支路；

[0040] 将测得非故障线路对应的数据代入公式(1),在线计算出故障时刻线路单位长度零序阻抗值  $X$ ；

[0041] 判断系统中性点接地方式；

[0042] 对于中性点不接地系统,将故障线路测得的数据及步骤 4 计算得到的线路单位长度零序阻抗值  $X$  代入公式(4)计算出故障距离；对于中性点经消弧线圈接地系统,代入公式(5)计算。

[0043] (1) 故障后电压电流分布特征

[0044] 故障后,馈线对地电容电流沿线分布,所有对地电容电流首先流向大地,经故障点流回故障线路,最终流向母线,对地电流的流通对零序电压的变化产生了作用,非故障线路沿线零序电压有效值由母线到线路末端按斜线逐渐增长的规律分布,故障线路零序电压有效值由故障点到母线区段按斜线逐渐增长的规律分布,故障点到线路末端按斜线逐渐增长的规律分布,即故障点处零序电压有效值最小。

[0045] (2) 故障测距算法

[0046] 故障发生后并且故障状态稳定后,从录波装置中读取母线电压、各馈线故障后首端零序电流及末端零序电压波形数据对于中性点经消弧线圈接地系统还需要流过消弧线圈电流的波形数据,对读取到的数据进行快速傅里叶变换(FFT),获取各信号对应的工频有效值,采用工频信号进行计算可消除谐波等信号产生的误差,利用上步计算结果并根据已有成熟的选线方案确定出故障线路,将测得非故障线路对应的数据代入

公式  $\dot{U}'_2 - \dot{U}'_1 = \frac{1}{2} I_C \cdot X \cdot l^2$ ,在线计算出故障时刻线路单位长度零序阻抗值  $X$ ,对于中性点不接地系统将故障线路测得的数据及上步计算得到的线路单位长度零序阻抗值  $X$  代入公式  $\dot{U}'_2 - \dot{U}'_1 = \frac{1}{2} I_C \cdot X \cdot (l^2 - 2l' \cdot x) + \dot{I}_{C_2} \cdot X \cdot x$  计算出故障距离,对于中性点经消弧线圈接地系统,代入公式  $\dot{U}'_2 - \dot{U}'_1 = \frac{1}{2} I_C \cdot X \cdot (l^2 - 2l' \cdot x) + (\dot{I}_{C_2} - \dot{I}_L) \cdot X \cdot x$  计算。

[0047] 方案的效果评价：

[0048] 本发明在复杂配电网具有很高定位精度并且具备很高的适应性,对于不同的中性点接地方式,本发明均可以满足。现以一个模型为例：

[0049] 利用 PSCAD/EMTDC 软件工具建立 35kV 单端辐射状电网系统的仿真模型,如图 6 所示。变压器二次侧经断路器接消弧线圈,可对中性点不接地和经消弧线圈接地系统仿真；系统有三条电缆,电缆长度分别取 18km、16km 和 20km,电缆采用埋于地下 1m 的三根单相电缆呈倒三角形放置(轴心间距为 30mm)的敷设方式,电缆截面面积取 240mm<sup>2</sup>；母线侧采用  $\Upsilon - \Delta$  接法的 110kV 变 35kV 变压器,线路末端采用  $\Delta - \Upsilon$  接法的 35kV 变 10kV 的变压器；负载接 0.35MW+0.08MVar 的三相平衡负载。

[0050] 以中性点不接地系统,在距离母线 2km 处发生金属性接地为例进行计算。母线电



压为 20469.2V, 各馈线首端零序电流为 7.33167A、6.51593A、13.8476A, 各馈线末端零序电压 20493.9V、20488.7V、20483.4V。利用现有的选线方案, 例如比值比相法可判断出故障线路是线路 III。

[0051] 利用线路 I 计算单位长度线路对地电容电流  $I_c$  及单位长度零序阻抗值  $X$ :  $I_c = I_{c1} / l_1 = 0.407315A/km$ .

$$X = \frac{2(U_2 - U_1)}{I_c \cdot I_1} = 0.374327 \Omega/km.$$

[0052] 对于中性点不接地系统, 非故障线路对地电容电流和等于故障线路首端测量到的零序电流即:  $I_{c3} = I_{c1} + I_{c2} = I_{c3} = 13.8476A$ 。

[0053] 将以上各计算结果代入公式(4)得到故障距离  $x = 1.9791km$ 。

[0054] 定义测量误差为: 误差 =  $\left| \frac{\text{测量故障距离} - \text{实际故障距离}}{\text{线路长度}} \right| \times 100$ , 误差为 0.104%。

[0055] 为验证本方法的有效性, 表 1 给出了中性点不接地系统单相接地故障发生于不同位置、经不同过渡电阻接地时的测距结果。

[0056] 表 1 中性点不接地单相接地故障测距结果

[0057]

故障距离/km	过渡电阻/ $\Omega$	测量结果/km	测量误差/%
2	0	1.9791	0.104
	20	1.9785	0.107
	50	1.9650	0.175
6	0	5.9540	0.230
	20	5.9298	0.350
	50	5.9113	0.443
8	0	7.9089	0.455
	20	7.8969	0.516
	50	7.8870	0.565
10	0	9.8970	0.515
	20	9.8729	0.636
	50	9.8378	0.811
12	0	11.8403	0.798
	20	11.8163	0.918
	50	11.8177	0.912

表 1 的测距结果显示, 对于中性点不接地系统, 在不同的故障位置、过渡电阻, 最大测距误差均在线路全长的 1% 以内, 在线路全长范围内该故障测距方法都能够实现准确测距。

表 2 给出了中性点经消弧线圈接地系统, 故障时系统总的对地电容电流为 64A 左右, 消弧线圈工作在过补偿状态下, 此时脱谐度为 -4% 和 -2% 左右时, 单相接地故障发生在不同位置、经不同过渡电阻接地时的测距结果。

表 2 中性点经消弧线圈接地单相接地故障测距结果

故障距离/km	过渡电阻/ $\Omega$	脱谐度/%	测量结果/km	测量误差/%
3	0	-4	2.9770	0.115
		-2.1	2.9748	0.126
	20	-3.9	2.9727	0.136
		-2.3	2.9464	0.268
5	0	-4.3	4.9513	0.244
		-2	4.9496	0.252
	20	-4.2	4.9298	0.382
		-2	4.9235	0.517
7	0	-4	6.9033	0.483
		-1.9	6.8998	0.501
	20	-4.3	6.8936	0.532
		-2.2	6.8717	0.641
9	0	-4.1	8.8952	0.524
		-1.8	8.8856	0.572
	20	-3.9	8.8769	0.615
		-2.2	8.8365	0.817

[0058] 由表 2 可以看出该算法同样适用于中性点经消弧线圈接地系统, 并且对于不同的脱谐度均具有较高的测距精确度。

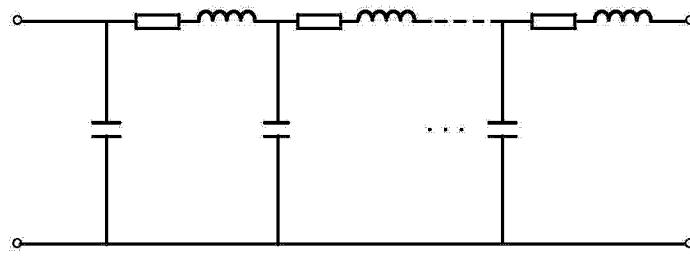


图 1

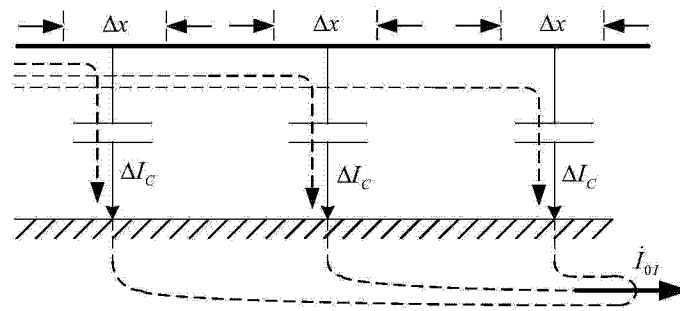


图 2

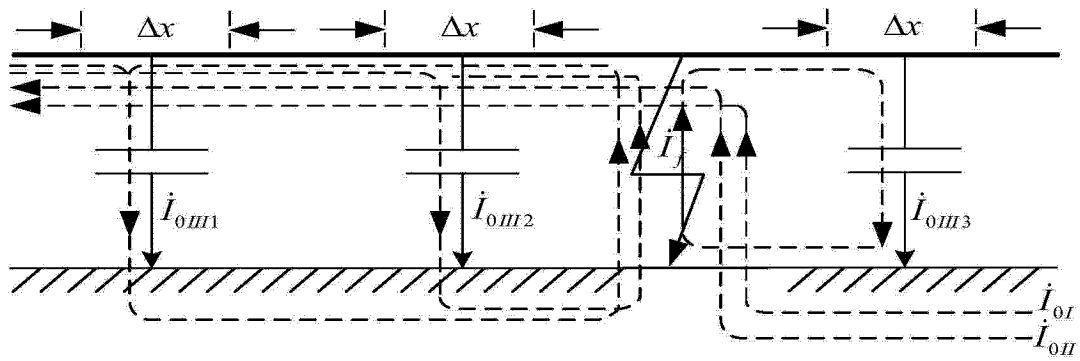


图 3

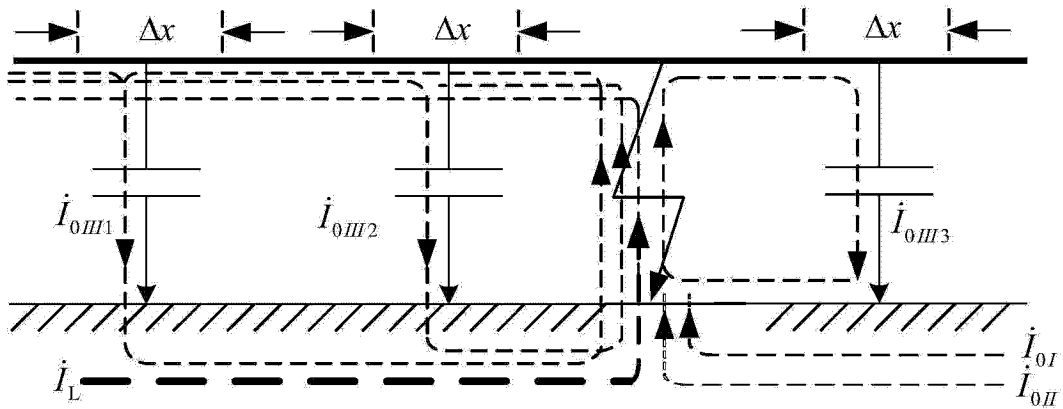


图 4

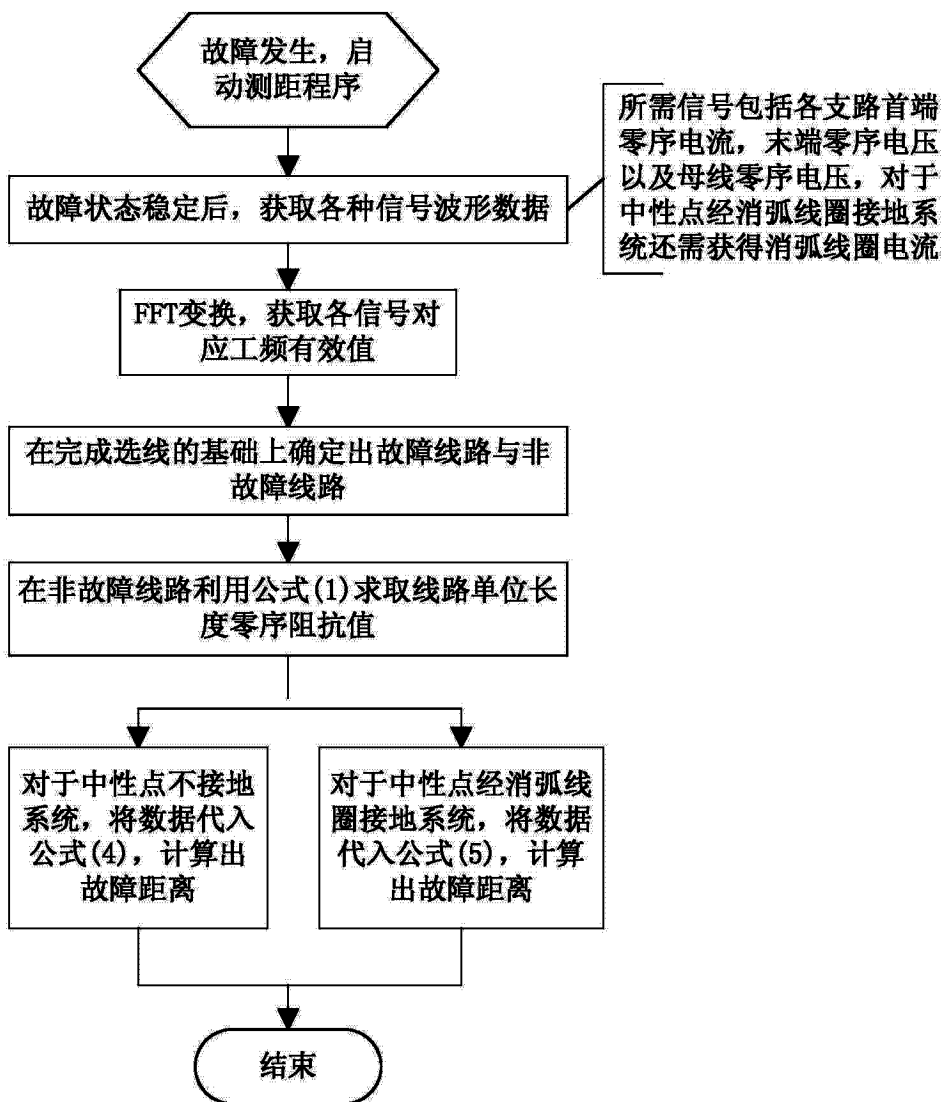


图 5

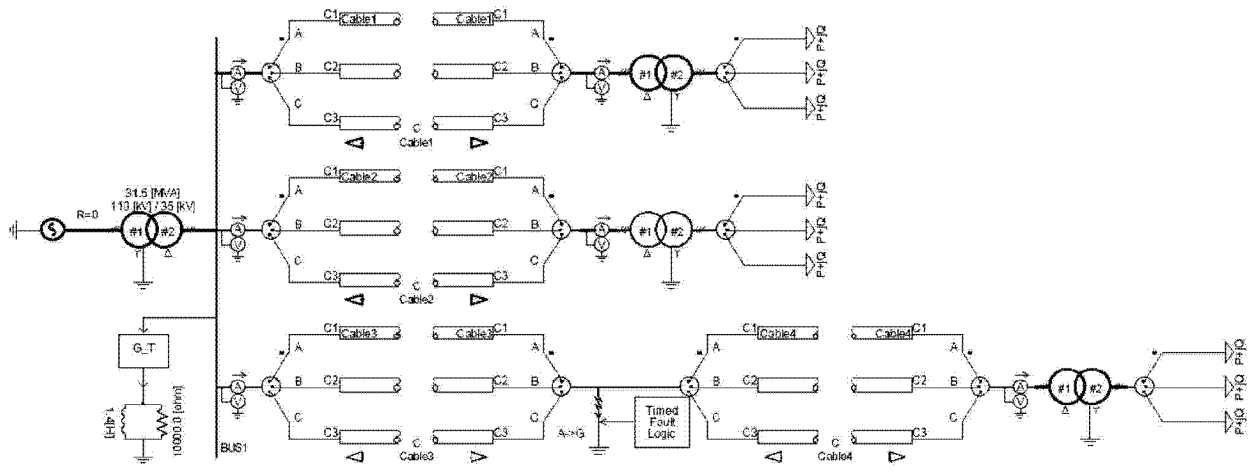


图 6