

# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102830328 A

(43) 申请公布日 2012. 12. 19

(21) 申请号 201210303477. 8

(22) 申请日 2012. 08. 23

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

申请人 山东电力集团公司聊城供电公司

(72) 发明人 申文 盛戈峰 刘亚东 孙旭日  
江秀臣

(74) 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司  
31213

代理人 张泽纯

(51) Int. Cl.

G01R 31/08 (2006. 01)

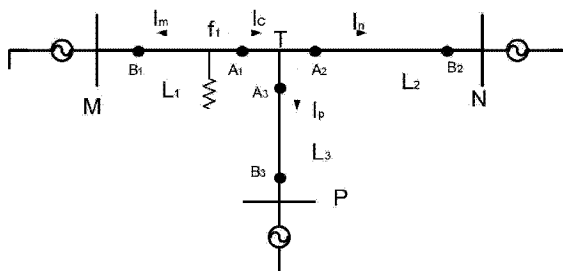
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

## (54) 发明名称

T 型线路分布式故障测距方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种 T 型线路分布式故障测距方法, 在 T 型线路的每条支路上至少安装二组故障电流检测装置, 各故障电流检测装置通过远程无线通信模块与监控主站连接, 该监控主站根据储存的算法, 对故障电流信息进行分析, 根据行波能量判断故障支路, 然后根据故障支路上的两个故障电流检测装置所测得故障电流行波到达的时间序列, 进一步分析, 判断故障区间, 根据定位方程计算出故障点位置。本发明解决了故障点靠近 T 节点时的死区问题, 且定位精度较高。



1. 一种 T 型线路分布式故障测距方法,其特征在于,在 T 型线路的每条支路上至少安装二组故障电流检测装置,各故障电流检测装置通过远程无线通信模块与监控主站连接,该监控主站根据储存的算法,对故障电流信息进行分析,计算出故障点的位置。

2. 根据权利要求 1 所述的 T 型线路分布式故障测距方法,其特征在于,所述的二组故障电流检测装置包括分别安装在各支路上、且和 T 节点距离相等的三个故障电流检测装置构成的第一组故障电流检测装置,和分别安装在各支路上、且以该支路中心点为对称点与所述的第一组故障电流检测装置位置对称的三个故障电流检测装置构成的第二组故障电流检测装置。

3. 根据权利要求 1 所述的 T 型线路分布式故障测距方法,其特征在于,

所述的故障电流检测装置用于检测故障电流行波,并通过远程无线通信模块将其传输给监控主站;

所述的监控主站首先判断故障支路,然后计算故障点距该故障支路的母线端的距离。

4. 根据权利要求 3 所述的 T 型线路分布式故障测距方法,其特征在于,

所述的监控主站判断故障支路的具体步骤是根据各支路上第一组故障电流检测装置所检测到的首个故障电流行波的能量大小进行比较,其中能量较大的即为故障支路,非故障支路的能量偏小;

所述的计算故障点距该故障支路的母线端的距离的具体步骤是利用该故障支路的两个故障电流检测装置所检测到的故障电流行波时间差以及首波能量,判断故障区段,建立故障定位方程式,计算得到故障点距该故障支路的母线端的距离。

## T 型线路分布式故障测距方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及 T 型高压输电线路,特别是一种 T 型线路的分布式故障测距的方法。

### 背景技术

[0002] T 型线路由于接线简单、施工速度快,并可有效减少设备投资,节约线路走廊,在电力系统中得到大量的应用,但由于 T 型线路输送功率高、负荷重,一旦发生故障,会导致大面积停电,因此研究高精度的 T 型线路故障测距方法,可大大缩短故障恢复时间。

[0003] 高压输电线路发生故障后,在故障点将产生向两端运行的故障电流行波。当故障电流行波在传播过程中遇到不均匀介质时,会发生折射和反射。对于故障电流行波,其折射系数  $\alpha$  为:

$$[0004] \quad \alpha = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

[0005] 反射系数  $\beta$  为:

$$[0006] \quad \beta = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

[0007] 式(1)、(2)中的  $Z_1$ 、 $Z_2$  分别为故障点 F 左右两端线路的特性阻抗。

[0008] 对于 T 型线路而言,由于线路结构的原因,其折反射过程会比双端线路更为复杂,故障电流检测装置检测到的故障电流行波可能是来自故障点的反射波,也可能是对端母线的反射波或者 T 节点的反射波,这使得简单的双端行波测距在 T 型线路中的推行带来了很大的困难。而且,在现有技术中,T 型线路的故障测距大多依赖于 GPS 来确定行波波头的时间,这使得同步误差对于故障测距精度的影响难以避免。但是,行波能量不依赖于 GPS,无需确定波头时间就可以计算行波能量,故可以用行波能量来辅助定位输电线路中的故障。下面对行波能量在输电线路中的变化进行分析:

[0009] 考虑单位长度线路电阻 R 和对地电导 G,则输电线路的分布参数等值电路如图 1 所示。

[0010] 图 1 中 R 包括导线电阻和大地电阻, G 包括绝缘泄露和介质损耗。当行波在有损导线上传播时,由于 R 和 G 的存在,将有一部分行波的能量转化为热能而耗散,导致行波的衰减。

[0011] 为求分析方便,假定等值线路中的各参数均为常数。当幅值为 U 的电压波沿线路传播时,单位长度导线周围空间所获得的电场能将为  $1/2CU^2$ ;如果线路存在对地电导 G,假定电压波行进单位长度需用时 t,则电压波传播单位长度所消耗的电场能量将为  $GU^2t$ 。电能的消耗将引起电压波的衰减。电压 u 衰减的规律为

$$[0012] \quad u(t) = Ue^{-\frac{G}{C}t} = Ue^{-\frac{G}{C} \frac{x}{v}} \quad (3)$$

[0013] 式中:U 为电压起始值, v 为波速度, x 为传播距离。

[0014] 同样,当幅值为 I 的电流波沿线路传播时,单位长度导线周围空间所获得的磁能

将为  $1/2LI^2$ 。若线路电阻为  $R$ ，则电流波流过单位长度距离所消耗的磁场能量将为  $RI^2t$ 。磁能的消耗将引起电流波的衰减，电流  $i$  衰减的规律为

$$[0015] \quad i(t) = Ie^{-\frac{R}{L}t} = Ie^{-\frac{R}{L}x/v} \quad (4)$$

[0016] 式中： $I$  为电流起始值。根据信号理论， $i(t)$  在时间窗  $t_0 \sim t_N$  内的能量为

$$E_i = \int_{t_0}^{t_N} |i(t)|^2 dt。为便于计算，将  $E_i$  离散化，设采样点数为  $N$ ，则  $t_0 \sim t_N$  的行波总能量为  $E = \sum_{k=1}^N |i(t_k)|^2$ 。$$

[0017] 由上述分析可知，故障行波在传播过程中，由于线路电阻、对地电导等因素引起的损耗，初始行波的能量会随着传播距离的增加而呈指数平方递减。根据这一现象，不难得到，对于同一次故障而言，距故障点较远的故障电流检测装置所检测到的初始行波能量要小于距故障点较近的故障电流检测装置。因此，通过比较各故障电流检测装置所检测到的行波能量大小，可以初步判定故障点相对于各故障电流检测装置的位置。

[0018] 需要注意的是，故障点产生的初始行波能量与每次故障时电压初相角的大小，过渡电阻的大小等因素有关。所以对于不同的故障而言，各故障电流检测装置测得的行波能量不具有可比性。

[0019] 根据上述分析，可以利用行波能量进行初步行波定位，具体来说可用于 T 型线路故障支路的判别。一旦故障分支判别的问题解决，就可以将其看成双端线路进行求解故障距离了。现有故障分支的判别技术主要有以下三种方法：一是通过采集到的三端电气量计算 T 节点的电压，并进行比较，故障支路算出来的 T 节点电压与非故障支路有一定的区别；二是假设另一条支路不存在，将双端故障测距的结果与实际 T 节点的距离进行比较，若大于则故障发生于对侧支路，若小于故障发生于本侧支路，否则发生于 T 节点或者第三条支路；三是通过不同支路发生故障时，三端所测得行波的时间与支路长度之间的关系比较，找出不同点进行判别。由于暂态过程的影响，或者 GPS 同步误差的影响，现有技术对 T 节点附近发生故障时都不能正确有效的判别故障支路。

## 发明内容

[0020] 为了解决现有技术存在的问题，本发明旨在提供一种 T 型线路分布式故障测距方法，在提高故障支路判别的准确性的同时，简化算法，提高精度，避免互感器带宽限制带来的波头变缓等问题。

[0021] 本发明的技术解决方案如下：

[0022] 一种 T 型线路分布式故障测距方法，其特点在于，在 T 型线路的每条支路上至少安装二组故障电流检测装置，各故障电流检测装置通过远程无线通信模块与监控主站连接，该监控主站根据储存的算法，对故障电流信息进行分析，计算出故障点的位置。

[0023] 所述的二组故障电流检测装置包括分别安装在各支路上、且和 T 节点距离相等的三个故障电流检测装置构成的第一组故障电流检测装置，和分别安装在各支路上、且以该支路中心点为对称点与所述的第一组故障电流检测装置位置对称的三个故障电流检测装置构成的第二组故障电流检测装置。

[0024] 所述的故障电流检测装置用于检测故障电流行波，并通过远程无线通信模块将其

传输给监控主站；

[0025] 所述的监控主站首先判断故障支路，然后计算故障点距该故障支路的母线端的距离。

[0026] 所述的监控主站判断故障支路的具体步骤是根据各支路上第一组故障电流检测装置所检测到的首个故障电流行波的能量大小进行比较，其中能量较大的即为故障支路，非故障支路的能量偏小；

[0027] 所述的计算故障点距该故障支路的母线端的距离的具体步骤是利用该故障支路的两个故障电流检测装置所检测到的故障电流行波时间差以及首波能量，判断故障区段，建立故障定位方程式，计算得到故障点距该故障支路的母线端的距离。

[0028] 与现有技术相比，本发明的有益的效果是利用在输电线路距 T 节点等距离处安装故障电流检测装置，通过行波能量判别故障支路，解决了以往 T 节点附近发生故障时故障支路无法判定的难点，并简化了算法，避免了使用 GPS 带来的同步误差，测距精度有所提高，经仿真实验证明，此方法正确有效，有较好的应用前景。

### 附图说明

[0029] 图 1 是输电线路等值电路图；

[0030] 图 2 是本发明 T 型线路中故障电流检测装置的安装分布图；

[0031] 图 3 是故障定位不同区段示意图。

### 具体实施方式

[0032] 下面结合附图，给出本发明的较佳实施例，并予以详细描述。

[0033] 请参阅 2，图 2 是本发明 T 型线路中故障电流检测装置的安装分布图，如图所示，T 型线路中的每条支路上都安装两个罗氏线圈作为故障电流检测装置，分别为  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $A_2$ 、 $B_2$ 、 $A_3$ 、 $B_3$ ，其中， $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  为第一组故障电流检测装置，它们距 T 节点距离相等， $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  分别位于 T 型线路 3 条支路 MT、NT、PT 上，且以各支路的中心点为对称点与  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  相对称的位置，即  $MB_1$ 、 $TA_1$ 、 $TA_2$ 、 $NB_2$ 、 $TA_3$ 、 $PB_3$  的距离均为 Y。各输电线路的波阻抗均为 Z，由于 MT、NT、PT 三条线路中任意线路故障时其测距方法均一样，故以 MT（长为 L）线路发生故障为例。当  $f_1$  发生故障时，产生往两边传播的故障电流  $I_m$  和  $I_c$ ， $I_c$  流经 T 节点，分流为  $I_n$ 、 $I_p$ 。

[0034] 基于上述 T 型线路结构，本发明方法中监控主站判断故障支路的具体步骤如下：

[0035] 故障电流行波经过 T 节点时，会发生折反射现象，由于线路波阻抗均为 Z，可将 TN、TP 支路等效为一条波阻抗为  $1/2Z$  的线路，则在 T 节点处故障电流行波的折射系数为  $\alpha_t = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times Z}{Z + 1/2Z} = \frac{4}{3}$ 。故折射波由线路 TP、TN 一分为二，各占  $2/3$ ，即非故障波折射能量占入射波的  $4/9$ ，再经过一段线路的衰减到达故障电流检测装置  $A_2$  和  $A_3$  时，检测到的初始行波能量将比  $A_1$  小得多。故通过故障电流检测装置  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  所测得电流行波能量的大小比较即可判定故障支路。故障电流经过线路衰减以及折反射过程到达非故障支路的故障电流检测装置时，其行波能量会比故障相故障电流检测装置检测到的电流波至少小一半，故以此为依据，判别故障支路简单可行。

[0036] 计算故障点距该故障支路的母线端（本实施例为 M）的距离的具体步骤是：

[0037] 确定故障支路为 MT 以后，只需分析故障电流检测装置  $A_1$  和  $B_1$  检测到的行波到达

的时间,就可以对故障点进行定位。

[0038] 故障电流检测装置  $A_1$  和  $B_1$  将线路 MT 划分为四个区段如图 3 所示,设  $A_1$  和  $B_1$  检测到的行波到达时差为  $\Delta t_{A1i}$ 、 $\Delta t_{B1i}$  ( $i = 1, 2$ ),即  $\Delta t_{A11}$ 、 $\Delta t_{B11}$  分别表示故障电流检测装置  $A_1$ 、 $B_1$  所检测到的故障电流行波的前两个行波波头的时间差, $\Delta t_{A12}$ 、 $\Delta t_{B12}$  分别表示故障电流检测装置  $A_1$ 、 $B_1$  所检测到的第二个故障电流行波波头和第三个故障电流行波波头之间的时间差。 $X$  表示故障点到 M 的距离。则当线路在不同区间故障时, $A_1$  和  $B_1$  的时间差满足如下规律:1. 如图 3(a) 所示,当故障发生在区段 1,即  $0 < X < Y$  时, $\Delta t_{A1i}$  不确定, $\Delta t_{B1i}$  可表示为

$$[0039] \quad \Delta t_{B11} = 2X/v; \Delta t_{B12} = 4X/v \quad (5)$$

[0040] 2. 如图 3(b) 所示,当故障发生在区段 4,即  $L-Y < X < L$  时, $\Delta t_{B1i}$  不确定, $\Delta t_{A1i}$  可表示为

$$[0041] \quad \Delta t_{A11} = 2(L-X)/v; \Delta t_{A12} = 4(L-X)/v \quad (6)$$

[0042] 3. 如图 3(c) 所示,当故障发生在区段 2,即  $Y < X < L/2$  时,

$$[0043] \quad \begin{cases} \Delta t_{B11} = 2Y/v; \Delta t_{B12} = 2X/v \\ \Delta t_{A11} = 2Y/v; \Delta t_{A12} = 2X/v \end{cases} \quad (7)$$

[0044] 4. 如图 3(d) 所示,当故障发生在区段 3,即  $L/2 < X < L-Y$  时,

$$[0045] \quad \begin{cases} \Delta t_{B11} = 2Y/v; \Delta t_{B12} = 2(L-X)/v \\ \Delta t_{A11} = 2Y/v; \Delta t_{A12} = 2(L-X)/v \end{cases} \quad (8)$$

[0046] 由以上分析可以看出当故障发生在不同区段时,故障电流检测装置  $A_1$  和  $B_1$  检测到的  $\Delta t_{A1i}$ 、 $\Delta t_{B1i}$  ( $i = 1, 2$ ) 满足以下规律:

[0047] 1) 当  $\Delta t_{A12} = 2\Delta t_{A11}$  或  $\Delta t_{B12} = 2\Delta t_{B11}$  时,可判定故障发生在两个故障电流检测装置的同侧,即故障发生在区段 1 或区段 4,有  $0 < X < Y$  或  $L-Y < X < L$ ,利用式 (5) 或式 (6) 即可求出故障距离  $X$ 。

[0048] 2) 当  $\Delta t_{A11} = \Delta t_{B11}$  且  $\Delta t_{A12} = \Delta t_{B12}$  时,可判定故障发生在两个故障电流检测装置之间,即故障发生在区段 2 或区段 3,有  $Y < X < L/2$  或  $L/2 < X < L-Y$ ,利用式 (7) 或式 (8) 即可求出故障距离  $X$ 。

[0049] 继而通过比较  $A_1$ 、 $B_1$  两个对称故障电流检测装置所测得的初始行波能量,可以推断出故障点更靠近哪个故障电流检测装置,进而判断故障发生的具体区段。令  $E_{A1}$  和  $E_{B1}$  分别为故障电流检测装置  $A_1$  和故障电流检测装置  $B_1$  的初始行波能量,则:

[0050] 1) 已知故障点位于两个故障电流检测装置的同侧,若有  $E_{A1} > E_{B1}$ ,则故障发生在区段 4,否则故障发生在区段 1。

[0051] 2) 已知故障点位于两个故障电流检测装置之间,若有  $E_{A1} > E_{B1}$ ,则故障发生在区段 3,否则故障发生在区段 2。

[0052] 根据上述方法判断出故障发生的具体区段后,即可列出相应区段的测距方程。设实时行波波速为  $v$ ,以下给出不同区段故障情况下的测距方程:

$$[0053] \quad X = \begin{cases} \frac{v\Delta t_{A11}}{4} + \frac{v\Delta t_{B11}}{4} (X < Y) \\ \frac{v\Delta t_{A12}}{4} + \frac{v\Delta t_{B12}}{4} (Y < X < L/2) \\ L - \left( \frac{v\Delta t_{A12}}{4} + \frac{v\Delta t_{B12}}{4} \right) (L/2 < X < L - Y) \\ L - \left( \frac{v\Delta t_{A11}}{4} + \frac{v\Delta t_{B11}}{4} \right) (L - Y < X) \end{cases} \quad (9)$$

[0054] 当故障发生在区段 2 或区段 3 时,可以根据式(7)或式(8)计算得到实时行波波速  $v$ ,公式如下:

$$[0055] \quad v = \frac{v_A + v_B}{2} = \frac{Y}{\Delta t_{A11}} + \frac{Y}{\Delta t_{B11}} \quad (10)$$

[0056] 式中,  $v_A$  为根据故障电流检测装置  $A_1$  的时差信息计算得到的实时行波波速,  $v_B$  为根据故障电流检测装置  $B_1$  的时差信息计算得到的实时行波波速,为减小误差,实时行波波速  $v$  取  $v_A$  和  $v_B$  得平均值。将式(10)代入式(9),即可求得区段 2 或区段 3 的故障距离。当故障发生在区段 1 或区段 4 时,可根据线路参数估算实时行波波速  $v$ ,由于这两个区段的测距方程只用到故障电流检测装置  $A_1$  和  $B_1$  的前两个波头的时间差  $\Delta t_{A11}$ 、 $\Delta t_{B11}$ ,故波速的估计对测距精度的影响并不大。

[0057] 综上所述,本发明为解决 T 型线路故障测距时,存在死区的问题,在分析输电线路电流行波折反射及其能量变化的基础上,提出了以能量大小判别故障支路的分布式故障测距系统。分布于线路上的罗氏线圈还解决了以往互感器带宽限制带来的波头变缓问题。经仿真实验表明,此分布式故障测距方法在邻近 T 节点附近不存在死区,且故障定位精度较高。

[0058] 要注意的是,以上列举的仅为本发明的具体实施例,显然本发明不限于以上实施例,随之有着许多的类似变化。本领域的技术人员如果从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形,均应属于本发明的保护范围。

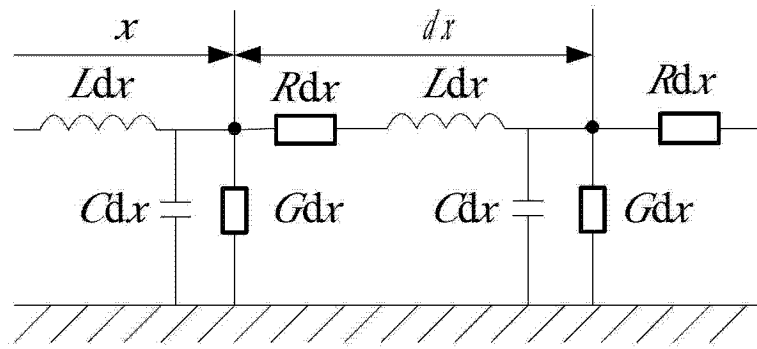


图 1

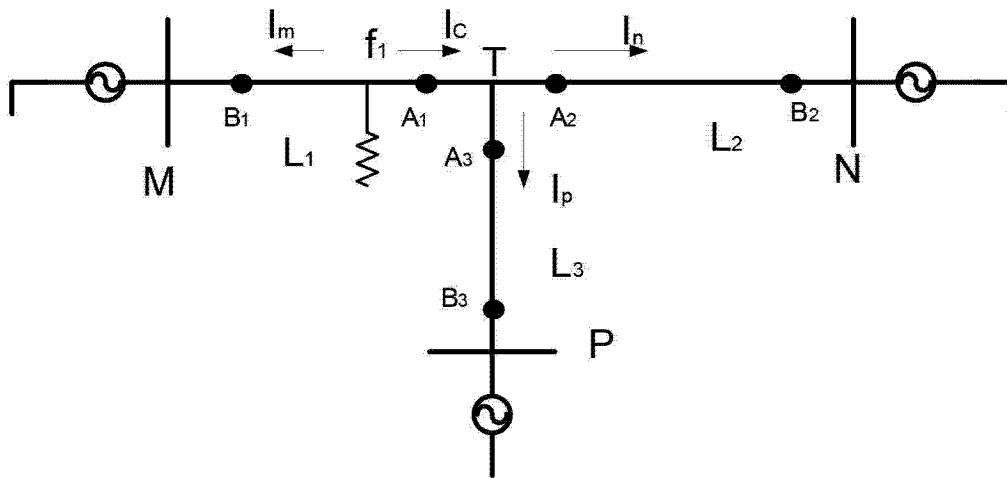


图 2

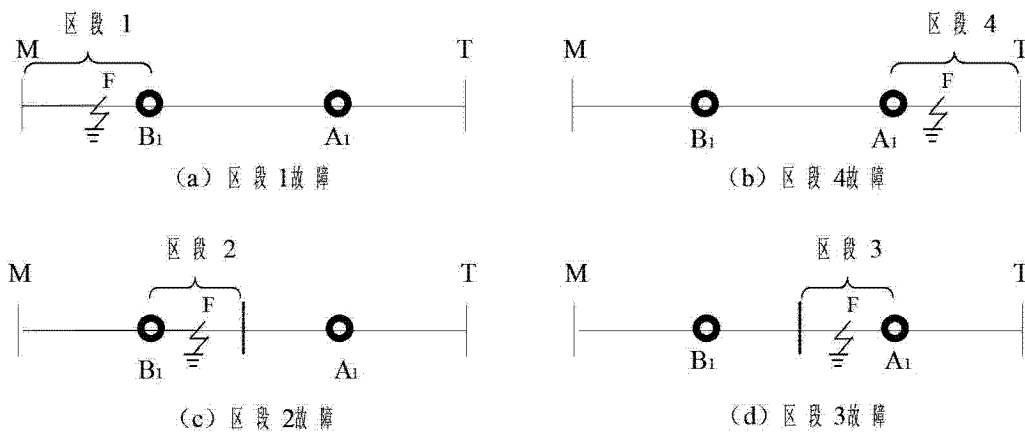


图 3