



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102565634 A

(43) 申请公布日 2012.07.11

---

(21) 申请号 201210005154.0

(22) 申请日 2012.01.10

(71) 申请人 广东电网公司电力科学研究院

地址 510080 广东省广州市越秀区东风东路  
水均岗 8 号

(72) 发明人 喇元 田立斌 叶加骅

(74) 专利代理机构 广州知友专利商标代理有限公司 44104

代理人 周克佑

(51) Int. Cl.

G01R 31/11 (2006.01)

---

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

---

(54) 发明名称

一种基于传递函数法的电力电缆故障定位方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于传递函数法的电力电缆故障定位，具体包括：传递函数法采用多次输入电压信号获得电力电缆的故障信息，包括校准信号与测试信号，分别利用信号与信息处理的相关技术求校准线路等效模型的传递函数，将原始脉冲作为等效模型中的输入信号，将反射脉冲作为输出信号，可求得等效模型的传递函数。已知波速及电缆的长度，从而可以确定电缆的故障位置。这种方法对故障信息进行处理成本低，实施方便，而且通过相应的算法可以实现精确的定位。

1. 一种基于传递函数法的电力电缆故障定位方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

S1:通过测量装置从电力电缆的一端输入校准脉冲信号获取校准脉冲信号的校准原始脉冲与校准反射脉冲,求出校准模型的校准传递函数;

S2:结合已保存的校准信号对电力电缆进行测试,通过测量装置从电力电缆的一端输入不同电压等级的测试脉冲信号获取测试脉冲信号的测试原始脉冲与测试反射脉冲,求出测试模型的测试传递函数;与此同时需选取最佳的校准信号,选择方法:根据测试脉冲信号对应的局部放电量的最大值a,从所有的校准信号(b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, ……, b<sub>n</sub>)中选取|b<sub>i</sub>-a|最小值对应的校准信号b<sub>i</sub>即为最佳的校准信号;

S3:确定测试反射脉冲的波形函数,查找与测试原始脉冲匹配的的测试反射脉冲;

S4:根据测试原始脉冲与测试反射脉冲之间的时间差确定故障位置。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述的步骤S1中的求出校准模型的校准传递函数的步骤包括:

S1-1 用零点检测法,提取出校准原始脉冲对应的时间序列r(t)作为校准模型的输入信号,提取出校准反射脉冲对应的时间序列f(t)作为校准模型的输出信号;

S1-2 作拉普拉斯变换得到f(t),r(t)的拉普拉斯变换F(s)与R(s);

S1-3 求出校准模型的传递函数L(s)=F(s)/R(s),L(S)即为同等局部放电量下信号传输2L电缆长度对应的校准传递函数。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述的步骤S2中的求出测试模型的测试传递函数步骤包括:

S2-1、加压:采集不同电压等级对应的测试脉冲信号并保存,与此同时需选取最佳的校准信号;

S2-2 提取出各测试原始脉冲对应的时间序列R'(t),并作拉普拉斯变换得到R'(s);

S2-3 确定测试模型的测试传递函数:由故障位置产生的测试脉冲信号函数为X(s),X(s)传输了L-x,对应的传递函数为A(s);X(s)传输了2L-x,对应的传递函数为B(s),根据A(s)与B(s)与L(s)的关系求出测试模型的测试传递函数:

$$F'(s)/R'(s) = B(s)/A(s) = \frac{AL(s)+C}{BL(s)+D}$$

其中A、B、C、D的确定需通过实验方法得到,不同的电缆对应的值有所不同。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述的步骤S3步骤包括:

S3-1 确定测试反射脉冲的波形函数:已知测试原始脉冲的波形函数和测试模型的测试传递函数,可求得测试反射脉冲的拉普拉斯变换F'(s),进行反拉普拉斯变换即可求得测试反射脉冲的波形函数f'(t);

S3-2 查找相应的反射脉冲:在距原始脉冲2L的波形范围内进行匹配,且查找到的反射脉冲f(t)需满足以下要求:

$$\sum |f(t) - f'(t)|^2 < \delta$$

5. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于：所述的步骤 S4 计算故障位置步骤为：

根据 S2 和 S3-2 中对应的原始脉冲与反射脉冲的峰值对应的时间点分别为 t1, t2, 由行波法计算故障位置：

$$X = L - \frac{V\Delta t}{2} \quad .$$

## 一种基于传递函数法的电力电缆故障定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力电缆故障定位技术,具体涉及一种基于传递函数法的电力电缆故障定位方法。

### 背景技术

[0002] 随着我国电网规模的扩大和各种大型电力工程的建设,高压电力电缆线路已大量使用。对电力电缆故障的诊断与查找也是当前电力建设的一个重要问题,目前普遍使用的获取时间差的方法,通常是测量信号具有特征的某一点的时间,然后直接将不同接收点的对应时间进行相减获得。现有技术中,使用上述获取时间差的方法,将行波法运用于电力电缆故障定位的主要包括单端行波法和双端行波法,对于单端行波法,上述方法很难做到采集到的原始信号与反射信号之间的同步;而采用双端行波法时,又导致成本过高。现有的现场投入使用的电力电缆监测故障定位装置中,经常发生定位误差较大,有时甚至无法有效识别行波信号。究其原因主要有:

1、行波信号在电缆的传输过程中会发生散射、衍射现象。

[0003] 2、由于受到介质损耗及传输阻抗不匹配等原因会导致波形随着传输距离的增加波形的幅值会衰减,波形宽度也会变宽。

[0004] 利用行波法进行故障定位时,其重点和难点在于确定原始脉冲与反射脉冲间的时间差。根据上述原因,本发明提出了利用传递函数法对电力电缆故障定位,本法也可适用于其它通信电缆的故障定位,但是需根据不同的材质采用不同的测量装置进行校准信号与测试信号的采集。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题,就是提供一种基于传递函数法的电力电缆故障定位的测量方法,本方法对电力电缆故障的定位测量误差和局限性小、操作简单,无需采集多端数据,确定时间差的方法简单且可取得很好的效果。

[0006] 本方法的实施对于电力电缆故障的定位和当前电网实施自动化都是一条新途径。

[0007] 解决上述技术问题,本发明采取如下的技术方案:

一种基于传递函数法的电力电缆故障定位方法,包括以下几个步骤:

S1:通过测量装置从电力电缆的一端输入校准脉冲信号获取校准脉冲信号的校准原始脉冲与校准反射脉冲,求出校准模型的校准传递函数;

S2:结合已保存的校准信号对电力电缆进行测试,通过测量装置从电力电缆的一端输入不同电压等级的测试电压获取测试脉冲信号的测试原始脉冲与测试反射脉冲,求出测试模型的测试传递函数;与此同时需选取最佳的校准信号,选择方法:根据测试脉冲信号对应的局部放电量的最大值a,从所有的校准信号(b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, ……, b<sub>n</sub>)中选取|b<sub>i</sub>-a|最小值对应的校准信号b<sub>i</sub>即为最佳的校准信号;

S3:确定测试反射脉冲的波形函数,查找与测试原始脉冲匹配的测试反射脉冲;

S4 :根据测试原始脉冲与测试反射脉冲之间的时间差确定故障位置。

[0008] 所述的步骤 S1 中的求出校准模型的校准传递函数的步骤包括：

S1-1 用零点检测法,提取出校准原始脉冲对应的时间序列  $r(t)$  作为校准模型的输入信号,提取出校准反射脉冲对应的时间序列  $f(t)$  作为校准模型的输出信号;

S1-2 作拉普拉斯变换得到  $f(t), r(t)$  的拉普拉斯变换  $F(s)$  与  $R(s)$  ;

S1-3 求出校准模型的传递函数  $L(s)=F(s)/R(s)$ ,  $L(S)$  即为同等局部放电量下信号传输  $2L$  电缆长度对应的校准传递函数。

[0009] 所述的步骤 S2 中的求出测试模型的测试传递函数步骤包括：

S2-1、加压 :采集不同电压等级对应的测试脉冲信号并保存,与此同时需选取最佳的校准信号;

S2-2 提取出各测试原始脉冲对应的时间序列  $R'(t)$ ,并作拉普拉斯变换得到  $R'(S)$  ;

S2-3 确定测试模型的测试传递函数:由故障位置产生的测试脉冲信号函数为  $X(S)$ ,  $X(S)$  传输了  $L-x$ ,对应的传递函数为  $A(S)$ ;  $X(S)$  传输了  $2L-x$ ,对应的传递函数为  $B(S)$ ,根据  $A(S)$  与  $B(S)$  与  $L(S)$  的关系求出测试模型的测试传递函数:

$$F'(s)/R'(s) = B(s)/A(s) = \frac{AL(s)+C}{BL(s)+D}$$

其中  $A, B, C, D$  的确定需通过实验方法得到,不同的电缆对应的值有所不同。

[0010] 所述的步骤 S3 包括 :

S3-1 确定测试反射脉冲的波形函数:已知测试原始脉冲的波形函数和测试模型的测试传递函数,可求得测试反射脉冲的拉普拉斯变换  $F'(S)$ ,进行反拉普拉斯变换即可求得测试反射脉冲的波形函数  $f'(t)$  ;

S3-2 查找相应的反射脉冲:在距原始脉冲  $2L$  的波形范围内进行匹配,且查找到的反射脉冲  $f(t)$  需满足以下要求:

$$\sum |f(t) - f'(t)|^2 < \delta .$$

[0011] 所述的步骤 S4 计算故障位置为 :

根据 S2 和 S3-2 中对应的原始脉冲与反射脉冲的峰值对应的时间点分别为  $t_1, t_2$ , 由行波法计算故障位置:

$$X = L - \frac{V\Delta t}{2} .$$

[0012] 在电网故障定位中存在数值计算定位法和监测定位法两大方法,目前存在较多的方法是行波法,本文提出的方法可解决以下的问题:

A、提取原始脉冲与反射脉冲困难,无法快速准确的确定时间差;

B、原有定位算法复杂,很多有用信号淹没在噪声中。

[0013] 有益效果:本方法在原理上根本解决了基于双端局放量的故障定位数据的同步问题。与现有技术相比,本发明的电缆局放单端自动定位技术利用原始脉冲与反射脉冲之间因传输距离的不同而引起的波形变化,计算出行波法定位所需的时间参数,对电力电缆

故障的定位测量误差和局限性小、操作简单，无需采集多端数据，确定时间差的方法简单且电缆故障定位的结果更加精准，并且实现方式方便快捷，可取得很好的效果。

[0014] 本方法的实施对于电力电缆故障的定位和当前电网实施自动化都是一条新途径。

### 附图说明

[0015] 下面将结合附图和具体实施例对本发明进一步说明。

[0016] 图 1 是校准信号模型；

图 2 是测试信号模型；

图 3 是定位示意图。

### 具体实施方式

[0017] 如图 1 至图 3 所示的本发明的实施例，本发明基于传递函数法的电力电缆故障定位方法，包括以下几个步骤：

S1：参见图 1，通过测量装置从电力电缆的一端输入低电压的校准脉冲信号、采集并保存反射回来的校准原始脉冲与校准反射脉冲，求出校准模型的校准传递函数；由于测量装置与测试电缆之间用连接电缆连接，所以通过测量装置输入的脉冲信号在电缆的近端和远端均会产生波形的反射与折射：在近端由于连接电缆与测试电缆之间阻抗不匹配，而发生反射再传输回测量装置的反射信号为原始脉冲  $r(t)$ ，而在远端由于全反射而传输回测量装置的反射信号为反射脉冲  $f(t)$ ，在测量装置中采集到的反射信号的波形包括原始脉冲与反射脉冲；

步骤 S1 中的求出校准模型的校准传递函数的步骤包括：

S1-1 用零点检测法，提取出校准原始脉冲对应的时间序列  $r(t)$  作为校准模型的输入信号，提取出校准反射脉冲对应的时间序列  $f(t)$  作为校准模型的输出信号；

S1-2 作拉普拉斯变换得到  $f(t), r(t)$  的拉普拉斯变换  $F(s)$  与  $R(s)$ ；

S1-3 求出校准模型的传递函数  $L(s) = F(s)/R(s)$ ， $L(S)$  即为同等局部放电量下信号传输  $2L$  电缆长度对应的校准传递函数。

[0018] 在具体实施过程中，需要输入低电压信号产生校准信号，测量装置采集到的信号波形包括原始脉冲与反射脉冲的信号，用零点检测法提取出原始脉冲对应的时间序列和提取出反射脉冲对应的时间序列，通过数字信号处理手段，剔除不相关干扰，相邻峰值点间隔与故障距离呈近似反比关系；

S2：通过测量装置从电力电缆的一端输入不同电压等级的测试脉冲信号获取测试脉冲信号的测试原始脉冲与测试反射脉冲，求出测试模型的测试传递函数；与此同时需选取最佳的校准信号；

步骤 S2 中的求出测试模型的测试传递函数步骤包括：

S2-1、输入和采集不同电压等级对应的脉冲信号波形并保存便于后面分析使用，与此同时需选取最佳的校准信号；

每个电压等级的测试脉冲脉冲信号在获取的过程中需要选取相匹配的校准信号，如 30kv 的电压对应的校准信号为 100000pc，10kv 的电压对应的校准信号为 50000pc。

S2-2、针对不同电压等级对应的波形作如下处理：分别提取出每个波形对应的原始脉

冲的时间序列  $R'(t)$ , 并作拉普拉斯变换得到  $R'(S)$ ;

S2-3: 确定测试模型的传递函数: 由故障位置产生的信号函数为  $X(S)$ ,  $X(S)$  传输了  $L-x$ , 对应的传递函数为  $A(S)$ ;  $X(S)$  传输了  $2L-x$ , 对应的传递函数为  $B(S)$ , 根据  $A(S)$  与  $B(S)$  与  $L(S)$  的关系求出测试模型的传递函数:

$$F'(s)/R'(s) = B(s)/A(s) = \frac{AL(s)+C}{BL(s)+D}$$

其中  $A, B, C, D$  的确定需通过实验方法得到, 不同的电缆对应的值有所不同。

[0019] : 确定测试反射脉冲的波形函数, 查找与测试原始脉冲匹配的的测试反射脉冲;

步骤 S3 包括:

S3-1 确定测试反射脉冲的波形函数: 已知测试原始脉冲的波形函数和测试模型的测试传递函数, 可求得测试反射脉冲的拉普拉斯变换  $F'(S)$ , 进行反拉普拉斯变换即可求得测试反射脉冲的波形函数  $f'(t)$ ;

S3-2 查找相应的反射脉冲: 在距原始脉冲  $2L$  的波形范围内进行匹配, 且查找到的反射脉冲  $f(t)$  需满足以下要求:

$$\sum |f(t) - f'(t)|^2 < \delta$$

S4: 根据测试原始脉冲与测试反射脉冲之间的时间差确定故障位置: 根据 S2 和 S3 中对应的原始脉冲与反射脉冲的峰值对应的时间点分别为  $t_1, t_2$ , 由行波法计算故障位置:

$$X = L - \frac{V\Delta t}{2} \quad .$$

[0020] 附图 2 所示的测试模型中  $X(S)$  传输了  $L-x$ , 对应的传递函数为  $A(S)$  再经过系统  $H(S)$ , 输出为原始脉冲  $R'(S)$ ;  $X(S)$  传输了  $2L-x$ , 对应的传递函数为  $B(S)$  再经过系统  $H(S)$ , 输出为反射脉冲  $F'(S)$ , 将原始脉冲  $R'(S)$  作为输入信号, 将反射脉冲  $F'(S)$  作为输出信号, 测试模型的传递函数为  $F'(s)/R'(s) = B(s)/A(s)$ , 其中  $A(S)$  与  $B(S)$  均与  $L(S)$  有一定的联系;

信号所通过的传输模型的传递函数受传输距离的影响, 要确定测试模型的传递函数必须了解不同电压等级对应的传输距离对传递函数的影响。

[0021] 在具体实施过程中, 测试模型的建立与原始脉冲及反射脉冲查找主要由以下几步完成:

步骤一: 在测量端施加不同等级的实验电压, 并选择对应的校准信号作为参考信号, 采集记录相应的波形并作滤波处理;

步骤二: 根据零点检测法检测波形的始点与终点, 提取原始脉冲对应的时间序列  $r'(t)$ , 确定其对应的拉普拉斯变换为  $R'(S)$ ;

步骤三: 确定测试模型的传递函数,  $A(S)$  与  $B(S)$  均与  $L(S)$  成一定的线性关系, 根据  $L(S)$  确定  $A(S)$  与  $B(S)$ , 测试模型的传递函数也随之确定为  $T(S)$ ;

步骤四: 求取反射脉冲的波形函数对应的拉普拉斯变换  $F'(S) = R'(S)*T(S)$ , 求反拉普

拉斯变换即可得到反射脉冲对应的波形函数  $f'(t)$ ；

步骤五：查找反射脉冲，用与反射脉冲波形函数长度相等的窗函数通过反射脉冲  $2L$  范围内的波形，截取到的波形  $f(t)$  与反射脉冲波形  $f'(t)$  满足如下关系：

$$\sum |f(t) - f'(t)|^2 < \delta$$

即为查找到的反射脉冲；

附图 3 是定位示意图，其中 A 为近端，B 为远端，C 为故障点，原始脉冲的传输距离为 CA，反射脉冲的传输距离为 CB+BA，由行波法定位原理可得故障位置：

$$X = L - \frac{V\Delta t}{2}$$

在具体实施过程中，电缆长度  $L$  和信号在电缆中的传输波速已知，由上述 S2 和 S5 确定的原始脉冲与反射脉冲峰值对应的时间分别为  $t_1$ 、 $t_2$ ，则  $\Delta t = t_2 - t_1$ ，结合上式即可求得电力电缆故障位置。

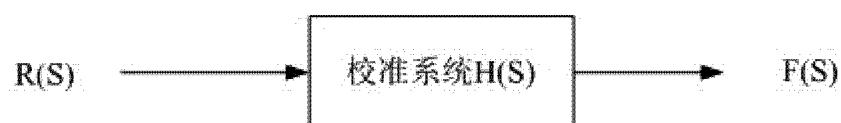


图 1

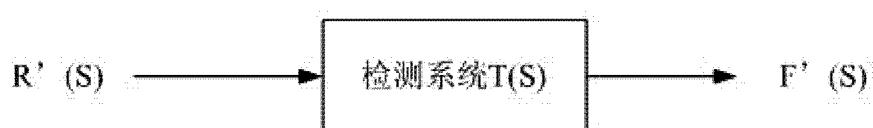


图 2

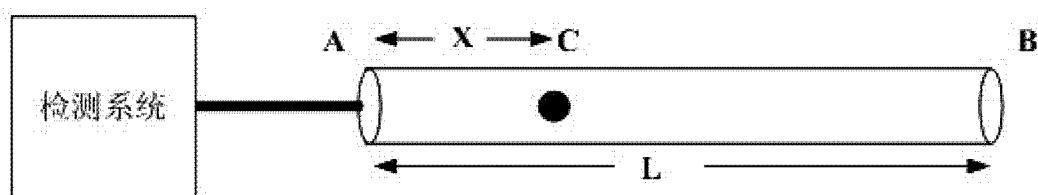


图 3