



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108519537 B

(45)授权公告日 2019.10.18

(21)申请号 201810170545.5

(22)申请日 2018.03.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108519537 A

(43)申请公布日 2018.09.11

(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 杨帆 刘刚 朱宁西

(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 李斌

(51)Int.Cl.

G01R 31/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 104007354 A, 2014.08.27, 全文.

CN 101645548 A, 2010.02.10, 全文.

CN 203811728 U, 2014.09.03, 全文.

CN 103792467 A, 2014.05.14, 全文.

CN 105021871 A, 2015.11.04, 全文.

CN 103941161 A, 2014.07.23, 全文.

CN 204228878 U, 2015.03.25, 全文.

CN 104502807 A, 2015.04.08, 全文.

CN 104714161 A, 2015.06.17, 全文.

CN 105004907 A, 2015.10.28, 全文.

CN 105445526 A, 2016.03.30, 全文.

CN 105572553 A, 2016.05.11, 全文.

CN 106226650 A, 2016.12.14, 全文.

CN 105954652 A, 2016.09.21, 全文.

CN 106249087 A, 2016.12.21, 全文.

CN 106680662 A, 2017.05.17, 全文.

CN 205665317 U, 2016.10.26, 全文.

JP S60233574 A, 1985.11.20, 全文.

US 3760298 A, 1973.09.18, 全文.

US 8643380 B1, 2014.02.04, 全文.

赵文辉. 多点泄漏对电力电缆高阻故障探测影响的分析.《中国新技术新产品》.2013, 全文.

杜兆斌. 超高压海底电缆护套环流的理论计算新方法.《华南理工大学学报(自然科学版)》.2013, 全文. (续)

审查员 陈豆豆

权利要求书2页 说明书3页 附图2页

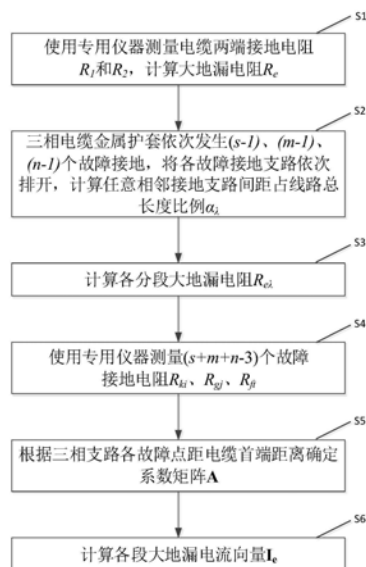
(54)发明名称

一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法

(57)摘要

本发明公开了一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,该方法包括下列步骤:S1、测量电缆两端接地电阻R1和R2,计算大地漏电阻Re;S2、三相电缆金属护套依次发生(s-1)、(m-1)、(n-1)个故障接地,将各故障接地支路依次排开,计算任意相邻接地支路间距占线路总长度比例αλ;S3、计算各分段大地漏电阻Reλ;S4、测量(s+m+n-3)个故障接地电阻Rki、Rgj、Rft;S5、确定系数矩阵A;S6、计算各段大地漏电流向量Ie。本发明切实可行的提出了一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流的计算方法,可方便计算多点接地状况下各段大地漏电流。

CN 108519537 B



[接上页]

**(56)对比文件**

孙学锋.高压单芯电缆护套接地电流的数模与应用.《山东电机工程学会第四届供电专业学术交流会》.2007,全文.

Xudong Wang.Research on on-line

insulation monitoring and fault location method of mine power supply XLPE cable.《2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)》.2014,全文.

1. 一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,其特征在于,所述的大地漏电流计算方法包含以下步骤:

S1、使用仪器测量电缆两端接地电阻 $R_1$ 和 $R_2$ ,计算大地漏电阻 $R_e$ ;

S2、三相电缆金属护套依次发生 $(s-1)$ 、 $(m-1)$ 、 $(n-1)$ 个故障接地,将各故障接地支路依次排开,计算任意相邻接地支路间距占线路总长度比例 $\alpha_\lambda$ ,

$s>1, m>1, n>1, \lambda=1, 2, \dots, s+m+n-2$ ;

S3、计算各分段大地漏电阻 $R_{e\lambda}$ ;

S4、使用仪器测量 $(s+m+n-3)$ 个故障接地电阻 $R_{ki}$ 、 $R_{gj}$ 、 $R_{ft}$ ;

S5、根据三相支路各故障点距电缆首端距离确定系数矩阵A;

S6、计算各段大地漏电流向量 $I_e$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,其特征在于:所述的大地漏电阻 $R_e$ 的计算公式为:

$$R_e = \pi^2 L f \times 10^{-7} \quad (1)$$

式中, $L$ 为护套长度; $f$ 为输电线路运行频率。

3. 根据权利要求1所述的一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,其特征在于,所述的长度比例 $\alpha_\lambda$ 根据以下公式计算:

$$\alpha_\lambda = \frac{l_\lambda}{L} \quad (2)$$

式中, $l_\lambda$ 为第 $\lambda$ 段大地回路长度, $L$ 为电缆线路总长度,且满足

$$\sum_{\lambda=1}^{s+m+n-2} \alpha_\lambda = 1 \quad (3)$$

4. 根据权利要求1所述的一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,其特征在于,所述的各分段大地漏电阻 $R_{e\lambda}$ 根据以下公式计算:

$$R_{e\lambda} = R_e \times \alpha_\lambda \quad (4)$$

5. 根据权利要求1所述的一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,其特征在于,所述的系数矩阵A可表达为以下公式:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1(s+m+n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{(s+m+n-2)1} & \cdots & a_{(s+m+n-2)(s+m+n)} \end{pmatrix} \quad (5)$$

其中,系数矩阵A的第 $\lambda$ 行对应第 $\lambda$ 段大地回路,若第 $\lambda$ 段大地回路前三相支路金属护套分别发生 $i$ 、 $j$ 、 $t$ 个接地故障,则矩阵中的元素数值可由以下公式确定:

$$I_{e\lambda} = I_{ki} + I_{gj} + I_{ft} \quad (6)$$

其中, $I_{ki}$ 、 $I_{gj}$ 、 $I_{ft}$ 为三相支路金属护套第 $i$ 、 $j$ 、 $t$ 个故障处的接地电流, $0 < i < s, 0 < j < m, 0 < t < n$ ;此时,对应系数矩阵A的 $\lambda$ 行元素 $a_{\lambda i}$ 、 $a_{\lambda j}$ 、 $a_{\lambda t}$ 数值为1,其它元素为0。

6. 根据权利要求1所述的一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,其特征在于,所述各段大地漏电流向量 $I_e$ 根据以下公式计算:

$$\mathbf{A}\mathbf{I} = \mathbf{I}_e \quad (7)$$

其中, $\mathbf{I}$ 向量为三相支路护套环流,且 $\mathbf{I} = (I_{k1} \cdots I_{ks} I_{g1} \cdots I_{gm} I_{f1} \cdots I_{fn})^T$ ;  $\mathbf{I}_e = (I_{e1} I_{e2} \cdots$

$I_{e^{(s+m+n-2)}}^T$ 。

## 一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力电缆技术领域,具体涉及一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法。

### 背景技术

[0002] 高压电缆金属护套在交叉互联接线方式下,电缆首末两端是通过接地箱直接接地。当电缆正常载流运行时,由于电磁感应原理,在电缆金属护套与大地共同构建的回路中形成感应电动势,在此电动势作用下流经大地的电流即为大地漏电流。

[0003] 目前,国内外学者求取大地漏电流的模型是将大地回路等价与电缆护套平行且等长的良导体,由此建立集中参数电路模型,并罗列方程求解。

[0004] 然而该方法仅适用于在电缆正常载流运行状况下的大地漏电流的计算,当电缆外护套破损、金属护套发生多点接地时,大地漏电流不能再等价为一长段导体,而是被多个接地点分割成若干段的导体。因此,该计算方法不再适用。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服上述现有技术的不足,提供一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,以解决无法求解该故障状态下大地漏电流大小的窘态,利用该模型计算多点接地状况下的大地漏电流大小,可为计算该故障状况下的护套环流提供求解条件。

[0006] 本发明的目的可以通过采取如下技术方案达到:

[0007] 一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,所述的大地漏电流计算方法包含以下步骤:

[0008] S1、使用仪器测量电缆两端接地电阻 $R_1$ 和 $R_2$ ,计算大地漏电阻 $R_e$ ;

[0009] S2、三相电缆金属护套依次发生 $(s-1)$ 、 $(m-1)$ 、 $(n-1)$ 个故障接地,将各故障接地支路依次排开,计算任意相邻接地支路间距占线路总长度比例 $\alpha_\lambda$ , $s>1$ , $m>1$ , $n>1$ , $\lambda=1,2,\dots,s+m+n-2$ ;

[0010] S3、计算各分段大地漏电阻 $R_{e\lambda}$ ;

[0011] S4、使用仪器测量 $(s+m+n-3)$ 个故障接地电阻 $R_{ki}$ 、 $R_{gj}$ 、 $R_{ft}$ ;

[0012] S5、根据三相支路各故障点距电缆首端距离确定系数矩阵A;

[0013] S6、计算各段大地漏电流向量 $I_e$ 。

[0014] 进一步地,所述的大地漏电阻 $R_e$ 的计算公式为:

$$[0015] R_e = \pi^2 L f \times 10^{-7} \quad (1)$$

[0016] 式中,L为护套长度; $f$ 为输电线路运行频率。

[0017] 进一步地,所述的长度比例 $\alpha_\lambda$ 根据以下公式计算:

$$[0018] \alpha_\lambda = \frac{l_\lambda}{L} \quad (2)$$

[0019] 式中,  $l_\lambda$  为第  $\lambda$  段大地回路长度,  $L$  为电缆线路总长度, 且满足

$$[0020] \quad \sum_{\lambda=1}^{s+m+n-2} \alpha_\lambda = 1 \quad (3)。$$

[0021] 进一步地, 所述的各分段大地漏电阻  $R_{e\lambda}$  根据以下公式计算:

$$[0022] \quad R_{e\lambda} = R_e \times \alpha_\lambda \quad (4)。$$

[0023] 进一步地, 所述的系数矩阵  $A$  可表达为以下公式:

$$[0024] \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1(s+m+n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{(s+m+n-2)1} & \cdots & a_{(s+m+n-2)(s+m+n)} \end{pmatrix} \quad (5)$$

[0025] 其中, 系数矩阵  $A$  的第  $\lambda$  行对应第  $\lambda$  段大地回路, 若第  $\lambda$  段大地回路前三相支路金属护套分别发生  $i$ 、 $j$ 、 $t$  个接地故障, 则矩阵中的元素数值可由以下公式确定:

$$[0026] \quad I_{e\lambda} = I_{ki} + I_{gj} + I_{ft} \quad (6)$$

[0027] 其中,  $I_{ki}$ 、 $I_{gj}$ 、 $I_{ft}$  为三相支路金属护套第  $i$ 、 $j$ 、 $t$  个故障处的接地电流,  $0 < i < s$ ,  $0 < j < m$ ,  $0 < t < n$ ; 此时, 对应系数矩阵  $A$  的  $\lambda$  行元素  $a_{\lambda i}$ 、 $a_{\lambda j}$ 、 $a_{\lambda t}$  数值为 1, 其它元素为 0。

[0028] 进一步地, 所述的各段大地漏电流向量  $I_e$  根据以下公式计算:

$$[0029] \quad AI = I_e \quad (7)$$

[0030] 其中,  $I$  向量为三相支路护套环流, 且  $I = (I_{k1} \cdots I_{ks} I_{g1} \cdots I_{gm} I_{f1} \cdots I_{fn})^T$ ;  $I_e = (I_{e1} I_{e2} \cdots I_{e(s+m+n-2)})^T$ 。

[0031] 本发明相对于现有技术具有如下的优点及效果:

[0032] 本发明公开了一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法, 解决了无法求解该故障状态下大地漏电流大小的窘态, 利用该模型计算多点接地状况下的大地漏电流大小, 可为计算该故障状况下的护套环流提供求解条件。

## 附图说明

[0033] 图1是本发明的电缆结构图;

[0034] 图2是本发明的大地漏电流电路等效模型;

[0035] 图3是本发明的第  $\lambda$  段大地回路的三种故障接地方式;

[0036] 其中, 图3 (a) 是  $k$  支路故障接地方式;

[0037] 其中, 图3 (b) 是  $g$  支路故障接地方式;

[0038] 其中, 图3 (c) 是  $f$  支路故障接地方式;

[0039] 图4是本发明中公开的一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法的流程图。

## 具体实施方式

[0040] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚, 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都属于本发明保护的范围。

[0041] 实施例

[0042] 本实施例公开一种电缆金属护套多点接地下大地漏电流计算方法,如图1所示为当前电力单芯电缆最为常见的结构,该计算模型及计算方法适用于此类电缆。如图2所示为大地漏电流电路等效模型,本发明所有的计算参数、推导以及公式的建立均是围绕着此电路图展开,求解电力电缆金属护套多点接地情况下各段大地漏电流的数值本质上即为求解此电路。如图3(a)-图3(b)为第 $\lambda$ 段大地回路的三种故障接地方式,是说明书中式(6)推导的理论基础,也是系数矩阵A的求解原理。

[0043] 其具体包括下列步骤:

[0044] 1) 测量电缆金属护套两端接地电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 。这个数值可以从设计指标中直接读取,最好通过专用仪器现场测量,因为时间变化、环境变迁,接地电阻也在不断变化。

[0045] 2) 计算大地漏电阻 $R_e$ ,参照下列计算公式,

$$[0046] \quad R_e = \pi^2 L f \times 10^{-7} \quad (1)$$

[0047] 式中, $L$ 为护套长度; $f$ 为输电线路运行频率。

[0048] 3) 确认每个故障点所在相位和位置,在此基础上再计算 $\alpha_\lambda$ ,根据以下公式计算:

$$[0049] \quad \alpha_\lambda = \frac{l_\lambda}{L} \quad (2)$$

[0050] 式中, $l_i$ 为第 $i$ 段大地回路长度, $L$ 为电缆线路总长度,且满足

$$[0051] \quad \sum_{\lambda=1}^{s+m+n-2} \alpha_\lambda = 1 \quad (3)$$

[0052] 4) 测量电缆金属护套故障接地点接地电阻测量各故障接地电阻 $R_{ki}$ 、 $R_{gj}$ 、 $R_{ft}$ 。该测量需通过专用仪器进行测量,其阻值随接触状态会有很大的浮动值。

[0053] 5) 计算系数矩阵A,可表达为以下公式:

$$[0054] \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1(s+m+n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{(s+m+n-2)1} & \cdots & a_{(s+m+n-2)(s+m+n)} \end{pmatrix} \quad (5)$$

[0055] 其中,系数矩阵A的第 $\lambda$ 行对应第 $\lambda$ 段大地回路,若第 $\lambda$ 段大地回路前三相支路金属护套分别发生 $i$ 、 $j$ 、 $t$ 个接地故障,则矩阵中的元素数值可由以下公式确定:

$$[0056] \quad I_{e\lambda} = I_{ki} + I_{gj} + I_{ft} \quad (6)$$

[0057] 其中, $I_{ki}$ 、 $I_{gj}$ 、 $I_{ft}$ 为三相支路金属护套第 $i$ 、 $j$ 、 $t$ 个故障处的接地电流, $0 < i < s$ , $0 < j < m$ , $0 < t < n$ ;此时,对应系数矩阵A的 $\lambda$ 行元素 $a_{\lambda i}$ 、 $a_{\lambda j}$ 、 $a_{\lambda t}$ 数值为1,其它元素为0。

[0058] 6) 计算各段大地漏电流向量 $I_e$ 根据以下公式计算:

$$[0059] \quad \mathbf{A}\mathbf{I} = \mathbf{I}_e \quad (7)$$

[0060] 其中, $\mathbf{I}$ 向量为三相支路护套环流,且 $\mathbf{I} = (I_{k1} \cdots I_{ks} I_{g1} \cdots I_{gm} I_{f1} \cdots I_{fn})^T$ ;  $\mathbf{I}_e = (I_{e1} I_{e2} \cdots I_{e(s+m+n-2)})^T$ 。

[0061] 综上所述,本发明切实可行的提出了一种电缆金属护套多相多点接地下护层感应电流的计算方法,可方便计算多相多点接地状况下各段电缆上的感应电流数值。

[0062] 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上述实施例的限制,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。

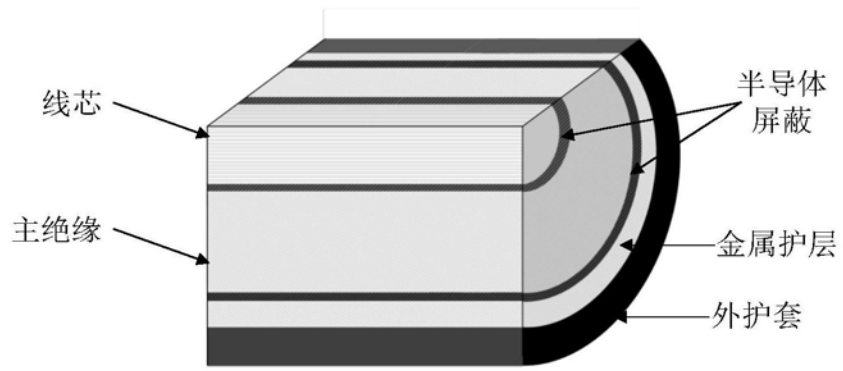


图1

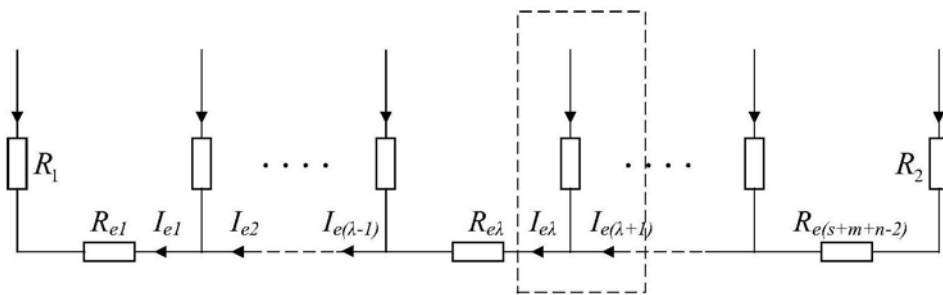


图2

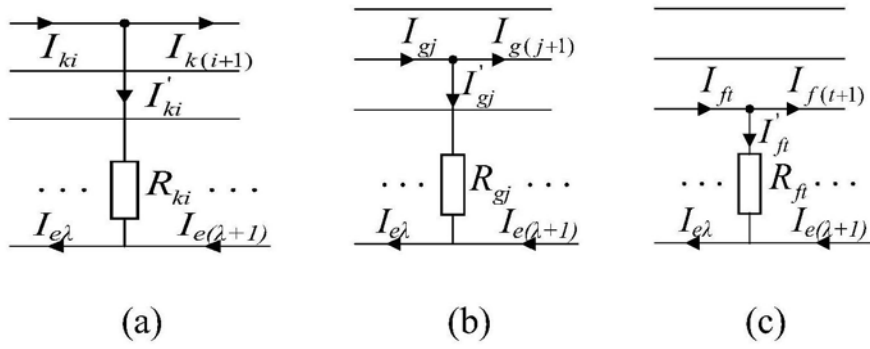


图3



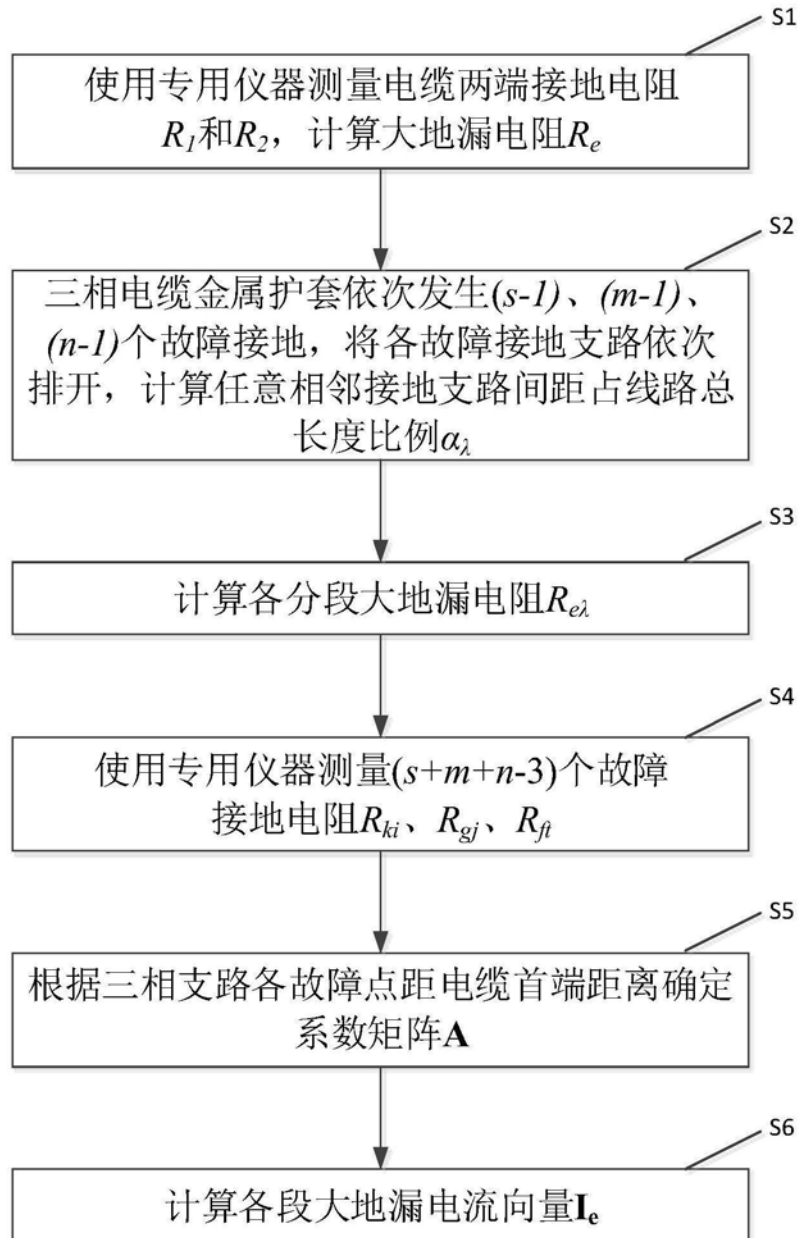


图4