

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 12 月 27 日 (27.12.2018)



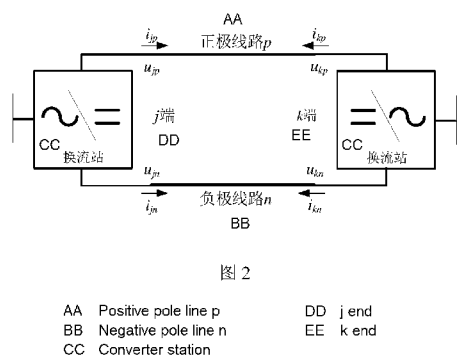
(10) 国际公布号
WO 2018/233294 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/08 (2006.01) **H02H 7/26** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/074454
- (22) 国际申请日: 2018 年 1 月 29 日 (29.01.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710467219.6 2017年6月19日 (19.06.2017) CN
- (71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。
- (72) 发明人: 李斌 (LI, Bin); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。 邱宏 (QIU, Hong); 中国天津市南开区卫津路 92 号天津大学, Tianjin 300072 (CN)。

- (74) 代理人: 天津市北洋有限责任专利代理事务所 (BEI & OCEAN); 中国天津市南开区鞍山西道时代公寓A座603室, Tianjin 300193 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING FAULT TYPE OF HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT TRANSMISSION LINE

(54) 发明名称: 一种高压直流输电线路故障类型判断方法



(57) Abstract: A method for determining the fault type of a high voltage direct current transmission line, comprising: acquiring the positive and negative voltages and currents of a j end and a k end of a direct current line and converting same into the voltage and current values in mode form; calculating the traveling wave differential currents of the 0-mode and the 1-mode components of the j end and the k end of the line respectively; comparing the calculated value of the traveling wave differential current of the 1-mode component at the current time t with the calculated value at the time t-t₀ so as to determine whether a fault occurs on the direct current line; converting the traveling wave differential currents of modes of the j end and the k end into traveling wave differential currents in polar form; calculating fault type coefficients of the two ends of the transmission line; and performing fault determination according to characteristics of the fault type coefficients.

(57) 摘要: 一种高压直流输电线路故障类型判断方法, 包括: 采集直流线路j端与k端两端的正负极电压和电流并变换到模量下的电压电流值; 分别计算线路j端与k端0模和1模分量下的行波差动电流; 选取行波差动电流1模分量当前时刻t的计算值与t-t₀时刻的计算值进行比较, 判定直流线路是否发生故障; 分别将j端与k端模量下的行波差动电流转换到极量下的行波差动电流; 计算输电线路两端故障类型系数; 根据故障类型系数特征, 进行故障判断。

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种高压直流输电线路故障类型判断方法

技术领域

5 本发明涉及电力系统保护控制领域，针对目前高压及以上电压等级直流输电线路故障类型判断的问题，提出一种能够准确识别故障类型的方法。

背景技术

10 高压直流输电技术由于传输功率大、投资成本低，控制性能好等优点，在我国远距离、大容量输电和异步联网中越来越成为一种重要的输电方式。高压直流电网作为大区电网的联络线，对于与其连接的电力系统稳定运行密切相关。由于高压直流输电线路输电距离长，故障概率高，因此准确可靠的高压直流输电线路继电保护技术对于电力系统的稳定运行具有重大意义。当高压输电线路发生故障时，要求准确定位并隔离故障。目前，对于直流线路故障类型的判断方法较少，而故障类型准确判定将有助于故障的定位。针对这一现状，有必要对高压直流输电线路的故障类型判断问题，提出一种快速可靠的保护方案。

15

发明内容

针对目前高压及以上电压等级直流输电线路故障类型判断问题，本发明提出一种快速可靠的高压直流输电线路故障类型判断方法。技术方案如下：

一种高压直流输电线路故障类型判断方法，包括下列步骤：

20

(1) 采集直流线路 j 端与 k 端两端的正负极电压 u_{jp} 、 u_{jn} 、 u_{kp} 、 u_{kn} 和正负极电流 i_{jp} 、 i_{jn} 、 i_{kp} 、 i_{kn} ，利用解耦矩阵将采集到极量下的电压电流值变换到模量下的电压电流值： u_{j0} 、 u_{j1} 、 u_{k0} 、 u_{k1} 、 i_{j0} 、 i_{j1} 、 i_{k0} 、 i_{k1} ；

(2) 分别计算线路 j 端与 k 端 0 模和 1 模分量下的行波差动电流 $dI_{j0}(t)$ 、 $dI_{j1}(t)$ 、 $dI_{k0}(t)$ 和 $dI_{k1}(t)$ ；

25

(3) 选取行波差动电流 1 模分量当前时刻 t 的计算值与 $t-t_0$ 时刻的计算值进行比较，判据式为

$$dI_{j1}(t) > K \cdot dI_{j1}(t-t_0) \text{ 或 } dI_{k1}(t) > K \cdot dI_{k1}(t-t_0)$$

其中， K 为可靠系数，可取 1.5-2； t_0 表示从当前时刻往前选择数据的时间长度，若上述判据在连续三个采样点的判断均成立，则判定直流线路发生故障，进入下一步骤；

30

(4) 分别将 j 端与 k 端模量下的行波差动电流转换到极量下的行波差动电流 $dI_{jp}(t)$ 、 $dI_{jn}(t)$ 、 $dI_{kp}(t)$ 、 $dI_{kn}(t)$ ；

(5) 分别计算输电线路两端故障类型系数；

j 端:

$$B_j(t) = \frac{dI_{jp}(t) + dI_{jn}(t)}{dI_{jp}(t) - dI_{jn}(t)}$$

k 端:

$$B_k(t) = \frac{dI_{kp}(t) + dI_{kn}(t)}{dI_{kp}(t) - dI_{kn}(t)}$$

5 (6) 设定一个小正数 a, 根据故障类型系数特征, 作如下判断:

- ① 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数的绝对值小于 a, 判断发生双极短路故障;
- ② 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数大于 a, 则判断故障类型为正极接地故障;
- ③ 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数小于 -a, 则判断故障类型为负极接地故障。

其中, a 可以为 0.01。

10 由于高压直流输电线路输电距离远, 线路发生故障的概率高, 传统的继电保护原理无法满足高压直流线路要求。本发明首先利用 1 模分量下的行波差动电流判定直流线路区域是否发生故障。如果判定直流线路发生故障, 进一步利用极量行波差动电流构成的保护判据来判定故障类型, 从而有利于实现故障线路的准确识别。不受故障位置影响, 且具有较强抗过渡电阻能力。

15 附图说明

图 1 为单根高压直流输电线路故障示意图

图 2 为高压直流输电线路示意图

图 3 为输电线路正极接地故障示意图

图 4 为输电线路负极接地故障示意图

20 图 5 为输电线路双极短路故障示意图

具体实施方式

本发明提出的保护方案, 基于贝瑞隆输电线路模型, 首先利用模量行波差动电流判断直流线路是否发生故障, 然后利用正极、负极行波差动电流构成判据判定故障类型, 具体内容包括:

25 1 故障类型判断原理

输电线路贝瑞隆模型是一种比较精确的输电线路模型, 它反映了输电线路内部无故障时两端电压电流之间的关系。而线路内部故障时, 相当于输电线路被故障点分成了两段, 如附图 1 所示。此时, 输电线路两端电压电流与故障点电流将存在式 (1) 与式 (2) 中所示关系。

$$i_j(t) - \frac{u_j(t)}{Z_C} + i_k(t - \tau) + \frac{u_k(t - \tau)}{Z_C} = i_f(t - \tau_j) \quad (1)$$

$$30 \quad i_k(t) - \frac{u_k(t)}{Z_C} + i_j(t - \tau) + \frac{u_j(t - \tau)}{Z_C} = i_f(t - \tau_k) \quad (2)$$

公式 (1-2) 是基于单根无损输电线路推导得到。式中, u_j 与 i_j 为直流线路 j 端的电压与电流; u_k 与 i_k 为线路 k 端的电压与电流; Z_C 为线路波阻抗, t 为时间, τ 为行波从线路一端传播到线路另一端所用时间, τ_j 为行波从线路 j 端传播到故障点所用时间, τ_k 为行波从线路 k 端传播到故障点所用时间; i_f 为故障点电流。具体见附图 1 所示。

- 5 而对于高压直流输电系统, 其输电线路通常由正极、负极两根输电线路构成, 如附图 2 所示, 两极输电线路之间存在耦合, 因而在直流线路发生故障时, 其两端电压电流与故障点电流不能直接代入上述由单根输电线路推导得到的公式 (1) 或 (2) 中, 需首先利用式 (3) 所示的解耦矩阵对线路电压电流量进行解耦。

$$S = S^{-1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

- 10 这里以线路 j 端电流量为例说明解耦公式的使用, 如下式 (4) 所示。 j 端电压量、 k 端电压量与电流量以及故障点电流的解耦与其类似。

$$\begin{bmatrix} i_{j0}(t) \\ i_{j1}(t) \end{bmatrix} = S^{-1} \cdot \begin{bmatrix} i_{jp}(t) \\ i_{jn}(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{jp}(t) \\ i_{jn}(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

上式中, i_{j0} 为线路 j 端 0 模电流分量, i_{j1} 为线路 j 端 1 模电流分量, $i_{jp}(t)$ 为 j 端正极电流, $i_{jn}(t)$ 为 j 端负极电流。

- 15 解耦后的模量之间不再存在耦合, 代入公式 (1) 得到以 j 端为参考的直流线路故障时的行波差动电流关系式, 如式 (5) 所示。代入公式 (2) 则可以得到以 k 端为参考的行波差动电流关系式, 其分析过程与 j 端完全相同, 为简化说明, 本发明专利以 j 端为例进行分析。

$$\begin{bmatrix} i_{j0}(t) \\ i_{j1}(t) \end{bmatrix} - \frac{1}{Z_C} \begin{bmatrix} u_{j0}(t) \\ u_{j1}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{k0}(t-\tau_0) \\ i_{k1}(t-\tau_1) \end{bmatrix} + \frac{1}{Z_C} \begin{bmatrix} u_{k0}(t-\tau_0) \\ u_{k1}(t-\tau_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{f0}(t-\tau_{j0}) \\ i_{f1}(t-\tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

- 20 式中, u_{j0} 为线路 j 端 0 模电压分量, u_{j1} 为线路 j 端 1 模电压分量, i_{k0} 为线路 k 端 0 模电流分量, i_{k1} 为线路 k 端 1 模电流分量, u_{k0} 为线路 k 端 0 模电压分量, u_{k1} 为线路 k 端 1 模电压分量, τ_0 为 0 模行波从线路一端传播到另一端所用时间, τ_1 为 1 模行波从线路一端传播到另一端所用时间, i_{f0} 为故障电流 0 模分量, i_{f1} 为 1 模故障电流分量。

为便于以下分析说明, 以 dI_{j0} 、 dI_{j1} 分别代表式 (5) 中的 0 模行波差动电流与 1 模行波差动电流, 如式 (6) 所示。

$$25 \quad \begin{bmatrix} dI_{j0}(t) \\ dI_{j1}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{j0}(t) \\ i_{j1}(t) \end{bmatrix} - \frac{1}{Z_C} \begin{bmatrix} u_{j0}(t) \\ u_{j1}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i_{k0}(t-\tau_0) \\ i_{k1}(t-\tau_1) \end{bmatrix} + \frac{1}{Z_C} \begin{bmatrix} u_{k0}(t-\tau_0) \\ u_{k1}(t-\tau_1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

则进一步有,

$$\begin{bmatrix} dI_{j0}(t) \\ dI_{j1}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

将关系式 (7) 进行反变换, 得到极量下的行波差动电流, 如式 (8) 所示。

$$\begin{bmatrix} dI_{jp}(t) \\ dI_{jn}(t) \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} dI_{j0}(t) \\ dI_{j1}(t) \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

上式中, dI_{jp} 代表 j 端正极行波差动电流, dI_{jn} 代表 j 端负极行波差动电流。

- 5 直流线路的故障类型一般可以分为以下三类: 正极接地故障、负极接地故障和双极短路故障。对于这三类故障, 其得到行波差动电流关系式 (8) 将各有不同, 以下对各类故障情况分别进行分析说明。

1.1 正极接地故障

- 10 假设故障点电流大小为 i_f , 故障电流正方向为从线路流向大地, 该假设对于负极接地故障与双极短路故障同样适用。当直流线路发生正极接地故障时, 如附图 3 所示, 此时故障点电流具有如下关系,

$$\begin{bmatrix} i_{fp}(t) \\ i_{fn}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_f(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

对上述故障电流进行解耦得到 0 模与 1 模分量下的故障电流:

$$15 \quad \begin{bmatrix} i_{f0}(t) \\ i_{f1}(t) \end{bmatrix} = S^{-1} \cdot \begin{bmatrix} i_{fp}(t) \\ i_{fn}(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_f(t) \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} i_f(t) \\ i_f(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

将 $t - \tau_{j0}$ 与 $t - \tau_{j1}$ 代入上式中, 得到以下关系式:

$$\begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} i_f(t - \tau_{j0}) \\ i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (11)$$

进一步, 利用公式 (8) 与公式 (11) 得到正极接地故障情况下的行波差动电流关系式, 如式 (12) 所示。

$$20 \quad \begin{bmatrix} dI_{jp}(t) \\ dI_{jn}(t) \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} i_f(t - \tau_{j0}) \\ i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} i_f(t - \tau_{j0}) + i_f(t - \tau_{j1}) \\ i_f(t - \tau_{j0}) - i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (12)$$

1.2 负极接地故障

当直流线路发生负极接地故障时, 如附图 4 所示。此时故障点电流具有如下关系式,

$$\begin{bmatrix} i_{fp}(t) \\ i_{fn}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -i_f(t) \end{bmatrix} \quad (13)$$

对上述故障电流进行解耦得到 0 模与 1 模分量下的故障电流：

$$\begin{bmatrix} i_{f0}(t) \\ i_{f1}(t) \end{bmatrix} = S^{-1} \cdot \begin{bmatrix} i_{fp}(t) \\ i_{fn}(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ -i_f(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -i_f(t) \\ i_f(t) \end{bmatrix} \quad (14)$$

将 $t - \tau_{j0}$ 与 $t - \tau_{j1}$ 代入上式中，得到以下关系式：

$$\begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -i_f(t - \tau_{j0}) \\ i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (15)$$

- 5 进一步，利用公式 (8) 与公式 (15) 得到负极接地故障情况下的行波差动电流关系式，如式 (16) 所示。

$$\begin{bmatrix} dI_p(t) \\ dI_n(t) \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -i_f(t - \tau_{j0}) \\ i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -i_f(t - \tau_{j0}) + i_f(t - \tau_{j1}) \\ -i_f(t - \tau_{j0}) - i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (16)$$

1.3 双极短路故障

- 10 当直流线路发生双极短路故障时，如附图 5 所示。此时故障点电流具有如下关系式，

$$\begin{bmatrix} i_{fp}(t) \\ i_{fn}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_f(t) \\ -i_f(t) \end{bmatrix} \quad (17)$$

对上述故障电流进行解耦得到 0 模与 1 模分量下的故障电流：

$$\begin{bmatrix} i_{f0}(t) \\ i_{f1}(t) \end{bmatrix} = S^{-1} \cdot \begin{bmatrix} i_{fp}(t) \\ i_{fn}(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_f(t) \\ -i_f(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 2i_f(t) \end{bmatrix} \quad (18)$$

将 $t - \tau_{j0}$ 与 $t - \tau_{j1}$ 代入上式中，得到以下关系式：

$$\begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 2i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (19)$$

- 15 进一步，利用公式 (8) 与公式 (19) 得到负极接地故障情况下的行波差动电流关系式，如式 (20) 所示。

$$\begin{bmatrix} dI_p(t) \\ dI_n(t) \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} i_{f0}(t - \tau_{j0}) \\ i_{f1}(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 2i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_f(t - \tau_{j1}) \\ -i_f(t - \tau_{j1}) \end{bmatrix} \quad (20)$$

20 2 故障类型判断方案

通过公式 (12)、(16) 与 (20) 可知，三种故障类型下的行波差动电流具有显著差异，因而设计以下故障类型判定方案，所用方案具体包括以下步骤：

(1) 采集直流线路两端正负极电压 u_{jp} 、 u_{jn} 、 u_{kp} 、 u_{kn} 和正负极电流 i_{jp} 、 i_{jn} 、 i_{kp} 、 i_{kn} ，利用解耦矩阵将采集到极量下的电压电流值变换到模量下的电压电流值： u_{j0} 、 u_{j1} 、 u_{k0} 、 u_{k1} 、 i_{j0} 、 i_{j1} 、 i_{k0} 、 i_{k1} 。

(2) 分别计算线路 j 端与 k 端 0 模和 1 模分量下的行波差动电流 $dI_{j0}(t)$ 、 $dI_{j1}(t)$ 、 $dI_{k0}(t)$ 和 $dI_{k1}(t)$ 。

(3) 选取行波差动电流 1 模分量当前时刻 t 的计算值与 $t-t_0$ 时刻的计算值进行比较, 判据式为

$$dI_{j1}(t) > K \cdot dI_{j1}(t-t_0) \text{ 或 } dI_{k1}(t) > K \cdot dI_{k1}(t-t_0)$$

5 其中, K 为可靠系数, 为保证上述判据在经高阻短路故障情况下的可靠性, 同时具有一定灵敏性, 可靠系数可取 1.5-2; t_0 表示从当前时刻往前选择数据的时间长度, 可取 $t_0=2\text{ms}$ 。若上述判据在连续三个采样点的判断均成立, 则判定直流线路发生故障, 进入下一步骤; 否则判定直流线路未发生故障, 不进入下一步骤, 继续进行步骤 (1-3)。

(4) 通过以下计算式分别将 j 端与 k 端模量下的行波差动电流转换到极量下的行波差动电流。

10 j 端:

$$\begin{bmatrix} dI_{jp}(t) \\ dI_{jn}(t) \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} dI_{j0}(t) \\ dI_{j1}(t) \end{bmatrix}$$

k 端:

$$\begin{bmatrix} dI_{kp}(t) \\ dI_{kn}(t) \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} dI_{k0}(t) \\ dI_{k1}(t) \end{bmatrix}$$

(5) 利用步骤 (4) 中计算结果分别计算输电线路两端故障类型系数。

15 j 端:

$$B_j(t) = \frac{dI_{jp}(t) + dI_{jn}(t)}{dI_{jp}(t) - dI_{jn}(t)}$$

k 端:

$$B_k(t) = \frac{dI_{kp}(t) + dI_{kn}(t)}{dI_{kp}(t) - dI_{kn}(t)}$$

以 j 端故障类型系数为例说明在三种故障类型情况下的特征,

20 ①正极接地故障:

$$B_j(t) = \frac{dI_{jp}(t) + dI_{jn}(t)}{dI_{jp}(t) - dI_{jn}(t)} = \frac{i_f(t - \tau_{j0})}{i_f(t - \tau_{j1})}$$

②负极接地故障:

$$B_j(t) = \frac{dI_{jp}(t) + dI_{jn}(t)}{dI_{jp}(t) - dI_{jn}(t)} = -\frac{i_f(t - \tau_{j0})}{i_f(t - \tau_{j1})}$$

③双极短路故障:

$$B_j(t) = \frac{dI_{jp}(t) + dI_{jn}(t)}{dI_{jp}(t) - dI_{jn}(t)} = 0$$

根据上述三种情况下故障类型系数特征，可作如下判断：

- ① 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数为 0，则判断故障类型为双极短路故障。考虑在实际保护装置中，存在采样误差等因素的影响，使得在双极短路故障情况下两端故障类型系数不一定完全等于 0，这里认为故障类型系数的绝对值只要满足在 0.01 以内，则认为其值为 0。
- ② 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数大于 0.01，则判断故障类型为正极接地故障；
- ③ 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数小于 -0.01，则判断故障类型为负极接地故障。

权利要求

1. 一种高压直流输电线路故障类型判断方法，包括下列步骤：

(1) 采集直流线路 j 端与 k 端两端的正负极电压 u_{jp} 、 u_{jn} 、 u_{kp} 、 u_{kn} 和正负极电流 i_{jp} 、 i_{jn} 、 i_{kp} 、 i_{kn} ，利用解耦矩阵将采集到极量下的电压电流值变换到模量下的电压电流值：
5 u_{j0} 、 u_{j1} 、 u_{k0} 、 u_{k1} 、 i_{j0} 、 i_{j1} 、 i_{k0} 、 i_{k1} ；

(2) 分别计算线路 j 端与 k 端 0 模和 1 模分量下的行波差动电流 $dI_{j0}(t)$ 、 $dI_{j1}(t)$ 、 $dI_{k0}(t)$ 和 $dI_{k1}(t)$ ；

(3) 选取行波差动电流 1 模分量当前时刻 t 的计算值与 $t-t_0$ 时刻的计算值进行比较，
10 判据式为

$$dI_{j1}(t) > K \cdot dI_{j1}(t-t_0) \text{ 或 } dI_{k1}(t) > K \cdot dI_{k1}(t-t_0)$$

其中， K 为可靠系数，可取 1.5-2； t_0 表示从当前时刻往前选择数据的时间长度，若上述判据在连续三个采样点的判断均成立，则判定直流线路发生故障，进入下一步骤；

(4) 分别将 j 端与 k 端模量下的行波差动电流转换到极量下的行波差动电流 $dI_{jp}(t)$ 、 $dI_{jn}(t)$ 、 $dI_{kp}(t)$ 、 $dI_{kn}(t)$ ；
15 $dI_{jp}(t)$ 、 $dI_{jn}(t)$ 、 $dI_{kp}(t)$ 、 $dI_{kn}(t)$ ；

(5) 分别计算输电线路两端故障类型系数；

j 端：

$$B_j(t) = \frac{dI_{jp}(t) + dI_{jn}(t)}{dI_{jp}(t) - dI_{jn}(t)}$$

20 k 端：

$$B_k(t) = \frac{dI_{kp}(t) + dI_{kn}(t)}{dI_{kp}(t) - dI_{kn}(t)}$$

(6) 设定一个小正数 a ，根据故障类型系数特征，作如下判断：

- ① 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数的绝对值小于 a ，判断发生双极短路故障；
- ② 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数大于 a ，则判断故障类型为正极接地故障；
- 25 ③ 如果 j 端或者 k 端的故障类型系数小于 $-a$ ，则判断故障类型为负极接地故障。

2. 根据权利要求 1 所述的高压直流输电线路故障类型判断方法，其特征在于，a 为 0.01。

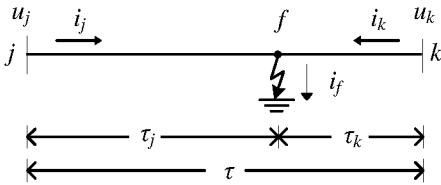


图 1

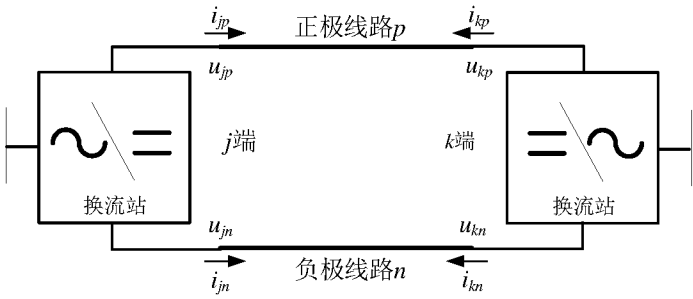


图 2

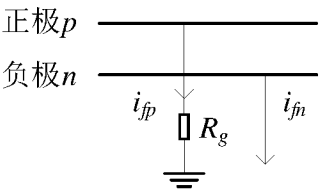


图 3

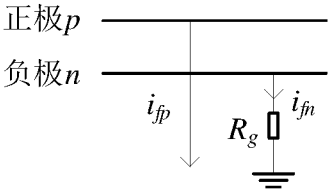


图 4

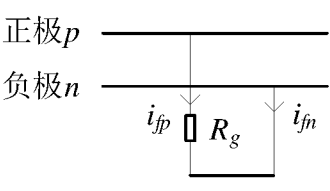


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/074454

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/08 (2006.01) i; H02H 7/26 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R 31; H02H 7; H02H 3

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI: 天津大学, 李斌, 邱宏, 直流, 模量, 模分量, 解耦, 模变换, 线模, 零模, 1 模, 差动, 差分, 电流, 差流, 制动, 故障, 类型, 类别, 选线, 选极, 系数, 行波, 采样点, 数据点, 差动保护, VEN, DWPI, SIPOABS: dc, direct current, diff+, current, travel+ wave, mode, decompos+, fault, failure, failed, current? protect+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106849029 A (XI'AN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY et al.) 13 June 2017 (13.06.2017), entire document	1, 2
A	CN 105071355 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.) 18 November 2015 (18.11.2015), entire document	1, 2
A	CN 105403779 A (KUNMING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 March 2016 (16.03.2016), entire document	1, 2
A	CN 1870378 A (NARI-RELAYS ELECTRIC CO., LTD.) 29 November 2006 (29.11.2006), entire document	1, 2
A	CN 102255293 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 23 November 2011 (23.11.2011), entire document	1, 2

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 21 April 2018	Date of mailing of the international search report 04 May 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LIU, Junjie Telephone No. (86-10) 62089542

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2018/074454

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105518958 A (ABB TECHNOLOGY AG) 20 April 2016 (20.04.2016), entire document	1, 2
A	JP 06296321 A (TOSHIBA CORPORATION) 21 October 1994 (21.10.1994), entire document	1, 2
A	WO 2014121438 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD. et al.) 14 August 2014 (14.08.2014), entire document	1, 2
A	于洋等. 双极高压直流输电线路行波差动保护原理及方案. 南方电网技术. 20 April 2011 (20.04.2011), 5(2), ISSN: 1674-0629, pp. 1 and 2. (YU, Yang et al. Traveling Wave Theory and Differential Protection Scheme for Bipolar-Operating HVDC Transmission Lines. Southern Power System Technology.)	1, 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2018/074454

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106849029 A	13 June 2017	None	
CN 105071355 A	18 November 2015	CN 105071355 B	09 January 2018
CN 105403779 A	16 March 2016	None	
CN 1870378 A	29 November 2006	CN 100414800 C	27 August 2008
CN 102255293 A	23 November 2011	CN 102255293 B	23 April 2014
CN 105518958 A	20 April 2016	WO 2016074198 A1	19 May 2016
JP 06296321 A	21 October 1994	JP H06296321 A	21 October 1994
WO 2014121438 A1	14 August 2014	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/074454

A. 主题的分类 G01R 31/08 (2006.01)i; H02H 7/26 (2006.01)i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G01R 31; H02H 7; H02H 3 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS, CNTXT, CNKI: 天津大学, 李斌, 邱宏, 直流, 模量, 模分量, 解耦, 模变换, 线模, 零模, 1模, 差动, 差分, 电流, 差流, 制动, 故障, 类型, 类别, 选线, 选极, 系数, 行波, 采样点, 数据点, 差动保护 VEN, DWPI, SIPOA-BS: dc, direct current, diff+, current, travel+ wave, mode, decompost+, fault, failure, failed, current, protect+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 106849029 A (西安科技大学等) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文	1-2
A	CN 105071355 A (国家电网公司等) 2015年 11月 18日 (2015 - 11 - 18) 全文	1-2
A	CN 105403779 A (昆明理工大学) 2016年 3月 16日 (2016 - 03 - 16) 全文	1-2
A	CN 1870378 A (南京南瑞继保电气有限公司) 2006年 11月 29日 (2006 - 11 - 29) 全文	1-2
A	CN 102255293 A (西安交通大学) 2011年 11月 23日 (2011 - 11 - 23) 全文	1-2
A	CN 105518958 A (ABB技术有限公司) 2016年 4月 20日 (2016 - 04 - 20) 全文	1-2
A	JP 06296321 A (TOSHIBA CORP.) 1994年 10月 21日 (1994 - 10 - 21) 全文	1-2
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2018年 4月 21日		2018年 5月 4日
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		刘俊杰 电话号码 80-010-62089542

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	WO 2014121438 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD. 等) 2014年 8月 14日 (2014 - 08 - 14) 全文	1-2
A	于洋等. “双极高压直流输电线路行波差动保护原理及方案” 《南方电网技术》，第5卷，第2期，2011年 4月 20日 (2011 - 04 - 20)， ISSN: 1674-0629, 第1-2页	1-2

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/074454

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	106849029	A	2017年 6月 13日	无	
CN	105071355	A	2015年 11月 18日	CN 105071355	B 2018年 1月 9日
CN	105403779	A	2016年 3月 16日	无	
CN	1870378	A	2006年 11月 29日	CN 100414800	C 2008年 8月 27日
CN	102255293	A	2011年 11月 23日	CN 102255293	B 2014年 4月 23日
CN	105518958	A	2016年 4月 20日	WO 2016074198	A1 2016年 5月 19日
JP	06296321	A	1994年 10月 21日	JP H06296321	A 1994年 10月 21日
WO	2014121438	A1	2014年 8月 14日	无	