



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111527661 A

(43)申请公布日 2020.08.11

(21)申请号 201880084878.4

(22)申请日 2018.06.14

(30)优先权数据

201741047202 2017.12.29 IN

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.06.29

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2018/054376 2018.06.14

(87)PCT国际申请的公布数据

W02019/130071 EN 2019.07.04

(71)申请人 ABB电网瑞士股份公司

地址 瑞士巴登

(72)发明人 内图·乔治 O·D·奈杜

S·斯里瓦斯塔瓦 A·V·赛

(74)专利代理机构 北京市汉坤律师事务所

11602

代理人 王其文 张涛

(51)Int.Cl.

H02H 7/26(2006.01)

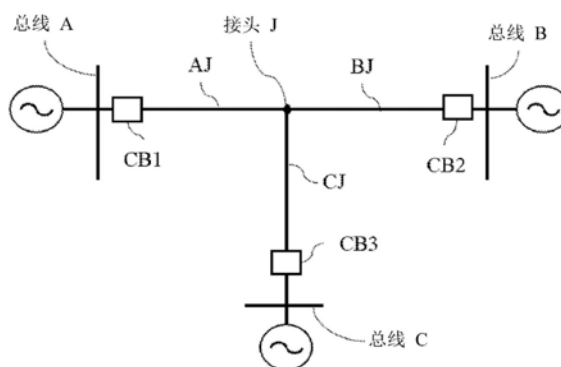
权利要求书2页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

多端子抽头线路中的故障定位

(57)摘要

本发明提供了一种用于电力传输系统中的故障定位的装置。电力传输系统至少连接第一端子、第二端子和第三端子,并且至少包括第一区段、第二区段和第三区段,其中这三个区段在接头处连接。该装置包括输入接口、相量计算模块、存储器和故障定位器。输入接口接收一个或多个端子处的电压和电流的测量结果。接口还可以接收从这些测量结果获得的相量。相量计算模块从电压和电流测量结果来计算正序电压和电流相量。该存储器具有每个区段的正序线路阻抗参数。故障定位器基于故障区段、针对每个端子获得的正序相量以及每个区段的线路阻抗参数来获取故障位置。



1. 一种用于电力传输系统中的故障定位的装置,其中,所述电力传输系统至少连接第一端子(A)、第二端子(B)和第三端子(C),并且其中,所述电力传输系统至少包括:第一区段(AJ)、第二区段(BJ)和第三区段(CJ),其中,所述第一区段、所述第二区段和所述第三区段在接头(J)处连接,其中,所述第一区段从所述第一端子到所述接头,所述第二区段从所述第二端子到所述接头,并且所述第三区段从所述第三端子到所述接头,其中,所述故障位于所述第一区段、所述第二区段和所述第三区段之一中,所述装置包括:

输入接口(302),所述输入接口用于接收以下一项或多项:

在所述第一端子、所述第二端子和所述第三端子中的一个或多个处执行的电压和电流测量;和

从在所述第一端子、所述第二端子和所述第三端子中的一个或多个处执行的电压和电流测量获得的正序电压和电流相量;

相量计算模块(304),所述相量计算模块用于从所述电力传输系统的端子处执行的电压和电流测量来计算正序电压和电流相量;

存储器(310),所述存储器具有所述电力传输系统的每个区段的正序线路阻抗参数;和

故障定位器(306),所述故障定位器用于基于具有所述故障的区段、针对每个端子获得的正序电压和电流相量以及每个区段的正序线路阻抗参数来获取故障位置。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述故障定位器通过计算 $K1/K2$ 的反双曲正切值来获得所述故障位置,其中,从每个端子的正序电压和电流相量中的一个或多个以及每个区段的正序线路阻抗参数来计算 $K1$ 和 $K2$ 。

3. 根据权利要求2所述的装置,其中,所述正序线路阻抗参数包括与充电电流相关联的参数。

4. 根据权利要求1所述的装置,其中,通过使在所述第一区段、第二区段和第三区段中的接头端处流动的电流的总和等于零来获得所述 $K1$ 和 $K2$,

其中,在作为除了具有故障的区段之外的区段的两个区段中,至少利用从对应端子处执行的测量所获得的所述正序电压和电流相量以及对应区段的所述正序线路阻抗参数计算流入所述接头中的电流;并且

其中,在具有故障的区段中,至少利用从在对应端子处执行的测量所获得的所述正序电压和电流相量以及对应区段的所述正序线路阻抗参数,作为未知故障位置的函数来计算所述接头端处的电流,并且计算电流包括:

从所述对应端子和所述故障位置之间的双端口网络来计算所述故障位置处的电压;和

使用所述故障位置处的电压,从所述故障位置和所述接头之间的双端口网络来计算所述接头端处的电流。

5. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述装置是与所述第一端子、所述第二端子和所述第三端子中的一个相关联的智能电子装置,其中,所述智能电子装置:

获得在所述对应端子处执行的电压和电流测量;

从在所述对应端子处执行的电压和电流测量获得正序电压和电流相量;和

与与所述对应端子关联的智能电子装置接收由在其他端子处执行的电压和电流测量所获得的正序电压和电流相量。

6. 根据权利要求1所述的装置,所述装置还包括故障区段识别模块(308),用于在所述

电力传输系统中发生故障之后根据从所述电力传输系统的每个端子处执行的电压和电流测量所获得的所述正序电压和电流相量 ($V_A^1, I_A^1, V_B^1, I_B^1, V_C^1, I_C^1$) 来确定具有故障的区段, 其中, 所述具有故障的区段由以下方式确定:

针对所述电力传输系统的每个端子计算电压相量 ($V_{A, \text{calculated}}^1, V_{B, \text{calculated}}^1, V_{C, \text{calculated}}^1$), 其中, 使用对应端子的电流相量和至少使用针对所述电力传输系统的至少一个其他端子获得的电压和电流相量来执行针对端子的电压相量的计算; 和

基于比较针对每个端子所计算出的电压相量和获得的电压相量来确定具有故障的区段。

7. 根据权利要求6所述的装置, 其中, 通过比较针对每个端子所计算出的电压相量和获得的电压相量之间的差来确定所述具有故障的区段。

多端子抽头线路中的故障定位

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及电力传输系统中的故障定位。更具体地,本发明涉及多端子抽头线路中的故障定位。

背景技术

[0002] 为了转移可再生电力或向大型工业负载供电,多端子或抽头线路提供了一种具有吸引力的解决方案,以最小的成本提供电力。使用多端子/抽头线路节省了与在分接点/连接点处安装测量互感器和搭建变电站相关的成本。多端子/抽头线路的数量已经有了极大的增长,这主要是由于增加了可再生能源并网的能力。在太阳能发电厂和风力发电厂的情况中确实如此,其中通过短线将电力转移到主网。在主线中引入抽头会使保护和故障定位变得复杂。

[0003] 断电的快速恢复对于保持传输线路的热负荷和电力系统的稳定性的公共设施而言至关重要。因此,多端子线路中准确的故障定位对于维护人员迅速到达故障点并进行维修非常重要。快速识别故障位置提高了可靠性、可用性并有助于减少收入损失。

[0004] 传输线路有许多可用技术,但是由于每个区段具有不同的X/R比,因此多端子线路(不同配置)和多端子混合线路的准确故障定位仍然是一个挑战。

[0005] 已知用于多端子线路的故障定位方法,该故障定位方法仅在所有端子处使用选定的负序量。尽管在这种方法中减少了继电器之间的通信需求,但是该解决方案并非对所有故障情况都有效。对称故障不会产生任何负序信号,使得该方法不适用于这些故障情况。该方法还要求了解所有端子处的源阻抗大小和相角,而这些信息可能并不总是可用的。这种方法没有考虑电容性电流补偿,并且如果电缆区段出现故障,则可能会引入更多误差。

[0006] 还已知一种用于在所有端子处使用电压和电流量的多端子线路的故障定位方法。在该方法中,制定了用于双端子线路的解决方案。此外,对于多端子线路,识别故障区段;并且通过将故障区段视为双端子线路并使用针对双端子线路制定的解决方案来计算故障位置。

[0007] 在现有解决方案中,使用电流分布因子对故障线路上的结电流进行计算。这些电流分布因子取决于例如源阻抗等各种因素,并且不会补偿可能引入相当大的误差的线路电容效应。从故障线路的端子处测得的电流来计算结电流是有挑战性的。这是因为在计算时必须考虑到均为未知的故障电阻和流过故障电阻的电流。

[0008] 因此,需要用于在多端子抽头线路的情况下获得故障定位的替代手段。

发明内容

[0009] 本发明的各个方面涉及用于电力传输系统中的故障定位的装置和方法。电力传输系统可以是多端子抽头线路。例如,电力传输系统可以是三端子系统,该系统具有在接头或抽头处连接的三个线路区段(例如,架空线路区段)。

[0010] 根据各种实施例,电力传输系统连接三个或更多个端子。相应地,该系统至少具有

第一端子、第二端子和第三端子。在这种情况下,电力传输系统包括三个或更多个区段,至少具有第一区段、第二区段和第三区段。在此,第一区段、第二区段和第三区段在一个或多个接头处连接,其中,第一区段从第一端子至接头,第二区段从第二端子至接头,并且第三区段从第三端子至接头。

[0011] 在电力传输系统中的特定位置处可能存在电气故障(或扰动)。故障可能发生在架空线路中或发生在架空线路之间的接头处。故障可能位于电力传输系统的接头处或电力传输系统的特定区段中。例如,故障可能位于第一区段、第二区段和第三区段中的一个中。

[0012] 本发明的装置在电力传输系统中定位故障。该装置可以是智能电子装置(IED)。该智能电子装置可以是与线路区段、接头、端子等之一相关联的IED。IED从连接到线路的一个或多个测量设备接收一个或多个信号。例如,测量设备可以包括电流互感器、电压互感器、基于传感器的测量设备(例如罗氏(Rogowski)线圈、非常规仪表互感器等)和/或其它,所述测量设备提供与从线路中感测到的电流、电压或其他信息相对应的信号。例如,电流互感器向IED提供单相/多相电流信号,而电压互感器可向IED提供单相/多相电压信号。在一实施例中,该装置与第一端子、第二端子和第三端子中的一个相关联,并且从(与其他端子相关联的)其他装置接收数据。

[0013] 该装置具有一个或多个模块,用于执行装置的故障定位和其他功能。这样的模块可以用对应装置的一个或多个处理器来实施。在一个实施例中,该装置具有输入接口、相量计算模块、存储器和故障定位器。输入接口接收在第一端子、第二端子和第三端子中的一个或多个端子处执行的电压和电流测量中的一个或多个;以及从在第一端子、第二端子和第三端子中的一个或多个端子处执行的电压和电流测量所获得的正序电压和电流相量。在该装置是与端子相关联的IED的实施例中,IED从对应的测量设备接收一个或多个信号并从对应的测量设备获得测量结果。替代地,测量设备通过总线(例如,过程总线)发布测量结果,而IED(例如,订阅成从这种总线接收数据)通过总线来接收测量结果。在此,IED可以从其他IED(与其他端子关联)接收电压/电流测量结果或接收通过对应的IED所获得的相量。在此,在三个端子处同步实施测量。

[0014] 该装置的相量计算模块用于从电力传输系统的端子处执行的电压和电流测量来计算正序电压和电流相量。例如,IED可以从在相关端子处执行的电压/电流测量来计算正序电压和电流相量(例如,使用适当的相量计算,诸如傅立叶计算等)。该装置的存储器具有电力传输系统的各区段的正序线路阻抗参数。这样的参数信息可以预先存储在装置中(例如,由操作人员预先存储在装置中)。

[0015] 该装置可以可选地具有故障区段识别模块,用于确定具有故障的区段。在一实施例中,通过计算每个端子的电压相量的值来确定具有故障的区段,并且将计算出的值与电压相量值(即,从端子处执行的电压测量所获得的)进行比较。在此,针对电力传输系统的每个端子计算电压相量。使用对应端子的电流相量以及针对电力传输系统的至少一个其他端子所获得的至少电压和电流相量来执行针对端子的电压相量的计算。

[0016] 在一实施例中,确定具有故障的区段包括比较针对每个端子计算出的电压相量和获得的电压相量之间的差。考虑每个端子的差小于阈值的情况。在这种情况下,可以确定故障位于接头处。在一实施例中,可以将针对其计算出的电压相量与获得的电压相量之间的差最小的端子识别为健康或无故障区段并认为另一区段为故障。例如,如果从端子B计算出

的端子A电压几乎等于在端子A处测得的电压(差最小),则可以识别出故障位于区段CJ(位于端子C和接头之间)上。在另一个实施例中,所计算出的电压相量和获得的电压相量之间的差最大的端子相关联的区段可以被识别为具有故障的区段。

[0017] 故障定位器基于具有故障的区段、针对每个端子获得的正序电压和电流相量以及每个区段的正序线路阻抗参数获取故障位置。在一实施例中,故障定位器通过计算K1/K2的反双曲正切值来获得故障位置。这里,从每个端子的正序电压和电流相量以及每个区段的正序线路阻抗参数中的一个或多个来计算K1和K2。

[0018] 考虑到这样一种情况,其中故障在第一区段(或AJ)中。在这种情况下,可以从以下推导出故障位置:

$$[0019] \quad d_A = \frac{1}{\gamma_{AJ}^1} \tanh^{-1} \left(\frac{K1}{K2} \right)$$

[0020] 这里, γ_{AJ}^1 是区段AJ的传播常数,并且可以使用以下算式从每个端子(A、B和C以及对应区段AJ、BJ和CJ)的正序电压和电流相量以及正序线路阻抗参数计算出K1和K2:

$$[0021] \quad K1 = (V_A^1 - V_B^1 A_{AJ}^1 A_{BJ}^1 - I_B^1 A_{AJ}^1 B_{BJ}^1 + B_{AJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 + B_{AJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1 + B_{AJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 + B_{AJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1)$$

$$[0022] \quad K2 = (Zc_{AJ}^1 * (I_A^1 - C_{AJ}^1 A_{BJ}^1 V_B^1 - C_{AJ}^1 B_{BJ}^1 I_B^1 - A_{AJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 - A_{AJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1 - A_{AJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 - A_{AJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1))$$

[0023] 可以通过进行特定假设或仅在双曲线展开式中取有限数量的项来计算反双曲正切值。

[0024] 通过使在第一区段、第二区段和第三区段中的接头端处流动的电流相等来获得参数K1和K2。更具体地说,通过使接头处的三个电流之和等于零来获得故障位置。

[0025] 在具有故障的区段之外的其他区段中,至少利用从在对应端子处执行的测量获得的正序电压和电流相量以及对应区段的正序线路阻抗参数来计算流入接头中的电流。

[0026] 对于具有故障的区段,作为故障位置(或故障距离)的函数来计算接头端处的电流。至少使用从对应端子处执行的测量获得的正序电压和电流相量以及对应区段的正序线路阻抗参数来计算电流。

[0027] 为了计算接头端处的电流,首先要计算故障位置处的电压。这是从对应端子和故障位置之间的双端口网络计算出的。使用故障位置处的电压,可从故障位置处和接头之间的双端口网络计算出接头端处的电流。

附图说明

[0028] 在下文中,将参考附图中示出的示例性实施例更详细地解释本发明的主题,在所述附图中:

[0029] 图1是根据本发明的实施例的电力传输系统的简化图;

[0030] 图2是根据本发明的实施例的用于从线路获得测量结果的智能电子装置的连接的简化图;

[0031] 图3是根据本发明的实施例的用于故障定位的装置的简化框图;

[0032] 图4是根据本发明的实施例的用于故障定位的方法的流程图;和

[0033] 图5是根据本发明的实施例的电力传输系统的区段AJ上的故障的简化图。

具体实施方式

[0034] 本发明的各个方面涉及电力传输系统中的故障定位。电力传输系统包括具有三个或更多个端子的多端子抽头线路(多端子线路)。

[0035] 参照图1,图1示出了根据本发明的实施例的连接三个端子的多端子抽头线路(也称为抽头线路)。图1中所示的传输系统是三端子系统。总线A(第一端子)、总线B(第二端子)和总线C(第三端子)是三个端子,而J是接头。在这些端子之间有多个线路区段的情况下(图1中未示出),也可以存在一个以上的接头(例如两个或更多个接头)。在图1所示的系统中共有三个区段。第一区段(AJ)从总线A至接头,第二区段从总线B至接头,并且第三区段从总线C至接头。

[0036] 本发明提供了用于在这种电力传输系统中进行故障定位的装置和方法。响应于系统中的故障而执行故障定位。该方法用与该装置相关联的一个或多个处理器执行。例如,该方法可以由具有处理器的智能电子装置(IED)来实施。这可以是与线路区段、接头、端子等之一相关联的IED。图2中示出了这样一个示例,其中,IED(202)与总线A相关联。IED从连接到线路的一个或多个测量设备接收一个或多个信号。在图2的示例中,电流互感器(CT)向IED提供单相/多相电流信号,而电压互感器(PT)向IED提供单相/多相电压信号。

[0037] 在一实施例中,IED从测量设备接收一个或多个信号并从该测量设备获得测量结果。在另一个实施例中,测量设备通过总线(例如,过程总线)发布测量结果,并且IED(例如,订阅成从这种总线接收数据)通过总线接收测量结果。

[0038] IED还与其他总线(即,总线B、总线C)相关联的IED通信。此处,总线A处的IED会接收测量结果或在其他IED处获得的相量。类似地,总线B处的IED将从总线A和/或总线C处的IED接收信息,而总线C处的IED将从总线A和/或总线B处的IED接收信息。

[0039] 在一实施例中,该装置具有多个模块。图3是该装置的简化框图。根据图3所示的实施例,多个模块包括输入接口(302)、相量计算模块(304)、故障定位器(306)、故障区段识别模块(308)和存储器(310)。可以使用一个或多个处理器来实施多个模块。例如,一个或多个处理器可以是IED(例如,IED 202)的处理器。

[0040] 该方法还可以通过服务器与和线路相关联的装置之间的通信来实施。在此,模块中的一些可以用服务器的一个或多个处理器来实施(例如,使用来自该线路各个端子处的各种测量设备的测量结果进行模型的计算或使用),而其他模块则可以用装置的一个或多个处理器来执行(例如输入接口、故障定位器等)。替代地,可以在服务器处实施该方法,并且故障位置被传送给IED或其他电力系统装置。

[0041] 输入接口接收电压和电流的测量结果中的一项或多项。考虑到该装置是总线A处的IED。在这种情况下,IED接收从总线A处的测量设备获得的测量结果。替代地,输入接口可以从测量设备接收一个或多个信号并从中获取测量结果。输入接口还充当用于从其他装置接收信息的通信接口。例如,测量结果可以通过总线发布,并且IED订阅该测量结果。再举另一个示例,总线A处的IED可从总线B和总线C处的IED或(例如服务器或其他电力系统装置上的)其他装置的其他模块(例如相量计算模块)接收信息。

[0042] 相量计算模块从电压和电流测量计算正序电压和电流相量。相量计算模块可以从测量数据来计算不同的相量。例如,相量计算模块可以从一个端子(或总线)处的测量结果来计算正序电压和电流相量。可以使用诸如但不限于傅立叶计算的合适的相量计算来获得这样的相量。例如,从计算出的电压相量,使用以下变换矩阵来计算正序量:

$$[0043] \quad \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$$[0044] \quad \text{其中, } a = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

[0045] 还可以使用下述各项来计算端子的电压相量用于故障区段识别:针对同一端子获得的电流相量;以及针对另一个端子获得的电压和电流相量。这是另一个电压相量/第二电压相量(与第一相量不同,所述第一相量可以根据同一端子处的测量结果从电压相量计算出)。例如,在三端子系统的情况下,可以使用针对第二端子获得的电压和电流相量和针对第一端子获得的电流相量来计算针对第一端子的电压相量。这里,代替使用针对第二端子获得的电压和电流相量,可以使用针对第三端子获得的电压和电流相量。替代地,可以使用第二端子测量结果和第三端子测量结果与第一端子测量结果一起计算两个电压相量并且选择两个电压相量中的一个。

[0046] (装置或服务上的)存储器可以是用于存储不同信息(例如但不限于扰动记录、线路参数等)的任何合适的存储器。可以在存储器中获得电力传输系统的每个区段的正序线路阻抗参数。这样的参数信息可以预先存储在装置中(例如,由操作人员预先存储在装置中)。这也可以存储在服务器或其他装置中并出于故障定位的目的传达给IED。

[0047] 故障定位器基于具有故障的区段、针对每个端子获得的正序电压和电流相量以及每个区段的正序线路阻抗参数获得故障位置。可以可选地由故障区段识别模块执行故障区段识别。

[0048] 在一实施例中,通过计算针对每个端子的电压相量值(上述第二相量)并将该计算值与电压相量值(即,从端子处得出的电压测量结果获得的第一相量)相比较来确定有故障的区段。在此,针对电力传输系统的每个端子计算电压相量。使用对应端子的电流相量以及至少针对电力传输系统的至少一个其他端子获得的电压和电流相量来执行针对端子的电压相量的计算。

[0049] 故障区段信息用于故障位置的计算。在一实施例中,故障定位器通过计算K1/K2的反双曲正切值来获得故障位置。这里,从每个端子的正序电压和电流相量以及每个区段的正序线路阻抗参数中的一个或多个来计算K1和K2。

[0050] 下文描述了本发明的方法,使用上述装置(或模块)实施本发明的方法的各个步骤。

[0051] 如图1所示的三个端子的系统用于描述以下说明的故障定位解决方案。如图所示,端子A、端子B和端子C是第一端子、第二端子和第三端子;区段AJ、区段BJ和区段CJ是第一区段、第二区段和第三区段,而J是所有三个区段共同的接头。区段AJ、区段BJ和区段CJ的各自

的线路长度由 L_a 、 L_b 和 L_c 表示(图1中未示出)。

[0052] 使用ABCD参数表示三个区段AJ、BJ和CJ的正序线路阻抗参数。在这里, A_{AJ}^1 、 B_{AJ}^1 、 C_{AJ}^1 和 D_{AJ}^1 分别是区段AJ的A、B、C和D参数。类似地, A_{BJ}^1 、 B_{BJ}^1 、 C_{BJ}^1 和 D_{BJ}^1 分别是区段BJ的A、B、C和D参数,而 A_{CJ}^1 、 B_{CJ}^1 、 C_{CJ}^1 和 D_{CJ}^1 分别是区段CJ的A、B、C和D参数。在402,可以事先获得并存储线路参数。

[0053] 在所有三个端子处都可以从扰动记录器(IED)获得电压和电流测量。电压和电流测量记录在端子A处并从这些测量计算出故障后的正序电压和电流相量。故障后的正序电压和电流相量分别由 V_A^1 和 I_A^1 表示(即,从端子A处的测量获得的相量)。故障前的正序电压和电流相量也可以计算出并且分别用 V_{Apre}^1 和 I_{Apre}^1 表示。类似地,从在端子B和端子C处的测量计算出的故障后的正序电压和电流相量分别用 V_B^1 、 I_B^1 和 V_C^1 、 I_C^1 表示。故障前的正序电压和电流相量可以从端子B和端子C处的测量计算出并且分别用 V_{Bpre}^1 、 I_{Bpre}^1 和 V_{Cpre}^1 、 I_{Cpre}^1 表示。可以使用相量计算模块来计算相量。

[0054] 在404,可以确定具有故障的区段。为了获得故障位置,需要确定哪个区段有故障。可以使用以下描述的步骤或使用其他故障区段识别方法来执行这种确定。这些步骤由故障区段识别模块执行。假设三个端子处的测量是同步的。

[0055] 故障区段识别中的步骤I:使用来自其他端子的测量来计算所有三个端子处的电压:

[0056] 使用等式(1),利用在端子B处测量的电压和电流以及在端子C处测量的电流来计算端子C处的故障后的正序电压。

$$[0057] \quad V_{C_calculated}^1 = \frac{D_{BJ}^1 * V_B^1 - B_{BJ}^1 * I_B^1 + B_{CJ}^1 * I_C^1}{D_{CJ}^1} \quad (1)$$

[0058] 类似地,使用等式(2),利用在端子C处测量的电压和电流以及在端子A处测量的电流来计算端子A处的故障后的电压。

$$[0059] \quad V_{A_calculated}^1 = \frac{D_{CJ}^1 * V_C^1 - B_{CJ}^1 * I_C^1 + B_{AJ}^1 * I_A^1}{D_{AJ}^1} \quad (2)$$

[0060] 以类似的方式,使用等式(3),利用在端子A处测量的电压和电流以及在端子B处测量的电流来计算端子B处的故障后的电压。

$$[0061] \quad V_{B_calculated}^1 = \frac{D_{AJ}^1 * V_A^1 - B_{AJ}^1 * I_A^1 + B_{BJ}^1 * I_B^1}{D_{BJ}^1} \quad (3)$$

[0062] 为了计算端子C的故障后的电压,可以使用端子A处的测量结果代替端子B的测量结果。替代地,可以计算两个相量用于比较目的(如下所述)。可以针对其他端子执行类似的计算。

[0063] 故障区段识别中的步骤II:将每个端子处的计算电压与相应端子处的测量电压进行比较:

[0064] 可以使用等式(4)、等式(5)和等式(6)进行针对每个端子的测量电压和计算电压之间的比较:

$$[0065] \quad [\Delta V_{B2A}] = |V_{B_calculated}^1 - V_B^1| \quad (4)$$

$$[0066] \quad [\Delta V_{C2B}] = |V_{C_calculated}^1 - V_C^1| \quad (5)$$

$$[0067] \quad [\Delta V_{A2C}] = |V_{A_calculated}^1 - V_A^1| \quad (6)$$

[0068] 步骤III:故障区段的识别:

[0069] 情况I:接头处的故障

[0070] 如果故障在接头处,则理想地在所有三个端子处的计算电压应等于相应的测量电压。即, ΔV_{B2A} 、 ΔV_{A2C} 和 ΔV_{C2B} 理想地应等于零。因此,如果 ΔV_{B2A} 、 ΔV_{A2C} 和 ΔV_{C2B} 小于小阈值 ϵ ,则识别出故障在接头处。

[0071] 情况II:区段AJ中的故障

[0072] 如果故障在区段AJ中,则从总线B的测量计算出的 $V_{C_calculated}^1$ 理想地等于测量值 V_C^1 。即, ΔV_{C2B} 将理想地为零。

[0073] 情况III:区段BJ中的故障

[0074] 类似地,如果故障在区段BJ中,则从总线C的测量计算出的 $V_{A_calculated}^1$ 将理想地等于测量值 V_A^1 。即, ΔV_{A2C} 将理想地为零。

[0075] 情况IV:区段CJ中的故障

[0076] 类似地,如果故障在区段CJ中,则从总线A的测量计算出的 $V_{B_calculated}^1$ 将理想地等于测量值 V_B^1 。即, ΔV_{B2A} 将理想地为零。

[0077] 基于上述,我们可以得出以下条件:

[0078] • 如果 ΔV_{B2A} 、 ΔV_{A2C} 和 $\Delta V_{C2B} < \epsilon \rightarrow$ 故障在接头处

[0079] • 如果 ΔV_{C2B} 最小,则区段AJ具有故障 \rightarrow 故障在区段AJ中

[0080] • 如果 ΔV_{A2C} 最小,则区段BJ具有故障 \rightarrow 故障在区段BJ中

[0081] • 如果 ΔV_{B2A} 最小,则区段CJ具有故障 \rightarrow 故障在区段CJ中

[0082] 在识别出故障区段之后,可以使用以下子例程中适当的一个子例程来计算故障位置。

[0083] 情况I:故障在接头处

[0084] 如果故障在接头处,则

[0085] • IED A将显示所述区段AJ的长度作为故障位置

[0086] • IED B将显示所述区段BJ的长度作为故障位置

[0087] • IED C将显示所述区段CJ的长度作为故障位置

[0088] 情况II:区段AJ中的故障

[0089] 对于区段AJ中的故障,用 d_A 表示来自端子A的未知故障位置。为了计算故障位置,需要计算从对应于健康区段的端子流入接头中的电流 (406) 以及计算具有故障的区段中的接头端处流动的电流 (408)。

[0090] 计算从对应于两个健康区段之一的两个端子中的一个端子流入接头中的电流:在这里取端子B。从端子B和接头J之间的双端口网络流入接头的电流 I_{fB} 计算为:

$$[0091] \quad I_{fB} = C_{BJ}^1 V_B^1 + D_{BJ}^1 I_B^1 \quad (7)$$

[0092] 其中,

[0093] • C_{BJ}^1, D_{BJ}^1 -区段BJ的正序ABCB参数

[0094] • $C_{BJ}^1 = -\cosh(\gamma_{BJ} L_B); D_{BJ}^1 = \frac{1}{Z_{CBJ}^1} \sinh(\gamma_{BJ} L_B)$

[0095] • Z_{CBJ}^1 -区段BJ的特性阻抗

[0096] • γ_{BJ}^1 -区段BJ的传播常数

[0097] • I_{fB} -从端子B流入到接头中的电流

[0098] 在此,正序ABCB参数包括与充电电流(即, γ_{BJ}^1 传播常数)相关的参数。

[0099] 计算从对应于两个健康区段中的第二个健康区段的两个端子中的第二个端子流入接头的电流:在这里取端子C。从端子C和接头J之间的双端口网络,流入接头的电流 I_{fC} 计算为:

$$[0100] \quad I_{fC} = C_{CJ}^1 V_C^1 + D_{CJ}^1 I_C^1 \quad (8)$$

[0101] 其中

[0102] • C_{CJ}^1, D_{CJ}^1 -区段CJ的正序ABCB参数

[0103] • $C_{CJ}^1 = -\cosh(\gamma_{CJ} L_C); D_{CJ}^1 = \frac{1}{Z_{CCJ}^1} \sinh(\gamma_{CJ} L_C)$

[0104] • Z_{CCJ}^1 -区段CJ的特性阻抗

[0105] • γ_{CJ}^1 -区段CJ的传播常数

[0106] • I_{fC} -从端子C流入到接头中的电流

[0107] 在了解到故障在区段AJ上的情况下,计算在区段AJ上的接头端处流动的电流,即 I_{fA} 。从端子A和故障点F之间的双端口网络(见图5),使用端子A处的电压和电流计算在接收端F处的电压。这是未知故障距离的函数。

$$[0108] \quad V_F = A_{dA}^1 V_A^1 + B_{dA}^1 I_A^1 \quad (9)$$

[0109] 其中

[0110] • $A_{dA}^1 = \cosh(\gamma_{AJ}^1 d_A);$

[0111] • $B_{dA}^1 = -Z_{CAJ}^1 \sinh(\gamma_{AJ}^1 d_A);$

[0112] • d_A -从端子A测量与故障相距的距离

[0113] • A_{dA}^1, B_{dA}^1 -针对至故障点的线路限定的正序ABCD参数

[0114] • Z_{CAJ}^1 -区段AJ的特性阻抗

[0115] • γ_{AJ}^1 -区段AJ的传播常数

[0116] • VF-从端子A计算的F处的电压

[0117] 从F和J之间以及J和B之间的双端口网络;并且使用等式(9)中计算出的电压VF,可以如(10)中那样计算电流 I_{fA} 。这是未知故障距离的函数。

$$[0118] \quad I_{fA} = \frac{V_F - A_{L_A-d_A}^1 (A_{BJ}^1 V_B^1 + B_{BJ}^1 I_B^1)}{B_{L_A-d_A}^1} \quad (10)$$

[0119] 将(9)代入(10),我们得到,

$$[0120] \quad I_{fA} = \frac{A_{d_A}^1 V_A^1 + B_{d_A}^1 I_A^1 - A_{L_A-d_A}^1 (A_{BJ}^1 V_B^1 + B_{BJ}^1 I_B^1)}{B_{L_A-d_A}^1} \quad (11)$$

[0121] 其中

$$[0122] \quad \bullet A_{L_A-d_A}^1 = \cosh(\gamma_{AJ}(L_A - d_A)); B_{L_A-d_A}^1 = -Z_{CAJ}^1 \sinh(\gamma_{AJ}(L_A - d_A))$$

[0123] • d_A -从端子A测量与故障相距的距离

[0124] • $A_{L_A-d_A}^1 B_{L_A-d_A}^1$ -针对至故障点的线路限定的正序ABCD参数

[0125] • Z_{CAJ}^1 -区段AJ的特性阻抗

[0126] • γ_{AJ}^1 -区段AJ的传播常数

[0127] 在410,接头处的所有三个电流的总和等于零以获得故障位置。因此,由于任意节点处的电流总和等于零,故所有三个电流 I_{fA} 、 I_{fB} 和 I_{fC} 的总和等于零。使用此关系,求解未知故障位置。

$$[0128] \quad I_{fA} + I_{fB} + I_{fC} = 0 \quad (12)$$

[0129] 将(7),(8)和(11)代入(12),我们得到,

$$[0130] \quad \frac{A_{d_A}^1 V_A^1 + B_{d_A}^1 I_A^1 - A_{L_A-d_A}^1 (A_{BJ}^1 V_B^1 + B_{BJ}^1 I_B^1)}{B_{L_A-d_A}^1} + C_{BJ}^1 V_B^1 + D_{BJ}^1 I_B^1 + C_{CJ}^1 V_C^1 + D_{CJ}^1 I_C^1 = 0 \quad (13)$$

[0131] 简化等式(13),进一步给出,

$$[0132] \quad A_{d_A}^1 V_A^1 + B_{d_A}^1 I_A^1 - A_{L_A-d_A}^1 (A_{BJ}^1 V_B^1 + B_{BJ}^1 I_B^1) + B_{L_A-d_A}^1 (C_{BJ}^1 V_B^1 + D_{BJ}^1 I_B^1) + C_{CJ}^1 V_C^1 + D_{CJ}^1 I_C^1 = 0 \quad (14)$$

[0133] 取代等式(14)中的 $A_{L_A-d_A}^1, B_{L_A-d_A}^1, A_{d_A}^1, B_{d_A}^1$, 得出如下等式(15)

$$[0134] \quad \begin{aligned} & V_A^1 \cosh(\gamma_{AJ} d_A) - Z_{CAJ}^1 \sinh(\gamma_{AJ} d_A) * I_A^1 \\ & = \cosh(\gamma_{AJ}(L_A - d_A)) * (A_{BJ}^1 V_B^1 + B_{BJ}^1 I_B^1) + Z_{CAJ}^1 \sinh(\gamma_{AJ}(L_A - d_A)) (C_{BJ}^1 V_B^1 + D_{BJ}^1 I_B^1) \\ & + C_{CJ}^1 V_C^1 + D_{CJ}^1 I_C^1 \end{aligned} \quad (15)$$

[0135] 余弦和正弦双曲项可以扩展,例如

$$[0136] \quad \sinh(\gamma_{AJ}(L_A - d_A)) = \sinh(\gamma_{AJ} L_A) \cosh(\gamma_{AJ} L_{AdA}) - \cosh(\gamma_{AJ} L_A) \sinh(\gamma_{AJ} L_{AdA})$$

[0137] 展开等式(15)中的余弦和正弦双曲项,并且简化,得到等式(16),

$$[0138] \quad (C_{AJ}^1 V_A^1 - I_A^1 A_{AJ}^1 + C_{BJ}^1 V_B^1 + D_{BJ}^1 I_B^1 + C_{CJ}^1 V_C^1 + D_{CJ}^1 I_C^1 * \sinh(\gamma_{AJ}^1 d_A) \\ = \cosh(\gamma_{AJ}^1 d_A) * (V_A^1 A_{AJ}^1 + I_A^1 B_{AJ}^1 - V_B^1 A_{BJ}^1 - I_B^1 B_{BJ}^1) \quad (16)$$

[0139] 进一步简化得到

$$[0140] \quad \frac{\sinh(\gamma_{AJ}^1 d_A)}{\cosh(\gamma_{AJ}^1 d_A)} \\ = \frac{(V_A^1 - V_B^1 A_{AJ}^1 A_{BJ}^1 - I_B^1 A_{AJ}^1 B_{BJ}^1 + B_{AJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 + B_{AJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1 + B_{AJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 + B_{AJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1)}{(Zc_{AJ}^1 * (I_A^1 - C_{AJ}^1 A_{BJ}^1 V_B^1 - C_{AJ}^1 B_{BJ}^1 I_B^1 + A_{AJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 + A_{AJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1 + A_{AJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 + A_{AJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1))}$$

[0141] 可以从上述等式得出未知的故障位置 d_A ,

$$[0142] \quad d_A = \frac{1}{\gamma_{AJ}^1} \tanh^{-1} \left(\frac{K1}{K2} \right) \quad (17)$$

[0143] 其中

$$[0144] \quad K1 = (V_A^1 - V_B^1 A_{AJ}^1 A_{BJ}^1 - I_B^1 A_{AJ}^1 B_{BJ}^1 + B_{AJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 + B_{AJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1 + B_{AJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 \\ + B_{AJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1)$$

$$[0145] \quad K2 = (Zc_{AJ}^1 * (I_A^1 - C_{AJ}^1 A_{BJ}^1 V_B^1 - C_{AJ}^1 B_{BJ}^1 I_B^1 - A_{AJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 - A_{AJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1 - A_{AJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 - \\ A_{AJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1))$$

[0146] 故障定位器可以通过计算反双曲正切值来获取故障位置。这可以通过进行特定假设或仅在双曲线展开式中采用有限数量的项来计算。

[0147] 情况III:区段BJ中的故障

[0148] 对于区段BJ中的故障,来自端子B的未知故障位置用 d_B 表示。像区段AJ的情况一样,计算所有三个区段的接头处的电流。使得所有三个电流的和为零并根据等式(18)求解未知的故障距离

$$[0149] \quad d_B = \frac{1}{\gamma_{BJ}^1} \tanh^{-1} \left(\frac{K1}{K2} \right) \quad (18)$$

[0150] 其中,

$$[0151] \quad K1 = (V_B^1 - V_A^1 A_{AJ}^1 A_{BJ}^1 - I_A^1 A_{BJ}^1 B_{AJ}^1 + B_{BJ}^1 C_{AJ}^1 V_A^1 + B_{BJ}^1 D_{AJ}^1 I_A^1 + B_{BJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 \\ + B_{BJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1)$$

$$[0152] \quad K2 = Zc_{BJ}^1 * (I_B^1 - C_{BJ}^1 A_{AJ}^1 V_A^1 - C_{BJ}^1 B_{AJ}^1 I_A^1 - A_{BJ}^1 C_{AJ}^1 V_A^1 - A_{BJ}^1 D_{AJ}^1 I_A^1 - A_{BJ}^1 C_{CJ}^1 V_C^1 - \\ A_{BJ}^1 D_{CJ}^1 I_C^1)$$

[0153] 情况IV:区段CJ中的故障

[0154] 对于区段CJ中的故障,来自端子C的未知故障位置由 d_C 表示。类似于以上所述,接头处的所有三个电流之和等于零,并按照等式(19)求解未知的故障距离

$$[0155] \quad d_{C1} = \frac{1}{\gamma_{CJ}^1} \tanh^{-1} \left(\frac{K1}{K2} \right) \quad (19)$$

[0156] 其中,

$$\begin{aligned}
[0157] \quad K1 &= (V_C^1 - V_A^1 A_{AJ}^1 A_{CJ}^1 - I_A^1 A_{CJ}^1 B_{AJ}^1 + B_{CJ}^1 C_{AJ}^1 V_A^1 + B_{CJ}^1 D_{AJ}^1 I_A^1 + B_{CJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 + B_{CJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1) \\
[0158] \quad K2 &= Z C_{CJ}^1 * (I_C^1 - C_{CJ}^1 A_{AJ}^1 V_A^1 - C_{CJ}^1 B_{AJ}^1 I_A^1 - A_{CJ}^1 C_{BJ}^1 V_B^1 - A_{CJ}^1 D_{BJ}^1 I_B^1 - A_{CJ}^1 C_{AJ}^1 V_A^1 - \\
&\quad A_{CJ}^1 D_{AJ}^1 I_A^1)
\end{aligned}$$

[0159] 本发明提供了使用来自所有端子的同步数据的用于多端子/抽头线路的精确故障定位装置和方法。解决方案首先识别出故障区段,然后指出识别区段上的故障位置。本发明仅需要故障后的正序电压和电流测量结果以及正序线路参数。本发明独立于源阻抗、故障电阻、负载信息、相位不平衡、零序参数、相互补偿、故障回路信息等。

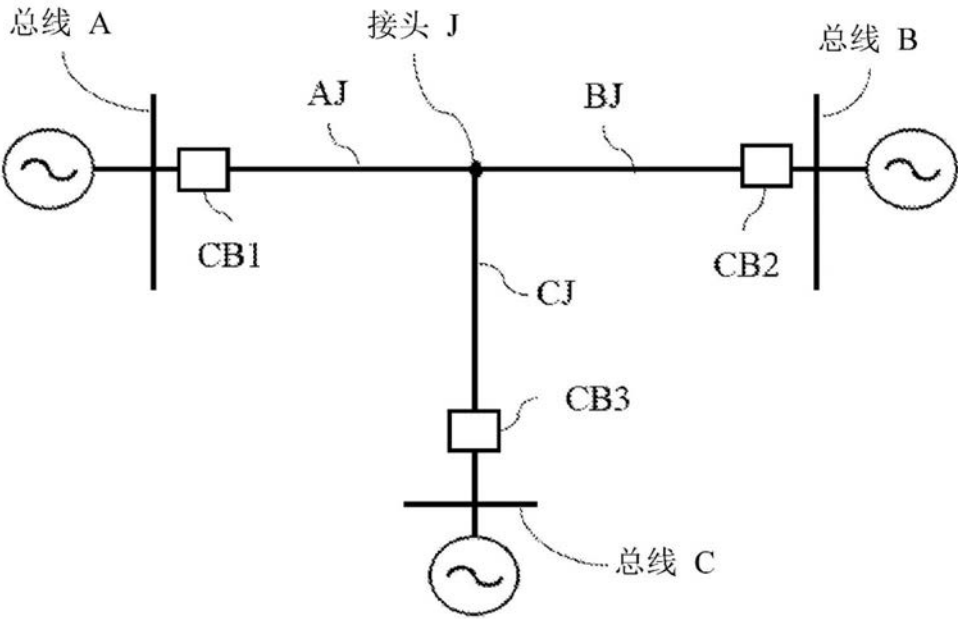


图1

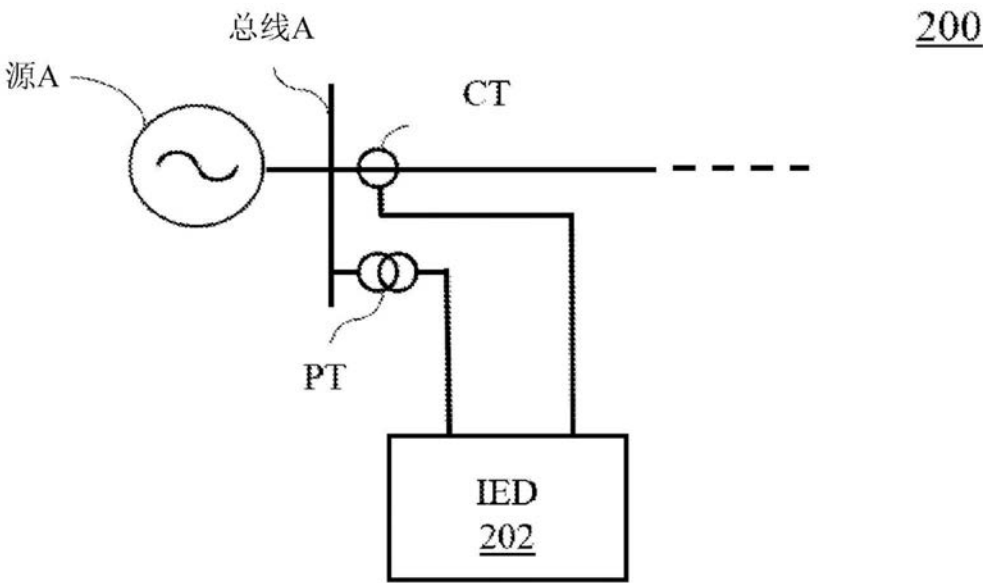


图2

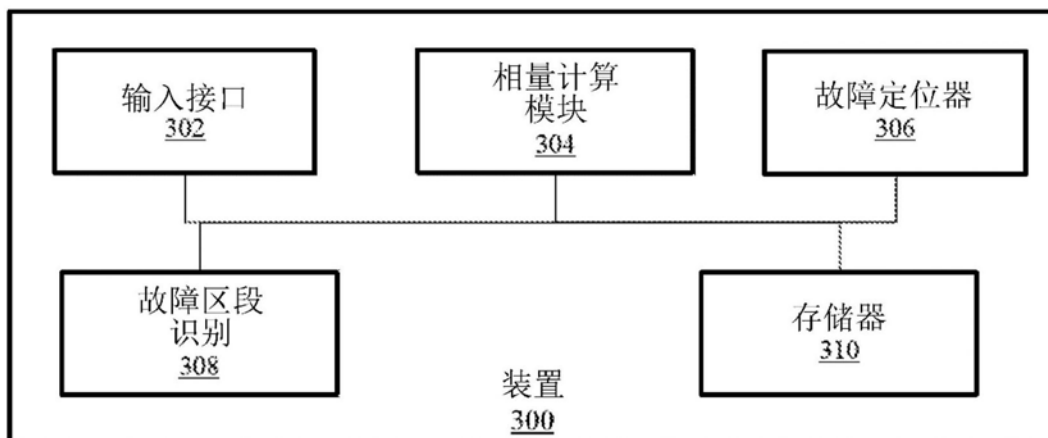


图3

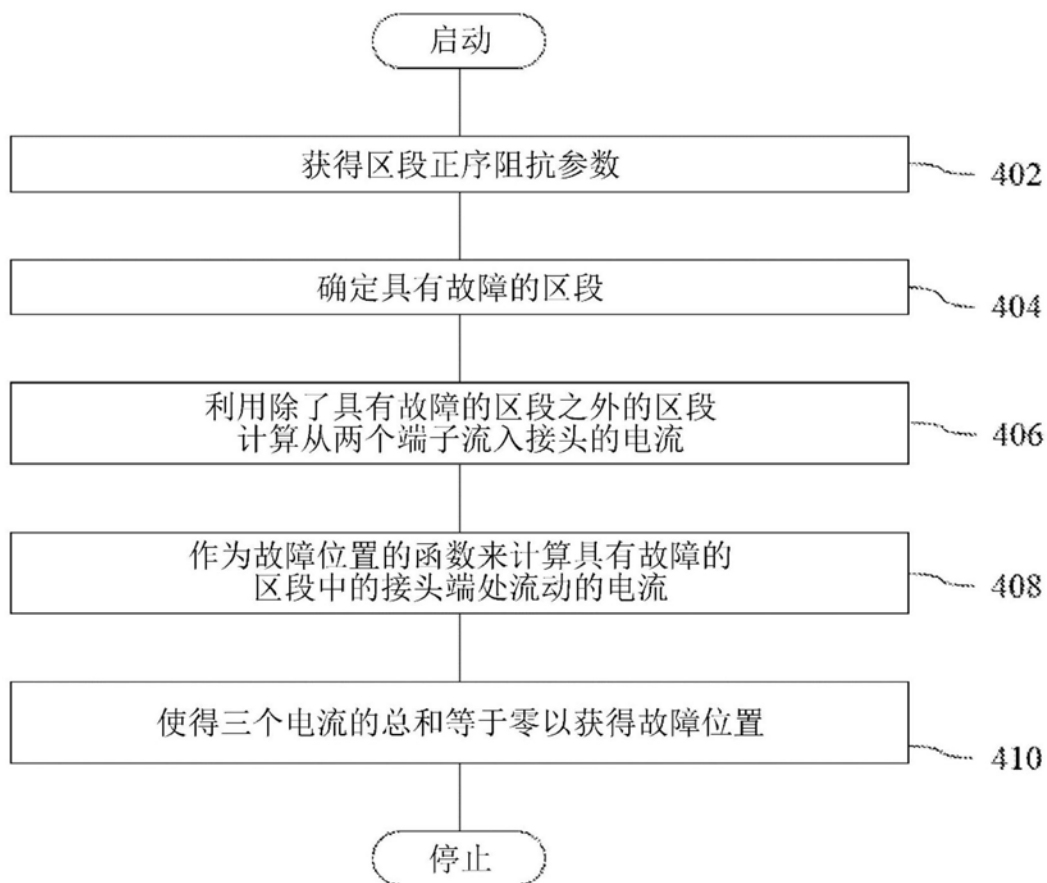


图4

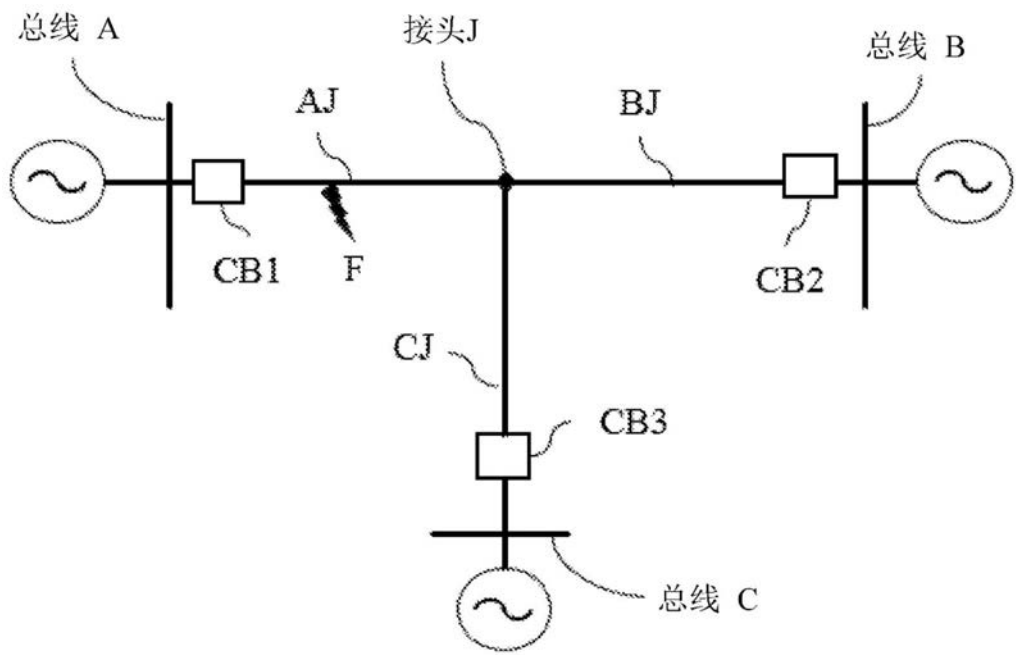


图5