



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103308823 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 04

(21) 申请号 201310194012. 8

(22) 申请日 2013. 05. 23

(73) 专利权人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

专利权人 中国电力科学研究院

陕西电力科学研究院

(72) 发明人 贾东梨 盛万兴 宋晓辉 史常凯

李雅洁 张琳

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有

限公司 11271

代理人 徐国文

(51) Int. Cl.

G01R 31/08(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102419408 A, 2012. 04. 18, 权利要求 11.

CN 102636731 A, 2012. 08. 15, 全文.

CN 102707194 A, 2012. 10. 03, 全文.

CN 1793995 A, 2006. 06. 28, 全文.

CN 1916651 A, 2007. 02. 21, 全文.

JP S6358272 A, 1988. 03. 14, 全文.

尤毅等. 基于负荷监测仪的 10 kV 架空线单相断线不接地故障区域判定. 《电力系统保护与控制》. 2012, 第 40 卷 (第 19 期),

朱玲玲等. 基于小波神经网络单相断线故障选线和定位. 《电力系统保护与控制》. 2011, 第 39 卷 (第 4 期),

审查员 李萍萍

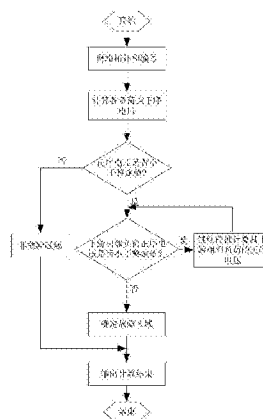
权利要求书5页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

一种配电网单相断线不接地故障定位方法

(57) 摘要

本发明涉及一种配电网单相断线不接地故障定位方法,在单相断线不接地故障发生后,故障点后各配电变压器高压侧正序电压远远小于故障点前各配电变压器和非故障线路各配电变压器高压侧正序电压,且故障后配电变压器低压侧正序电压也会相应变为故障前正序电压的 50% 左右。对于安装在负荷点处的不同类型量测装置采集到的三相电压信息,实时计算各负荷点电压的正序分量,如果某一时刻某一负荷点及其下游所有负荷点正序电压明显变小,且其上游负荷点的正序电压不变,则可确定与该负荷点连接的上游相邻线路段出现单相断线不接地故障。本发明不需配备新的设备,且计算简单,能够将故障定位至两个负荷点之间,实现单相断线不接地故障的诊断与定位。



1. 一种配电网单相断线不接地故障定位方法,其特征在于,所述方法包括下述步骤:

(1) 对配电网拓扑进行编号;

(2) 确定故障后负荷点的正序电压;

(3) 判断正序电压是否小于整定值:若否,则负荷点及其供电路径没有发生单相断线不接地故障;否则,进入步骤(4);

(4) 判断负荷点的上游相邻负荷的正序电压是否小于整定值:若是,继续前推确定上游相邻负荷的正序电压,重复步骤(4);否则,进入步骤(5);

(5) 确定发生单相断线不接地故障区域,输出计算结果;

所述步骤(2)中,在发生单相断线不接地故障后,分别确定负荷点高压侧和低压侧的正序电压,包括:

1) 确定负荷点高压侧的正序电压,包括:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{3(1)} &= \left(\frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E}}{jX_{G(1)}} - \dot{V}_{f(1)} \right) <1>; \\ &\frac{jX_{LD3(1)}}{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) + jX_{LD3(1)}} \\ \dot{V}_{0(1)} &\approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} \approx \dot{V}_{f(1)} + \dot{V}_{3(1)} \\ &= \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \left(\dot{E} \cdot jX_{LD3(1)} + \dot{V}_{f(1)} \right)}{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) + jX_{LD3(1)}} <2>; \end{aligned}$$

其中:

\dot{E} ——电源电压;

$jX_{G(1)}$ ——电源正序阻抗;

$jX_{L01(1)}$ 、 $jX_{L12(1)}$ 、 $jX_{L14(1)}$ ——支路 01、12、14 的正序阻抗;

$jX_{2f(1)}$ 、 $jX_{f3(1)}$ ——分别为节点 2 至故障点的线路正序阻抗、故障点至节点 3 的正序阻抗;

$\dot{V}_{f(1)}$ ——故障点正序电压;

$jX_{LD1(1)}$ 、 $jX_{LD2(1)}$ 、 $jX_{LD3(1)}$ 、 $jX_{LD4(1)}$ ——节点 1、2、3、4 所连接负荷的正序阻抗;

$\dot{V}_{i(1)}$ ——节点 i 的正序电压, $i = 0, 1, 2, 3, 4$;

$jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)}$ ——阻抗 $jX_{G(1)}$ 、 $jX_{LD1(1)}$ 、 $jX_{LD2(1)}$ 、 $jX_{LD4(1)}$ 之间并联;

由单相断线故障的边界条件知:

$$\dot{V}_{f(1)} = \dot{V}_{f(2)} = \dot{V}_{f(0)} = \frac{Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0}} \cdot \dot{E} <3>;$$

式中:

$Z_{\Sigma 1}$ 为从断点等效的正序阻抗,用下述表达式表示:

$$Z_{\Sigma 1} = jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} + jX_{LD3(1)} \langle 4 \rangle;$$

$Z_{\Sigma 2}$ 为从断点等效的负序阻抗,用下述表达式表示:

$$Z_{\Sigma 2} = jX_{G(2)} // jX_{LD1(2)} // jX_{LD2(2)} // jX_{LD4(2)} + jX_{LD3(2)} \langle 5 \rangle;$$

$Z_{\Sigma 0}$ 为从断点等效的零序阻抗, $Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0} \approx Z_{\Sigma 2}$; 则:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{3(1)} &= \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E}}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)}} \left(\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) - \frac{Z_{\Sigma 2}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2}} jX_{G(1)} \right) \langle 6 \rangle; \\ &= \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E} \left(\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2}) - Z_{\Sigma 2} jX_{G(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \end{aligned}$$

因为:

$$jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} < jX_{G(1)} \langle 7 \rangle;$$

所以:

$$\dot{V}_{3(1)} < \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E} \cdot Z_{\Sigma 1} \cdot \left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \langle 8 \rangle;$$

其它各节点的电压为:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{0(1)} &\approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} \\ &\approx \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E} \cdot \left(jX_{LD3(1)} Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} jX_{LD3(1)} + Z_{\Sigma 2} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \langle 9 \rangle; \\ &= \frac{jX_{LD3(1)} \cdot Z_{\Sigma 1} \cdot \dot{E} \cdot \left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} + \\ &\quad \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E} \cdot \left(Z_{\Sigma 2} jX_{LD3(1)} + Z_{\Sigma 2} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \end{aligned}$$

由式 <8> 和 <9> 得:

$$\dot{V}_{3(1)} < \dot{V}_{0(1)} \approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} \langle 10 \rangle;$$

2) 确定负荷点低压侧的正序电压,包括确定 Yyn0 型配电变压器和 Dyn11 型配电变压器低压侧正序电压;

确定 YYn0 型配电变压器的正序电压:

假设 A 相断线,则 YYn0 型配电变压器 A 相电流 $\dot{I}_A = 0$, 设 $\dot{I}_B = I \angle 0^\circ$, 则 $\dot{I}_C = I \angle 180^\circ$; 运用对称分量法计算 A、B、C 三相电流的三相对称分量:

A 相电流的正序、负序和零序分量如下:

$$\begin{cases} \dot{I}_{A(1)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \partial \dot{I}_B + \partial^2 \dot{I}_C) = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 90^\circ \\ \dot{I}_{A(2)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \partial^2 \dot{I}_B + \partial \dot{I}_C) = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle -90^\circ \quad \langle 11 \rangle; \\ \dot{I}_{A(0)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = 0 \end{cases}$$

式中： $\partial = e^{j120^\circ}$ ； $\dot{I}_{A(1)}$ 、 $\dot{I}_{A(2)}$ 、 $\dot{I}_{A(0)}$ 分别表示 A 相电流的正序、负序和零序分量；

\dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 分别表示 A、B、C 相电流；I 表示电流；

B 相电流的正序、负序和零序分量如下：

$$\begin{cases} \dot{I}_{B(1)} = \partial^2 \dot{I}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle -30^\circ \\ \dot{I}_{B(2)} = \partial \dot{I}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 30^\circ \quad \langle 12 \rangle; \\ \dot{I}_{B(0)} = \dot{I}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

C 相电流的正序、负序和零序分量如下：

$$\begin{cases} \dot{I}_{C(1)} = \partial \dot{I}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 210^\circ \\ \dot{I}_{C(2)} = \partial^2 \dot{I}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 150^\circ \quad \langle 13 \rangle; \\ \dot{I}_{C(0)} = \dot{I}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

假设每相阻抗为 jX ，则 A 相电压的正序、负序和零序分量如下：

$$\begin{cases} \dot{U}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 180^\circ \\ \dot{U}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 0^\circ \quad \langle 14 \rangle; \\ \dot{U}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

B 相电压的正序、负序和零序分量如下：

$$\begin{cases} \dot{U}_{B(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 60^\circ \\ \dot{U}_{B(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 120^\circ \langle 15 \rangle; \\ \dot{U}_{B(0)} = 0 \end{cases}$$

C 相电压的正序、负序和零序分量如下：

$$\begin{cases} \dot{U}_{C(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle -60^\circ \\ \dot{U}_{C(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle -120^\circ \langle 16 \rangle; \\ \dot{U}_{C(0)} = 0 \end{cases}$$

所述 Yyn0 型配电变压器低压侧正序电压和负序电压与高压侧相位相同，低压侧 a 相电压各序分量为：

$$\begin{cases} \dot{U}_{a(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \frac{1}{n} \angle 180^\circ \\ \dot{U}_{a(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \frac{1}{n} \angle 0^\circ \langle 17 \rangle; \\ \dot{U}_{a(0)} = 0 \end{cases}$$

式中：n——配电变压器高压侧、低压侧变比；

Yyn0 连接组别型配电变压器在 A 相断线情况下，配电变压器低压侧 a 相正序电压变为原来的 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 倍；

确定 Dyn11 型配电变压器低压侧正序电压，包括：

所述 Dyn11 型配电变压器低压侧 a 相电压各序分量为：

$$\begin{cases} \dot{U}_{a(1)} = \frac{1}{2} IX \frac{1}{n} \angle -150^\circ \\ \dot{U}_{a(2)} = \frac{1}{2} IX \frac{1}{n} \angle -30^\circ \langle 18 \rangle; \\ \dot{U}_{a(0)} = 0 \end{cases}$$

Dyn11 连接组别型配电变压器在 A 相断线情况下，配电变压器低压侧 a 相正序电压为原来的 $\frac{1}{2}$ 倍；

所述负荷点分为高压侧配备智能监控终端的负荷点、低压侧配备负荷监测仪的负荷点以及低压侧配备配变监测终端的负荷点三类，若 A 相断线时，分别确定上述三类负荷点的

正序电压,包括:

I、确定高压侧配备智能监控终端的负荷点正序电压:

配备智能监控终端采集到高压侧的三相电压分别为 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$, 则配电变压器高压侧正序电压模值为:

$$|U_{a(1)}| = \left| \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \delta \dot{U}_B + \delta^2 \dot{U}_C) \right| \quad \langle 19 \rangle;$$

II、确定低压侧配备负荷监测仪的负荷点正序电压:

负荷监测仪安装在配电变压器低压侧,通过电压和电流互感器采集配变低压侧的三相电压、三相电流,经模/数转换器进行量化,微处理器进行时序的控制、数据存储、通信协议的实现以及数据的输出;负荷监测仪能够采集到配电变压器低压侧的三相电压相量,低压侧正序电压模值为:

$$|U_{a(1)}| = \left| \frac{1}{3} (\dot{U}_a + \delta \dot{U}_b + \delta^2 \dot{U}_c) \right| \quad \langle 20 \rangle;$$

III、确定低压侧配备配电变压器监测终端的负荷点正序电压:

配电变压器监测终端通过电流和电压互感器对三相电压和三相电流进行交流采样,低压侧相电压平均值为:

$$U_{ave} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} \quad \langle 21 \rangle;$$

a 相电压的正序分量模值如下:

$$|U_{a(1)}| \approx |U_{ave}| \quad \langle 22 \rangle;$$

式中: $\delta = e^{j120^\circ}$;

所述步骤(5)中,确定配电网单相断线不接地故障区域包括:根据计算出的各个负荷点的电压正序分量,如果该负荷点及其下游负荷点的正序电压变为原来的50%左右,且该负荷点上游负荷点正序电压保持不变,则与该负荷点连接的上游相邻线路段发生单相断线不接地故障。

一种配电网单相断线不接地故障定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统运行技术领域,具体涉及一种配电网单相断线不接地故障定位方法。

背景技术

[0002] 配电网直接面向用户,覆盖面广,运行环境各异。受运行设备缺陷、人为操作失误、外力破坏以及气象灾害等影响,尤其是架空线路,易发生断线故障。其中,断线接地故障可以根据接地故障暂态分量以及谐波特征等进行判别,并采用阻抗法或行波法等进行定位。对于断线后不接地故障,没有明显的故障特征,定位困难。

[0003] 经过对现有技术的检索发现,技术1([1] 尤毅,刘东,李亮,等.基于负荷监测仪的10kV架空线单相断线不接地故障区域判定[J].电力系统保护与控制.2012,40(19):144-149.[2] 刘东,尤毅,黄玉辉,等.基于负荷监测仪的单相断线故障区域的判定系统及其方法:中国,201110457625.7[P].2012-04-18.)提出了基于负荷监测仪的单相断线不接地故障区域判定方法,该方法采用的故障特征是故障后负荷点负序电压明显变大。技术2(程浩忠,武鹏,马洲俊,等.基于负荷测录系统的配电网单相断线判定及寻址方法:中国,201210106902.6[P].2012-08-15.)提出了基于负荷测录系统的配电网单相断线故障判定及寻址方法,该方法根据安装在负荷点的负荷测录系统采集到的电压、电流数值和配电网单相断线故障数据库的电压、电流数值进行对比,判断断线故障类型,采用前推法或后推法进行单相断线故障定位,并进行处理。技术3(朱玲玲,李长凯,张华中,等.配电网单相断线故障负序电流分析及选线[J].电力系统保护与控制,2009,37(9):35-38.)利用负序电流和故障相电压乘积并对其进行前向积分的方法进行故障选线,该方法能有效辨识出断线不接地故障,但是不能进行故障定位。

[0004] 技术1和技术2能判定单相断线不接地并进行简单定位,且需要配备额外的量测装置,增加了投资、安装和维护成本,技术3只能辨识出故障类型,不能进行故障定位。

[0005] 随着智能配电网的发展,供电企业和电力用户对供电质量的要求都在提高。这就要求一旦发生故障,能根据故障现象准确判断事故发生的性质、范围,并能采取合理的方法予以及时处置,实现安全可靠、优质高效的供电。无论是架空线路,还是电缆线路,断线故障时有发生。但对于中压配电网,沿馈线配置的量测装置往往数量较少,因此,基于其进行故障诊断与定位,仅能定位至某两个量测装置之间,定位精度较低。且有限的量测装置通常仅能测量某一或某两个相间值,无法得到各相电压电流信息,据此不完全信息进行故障诊断,有可能会造成误判或漏判。而配电网中,沿馈线分布的负荷密度往往大于量测装置密度,且由于配变监测终端(TTU)/负荷监测仪等装置的普遍应用,负荷处的各相电压电流值均可获得,即为断线故障的准确定位提供了充足的数据基础。

发明内容

[0006] 针对现有技术的不足,本发明的目的是提供一种配电网单相断线不接地故障定位

方法,本发明不需配备新的设备,且计算简单,能够将故障定位至两个负荷点之间,实现单相断线不接地故障的诊断与定位。

[0007] 本发明的目的是采用下述技术方案实现的:

[0008] 本发明提供一种配电网单相断线不接地故障定位方法,其改进之处在于,所述方法包括下述步骤:

[0009] (1) 对配电网拓扑进行编号;

[0010] (2) 确定故障后负荷点的正序电压;

[0011] (3) 判断正序电压是否小于整定值(整定值可以设定为非故障状态下负荷点正序电压的 110%);若否,则负荷点及其供电路径没有发生单相断线不接地故障;否则,进入步骤(4);

[0012] (4) 判断负荷点的上游(电流从 A 负荷流到 B 负荷,则 A 称为 B 负荷的上游负荷)相邻负荷的正序电压是否小于整定值;若是,继续前推确定上游相邻负荷的正序电压,重复步骤(4);否则,进入步骤(5);

[0013] (5) 确定发生单相断线不接地故障区域,输出计算结果。

[0014] 优选的,所述步骤(2)中,在发生单相断线不接地故障后,分别确定负荷点高压侧和低压侧的正序电压,包括:

[0015] 1) 确定负荷点高压侧的正序电压,包括:

$$[0016] \quad \dot{V}_{3(1)} = \left(\frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD3(1)} \right) \cdot \dot{E} - \dot{V}_{f(1)}}{jX_{G(1)}} \right) \langle 1 \rangle;$$

$$[0017] \quad \frac{jX_{LD3(1)}}{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) + jX_{LD3(1)}}$$

$$[0018] \quad \dot{V}_{0(1)} \approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} \approx \dot{V}_{f(1)} + \dot{V}_{3(1)}$$

$$[0019] \quad = \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \left(\dot{E} \cdot jX_{LD3(1)} + \dot{V}_{f(1)} \right) \langle 2 \rangle}{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) + jX_{LD3(1)}}$$

[0020] 其中:

[0021] \dot{E} ——电源电压;

[0022] $jX_{G(1)}$ ——电源正序阻抗;

[0023] $jX_{L01(1)}$ 、 $jX_{L12(1)}$ 、 $jX_{L14(1)}$ ——支路 01、12、14 的正序阻抗;

[0024] $jX_{2f(1)}$ 、 $jX_{f3(1)}$ ——分别为节点 2 至故障点的线路正序阻抗、故障点至节点 3 的正序阻抗;

[0025] $\dot{V}_{f(1)}$ ——故障点正序电压;

[0026] $jX_{LD1(1)}$ 、 $jX_{LD2(1)}$ 、 $jX_{LD3(1)}$ 、 $jX_{LD4(1)}$ ——节点 1、2、3、4 所连接负荷的正序阻抗;

[0027] $\dot{V}_{i(1)}$ ——节点 i 的正序电压, $i=0, 1, 2, 3, 4$;

[0028] $jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)}$ ——阻抗 $jX_{G(1)}$ 、 $jX_{LD1(1)}$ 、 $jX_{LD2(1)}$ 、 $jX_{LD4(1)}$ 之间并联；

[0029] 由单相断线故障的边界条件知：

$$[0030] \quad \dot{V}_{f(1)} = \dot{V}_{f(2)} = \dot{V}_{f(0)} = \frac{Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0}} \cdot \dot{E} \quad \langle 3 \rangle;$$

[0031] 式中：

[0032] $Z_{\Sigma 1}$ 为从断点（断点指线路发生断线故障的位置）等效的正序阻抗，用下述表达式表示：

$$[0033] \quad Z_{\Sigma 1} = jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} + jX_{LD3(1)} \quad \langle 4 \rangle;$$

[0034] $Z_{\Sigma 2}$ 为从断点等效的负序阻抗，用下述表达式表示：

$$[0035] \quad Z_{\Sigma 2} = jX_{G(2)} // jX_{LD1(2)} // jX_{LD2(2)} // jX_{LD4(2)} + jX_{LD3(2)} \quad \langle 5 \rangle;$$

[0036] $Z_{\Sigma 0}$ 为从断点等效的负序阻抗， $Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0} \approx Z_{\Sigma 2}$ ；则：

$$[0037] \quad \dot{V}_{3(1)} = \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E}}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)}} \left(\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) - \frac{Z_{\Sigma 2}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2}} jX_{G(1)} \right) \\ = \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E} \left(\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2}) - Z_{\Sigma 2} jX_{G(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \quad \langle 6 \rangle;$$

[0038] 因为：

$$[0039] \quad jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} < jX_{G(1)} \quad \langle 7 \rangle;$$

[0040] 所以：

$$[0041] \quad \dot{V}_{3(1)} < \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E} \cdot Z_{\Sigma 1} \left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \quad \langle 8 \rangle;$$

[0042] 其它各节点的电压为：

$$[0043] \quad \dot{V}_{0(1)} \approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} \\ \approx \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E} \cdot \left(jX_{LD3(1)} Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} jX_{LD3(1)} + Z_{\Sigma 2} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \\ = \frac{X_{LD3(1)} \cdot Z_{\Sigma 1} \cdot \dot{E} \cdot \left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} + \quad \langle 9 \rangle; \\ \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E} \cdot \left(Z_{\Sigma 2} jX_{LD3(1)} + Z_{\Sigma 2} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})}$$

[0044] 由式〈8〉和〈9〉得：

$$[0045] \quad \dot{V}_{3(1)} < \dot{V}_{0(1)} \approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} \quad \langle 10 \rangle;$$

[0046] 2)确定负荷点低压侧的正序电压，包括确定 Yyn0 型配电变压器和 Dyn11 型配电变

压器低压侧正序电压。

[0047] 较优选的,确定 Yyn0 型配电变压器的正序电压:

[0048] 假设 A 相断线,则 Yyn0 型配电变压器 A 相电流 $\dot{I}_A = 0$, 设 $\dot{I}_B = I \angle 0^\circ$, 则 $\dot{I}_C = I \angle 180^\circ$; 运用对称分量法计算 A、B、C 三相电流的三相对称分量:

[0049] A 相电流的正序、负序和零序分量如下:

[0050]

$$\begin{cases} \dot{I}_{A(1)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \partial \dot{I}_B + \partial^2 \dot{I}_C) = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 90^\circ \\ \dot{I}_{A(2)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \partial^2 \dot{I}_B + \partial \dot{I}_C) = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle -90^\circ \langle 11 \rangle; \\ \dot{I}_{A(0)} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = 0 \end{cases}$$

[0051] 式中: $\partial = e^{j120^\circ}$; $\dot{I}_{A(1)}$ 、 $\dot{I}_{A(2)}$ 、 $\dot{I}_{A(0)}$ 分别表示 A 相电流的正序、负序和零序分量;

[0052] \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 分别表示 A、B、C 相电流; I 表示电流。

[0053] B 相电流的正序、负序和零序分量如下:

[0054]

$$\begin{cases} \dot{I}_{B(1)} = \partial^2 \dot{I}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle -30^\circ \\ \dot{I}_{B(2)} = \partial \dot{I}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 30^\circ \langle 12 \rangle; \\ \dot{I}_{B(0)} = \dot{I}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

[0055] C 相电流的正序、负序和零序分量如下:

[0056]

$$\begin{cases} \dot{I}_{C(1)} = \partial \dot{I}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 210^\circ \\ \dot{I}_{C(2)} = \partial^2 \dot{I}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 150^\circ \langle 13 \rangle; \\ \dot{I}_{C(0)} = \dot{I}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

[0057] 假设每相阻抗为 jX, 则 A 相电压的正序、负序和零序分量如下:

[0058]

$$\begin{cases} \dot{U}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 180^\circ \\ \dot{U}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 0^\circ <14>; \\ \dot{U}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

[0059] B相电压的正序、负序和零序分量如下：

[0060]

$$\begin{cases} \dot{U}_{B(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 60^\circ \\ \dot{U}_{B(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 120^\circ <15>; \\ \dot{U}_{B(0)} = 0 \end{cases}$$

[0061] C相电压的正序、负序和零序分量如下：

[0062]

$$\begin{cases} \dot{U}_{C(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle -60^\circ \\ \dot{U}_{C(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle -120^\circ <16>; \\ \dot{U}_{C(0)} = 0 \end{cases}$$

[0063] 所述 Yyn0 型配电变压器低压侧正序电压和负序电压与高压侧相位相同，低压侧 a 相电压各序分量为：

[0064]

$$\begin{cases} \dot{U}_{a(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \frac{1}{n} \angle 180^\circ \\ \dot{U}_{a(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \frac{1}{n} \angle 0^\circ <17>; \\ \dot{U}_{a(0)} = 0 \end{cases}$$

[0065] 式中：n——配电变压器高压侧、低压侧变比；

[0066] Yyn0 连接组别型配电变压器在 A 相断线情况下，配电变压器低压侧 a 相正序电压变为原来的 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 倍。

[0067] 较优选的，确定 Dyn11 型配电变压器低压侧正序电压，包括：

[0068] 所述 Dyn11 型配电变压器低压侧 a 相电压各序分量为：

[0069]

$$\begin{cases} \dot{U}_{a(1)} = \frac{1}{2}IX \frac{1}{n} \angle -150^\circ \\ \dot{U}_{a(2)} = \frac{1}{2}IX \frac{1}{n} \angle -30^\circ \quad \langle 18 \rangle; \\ \dot{U}_{a(0)} = 0 \end{cases}$$

[0070] Dyn11 连接组别型配电变压器在 A 相断线情况下, 配电变压器低压侧 a 相正序电压为原来的 $\frac{1}{2}$ 倍。

[0071] 较优选的, 所述负荷点分为高压侧配备智能监控终端的负荷点、低压侧配备负荷监测仪的负荷点以及低压侧配备配变监测终端的负荷点三类, 若 A 相断线时, 分别确定上述三类负荷点的正序电压, 包括:

[0072] I、确定高压侧配备智能监控终端的负荷点正序电压:

[0073] 配备智能监控终端采集到高压侧的三相电压分别为 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$, 则配电变压器高压侧正序电压模值为:

$$[0074] \quad |U_{a(1)}| = \left| \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \partial \dot{U}_B + \partial^2 \dot{U}_C) \right| \quad \langle 19 \rangle;$$

[0075] II、确定低压侧配备负荷监测仪的负荷点正序电压:

[0076] 负荷监测仪安装在配电变压器低压侧, 通过电压和电流互感器采集配变低压侧的三相电压、三相电流, 经模 / 数转换器进行量化, 微处理器进行时序的控制、数据存储、通信协议的实现以及数据的输出; 负荷监测仪能够采集到配电变压器低压侧的三相电压相量, 低压侧正序电压模值为:

$$[0077] \quad |U_{a(1)}| = \left| \frac{1}{3} (\dot{U}_a + \partial \dot{U}_b + \partial^2 \dot{U}_c) \right| \quad \langle 20 \rangle;$$

[0078] III、确定低压侧配备配电变压器监测终端的负荷点正序电压:

[0079] 配电变压器监测终端通过电流和电压互感器对三相电压和三相电流进行交流采样, 低压侧相电压平均值为:

$$[0080] \quad U_{ave} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} \quad \langle 21 \rangle;$$

[0081] a 相电压的正序分量模值如下:

$$[0082] \quad |U_{a(1)}| \approx |U_{ave}| \quad \langle 22 \rangle;$$

[0083] 式中: $\partial = e^{j120^\circ}$ 。

[0084] 优选的, 所述步骤(5)中, 确定配电网单相断线不接地故障区域包括: 根据计算出的各个负荷点的电压正序分量, 如果该负荷点及其下游负荷点的正序电压变为原来的 50% 左右, 且该负荷点上游负荷点正序电压保持不变, 则与该负荷点连接的上游相邻线路段发生单相断线不接地故障。

[0085] 与现有技术比, 本发明达到的有益效果是:

[0086] (1) 本发明能够在不增加量测装置的情况下,仅依据现有配电变压器量测装置实现配电网单相断线不接地故障定位,具有较高的经济性和实用性。

[0087] (2) 本发明能够精确定位至两台配电变压器之间的线路段,减少巡线人员劳动强度,降低故障处理时间,提高供电可靠性。

[0088] (3) 本发明计算简单,适用于大多数配电线路,具有广阔的应用空间。

附图说明

[0089] 图 1 是本发明提供的配电网线路示意图;

[0090] 图 2 是本发明提供的配电网正序网络图;

[0091] 图 3 是本发明提供的化简后的配电网正序网络图;

[0092] 图 4 是本发明提供的 Yyn0 型配电变压器绕组接线方式图;

[0093] 图 5 是本发明提供的 Yyn0 型配电变压器高压侧电压相量图

[0094] 图 6 是本发明提供的 Yyn0 型配电变压器低压侧电压相量图;

[0095] 图 7 是本发明提供的 Dyn11 型配电变压器绕组接线方式图;

[0096] 图 8 是本发明提供的 Dyn11 型配电变压器高压侧电压相量图;

[0097] 图 9 是本发明提供的 Dyn11 型配电变压器低压侧电压相量图;

[0098] 图 10 是本发明提供的配电网单相断线不接地故障定位方法总体流程图。

具体实施方式

[0099] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

[0100] 本发明提供的配电网单相断线不接地故障定位方法,在单相断线不接地故障发生后,故障点后各配电变压器高压侧正序电压远远小于故障点前各配电变压器和非故障线路各配电变压器高压侧正序电压,且故障后配电变压器低压侧正序电压也会相应变为故障前正序电压的 50% 左右。本专利根据单相断线不接地故障发生后正序电压变化的特点,对于安装在负荷点高压侧或低压侧的不同量测装置采集到的三相电压信息,实时计算各负荷点电压的正序分量,如果某一时刻某一负荷点及其下游所有负荷点正序电压明显变小,且其上游负荷点的正序电压不变,则可确定与该负荷点连接的上游相邻线路段出现单相断线不接地故障。

[0101] 本发明提供的配电网单相断线不接地故障定位方法总体流程如图 10 所示,包括下述步骤:

[0102] (1) 对配电网拓扑进行编号;

[0103] (2) 确定故障后负荷点的正序电压;

[0104] 步骤(2)中,在发生单相断线不接地故障后,分别确定负荷点高压侧和低压侧的正序电压,过程包括:

[0105] 1) 确定负荷点高压侧的正序电压,包括:

[0106] 对于图 1 中所示的配电线路,建立其正序网络图,如图 2 所示,图 2 中:

[0107]

E

[0108] $jX_{G(1)}$ ——电源正序阻抗;

[0109] $jX_{L01(1)}$ 、 $jX_{L12(1)}$ 、 $jX_{L14(1)}$ ——支路 01、12、14 的正序阻抗；

[0110] $jX_{2f(1)}$ 、 $jX_{f3(1)}$ ——分别为节点 2 至故障点的线路正序阻抗、故障点至节点 3 的正序阻抗；

[0111] $\dot{V}_{f(1)}$ ——故障点正序电压；

[0112] $jX_{LD1(1)}$ 、 $jX_{LD2(1)}$ 、 $jX_{LD3(1)}$ 、 $jX_{LD4(1)}$ ——节点 1、2、3、4 所连接负荷的正序阻抗；

[0113] $\dot{V}_{i(1)}$ ——节点 i 的正序电压， $i=0, 1, 2, 3, 4$ ；

[0114] $jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)}$ ——阻抗 $jX_{G(1)}$ 、 $jX_{LD1(1)}$ 、 $jX_{LD2(1)}$ 、 $jX_{LD4(1)}$ 之间并联；

[0115] 由于配电网中各支路较短，且各负荷正序阻抗较大，可以忽略各支路正序阻抗，化简后的正序网络图如图 3 所示。由图 3 可以计算出：

$$[0116] \quad \dot{V}_{3(1)} = \left(\frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E}}{jX_{G(1)}} - \dot{V}_{f(1)} \right) \langle 1 \rangle;$$

$$[0117] \quad \frac{jX_{LD3(1)}}{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) + jX_{LD3(1)}}$$

$$[0118] \quad \dot{V}_{0(1)} \approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} = \dot{V}_{f(1)} + \dot{V}_{3(1)}$$

$$[0119] \quad = \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \left(\dot{E} \cdot jX_{LD3(1)} + \dot{V}_{f(1)} \right) \langle 2 \rangle}{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) + jX_{LD3(1)}}$$

[0120] 由单相断线故障的边界条件知：

$$[0121] \quad \dot{V}_{f(1)} = \dot{V}_{f(2)} = \dot{V}_{f(0)} = \frac{Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0}} \cdot \dot{E} \langle 3 \rangle;$$

[0122] 式中：

[0123] $Z_{\Sigma 1}$ 为从断点（断点指线路发生断线故障的位置）等效的正序阻抗，用下述表达式表示：

$$[0124] \quad Z_{\Sigma 1} = jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} + jX_{LD3(1)} \langle 4 \rangle;$$

[0125] $Z_{\Sigma 2}$ 为从断点等效的负序阻抗，用下述表达式表示：

$$[0126] \quad Z_{\Sigma 2} = jX_{G(2)} // jX_{LD1(2)} // jX_{LD2(2)} // jX_{LD4(2)} + jX_{LD3(2)} \langle 5 \rangle;$$

[0127] $Z_{\Sigma 0}$ 为从断点等效的零序阻抗，由于我国配电网多为小电流接地系统，因此 $Z_{\Sigma 0}$ 很大， $Z_{\Sigma 2} // Z_{\Sigma 0} \approx Z_{\Sigma 2}$ ；则：

$$[0128] \quad \dot{V}_{3(1)} = \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E}}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)}} \left(\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) - \frac{Z_{\Sigma 2}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2}} jX_{G(1)} \right) \\ = \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E} \left(\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2}) - Z_{\Sigma 2} jX_{G(1)} \right) \langle 6 \rangle}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})}$$

[0129] 因为：

$$[0130] \quad jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} < jX_{G(1)} \quad \langle 7 \rangle ;$$

[0131] 所以：

$$[0132] \quad \dot{V}_{3(1)} < \frac{jX_{LD3(1)} \cdot \dot{E} \cdot Z_{\Sigma 1} \cdot \left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} jX_{G(1)} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} \quad \langle 8 \rangle ;$$

[0133] 其它各节点的电压为：

$$[0134] \quad \dot{V}_{9(1)} \approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{3(1)} \approx \dot{V}_{4(1)}$$

$$\approx \frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E} \cdot \left(jX_{LD3(1)} Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} jX_{LD3(1)} + Z_{\Sigma 2} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})}$$

$$= \frac{jX_{LD3(1)} \cdot Z_{\Sigma 1} \cdot \dot{E} \cdot \left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})} + \quad \langle 9 \rangle ;$$

$$\frac{\left(jX_{G(1)} // jX_{LD1(1)} // jX_{LD2(1)} // jX_{LD4(1)} \right) \cdot \dot{E} \cdot \left(Z_{\Sigma 2} jX_{LD3(1)} + Z_{\Sigma 2} \right)}{Z_{\Sigma 1} (Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2})}$$

[0135] 由式 <8> 和 <9> 得：

$$[0136] \quad \dot{V}_{3(1)} < \dot{V}_{9(1)} \approx \dot{V}_{1(1)} \approx \dot{V}_{2(1)} \approx \dot{V}_{4(1)} \quad \langle 10 \rangle ;$$

[0137] 也就是说，单相断线不接地故障发生后，故障点后各点正序电压小于故障点前各负荷点和非故障线路各负荷点的正序电压。

[0138] 2) 确定负荷点低压侧的正序电压，在我国，配电变压器连接组别以 Yyn0 为主，其次是 Dyn11，本发明分别对 Yyn0 型配电变压器和 Dyn11 型配电变压器低压侧正序电压变化进行讨论。

[0139] ①确定 Yyn0 型配电变压器的正序电压：

[0140] Yyn0 型配电变压器绕组接线方式如图 4 所示。假设 A 相断线，则 Yyn0 型配电变压器 A 相电流 $\dot{I}_A = 0$ ，设 $\dot{I}_B = I \angle 0^\circ$ ，则 $\dot{I}_C = I \angle 180^\circ$ ；运用对称分量法计算 A、B、C 三相电流的三相对称分量：

[0141] 配电变压器高压侧可以看成是纯电感，假设每相阻抗为 jX ，A 相电流的正序、负序和零序分量如下：

[0142]

$$\begin{cases} \dot{I}_{A(1)} = \frac{1}{3} \left(\dot{I}_A + \partial \dot{I}_B + \partial^2 \dot{I}_C \right) = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 90^\circ \\ \dot{I}_{A(2)} = \frac{1}{3} \left(\dot{I}_A + \partial^2 \dot{I}_B + \partial \dot{I}_C \right) = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle -90^\circ \quad \langle 11 \rangle ; \\ \dot{I}_{A(0)} = \frac{1}{3} \left(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \right) = 0 \end{cases}$$

[0143] 式中： $\partial = e^{j120^\circ}$ ； $\dot{I}_{A(1)}$ 、 $\dot{I}_{A(2)}$ 、 $\dot{I}_{A(0)}$ 分别表示 A 相电流的正序、负序和零序分量；

[0144] \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 分别表示 A、B、C 相电流；I 表示电流

[0145] B 相电流的正序、负序和零序分量如下：

[0146]

$$\begin{cases} \dot{I}_{B(1)} = \partial^2 \dot{I}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle -30^\circ \\ \dot{I}_{B(2)} = \partial \dot{I}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 30^\circ <12>; \\ \dot{I}_{B(0)} = \dot{I}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

[0147] C 相电流的正序、负序和零序分量如下：

[0148]

$$\begin{cases} \dot{I}_{C(1)} = \partial \dot{I}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 210^\circ \\ \dot{I}_{C(2)} = \partial^2 \dot{I}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} I \angle 150^\circ <13>; \\ \dot{I}_{C(0)} = \dot{I}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

[0149] 假设每相阻抗为 jX，则 A 相电压的正序、负序和零序分量如下：

[0150]

$$\begin{cases} \dot{U}_{A(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 180^\circ \\ \dot{U}_{A(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 0^\circ <14>; \\ \dot{U}_{A(0)} = 0 \end{cases}$$

[0151] B 相电压的正序、负序和零序分量如下：

[0152]

$$\begin{cases} \dot{U}_{B(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 60^\circ \\ \dot{U}_{B(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle 120^\circ <15>; \\ \dot{U}_{B(0)} = 0 \end{cases}$$

[0153] C 相电压的正序、负序和零序分量如下：

[0154]

$$\begin{cases} \dot{U}_{c(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle -60^\circ \\ \dot{U}_{c(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \angle -120^\circ \langle 16 \rangle; \\ \dot{U}_{c(0)} = 0 \end{cases}$$

[0155] A、B、C 三相电压的各序分量如图 5 和图 6 所示。

[0156] 因为 Yyn0 型配电变压器低压侧正序电压和负序电压与高压侧相位相同,所以低压侧 a 相电压各序分量为:

[0157]

$$\begin{cases} \dot{U}_{a(1)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \frac{1}{n} \angle 180^\circ \\ \dot{U}_{a(2)} = \frac{\sqrt{3}}{3} IX \frac{1}{n} \angle 0^\circ \langle 17 \rangle; \\ \dot{U}_{a(0)} = 0 \end{cases}$$

[0158] 式中:n——配电变压器高压侧、低压侧变比;

[0159] 因此,由上式可知,Yyn0 连接组别型配电变压器在 A 相断线情况下,配电变压器低压侧 a 相正序电压变为原来的 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 倍。

[0160] ②确定 Dyn11 型配电变压器低压侧正序电压,包括:

[0161] Dyn11 配电变压器绕组接线方式如图 7 所示。在 A 相断线情况下,配电变压器高压侧电流、电压计算方法同 Yyn0 连接组别的配电变压器计算方法。

[0162] 因为配电变压器连接组别为 Dyn11,零序电压不在低压侧感应出零序电压;在正序电压作用下,低压侧相电压滞后高压侧相电压 330° ;在负序电压作用下,低压侧相电压滞后高压侧相电压 30° 。高压侧、低压侧的电压向量图如图 8 和图 9 所示。由图可知,所述 Dyn11 型配电变压器低压侧 a 相电压各序分量为:

[0163]

$$\begin{cases} \dot{U}_{a(1)} = \frac{1}{2} IX \frac{1}{n} \angle -150^\circ \\ \dot{U}_{a(2)} = \frac{1}{2} IX \frac{1}{n} \angle -30^\circ \langle 18 \rangle; \\ \dot{U}_{a(0)} = 0 \end{cases}$$

[0164] Dyn11 连接组别型配电变压器在 A 相断线情况下,配电变压器低压侧 a 相正序电压为原来的 $\frac{1}{2}$ 倍。

[0165] 根据负荷点量测装置配置情况计算负荷点正序电压,由于我国各地区配电网设备

水平参差不齐,负荷点处量测配置完备程度也不尽相同。本发明根据我国负荷点的实际情况,将负荷点分为高压侧配备智能监控终端的负荷点、低压侧配备负荷监测仪的负荷点以及低压侧配备配变监测终端的负荷点三类,若 A 相断线时,分别确定上述三类负荷点的正序电压,包括:

[0166] I、确定高压侧配备智能监控终端的负荷点正序电压:

[0167] 配电变压器高压侧配备智能监控终端,能采集到高压侧的三相电压分别为 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$, 则配电变压器高压侧正序电压模值为:

$$[0168] \quad |U_{a(1)}| = \left| \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \partial \dot{U}_B + \partial^2 \dot{U}_C) \right| \quad \langle 19 \rangle;$$

[0169] II、确定低压侧配备负荷监测仪的负荷点正序电压:

[0170] 负荷监测仪安装在配电变压器低压侧,通过电压和电流互感器采集配变低压侧的三相电压、三相电流,经模/数转换器进行量化,微处理器进行时序的控制、数据存储、通信协议的实现以及数据的输出;负荷监测仪能够采集到配电变压器低压侧的三相电压相量,低压侧正序电压模值为:

$$[0171] \quad |U_{a(1)}| = \left| \frac{1}{3} (\dot{U}_a + \partial \dot{U}_b + \partial^2 \dot{U}_c) \right| \quad \langle 20 \rangle;$$

[0172] III、确定低压侧配备配电变压器监测终端的负荷点正序电压:

[0173] 配电变压器监测终端(TTU)通过电流和电压互感器对三相电压和三相电流进行交流采样,但是只采集到配电变压器低压侧的三相电压模值,不能采集到相角,配电变压器低压侧正序电压采用近似计算,低压侧相电压平均值为:

$$[0174] \quad U_{ave} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} \quad \langle 21 \rangle;$$

[0175] a 相电压的正序分量模值如下:

$$[0176] \quad |U_{a(1)}| \approx |U_{ave}| \quad \langle 22 \rangle;$$

[0177] 式中: $\partial = e^{j120^\circ}$ 。

[0178] (3) 判断正序电压是否小于整定值(整定值可以设定为非故障状态下负荷点正序电压的 110%);若否,则负荷点及其供电路径没有发生单相断线不接地故障;否则,进入步骤(4);

[0179] (4) 判断负荷点的上游相邻负荷的正序电压是否小于整定值:若是,继续前推确定上游相邻负荷的正序电压,重复步骤(4);否则,进入步骤(5);

[0180] (5) 确定发生单相断线不接地故障区域,输出计算结果:

[0181] 根据计算出的各个负荷点电压正序分量,如果该负荷点及其下游负荷点的正序电压明显变小(变为原来的 50% 左右),且该负荷点上游负荷点正序电压保持不变,则与该负荷点连接的上游相邻线路段发生单相断线不接地故障。

[0182] 本发明提供了一种利用断线后负荷点正序电压减小的特征实现单相断线不接地故障定位的方法。本发明不需配备新的设备,且计算简单,能够将故障定位至两个负荷点之间,实现单相断线不接地故障的诊断与定位。

[0183] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽

管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

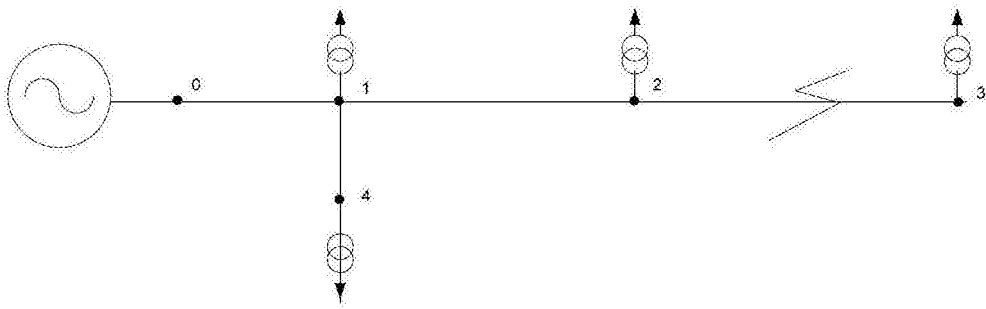


图 1

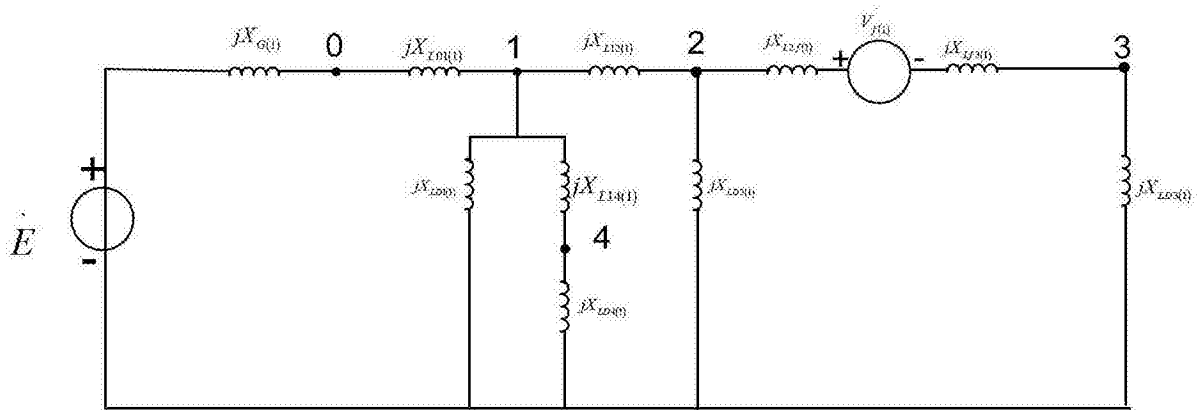


图 2

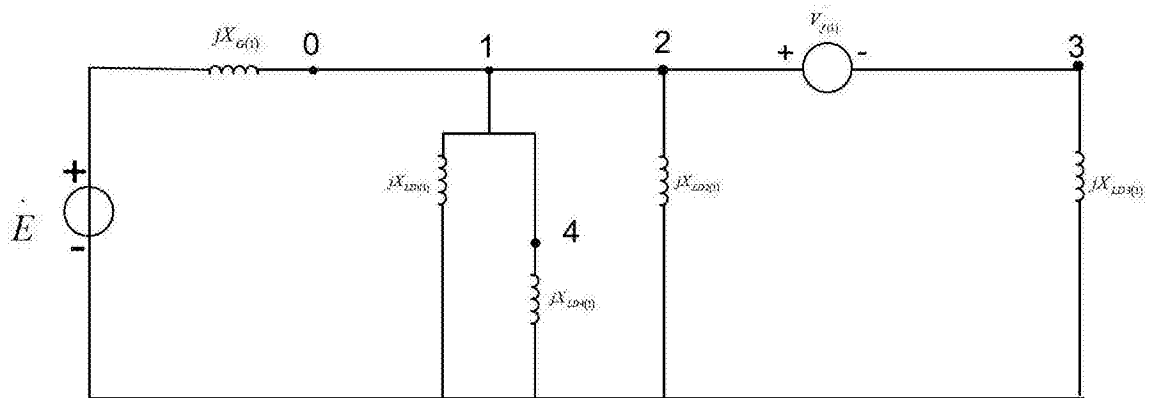


图 3

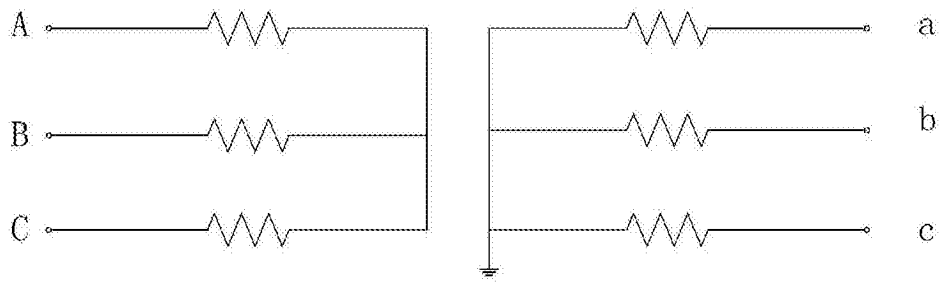


图 4

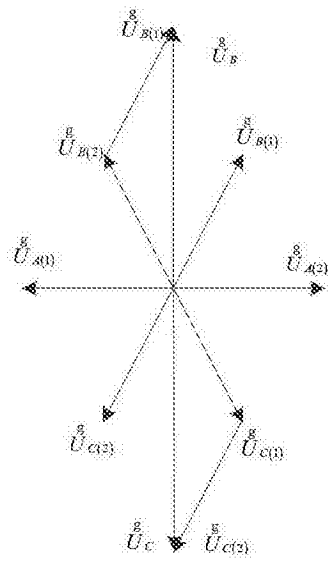


图 5

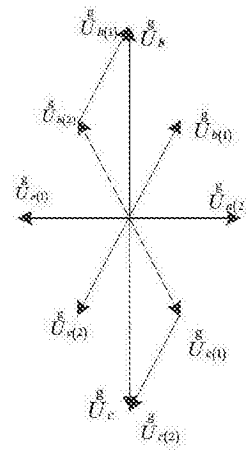


图 6

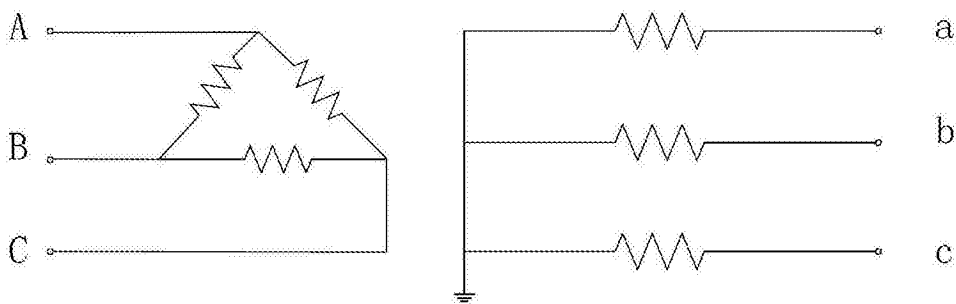


图 7

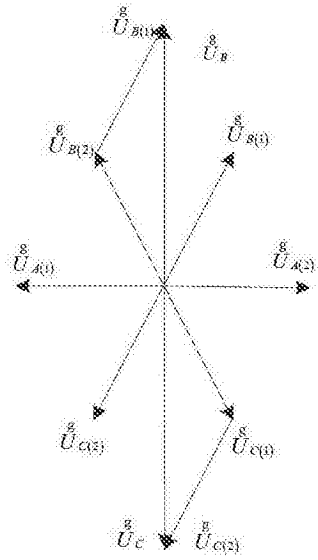


图 8

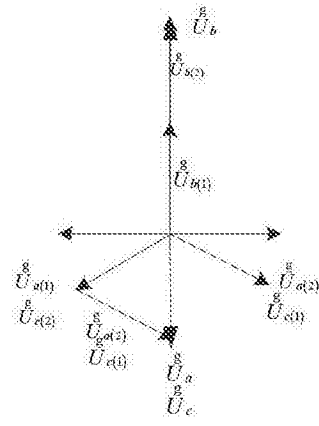


图 9

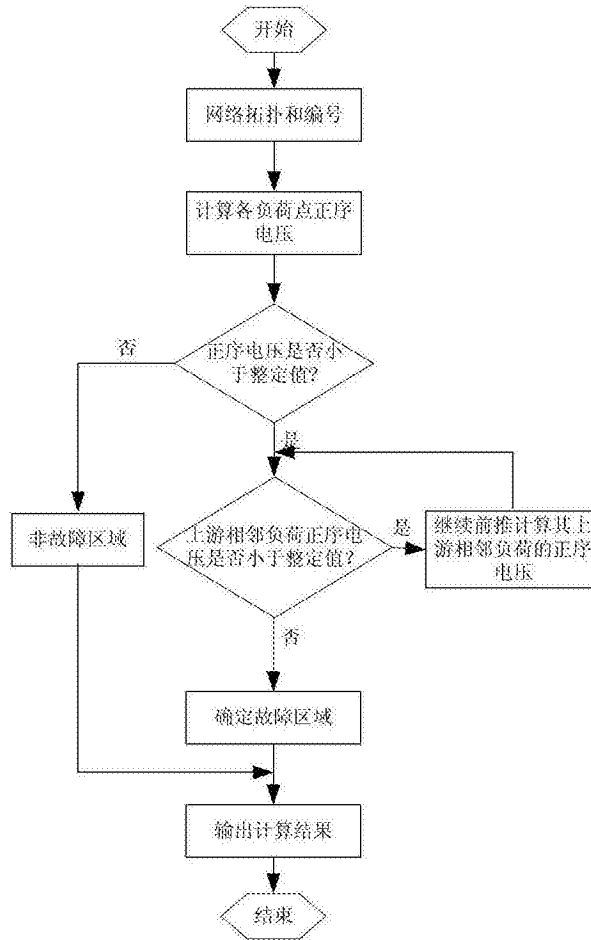


图 10