

三相四线制低压供电系统中性线断线检测方法

以三相四线制低压供电系统中性线断线检测为目标,在现有小信号注入法的基础上,提出了一种新的三相四线制低压供电系统中性线断线检测方法,该方法通过设置断线点定位单元将中性线分为若干区间,并根据断线点在不同区间时采样电阻的电压值不同判断中性线有无断线及断线点所在区间。最后以一组具体参数为例进行了仿真分析,结果表明了该方法的有效性。

王鹏冲¹ 刘伯颖¹ 张渭澎² 吕殿利¹/1.河北工业大学电气工程学院 2.天津市电力公司城西供电分公司



王鹏冲/硕士研究生

在三相四线制低压供电系统中,中性线具有非常重要的作用。中性线断线故障时有发生,由此带来的安全隐患和经济损失非常严重,因此研究实用有效的中性线断线检测方法具有重要意义^[1]。

中性线作用及断线危害

三相四线制低压供电系统中性线作为单相负载的供电回路,还具有三相均压的作用。三相四线制低压供电系统三相负载不平衡时会出现中性点电位偏移,而中性线的存在使得即使三相负载有一定的不平衡,中性点电位偏移程度仍能保持在较小的范围内^[2]。

当中性线断线后,由于三相负载不平衡引起的中性点电位偏移程度会显著增大,从而使轻载相过电压、重载相欠电压,给电网中的用电设备造成严重危害。另外还会造成接零用电设备外壳带电,当电位超过安全范围时会带来严重

的人身安全隐患。

现有断线检测方法

目前已有的三相四线制低压供电系统中性线断线检测方法主要有无信号注入型(运行信息监测型)和小信号注入型两类。

1. 无信号注入型

无信号注入型中性线断线检测方法是对三相四线制供电系统的中性点电位偏移程度、相零电压和零地电压等电压量^[3-5]或3次谐波等运行参数进行检测的方法,根据中性线断线前后这些参数的变化判断中性线有无断线。

(1) 过电压保护型

过电压保护型中性线断线检测方法从中性点电位偏移和各相电压的监测入手,通过对采集到的电压量进行分析,作出中性线有无断线的判断。采用该方法时,保护装置的保护判据通常有:①中性点电位偏移程度有无超出阈值范围;②各相有无过电压或欠电压;③零地电压有无超出正常范围。

该方法的问题在于在三相负载基本平衡的情况下,中性线有无断线对以上判据基本没有影响,因此会出现失效的情况。故该方法虽然起到了保护用电设备及人身安全的重要作用,但对三相负载较为平衡情况下的中性线断线情形不能及时发现,留下了较为严重的安全隐患。

(2) 谐波监测型

对三相四线制低压供电系统谐波的研究^[6]表明,无论中性线断线以后的负

关键词/Keywords

三相四线制·
中性线·
断线检测·
供电系统·

河北省科技支撑计划项目(13212104),天津市高等学校科技发展基金计划项目(20130423)。

载是否平衡,当中性线断线时线路首端的3次谐波均会出现不同程度的变化,并且断线点越接近线路首端,断线导致的3次谐波变化就越显著。因此可以通过对三相四线制供电系统线路首端的3次谐波进行监测,进而判断中性线有无断线及断线位置。但是此方法对靠近线路末端的断线情况会出现难以判断的失效情形,并且需要具有较强信息处理能力的硬件设备作支撑。

2. 小信号注入型

小信号注入型中性线断线检测方法采用小信号注入装置,将中性线断线检测信号注入到供电回路,使其通过相线、中性线及供电变压器内部绕组构成回路。在低压电网上匹配安装信号采集部件,采集判据信息,实现对中性线断线的检测及定位。如果信号采集部件为分布式检测,再配备相应的通信模块即可实现断线点的定位。

小信号注入装置可以采用中性点直流电源方案^[7],通过低压直流电源在三相四线制供电系统中注入直流信号,当发生中性线断线后,注入信号的导通回路发生改变,使注入直流电压在采样电阻上产生的压降发生变化,由此可以判断中性线有无断线。

一种新型断线检测方法

针对原有小信号注入法的一些特点,本文提出了一种仅需对一个采样电阻电压进行分析即可对中性线有无断线及断线位置作出判断的方法。

1. 结构和原理

该中性线断线检测方法包括小信号注入单元(直流电压源)、多个断线点定位单元和判据信息采样电阻,具体的安装方式如图1所示。

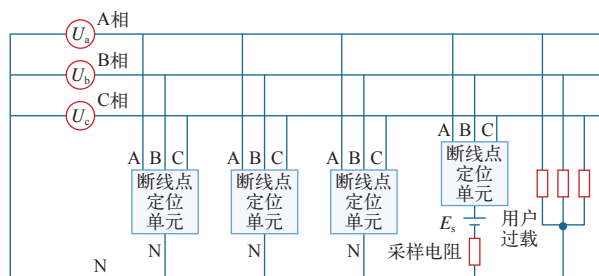


图1 安装方式示意图

断线点定位单元由三组RLC谐振电路组成,分别接在A、B和C三相与中性线之间,每组L与C并联后再与R串联,令 $1/\sqrt{LC} = \omega_0 = 2\pi f_0$,LC并联部分对50 Hz的交流电形成谐振,等效阻抗为无穷大,起到了阻断交流的作用。此时每组并联谐振网络对直流检测信号阻抗为R,同时对电网供电本身不产生影响,从而实现了为直流检测信号提供通路。

小信号注入单元为系统注入直流检测信号,该检测信号通过与之串联的一组断线点定位单元、相线、其他断线点定位单元、变压器二次侧、用户负载(三者并联关系)、中性线和判据信息采样电阻构成回路,判据信息采样电阻与回路其他部分串联分压。中性线无断线时,变压器二次绕组与直接跨接在相线与零线之间的全部断线点定位单元并联。对直流检测信号来说,由于变压器二次绕组阻抗很小,可以认为变压器二次绕组基本与其并联的断线点定位单元短路,仅一组断线点定位单元和变压器二次绕组与判据信息采样电阻串联分压,直流电压源的电压大部分降落在判据信息采样电阻上。

当中性线有断线时,不同的中性线断线位置使接入回路的断线点定位单元个数不同,与判据信息采样电阻串联的等效电阻阻值也随之变化。断线点越接近小信号注入单元,接入回路的并联断线点定位单元的数量就越少,与判据信息采样电阻串联部分的等效电阻阻值越大,判据信息采样电阻上分得的电压也就越小;直到断线点接近判据信息采样电阻时,只有用户负载及直流电压源串联的一组断线点定位单元与判据信息采样电阻串联分压,此时与判据信息采样电阻串联部分的等效电阻阻值较大,判据信息采样电阻上分得的电压只占直流电压源的一小部分。

因此,当中性线断线位置不同时,判据信息采样电阻上的电压值大小不同,并且各种断线情况与判据信息采样电阻上的电压值逐一对应,根据判据信息采样电阻上电压的大小即可判断中性线是否断线及断线位置。

2. 等效电路模型分析

以四个断线点定位单元的情形为例,本检测方

法的等效电路如图2所示。四个断线点定位单元将线路分为①、②、③和④四个区间。图中， E_s 为直流电压源； R_z 为判据信息采样电阻； R_{d1} 、 R_{d2} 、 R_{d3} 和 R_{d4} 为断线点定位单元对直流检测信号的等效电阻，且阻值相等； R_N 为用户负载的等效电阻； R_s 为变压器二次绕组的等效电阻。考虑到三相四线制供电系统的实际情况，在此模型中线路电阻可以忽略。

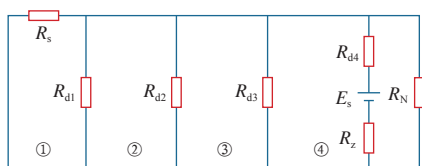


图2 工作原理等效电路模型

当线路中性线无断线时，由于变压器二次绕组的等效电阻 R_s 很小，可以认为 R_s 与并联的 R_{d1} 、 R_{d2} 、 R_{d3} 及 R_N 短路，此情况下 R_z 上的电压值 $V_{z0} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{d4}}$ ；当线路中区间①内中性线断线时， R_s 断路，左侧电路与三组断线点定位单元并联，此时与 R_z 串联部分的等效电阻变为 $R_{f1} \approx \left(\frac{R_{d4}}{3} \parallel R_N \right) + R_{d4}$ ，

采样电阻 R_z 上分得的电压为 $V_{z1} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{f1}}$ ，由于 $R_{f1} > R_{d4}$ ，相对于无断线时， $V_{z1} < V_{z0}$ ；同理当区间②内中性线断线时， R_{d1} 断路，左侧电路为两组断线点定位电阻并联，此时与 R_z 串联部分等效电阻变为

$R_{f2} \approx \left(\frac{R_{d4}}{2} \parallel R_N \right) + R_{d4}$ ，采样电阻 R_z 上分得的电压为 $V_{z2} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{f2}}$ ，由于 $R_{f2} > R_{f1}$ ，相对于断线点在区间

①内时， $V_{z2} < V_{z1}$ ；当区间③内中性线断线时， R_{d2} 断路，左侧电路为一组断线点定位电阻，此时与 R_z 串联部分等效电阻变为 $R_{f3} \approx (R_{d3} \parallel R_N) + R_{d4}$ ，采样电阻 R_z 上分得的电压为 $V_{z3} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{f3}}$ ，由于 $R_{f3} > R_{f2}$ ，相对于断线点在区间②内时， $V_{z3} < V_{z2}$ ；当断

线点在区间④内时， R_z 与 R_{d4} 、 R_N 串联分压，此时 $V_{z4} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{d4} + R_N}$ ，因为 $R_{d4} + R_N > R_{f3}$ ，因此 $V_{z4} < V_{z3}$ 。由上述分析可知 $R_{d4} < R_{f1} < R_{f2} < R_{f3} < R_{d4} + R_N$ ，各情况下采样电阻上电压 $V_{z0} > V_{z1} > V_{z2} > V_{z3} > V_{z4}$ 。中性线未断线及断线点分别在区间①、②、③和④内时，判据信息采样电阻上的电压值 V_z 计算模型如表1所示。由表1可以看出，中性线断线点离负载越近，采样电阻上的电压值越小。由判据信息采样电阻 R_z 上分得的电压值就可以确定中性线断线点所在区间。

表1 各种断线情况下 R_z 上电压值的计算模型

断线情况	R_z 上电压值
无断线	$V_{z0} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{d4}}$
区间①断线	$V_{z1} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{f1}}$
区间②断线	$V_{z2} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{f2}}$
区间③断线	$V_{z3} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{f3}}$
区间④断线	$V_{z4} \approx \frac{R_z E_s}{R_z + R_{d4} + R_N}$

仿真验证

本文通过Matlab对该方法进行了仿真验证。图2中各元件取值如下：断线点定位单元的等效电阻 $R_{d1} = R_{d2} = R_{d3} = R_{d4} = 1 \Omega$ ，变压器二次绕组的等效电阻 $R_s = 0.1 \Omega$ ，判据信息采样电阻 $R_z = 3 \Omega$ ，负载的等效电阻 $R_N = 6 \Omega$ ，直流电压源 $E_s = 5 \text{ V}$ 。仿真分析得到不同断线情况下判据信息采样电阻上的电压值，如表2所示。由表2可以看出，在不同断线情况下，判据信息采样电阻上的电压值有明显不同，可以以此为判据判断三相四线制低压供电系统中中性线断线情况及断线位置。

(下转第64页)

参考文献

[1] Ning Y N, Wang Z P, Palmer A W, et al. Recent progress in optical current sensing techniques [C]. Rev. Sci Instrum, 1995, 66 (5) : 3097-3111.

[2] Cease T W, Johnston P. A magneto-optic current transducer [J]. IEEE Transactions on Power, 1990, 15 (2) : 548-553.

[3] 刘晔, 王采堂, 苏彦民. 光学电流互感器线性双折射效应的补偿研究——神经网络方法 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 1999 (5) : 25-28.

[4] 刘晔, 王采堂, 苏彦民, 等. 电力系统适用光学电流互感器的研究新进展 [J]. 电力系统自动化,

2000, 24 (17) : 60-64.

[5] 王政平, 李庆波, 刘晓瑜, 等. 线性双折射对光学玻璃电流传感器输出特性影响的理论分析 [J]. 光子学报, 2004 (7) : 819-822.

[6] 张国庆. 光学电流互感器的理论与实用化研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2005.

[7] 王政平, 吴强, 李庆波, 等. 线性双折射温度特性对光学电流互感器影响的理论分析 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005 (2) : 273-276.

[8] 苑立波. 温度和应变对光纤折射率的影响 [J]. 光子学报, 1997 (12) : 1714-1717.

(收稿日期: 2015-03-13) **EA**

(上接第50页)

表2 各种断线情况下 R_2 上的电压值

断线情况	R_2 上电压值/V
无断线	$V_{20} \approx 3.68$
区间①断线	$V_{21} \approx 3.47$
区间②断线	$V_{22} \approx 3.36$
区间③断线	$V_{23} \approx 3.09$
区间④断线	$V_{24} \approx 1.50$

结束语

本文提出了一种三相四线制低压供电系统中性线断线检测方法, 在原有小信号注入法的基础上, 通过设置断线点定位单元将中性线分为若干区间, 从而实现了断线区间定位。该方法与原有实现断线点定位的方法相比, 保留了小信号注入法不受供电系统本身运行状态影响的优点, 直接从断线本身入手, 可以在三相负载平衡的情况下有效判断断线情况。而且与分布式检测方法相比, 判据信息采集极其简便, 仅需根据判据信息采集电阻上电压值的大小即可得出有无断线及断线点所在区间的判断。并且可以根据实际情况灵活布置断线点定位单元, 具有更强的灵活性。该方法为中性线断线故障的及时发现和之后的检修

提供了方便。

参考文献

[1] 王勇, 李志勇, 王永忠. 实现三相四线制供电系统中性线断线保护智能装置的研究 [J]. 低压电器, 2011 (5) : 18-22.

[2] 逯霞. 再议断N线与中性点偏移的关系 [J]. 电气应用, 2010, 29 (15) : 32-33.

[3] 朱雪凌, 王云年, 周国安. 三相四线制低压配电系统中零线断线过电压保护 [J]. 华北水利水电学院学报, 2004, 25 (1) : 33-35.

[4] 张玉良. 中性线断线与单相电压偏差保护 [J]. 电气应用, 2006, 25 (7) : 26-27.

[5] 金良勇. 电力局零线断线智能监测保护系统的实施及运用 [J]. 企业技术开发, 2013, 32 (34) : 69-70.

[6] 雍静, 周浩. 基于谐波的低压配电干线中性线断线检测方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42 (19) : 49-57.

[7] 郑楚韬, 陈永杰. 三相四线制系统零线断线检测及保护研究 [J]. 电气技术, 2008 (8) : 83-85.

(收稿日期: 2015-04-23) **EA**