

异频信号注入法测量配电网电容电流的研究

孙建林 王 剑 侯志刚 苏 俊 代树春 谢 勇
(国网广元供电公司 四川 广元 628000)

摘要: 介绍异频电流信号注入法测量配电网的电容电流,通过在母线电压互感器二次侧的开口三角端注入两个幅值相同但频率不同的非工频电流信号,测量开口三角端的电压值以及相对电流信号的相位角,计算电容电流值。根据该测量原理,对现场试验中出现的问题做出进一步分析,并用实例证明了试验中,若未退出消弧线圈和电压互感器一次侧高阻消谐器则对试验结果影响很大。在一定程度上为安全准确测量配电网电容电流提供参考。

关键词: 配电网; 电容电流; 信号注入法

Abstract: The pilot frequency current signal injection method is presented for measuring capacitance current in distribution network. By injecting the same magnitude of two current signals, but different of the frequency, into the open delta of secondary side of bus voltage transformer, and measuring the voltage value of the open delta and the relative phase angle of the injected current signal, the value of capacitance current can be calculated. According to the principle of measurement, the problems occurred in the on-site test are analyzed in detail and proved by an example that in the process of the test if it did not withdraw from the arc suppression coil and the high-resistance harmonic eliminator in primary side of voltage transformer, it will have a great influence on the test results, which provides a reference for the safe and accurate measurement of capacitance current in distribution network.

Key words: distribution network; capacitance current; signal injected method

中图分类号: TM727 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)01-0073-04

0 引言

随着城区配电网和农村配电网的不断发展,配电网中电力电缆的应用规模日益增长。一旦发生单相接地故障,故障点将流过很大的容性电流。过大的容性电流难以自熄,易导致弧光接地过电压,继而引发更加严重的两相短路。为确保接地电弧可靠熄灭,需要在10 kV接地变压器中性点(或变压器35 kV侧中性点)处加装消弧线圈,以补偿配电网容性电流。文献[1]规定,当3~10 kV钢筋混凝土或金属塔杆架空线构成的系统和所有35 kV、66 kV系统单相接地容性电流值 $>10\text{ A}$ 、3~10 kV电缆构成的系统容性电流值 $>30\text{ A}$ 时,应装设消弧线圈装置。

配电网是否需要装设消弧线圈?已安装的消弧线圈容量是否满足要求?准确地测量配电网的对地电容电流显得极为重要,能为消弧线圈容量的选择提供可靠依据。

配电网电容电流的测量方法可分为直接法和间

接法。直接法是用单向金属性接地,直接测量流过的电容电流。该方法具有一定的风险,在单相人工金属性接地电流形成期间,系统的非测量相若存在绝缘缺陷,易发生接地故障,就会导致不接地系统发生两相短路故障,对系统和操作人员都不安全,因而该方法很少使用^[2-3]。

间接测量电容电流的方法主要有中性点外加电容法、相角法、调谐法、异频电流注入法等。中性点外加电容法需要在测量系统中性点外加电容,主要适用于主变压器被测中性点有套管引出网络的电容电流测量,常用于35 kV系统。相角法以及调谐法适用于网络中有调匝式消弧线圈的系统。相角法测量原理是改变消弧线圈的分接头,测量相电压与中性点位移电压间的相角,从不同分头位置补偿电流与所测相角之间的关系来获取电网电容电流。

异频信号注入法是从TV的开口三角端注入幅值相同、频率不同的电流信号,测量开口三角端的电压,计算系统的电容电流值。这种测量方式根据不同的算法可分为双异频信号矢量法和三异频信号标

量法。

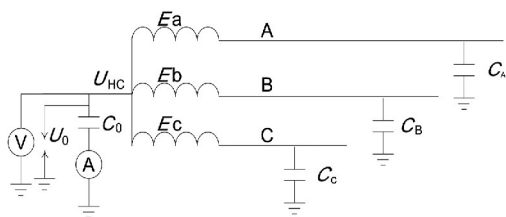


图1 中性点外加电容法测量原理图

1 测量原理

1.1 双异频信号矢量法测量原理

双异频信号矢量法是从电磁式TV的开口三角端测量配电网电容电流。其测量原理如图2所示。

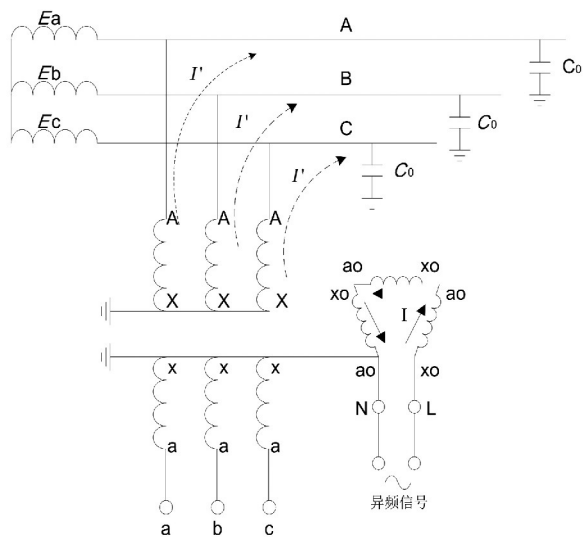


图2 测量原理图

图2中,为避免工频干扰,从TV开口三角注入异频电流,这样在TV高压侧感应出按变比减小的电流,此电流为零序性电流,其在三相的大小相等且同向,因此在三相电源和负荷侧均不能流通,只能通过TV和对地电容形成回路。可将图2简化为如图3所示的物理模型。

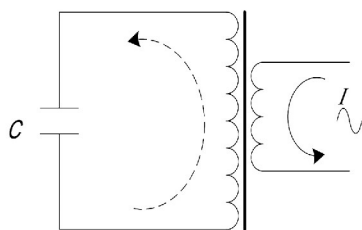


图3 简化物理模型

根据图3中的物理模型建立数学表达式,通过检测测量电流、电压信号以及相位角,计算对地电容

C ,再根据公式 $I = \omega C U_{\theta}$ (U_{θ} 为被测系统的相电压) 计算配电网系统的电容电流。基于上述原理,将TV二次侧电路参数归算至高压侧,电路如图4所示。

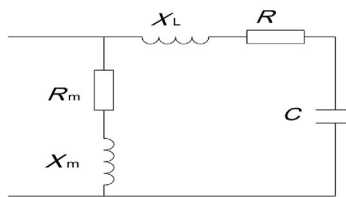


图4 配电网电容电流测量等值电路

图4中 R_m 、 X_m 为励磁阻抗, R 、 X_L 分别为绕组电阻和漏抗, C 为电网单相对地电容。

对于一般的配电网其三相对地电容之和一般在 $1 \sim 150 \mu\text{F}$ 之间对应的工频阻抗为几千欧至几十欧,远远小于电压互感器的励磁阻抗达兆欧级,因此电压互感器中的励磁电流可以忽略不计^[5]。当在TV二次开口三角形处注入异频电流信号时,TV高压侧感应出零序性的异频电流 \dot{i}_1 、 \dot{i}_2 、 \dot{i}_3 ,配电网三相平衡时,有式(1)成立。

$$\dot{i}_1 = \dot{i}_2 = \dot{i}_3 = \dot{i}_0/n \quad (1)$$

式中: \dot{i}_1 、 \dot{i}_2 、 \dot{i}_3 为TV高压侧三相感应异频电流; \dot{i}_0 为TV二次侧注入电流。高压侧三相电流在TV与导线对地电容中产生的压降大致相同,即 $U_{A0} = U_{B0} = U_{C0}$,这时在TV开口三角端可测到零序电压 \dot{U}_0 。图4中,由克希霍夫电压定律可得

$$\dot{U}_{A0} = \dot{U}_{B0} = \dot{U}_{C0} = \frac{\dot{i}_0}{n} [R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})] \quad (2)$$

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_{A0} + \dot{U}_{B0} + \dot{U}_{C0}}{n} = \frac{3\dot{i}_0 [R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})]}{n^2} \quad (3)$$

$$\text{即 } \frac{\dot{U}_0}{\dot{i}_0} = 3 \times (\frac{1}{n})^2 [R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})] \quad (4)$$

令 $Z = \frac{1}{3} \times n^2 \times \frac{\dot{U}_0}{\dot{i}_0}$,则有

$$\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C} = Z_1 \sin \theta_1 \quad (5)$$

$$\omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C} = Z_2 \sin \theta_2 \quad (6)$$

式中 θ 为测量电流信号与电压信号间的相位角。由式(5)及式(6)联立求解可得参数 C 。

1.2 关于电流信号频率的选择

电流频率的选择对测量结果的影响较大。当线

路对地电容较大时,其容抗 X_c 较小,若电流频率选择太大,则漏抗 X_L 将会远大于容抗 X_c 。该测量方法是通过计算整个串联回路的阻抗 Z 及其相角计算电容值,一旦漏抗 X_L 远大于容抗 X_c ,则测量的微小误差将导致电容值较大的计算误差,即从一个较大测量之中提取一个很小的量值很困难^[5]。反之,频率选取越低,越能增加容抗所占的比重,计算会趋于稳定。但频率选取太低,TV 励磁回路的影响就不能忽略。因此频率的选择因综合考虑以上两种因素。文献[6]通过模拟实验后选择了 12 Hz 和 180 Hz 高低频率相搭配的异频电流。

在开口三角形处注入大小均为 1 A,频率分别为 12 Hz、180 Hz 的异频电流 \dot{I}_0 ,同时在开口三角处测量零序电压 \dot{U}_0 及其 \dot{I}_0 间的相位角 θ_1 和 θ_2 ,计算阻抗 Z_1 、 Z_2 ,联立式(5)和式(6)求解 C (单相 μF)。

$$C = \frac{3 \times 10^6 \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} - \frac{1}{\omega_1} \right)}{n^2 \left(\frac{U_1}{I_0} \sin \theta_1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{U_2}{I_0} \sin \theta_2 \right)} \quad (7)$$

因而三相电容电流为

$$I_c = \frac{9 \times 10^6 \omega U_\theta \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} - \frac{1}{\omega_1} \right)}{n^2 \left(\frac{U_1}{I_0} \sin \theta_1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{U_2}{I_0} \sin \theta_2 \right)} \quad (8)$$

1.3 三异频信号法测量原理

该方法测量原理图以及接线图与双频法一样,区别在于算法。三异频信号法是在 TV 开口三角端注入 3 个等幅值的异频电流信号,再测量开口三角端对应的电压值,由式(4)建立 3 个方程,从而求解 R 、 L 、 C 3 个未知数。该方法不必测量电压与电流间的相位角,因而亦称标量法。计算电容表达式^[2]为

$$C = \left[\frac{(Z_2^2 - Z_1^2) \omega_3^2 + (Z_1^2 - Z_3^2) \omega_2^2 + (Z_3^2 - Z_2^2) \omega_1^2}{\frac{\omega_3^2 - \omega_1^2}{\omega_2^2} + \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{\omega_3^2} + \frac{\omega_2^2 - \omega_3^2}{\omega_1^2}} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

2 接线方式

电容测量仪控制面板中的接线方式设置应与实际 TV 组的接线方式相符合,否则对测量结果影响很大。目前配电网中最常见的 TV 接线为 3TV 和 4TV 接线方式,这里主要介绍 3TV 接线方式,4TV

接线方式在测量时,可改成 3TV 接线方式后进行测量。3TV 接线方式可分为 N 接地方式和 b 相接地,分别如图 5 和图 6 所示。

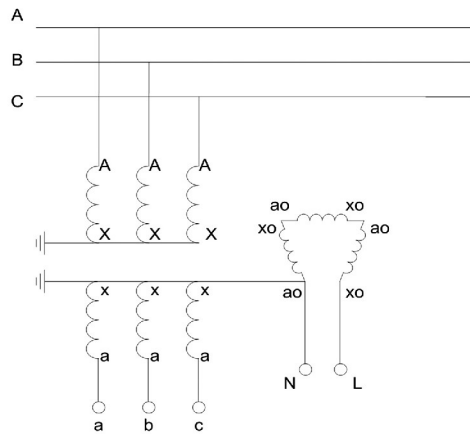


图 5 N 接地方式

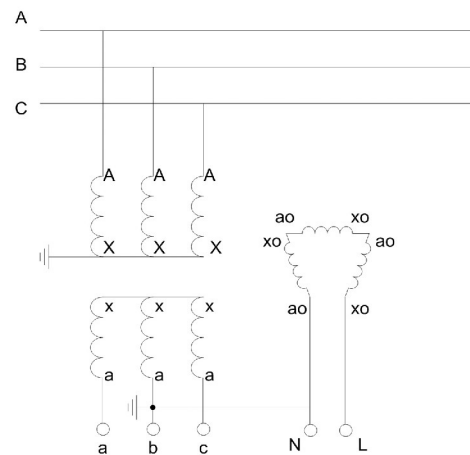


图 6 b 相接地方式

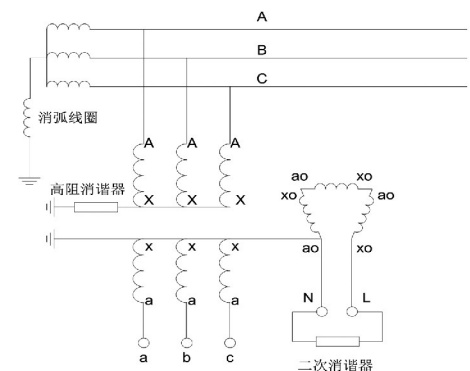


图 7 配电网中常见的 3TV 接线方式

另外,配电网系统中一般装设有消弧线圈,TV 高压侧中性点接有高阻消谐器,TV 开口三角接有二次消谐装置等,如图 7 所示。因此,基于前述异频电流法测量电容电流原理,在测量时,必须将实际运行方式转为图 5 或图 6 所示的方式,若 TV 二次并列

运行,须将其改为单独运行。

测量前应断开所测量变电站与其他变电站的配电网联络线,否则测量值将是整个环网的电容电流值;并且对侧变电站运行的消弧线圈也会对测量产生严重影响。

3 现场实测及分析

采用双异频信号矢量法测量原理,仪器型号为HCDR-III,对国网广元供电公司所辖110 kV南河变电站的10 kV配电网、110 kV卫子变电站的35 kV环网进行了电容电流测量。110 kV卫子变电站测量数据如表1所示。110 kV南河变电站在测量电容电流之前断开了与其他变电站10 kV系统间的联系,并且拉开了10 kV 1号、2号消弧线圈。在10 kV I段TV二次开口三角形对应的端子处加测量信号,得到10 kV配电网电容电流总值。拉开分段开关,测量10 kV I段电容电流值。测量数据如表2所示。

表1 110 kV卫子变电站35 kV配电网
电容电流测量数据

测量范围	电容量 C/ μ F	电容电流/A	自动跟踪消弧补偿 装置测量值/A
35 kV系统	4.70	29.86	23

表2 110 kV南河变电站10 kV配电网
电容电流测量数据

测量范围	电容量 C/ μ F	电容电流/A	自动跟踪消弧补偿 装置测量值/A
10 kV系统	57.14	103.64	96.4
10 kV I段	30.61	56.53	—

现场试验中,若未退出TV一次侧高阻消谐器以及消弧线圈将会对测量结果造成严重影响。表3为未退出消弧线圈和TV一次侧高阻消谐器时,110 kV南河变电站10 kV配电网电容电流测量数据。

表3 TV一次侧高阻消谐器、消弧线圈
对测量结果的影响

未退出运行的设备	实测值	
	电容量 C/ μ F	电容电流/A
消弧线圈	198.14	359.38
TV一次侧高阻消谐器	0.18	0.33

由图2知,若TV一次侧高阻消谐器未退出运行(在实际操作中需将TV退出运行后,将高阻消谐器退出),感应电流无法形成回路,因而测量值很小以致测量值无效。消弧线圈未退出运行时,感应电流会经消弧线圈流入大地,因而测量结果也无效。式(3)表明采用双异频信号矢量法测量原理测量配电网电容电流,要求系统三相平衡,否则将导致测量结果存在一定误差。

4 结论

1) 消弧线圈和TV一次侧高阻消谐器的运行对10 kV配电网电容电流影响较大。退出TV一次侧高阻消谐器时,由于涉及到一次设备,应对需要加异频信号的TV设备停电,并且切实做好相应的安全措施。

2) 异频信号注入法相对直接法较安全,现场操作简单、快捷。若在TV的停电试验中,注意到TV一次侧无高阻消谐器,则测量电容电流时,直接在该组TV进行试验,无需对TV进行停电,可极大地简化试验流程。

参考文献

- [1] DL/T 308-2012 中心点不接地系统电容电流测量规程[S].
- [2] 刘力,孙结中. 一种测量配电网电容电流的新方法[J]. 电网技术 2001 25(5): 63-65.
- [3] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京:中国电力出版社 2000.
- [4] 赵正军,姜新宇. 信号注入法在配电网电容电流测量中的研究[J]. 广东电力 2004 17(6): 25-28.
- [5] 田建设,韦良,李天旭. 基于改进信号注入法的配电网电容电流测量[J]. 广东电力 2008 21(7): 28-31.
- [6] 马强,徐玉琴. 基于注入信号法的电容电流测量技术的研究[C]. 中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十二届学术年会,2006.

作者简介:

孙建林(1983),工程师、硕士,主要从事电气试验工作。

(收稿日期:2015-09-30)