

基于全相位算法的变压器套管在线监测方法

变电站主变压器是电力系统的主要设备，其运行的可靠性直接关系到电力系统的安全及供电的可靠性。为保证电力系统的安全运行，必须加强对变电站主变压器绝缘的监测。随着智能站的发展和推广，变压器的绝缘检测也面临着PT信号不方便获取甚至无法获取等新的问题。本文提出了采用相对法计算并监测变压器套管的方法及在线监测装置设计，通过投运在变电站中的套管在线监测仪器采回的数据进行分析，说明这种方法精度高、抗干扰能力强。

郭占男¹ 原峰¹ 刘齐¹ 高强^{1,2} 李在林¹ 蔡斌¹/1. 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院 2. 上海交通大学

0 引言

目前，国内外已进行传统变电站变压器套管在线监测装置的研究，各个装置的监测方法各不相同，还不够规范。对IEC 61850的研究也有报道，但还未见符合IEC 61850规约的变压器套管在线监测装置^[1]。

长期以来，传统变电站的变压器套管在线监测一直采用监测变压器套管末屏泄漏电流和PT二次电压角差的形式来监测套管的介质损耗因数。随着智能变电站大规模应用电子式互感器，变电站已经没有PT二次电压信号可以直接采集，无法提供同步电压信号，并且电子式互感器的PT电压采集数据的点数为80点，无法满足傅里叶分解的数据要求，并且很难与变压器套管末屏泄漏电流相

位同步^[2]。

由于传统变压器套管在线监测装置及方法具有局限性和不规范的问题，有必要设计一种基于IEC 61850规约并可应用于智能变电站的变压器套管在线监测装置和方法。

1 系统结构设计

目前，变压器套管在线监测系统主要有集中式和分布式两种结构。集中式只将互感器安装至现场，通过电缆讲模拟信号传至控制室主机，由主机进行数据分析。这种方式布线复杂，而且由于套管本身产生的泄漏电流很小，互感器采样的电流传送至控制室衰减较严重，同时，长距离传输在变电站较恶劣的电磁环境下会引入大量的干扰信号。

分布式结构中，每台变压器采用一个测量单元，进行本地模拟信号采集，将模拟信号转换成数字信号进行传输，如图1所示。这种方式在变压器套管介损的测量中优势明显。由于介质损耗是通过电流和电压向量的夹角计算出来的，介质损耗角本身很小。相对于集中式而言，分布式在信号采集过程中不同通道的同一性比较好^[3]。

2 介质损耗计算的一般方法

极性介质中偶极子转动时的摩擦以及包含在介质空气隙的放电，处在高电压下的介质是有损耗的。介质损耗是绝缘材料和绝缘设备的重要性能指标。具有损耗的绝缘材料和绝缘设备可用并联电阻、电容等值回路来简单代表^[4]。图2



郭占男/工程师

关键词/Keywords

变压器·
套管·
在线监测·
介质损耗·

为介质损耗的等效模型。图3为有损耗介损中电压电流矢量图。

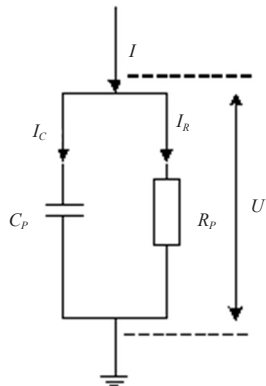


图1 介质损耗的等效模型

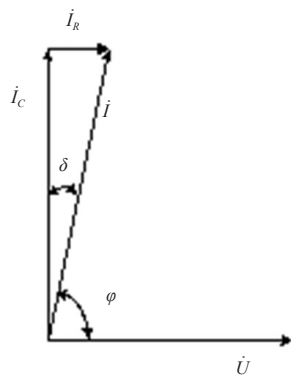


图2 电压电流矢量图

由图1、图2可得损耗公式：

$$P = UI \cos \varphi = UI_R = UI_C \tan \delta = U^2 \omega C_p \tan \delta \quad (1)$$

$$\tan \delta = I_R / I_C = (U / R_p) / U \omega C_p = 1 / \omega R_p C_p \quad (2)$$

从图2及式（1）中可看出：二角反映介质损耗的大小，被叫做介质损失角，它的正切值是损耗系数。由于介质损耗角都比较小，所以受电网谐波、电磁干扰以及PT本身角差的影响都比较大，测量、计算难度较大^[5]。

介质损耗的计算中关键点在于电压、电流相位的采集和计算。以上算法是通过采集到的信号计算介损值，称之为绝对介损^[6]。绝对介损在计算过程中主要关注的是电压电流之间的相位关系，但是在智能变电站中，PT信号有时不方便获取，甚至无法获得，此时计算绝对介损条件无法满足，于是本文提出一种相对角差法，通过电流相

位的相对关系来判断介质损耗情况。

3 相对角差法

相对法测量介损得出的值并非设备的真实介损值，但是通过离线数据初始标定，和相对介损一段时间内的变化趋势，可以观测出套管介损的变化情况，从这个角度来说，相对介损对设备的在线监测和电网的安全运行具有实际意义。

相对法测量变压器套管的介质损耗因数，其核心思想是采集的一组三相变压器套管的泄漏电流，通过傅里叶变换算法计算出三相电流的矢量相位 α_a 、 α_b 、 α_c 。

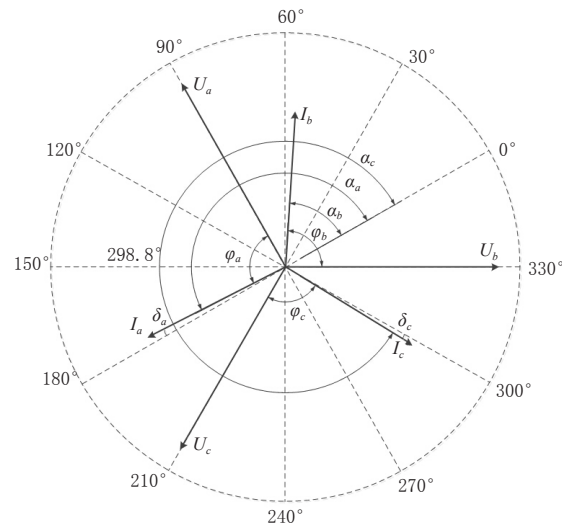


图3 算法分析矢量图

将B相变压器套管作为比照参考，设定B相套管泄漏电流 I_b 与电压 U_b 的夹角为 φ_b ，则通过图3所示各矢量的位置关系可以得出：

$$\varphi_a = 120 + \varphi_b - (\alpha_b - \alpha_a) \quad (3)$$

$$\varphi_c = \alpha_c - \alpha_b - (120 - \varphi_b) \quad (4)$$

式中， φ_a 为A相套管的电流与电压的夹角； φ_c 为C相套管的电流与电压的夹角； φ 和 φ_c 并不是真实值，而是以 φ_b 为参考得到的相对值。

根据介损角的概念可得：

$$\varphi_c = \alpha_c - \alpha_b - (120 - \varphi_b) \quad (5)$$

$$\delta_c = \pi / 2 - \varphi_c \quad (6)$$

式中， δ_a 是A相套管的介损角； δ_c 是C相套管的介损角。

根据介损因素的概念可得：

$$\tan \delta_a = \tan (\pi / 2 - \varphi_a) \quad (7)$$

$$\tan \delta_c = \tan (\pi / 2 - \varphi_c) \quad (8)$$

式中， $\tan \delta_a$ 是A相套管的介损因数； $\tan \delta_c$ 是C相套管的介损因数。

通过监测 $\tan \delta_a$ 和 $\tan \delta_c$ 的变化趋势来分析变压器套管的绝缘状态：若 $\tan \delta_a$ 或 $\tan \delta_c$ 波动较大，则认为A相或者C相套管存在缺陷；若 $\tan \delta_a$ 和 $\tan \delta_c$ 同时波动较大，则认为B相套管存在缺陷。

相对法的思想不是求介损因数的真实值，而是通过监测相对值的变化趋势来分析套管的绝缘状态，设定值 φ_b 的大小并不会影响 $\tan \delta_a$ 和 $\tan \delta_c$ 的变换趋势，也就不会影响相对法的分析结果。为了简化分析过程，通常将 φ_b 设定为具体数值，大量的现场经验是测试数据表明，将 φ_b 设定为 85° 更接近真实情况。

图4为现场实测数据，通过实测数据可以看出变压器三相套管的介损值在一定时间内没有出现较大的波动，说明套管工作状态正常。

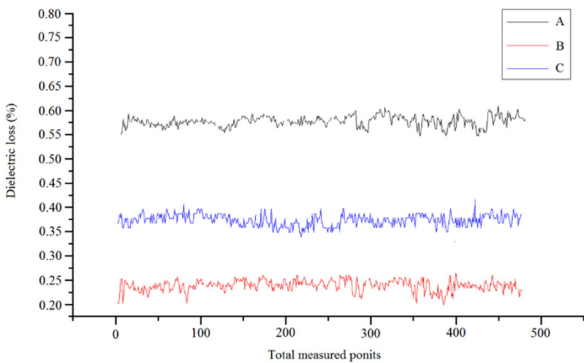


图4 现场实测数据

如实测数据出现较大波动，可以通过上述相对法的思想来分析确定，是哪一相套管出现了绝

缘问题。

4 结束语

采用分布式和相对法相结合的方式，能够在不需要引出电压互感器二次信号的情况下监测套管相对介质损耗因数的变化趋势，从而准确、有效地反应套管的绝缘状态，保证设备的安全稳定运行。通过理论分析和现场数据可以看出，此方法对变压器套管的在线监测具有实际意义。

参考文献

[1] 郭碧红, 杨晓洪. 我国电力设备在线监测技术的开发应用状况分析[J]. 电网技术, 1999, 23(8): 65-68.

[2] 吕延锋, 钟连宏, 王建华. 电气设备绝缘介质损耗测量方法的研究. 高电压技术, 2000, 26(5): 38-40.

[3] 黄建华, 金园, 何青. 电容型设备绝缘在线监测系统及其选用原则. 高电压技术, 2001, 27(10): 13-16.

[4] 龙锋. 电容型设备介质损耗因数在线监测研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2004.

[5] Lachman M F, Walter W, Guggenberg P A. On-line diagnostics of high-voltage bushings and current transformers using the sum current method[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(1): 155-162.

[6] David I. Bergman [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2004, 53(5): 1384-1390.

作者简介

郭占男 (1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统在线监测领域。

(收稿日期: 2015-12-10) **EA**

(编辑: 朱历)