

DOI: 10.7667/PSPC160423

## 主变带负荷相量测试软件的编制

李志远<sup>1</sup>, 张思齐<sup>2</sup>, 李超<sup>1</sup>, 郭军慷<sup>1</sup>, 田涛<sup>1</sup>, 王丹<sup>1</sup>, 张思皓<sup>1</sup>, 纪文涛<sup>1</sup>, 吴一凡<sup>1</sup>

(1. 国网宁夏电力公司宁东供电公司, 宁夏 银川 750411; 2. 国网宁夏电力公司检修公司, 宁夏 银川 750001)

**摘要:** 针对目前电力行业在主变带负荷相量测试普遍采用手工绘制相量图, 存在着绘图效率低、准确性差、作图不规范等缺点, 提出了一种利用 Visual C++ 语言编制可视化界面相量测试软件的新方法。具体阐述了该方法的实施步骤, 包括模态对话框建立、测试方式选择界面、原始测试数据输入界面、相量图绘制界面, 主变三相差动电流计算。该方法能够快速绘制出相量图、准确计算出主变差动保护差动电流, 并实现了原始测试数据的保存及测试报告单的打印功能, 满足主变相量测试工作需要。

**关键词:** 带负荷相量测试; 相量图; Visual C++; 差动电流

### A software for drawing phasor diagram used on transformer on-load test

LI Zhiyuan<sup>1</sup>, ZHANG Siqi<sup>2</sup>, LI Chao<sup>1</sup>, GUO Junkang<sup>1</sup>, TIAN Tao<sup>1</sup>, WANG Dan<sup>1</sup>, ZHANG Sihao<sup>1</sup>, JI Wentao<sup>1</sup>, WU Yifan<sup>1</sup>

(1. Ningdong Power Supply Company of State Grid Ningxia Electric Power Company, Yinchuan 750411, China;

2. Maintenance Company of State Grid Ningxia Electric Power Company, Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** Currently, the transformer phasor diagram of on-load phasor test is generally drawn by hand in electricity industry, which has some defects, such as low efficiency of drawing, bad accuracy and non-standards drawing, etc. According to those defects, this paper presents a new method of visual interface software for phasor test, which is compiled by Visual C++ language. The implementing procedure is explained, including modal dialog box establishment, test methods selection interface, original test data input interface, phasor diagram drawing interface and three phase differential currents calculation of transformer. This method can draw phasor diagram quickly and calculate the differential current of main transformer differential protection accurately, what's more, it achieves the original test data preservation and the print function of the test report, meeting the requirements of phasor test work.

**Key words:** on-load phasor test; phasor diagram; Visual C++; differential current

## 0 引言

检验规程规定, 新投、大修或者技改等回路有较大变动的工作中, 在设备投运以前, 须用一次电流及工作电压加以检验和判定其所接入的电流、电压的相序、保护方向性, 以及各组电流回路的相对极性关系和变比是否正确等<sup>[1]</sup>。工作中, 需在带有一定负荷的情况下进行相量测试(也叫六角图测试), 绘制出相量图, 以判别功率方向、电流互感器的相序和极性是否正确; 并计算出差流, 判别定值整定是否正确, 以保证保护装置的正确动作<sup>[2]</sup>。

长期以来相量测试工作基本都是依靠保护人员在现场利用直尺和角度尺进行手工绘制相量图, 存在着绘图不规范、耗时长、准确性差等缺点; 另外, 对主变三相差动电流通常依靠手工计算, 准确

率低、计算时间长。

在实际工作中针对主变相量测试中的以上问题, 进行分析, 查找解决办法, 文献[3]采用了 Excel 表格方法进行了相量图的绘制, 但是该方法操作起来较麻烦, 并且无法进行差动电流计算, 功能不完善。

本文使用 Visual C++ 语言编制了一款相量测试软件, 通过建立模态对话框、编制可视化的对话框界面, 输入原始数据, 最终绘制出相量图, 并计算出主变三相差动电流, 便于保护人员对主变各侧二次接线正确性进行分析判断。测试软件是后缀名为 .exe 的可执行文件, Windows 系统下直接运行, 免安装, 兼容性好。现以三卷变压器为例阐述具体实施过程及理论计算原理。

## 1 主变相量测试原理分析

### 1.1 差动保护原理

差动保护原理源于基尔霍夫电流定律，将被保护设备看成一个节点，如果流入保护区域电流等于流出电流，即保护区域无故障或者外部故障；如果流入保护区域电流不等于流出电流，即说明保护区域发生了故障，利用流入电流与流出电流相量差作为动作量的保护就称为差动保护<sup>[4]</sup>。

近年来对主变差动保护的研究也更加深入，文献[5]提出了一种多判据的变压器差动保护方法，文献[6]研究了主变励磁涌流对差动保护的影响，文献[7]提出了利用频数分布方法来防止主变差动保护误动。

在电力系统中，主变压器通常采用 YNd 接线，高压侧绕组为 YN 连接，低压侧绕组为 d 形连接，前者为大电流系统(中性点接地系统)，后者为小电流接地系统(中性点不接地系统)。微机型变压器保护各侧的 TA 二次均接成 Y 形，利用软件进行相位校正，相位校正是在装置内部进行，目前内转角计算方法有两种，一种是星形侧向三角形侧(Y→d)校正，另一种是星形侧向三角形侧(d→Y)校正。现以最常见的 YNd11 接线变压器为例，分析差动保护相位校正和幅值校正方式。

### 1.2 差动保护相位校正

对于 YNd11 接线变压器， $I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}$  为变压器 Y 形侧一次绕组中流过的三相电流， $I_{A2}, I_{B2}, I_{C2}$  为变压器 Y 形侧二次绕组中流过的三相电流。 $I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}$  为变压器 d 形侧一次绕组中流过的三相电流， $I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}$  为变压器 d 形侧二次绕组中流过的三相电流，接线图如图 1 所示<sup>[8]</sup>。

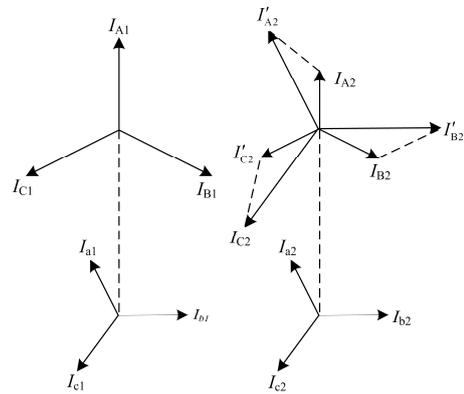
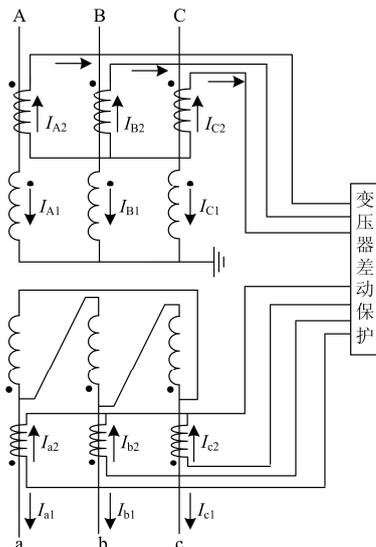


图 1 YNd11 变压器接线方式及其相位角

Fig. 1 Connection modes and its phase angle of YNd11 transformer

当微机保护采用星形侧向三角形侧(YN-d)相位校正方式，如 PST1200、RCS9671C 等，相位校正算法如下<sup>[9]</sup>所述。

$$\text{YN 侧} \begin{cases} \dot{I}'_{A2} = (\dot{I}_{A2} - \dot{I}_{B2}) / \sqrt{3} \\ \dot{I}'_{B2} = (\dot{I}_{B2} - \dot{I}_{C2}) / \sqrt{3} \\ \dot{I}'_{C2} = (\dot{I}_{C2} - \dot{I}_{A2}) / \sqrt{3} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{d 侧} \begin{cases} \dot{I}'_{a2} = \dot{I}_{a2} \\ \dot{I}'_{b2} = \dot{I}_{b2} \\ \dot{I}'_{c2} = \dot{I}_{c2} \end{cases} \quad (2)$$

经软件校正后，差动回路两侧电流相位一致。同理，对于三绕组变压器，若采用 YNy d11 接线方式，YN 及 y 侧相位校正方法同上。对于其他连接组别方式的主变，其相位校正方式与之类似，只是校正的相别电流和相量差选取不同。

### 1.3 差动保护电流幅值校正

差动保护中，由于变压器各侧一次电流不相等，实际选取的 TA 变比不能完全满足各侧二次电流相等的要求，在正常运行时需要在保护装置内部进行幅值折算，以满足保护装置差流为零的要求。微机保护装置通常采用平衡系数进行校正，即通过平衡系数折算将大小不等的电流值折算为相等的电流，保证在正常运行或外部故障时差流等于零。

变压器两侧 TA 额定二次电流为

$$\begin{cases} I_{2eY} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_Y \cdot n_Y} \\ I_{2ed} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_d \cdot n_d} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $S_N$  为 Y 形侧二次额定容量； $I_{2eY}$  为 Y 形侧二次

额定电流;  $U_Y$  为 Y 形侧额定电压;  $n_Y$  为 Y 形侧 TA 变比;  $I_{2ed}$  为 d 形侧二次额定电流;  $U_d$  为 d 形侧额定电压;  $n_d$  为 d 形侧 TA 变比。

若选择高压侧为基准侧, 由式(1)可得各侧平衡系数的计算公式如下<sup>[9]</sup>:

$$\begin{cases} K_{PY} = \frac{I_{2eY}}{\sqrt{3}I_{2eY}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \\ K_{Pd} = \frac{I_{2ed}}{I_{2eY}} = \frac{U_d \cdot n_d}{U_Y \cdot n_Y} \end{cases} \quad (4)$$

不同保护装置厂家平衡系数计算公式稍有差异, 但是基本原理相同, 通常选取高压侧为基准侧, 然后计算各侧一次额定电流, 根据 TA 变比计算出二次电流, 然后将各侧二次电流均折算至基准侧, 计算出相对于基准侧的平衡系数。

## 2 模态对话框建立及测量数据输入

在 Visual C++ 选择应用类型为模态对话框类型, 用于编制软件主界面, 主界面如图 2 所示。



图 2 相量测试软件主界面

Fig. 2 Main interface of phasor test software

再建立子对话框用于相量测试原始数据的输入, 在对话框中选择相量测试方式, 输入参考电压大小及方向和各侧电流值及相位等, 子界面如图 3 所示。



图 3 测量数据输入子界面

Fig. 3 Interface of test data input

## 3 相量图绘制

对话框建立成功之后, 编写相量图绘制相关程序代码, 运行主变相量图绘制子程序, 输入相量测试原始数据如图 4 所示, 该对话框采用伸缩方式设计, 点击“相量图绘制”即可绘制出相量图, 图中 A、B、C 三相电流值分别用黄、绿、红三种颜色示出, 矢量线长短代表电流值的大小, 相量绘制界面如图 4 所示。

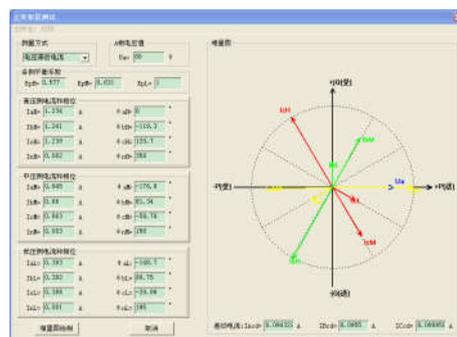


图 4 主变相量图绘制子界面

Fig. 4 Child interface of drawing transformer phasor diagram

通过相量图可直观地看出主变三侧电流是否为正相序; 通过任一相三侧电流大小及方向是否平衡可判断该相电流互感器二次接线是否正确。

## 4 差动电流计算

软件在绘制相量图同时还具有计算三相差动电流值的功能, 在输入测量数据同时还需输入主变各侧平衡系数, 对于三绕组变压, 在绕组不同连接方式下的平衡系数计算公式如表 1 所示<sup>[10]</sup>。

表 1 主变各侧平衡系数计算公式

Table 1 Formula for calculating each side balance coefficients of transformer

绕组接线方式	各侧平衡系数		
	高压侧	中压侧	低压侧
Y	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_M \cdot n_M}{\sqrt{3} \cdot U_{II} \cdot n_{II}}$	$\frac{U_d \cdot n_d}{\sqrt{3} \cdot U_Y \cdot n_Y}$
d	1	$\frac{U_M \cdot n_M}{U_{II} \cdot n_{II}}$	$\frac{U_d \cdot n_d}{U_Y \cdot n_Y}$

软件计算三相差动电流公式为

$$\begin{cases} \dot{I}_{Acd} = (\dot{I}_{aH} - \dot{I}_{bH}) \times K_{pH} + (\dot{I}_{aM} - \dot{I}_{bM}) \times K_{pM} + \dot{I}_{aL} \times K_{pL} \\ \dot{I}_{Bcd} = (\dot{I}_{bH} - \dot{I}_{cH}) \times K_{pH} + (\dot{I}_{bM} - \dot{I}_{cM}) \times K_{pM} + \dot{I}_{bL} \times K_{pL} \\ \dot{I}_{Ccd} = (\dot{I}_{cH} - \dot{I}_{aH}) \times K_{pH} + (\dot{I}_{cM} - \dot{I}_{aM}) \times K_{pM} + \dot{I}_{cL} \times K_{pL} \end{cases} \quad (5)$$

通过软件计算出三相差流值与保护装置差流值进行对比, 可判断保护装置定值中系统参数、CT

变比等整定是否正确。

## 5 结果保存与报告打印

软件对相量图绘制和差动电流计算后，还可对测试数据进行保存和测试报告实时打印。将测试数据保存至 txt 文档中，能很好地保存原始数据。点击“打印预览”或“直接打印”按钮可实现测试报告的预览或打印。

## 6 结论

本文提出了使用 Visual C++语言编制相量测试软件的新方法，并在多次实践工作中成功验证了该方法的可靠性和准确性。现场将所测数据输入后，可迅速绘制出主变相量图，并计算出主变三相差动电流值。该方法为带负荷试验的结论提供了快速有效的判别依据，也解决了人工绘图不规范、耗时长、准确性差的弊端，且省去差动电流计算过程，从而显著地提高带负荷相量测试工作的效率和准确性。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T995-2006 继电保护和电网安全自动装置检验规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.  
National Development and Reform Commission of People's Republic of China. DL/T995-2006 testing regulation on protection and stability control equipment[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [2] 郭锐. 浅谈变压器差动保护带负荷测试[J]. 继电器, 2003, 31(12): 67-69.  
GUO Rui. Discussion on the testing of transformer's differential protection with load[J]. Relay, 2003, 31(12): 67-69.
- [3] 杨明泽, 何世恩. 用 Excel 绘制带负荷试验相量图[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(22): 178-180.  
YANG Mingze, HE Shien. Drawing phasor diagram of on-load test with Excel[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(22): 178-180.
- [4] 贺家李. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 92-94.
- [5] 兰生, 张小钊. 基于多判据的变压器差动保护方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 125-131.  
LAN Sheng, ZHANG Xiaofan. A transformer differential protection method based on multi-criterion[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(23): 125-131.
- [6] 姚东晓, 邓茂军, 倪传坤, 等. 变压器多侧励磁涌流产生机理及对差动快速动作区影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 36-41.  
YAO Dongxiao, DENG Maojun, NI Chuankun, et al. Transformer's multi-side inrush current generation mechanism and its influence on the differential protection's fast action zone[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 36-41.
- [7] 白加林, 高昌培, 王宇恩, 等. 基于频数分布的防止变压器差动保护误动的新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(8): 14-21.  
BAI Jialin, GAO Changpei, WANG Yuen, et al. A new algorithm based on frequency distribution for avoiding the mal-operation of transformer differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(8): 14-21.
- [8] 朱晓红, 吕庆升, 樊金泽. 一次接线对主变差动保护的影响[J]. 云南电力技术, 2013, 41(1): 83-84.  
ZHU Xiaohong, LÜ Qingsheng, FAN Jinze. The influence of electric connection to transformer differential protection[J]. Yunnan Electric Power, 2013, 41(1): 83-84.
- [9] 国家电力调度通信中心. 国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 392-395.
- [10] 山西省电力公司组. 继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

收稿日期: 2016-03-26; 修回日期: 2016-06-10

作者简介:

李志远(1987-), 男, 硕士, 中级工程师, 研究方向为继电保护及应用。E-mail: lzy\_3123@163.com

(编辑 姜新丽)