

# 变压器差动保护差流异常行为的分析

张浩<sup>1</sup>, 胡文波<sup>2</sup>, 张艳<sup>3</sup>

(1. 湖北省超高压输变电局, 湖北 武汉 430050; 2. 长源电力股份有限公司, 湖北 武汉 430050;  
3. 湖北省汉川电厂, 湖北 汉川 432321)

**摘要:** 差动保护是变压器的重要保护, 若接线错误, 将对系统的安全稳定造成较大的影响。为发现在调试过程中出现的保护装置差流随着负荷的增加明显上升的原因, 文章通过对变压器差动保护装置的原理、二次回路、录波图、互感器原理等方面的细致分析, 指出电流互感器一次部分的误接线是造成变压器保护装置的差流随负荷增加的根本原因, 并从生产和运行等方面探讨变电站应当采取的防范措施。

**关键词:** 电流互感器; 变压器; 差动保护; 二次接线; 六角图法

## Differential current's abnormal analysis of transformer's differential protection

ZHANG Hao<sup>1</sup>, HU Wen-bo<sup>2</sup>, ZHANG Yan<sup>3</sup>

(1. UHV Transmission and Substation Bureau of Hubei Province, Wuhan 430050, China;  
2. Changyuan Electric Power Co., Ltd, Wuhan 430050, China; 3. Hanchuan Power Plant, Hanchuan 432321, China)

**Abstract:** Differential protection is an important protection of transformer. If connecting on transformer is wrong, it will influence the safety and stability on the power system. In order to find out the reason which differential current of transformer's differential protection is increasing when load increasing in the process of debugging, through analyzing the principle of transformer's differential protection, secondary loop, oscillography's current waveform and the principle of current transformer, the basic reason which causes differential current abnormal is the incorrect connection of current transformer's primary winding. Last, some counter measures are put forward on substation's production and running.

**Key words:** current transformer; transformer; differential protection; secondary wiring; hexangular cartographic mapping

中图分类号: TM77

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)07-0070-07

## 0 引言

2006年3月, 湖南邵阳(长阳铺)变电站启动调试。在这次调试过程中, 如系统图1, 当用5021合环给#1主变两套差动保护校极性时, 通过相位表初步检验其两套差动保护所用电流回路的变比极性均正确。但系统潮流较小时( $P=13$ 万), 两套装置均显示差流有7 mA左右, 系统潮流增大时( $P=14$ 万), 其差流增至9 mA左右。差流随着负荷的增加明显上升。

## 1 #1主变保护测量数据

邵阳(长阳铺)#1主变额定容量为750 MVA, 接线方式为y0, y0, d11, 两套电量保护均为南自厂生产的SGT756C保护。#1主变两套差动保护的高压侧电流取自5021、5022开关CT电流, 中压侧电流取自中压侧610开关CT电流, 低压侧电流取自低压侧410开关CT电流。当5021合环(如图1所示)

给#1主变带负荷检验主变差动保护极性时, 系统有功功率 $P=13$ 万 kW, 无功功率 $Q=2$ 万 kvar。以#1主变高压侧CVT的A相对地电压 $U_a$ 为基准, 相应测量值如表1所示。

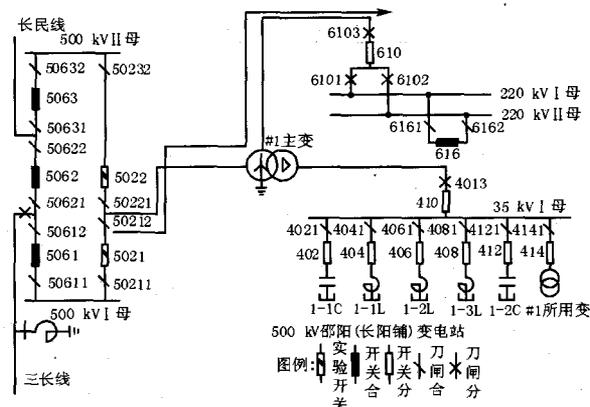


表 1 实测数据 (以高压侧 CVT 的 A 相对地电压  $U_a$  为基准)

Tab.1 Digital measurement(based on the voltage of high voltage CVT's phase A)

第二套主变保护			第一套主变保护				
	电流/mA	相位/(°)		电流/mA	相位/(°)		
高压侧	$I_A$	49.2	11	高压侧	$I_A'$	48.2	12
5021CT	$I_B$	49.1	131	5021CT	$I_B'$	48.1	128
	$I_C$	48.0	251		$I_C'$	47.0	250
	$I_N$	0.9			$I_N'$	0.9	
中压侧	$I_{a1}$	121	200	中压侧	$I_{a1}'$	121	200
610CT	$I_{b1}$	128	318	610CT	$I_{b1}'$	128	319
	$I_{c1}$	126	79		$I_{c1}'$	126	78
	$I_{n1}$	4.1			$I_{n1}'$	4.1	
A、B、C 差流 7、6、6 mA			A、B、C 差流 7、6、7 mA				

## 2 差动保护差流异常原因分析

针对差动保护差流异常的现象,进行了以下几方面的分析。

### 2.1 变压器差动保护装置的检查

变压器保护装置的设置是非常重要的,如果某些参数设置错误,如 CT 变比,电压数值,变压器容量等等,均会造成变压器保护装置差流偏大异常。

#### 2.1.1 装置的电流幅值和相位

打印变压器保护装置模拟量的采样值,(以第一套保护为例),其值如表 2 所示。

表 2 保护装置模拟量的采样值

Tab.2 The analogue sampling of relay

模拟量	电流/mA	相位/(°)
高压侧一支 A 相电流	0.049	19.7
高压侧一支 B 相电流	0.049	140.0
高压侧一支 C 相电流	0.048	260.0
高压侧二分支 A 相电流	0.01	150.1
高压侧二分支 B 相电流	0.01	200.3
高压侧二分支 C 相电流	0.00	320.7
中压侧一支 A 相电流	0.120	208.7
中压侧一支 B 相电流	0.127	327.0
中压侧一支 C 相电流	0.125	88.1
高压侧 A 相电压	60.102	30.7
高压侧 B 相电压	60.105	150.7
高压侧 C 相电压	60.105	270.7

从表 2 可见,装置所采样的电流大小与相位和用相位表所测的值基本一致,可见变压器保护装置对模拟量的采样是正确的。

#### 2.1.2 装置差流大小的分析检查

电力变压器在运行时,由于联接组别和变比不同,各侧电流大小及相位也不同。需通过数字方法对 CT 联接和变比进行补偿来消除电流大小和相位差异。如果补偿不正确,就会造成装置差流的异常。

##### 2.1.2.1 CT 接线方法

变压器各侧电流互感器采用星形接线(也可采用常规接线),二次电流直接接入本装置,均以母线侧为极性端。以母线指向变压器为正方向指向。

##### 2.1.2.2 平衡系数的计算

$$\text{计算变压器各侧一次额定电流: } I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{1n}}$$

式中:  $S_n$  为变压器最大额定容量,  $U_{1n}$  为变压器各侧额定电压(应以运行的实际电压为准)。

$$\text{计算变压器各侧二次额定电流: } I_{2n} = \frac{I_{1n}}{n_{CT}}$$

式中:  $I_{1n}$  为变压器各侧一次额定电流,  $n_{CT}$  为变压器各侧 CT 变比。以高压侧为基准,计算变压器中、低压侧平衡系数:

$$K_{pHM} = \frac{I_{2nH}}{I_{2nM}} = \frac{I_{1nH}/n_{TAH}}{I_{1nM}/n_{TAM}} = \frac{S_n/\sqrt{3}U_{1nH} \cdot n_{TAM}}{S_n/\sqrt{3}U_{1nM} \cdot n_{TAH}} = \frac{U_{1nM} \cdot n_{TAM}}{U_{1nH} \cdot n_{TAH}}$$

$$K_{pHL} = \frac{U_{1nL} \cdot n_{TAL}}{U_{1nH} \cdot n_{TAH}}$$

将中、低压侧各相电流与相应的平衡系数相乘,即得幅值补偿后的各相电流。

##### 2.1.2.3 各侧电流相位补偿

变压器各侧 CT 二次电流相位由软件自校正,采用在 Y 侧进行校正相位。例如对于  $Y_0/\Delta-11$  的接线,其校正方法如下:

$Y_0$  侧:

$$I'_A = (I_A - I_B)/\sqrt{3}$$

$$I'_B = (I_B - I_C)/\sqrt{3}$$

$$I'_C = (I_C - I_A)/\sqrt{3}$$

式中:  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$  为 Y 侧 CT 二次电流,  $I'_A$ 、 $I'_B$ 、 $I'_C$  为 Y 侧校正后的各相电流。其它接线方式可以类推。装置中可通过“变压器接线方式”控制字以

及“接线方式钟点数”定值来选择接线方式。

差动电流与制动电流的相关计算，都是在电流相位校正和平衡补偿后的基础上进行。

### 2.1.2.4 差流的计算

动作电流和制动电流的计算方法如下：

$$I_{dz} = \sum_{i=1}^N I_i$$

式中： $I_{max}$  为所有侧中最大的相电流， $\sum_{i=1}^{N-1} I_i$  为其它侧（除最大相电流侧）相电流之和。

下面以表 1 数据为例，计算其各相差流

$$I_{高A2} = 49.2 \text{ mA} \quad I_{高B2} = 49.1 \text{ mA} \quad I_{高C2} = 48.0 \text{ mA}$$

$$I_{中A2} = 121 \text{ mA} \quad I_{中B2} = 128 \text{ mA} \quad I_{中C2} = 126 \text{ mA}$$

因为以高压侧为基准，高压侧平衡系数为 1，为计算方便，用复数运算

$$I_{高Ad} = \frac{(I_{高A2} - I_{高B2})}{\sqrt{3}} = \frac{(49.2\cos 11^\circ - j49.2\sin 11^\circ) - (49.1\cos 131^\circ - j49.1\sin 131^\circ)}{\sqrt{3}} = 46.478 + j15.993$$

因为以高压侧为基准，计算变压器中压侧平衡系数：

$$K_{phM} = \frac{I_{2nH}}{I_{2nM}} = \frac{I_{1nH}/n_{TAH}}{I_{1nM}/n_{TAM}} = \frac{S_n/\sqrt{3}U_{1nH}}{S_n/\sqrt{3}U_{1nM}} \cdot \frac{n_{TAM}}{n_{TAH}} = \frac{U_{1nM}}{U_{1nH}} \cdot \frac{n_{TAM}}{n_{TAH}} = \frac{230}{525} \times \frac{2500}{3000} = 0.365$$

$$I_{中Ad} = \frac{(I_{中A2} - I_{中B2})}{\sqrt{3}} \times K_{phM} = \frac{(121\cos 200^\circ - j121\sin 200^\circ) - (128\cos 318^\circ - j128\sin 318^\circ)}{\sqrt{3}} \times 0.365 = -44.008 - j9.328$$

故 A 相差流为：

$$I_{dzA} = \sum_{i=1}^N I_i = 2.47 - j6.665 = 7.11$$

$\angle -69.67^\circ$  即幅值为 7 mA 左右。

同理：B、C 两相差流为

$$I_{dzB} = \sum_{i=1}^N I_i = -0.783 + j6.306 = 6.35 \angle -82.92^\circ$$

即幅值为 6 mA 左右，显然与装置实际测得的数据一致，说明两套装置 SGT756 内部的参数设置是正确的。

## 2.2 变压器保护回路的检查

电流互感器变比极性选错，很容易造成差动保护差流异常，所以要重点排查。下面以表 1 的数据为例，对高、中压侧的电流回路进行分析。

### 2.2.1 第一、二套主变保护相应六角图

首先，以表 1 中第一、二套主变保护的数据做出相应六角图，其图如图 2 所示。

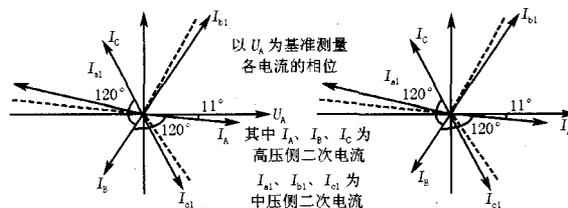


图2 第一、二套主变保护六角图

Fig.2 Hexangular cartographic mapping of the first and second transformer's relay

### 2.2.2 高压侧电流回路的分析

设高压侧相电压  $U_{高}$ ；高压侧一次电流为  $I_{高1}$ ；高压侧二次电流为  $I_{高2}$ ；高压侧 CT 变比  $n_{高} = 3000:1$ ；角度  $\varphi$  为电压超前电压的角度。

$$P = 3 \times U_{高} I_{高1} \cos \varphi = 3 \times U_{高} I_{高2} n_{高} \cos \varphi \quad (1)$$

$$\cos \varphi = \frac{13}{\sqrt{13^2 + 2^2}} = \frac{13}{13.153} = 0.9884 \quad (2)$$

由式 (1)，得：

$$I_{高2} = \frac{P}{3 \times U_{高} n_{高} \cos \varphi} = \frac{13 \times 10^7}{3 \times \frac{525000}{\sqrt{3}} \times 3000 \times 0.9884} = 0.0477 \text{ A}$$

由表 2 知所测高压侧二次电流为 0.049 A 其误差为：

$$\sigma_h = \frac{0.0477 - 0.0490}{0.0477} \times 100\% = -2.725\%$$

这基本与所测高压侧二次电流相等，所以可以肯定主变保护高压侧电流所用绕组变比是正确的。

由式 (2)，可知

$$\cos \varphi = 0.9884$$

$$\varphi = \arccos 0.9884 = 8.74^\circ$$

所测  $\varphi$  角误差  $\sigma_\varphi = 11 - 8.74 = 2.26^\circ$ ，显然主变保护高压侧电流所用绕组极性也是正确的。所以高压侧电流回路接线是正确的。

### 2.2.3 中压侧电流回路的分析

再来分析中压侧，设中压侧电流为  $I_{中1}$ ；中压侧二次电流为  $I_{中2}$ ；中压侧 CT 变比  $n_{中} = 2500:1$ ；角度  $\varphi$  为电压超前电压的角度。

$$P=3 \times U_{\text{中}} I_{\text{中1}} \cos \varphi = 3 \times U_{\text{中}} I_{\text{中2}} n_{\text{中}} \cos \varphi \quad (3)$$

由式 (3), 得:

$$I_{\text{中2}} = \frac{P}{3 \times U_{\text{中}} n_{\text{中}} \cos \varphi} = \frac{13 \times 10^7}{3 \times \frac{235000}{\sqrt{3}} \times 2500 \times 0.9884} = 0.129 \text{ A}$$

由表 2 知所测中压侧二次电流为 0.121 A

$$\text{其误差为: } \sigma = \frac{0.121 - 0.129}{0.129} \times 100\% = -6.202\%$$

从这里看出中压侧电流幅值误差偏大。

按照差动保护原理, 自耦变压器的高压侧与中压侧电流向量应相差 180°

由式 (2), 可知

$$\cos \phi = 0.9884; \quad \phi = \arccos 0.9884 = 8.74^\circ$$

则中压侧角度应为:

$$\phi' = 180^\circ + \arccos 0.9884 = 188.74^\circ$$

而实测角度:  $\phi'' = 200^\circ$

$$\text{所测 } \phi \text{ 角误差 } \sigma_{\phi} = \phi'' - \phi' = 200 - 188.74^\circ =$$

11.26°

所以主变保护中压侧电流所用绕组角度偏差也较大。

这一点可以从上面图 2 虚线看出。正常情况  $I_A$  与  $I_{a1}$ 、 $I_B$  与  $I_{b1}$ 、 $I_C$  与  $I_{c1}$  应该重合, 而实际所测电流  $I_A$  与  $I_{a1}$ 、 $I_B$  与  $I_{b1}$ 、 $I_C$  与  $I_{c1}$  角度偏差较大。

### 2.3 中压侧电流幅值、相位偏差较大原因分析

由上面分析知, 高压侧电流回路正确, 二次侧所测电流幅值、角度和一次侧一致, 但电流经过自耦变压器到中压侧开关 CT 二次后, 其二次电流就出现了偏差。

中压侧开关 CT 二次电流出现偏差可能有以下原因:

- (1) 电流经过自耦变压器后, 一次电流发生了偏差。
- (2) 电流经过自耦变压器后, 一次电流没有偏差, 但经过中压侧电流互感器后, 二次电流发生了偏差。

#### 2.3.1 自耦变压器高、中压侧电流关系

一次电流经过自耦变压器后, 电流幅值、相位是否会发生变化偏差。

如图 3 所示: 设一次侧电流为:

$$I_{1a} = I_1 \quad (4)$$

$$I_{2a} = I_2 - I_1 \quad (5)$$

在图中, 对于接点  $u_1$ , 利用基尔霍夫第一定律, 可

得自耦变压器的二次侧电流为

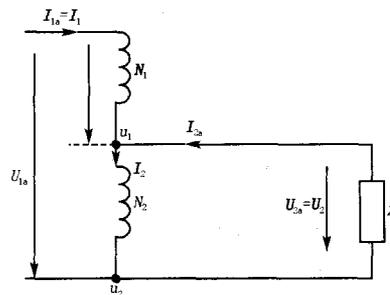


图 3 自耦变压器的原理图

Fig.3 Schematic diagram of autotransformer

在忽略励磁电流的情况下, 根据磁动势平衡关系, 有

$$I_1 N_1 + I_2 N_2 = 0 \quad (6)$$

由 (5)、(6) 得

$$I_{2a} = I_2 - I_1 = \left(1 + \frac{1}{k}\right) I_2$$

上式表明, 当忽略励磁电流时,  $I_{2a}$  和  $I_2$  以及  $I_1$  同相位。这就说明从原理上讲, 一次电流是不会发生偏差的, 但实际情况需要分析证实。

#### 2.3.2 录波图分析自耦变压器高、中压侧电流关系

设计回路中, 主变保护高压侧、中压侧所用电流均为相应的开关电流, 而故障录波器所用绕组均为主变高压侧、中压侧的套管 CT。调取 5021 合环时的故障录波器的录波数据。如图 4 所示。

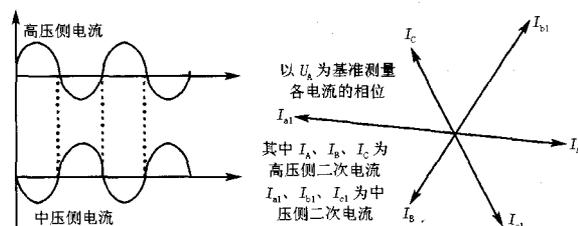


图 4 主变高、中压侧故障录波器的电流波形

Fig.4 Oscillography's current waveform of the transformer's high and middle side

从图中, 可以看出 5021 合环时, 录波器所测高压侧电流幅值、相位均与主变保护一致, 录波器所测中压侧电流幅值、相位与理论分析所得出的电流幅值、相位一致, 中压侧电流相位与高压侧相差 180°。这说明高压侧电流经过自耦变压器后, 一次电流的相位是没有偏差的。

那么造成中压侧开关 CT 二次电流出现偏差的原因只能是一次电流经过中压侧电流互感器后, 二次电流发生了偏差。

2.3.3 中压侧电流互感器 610 的检查

检查中试所关于中压侧电流互感器 610 的检验报告, 报告中, 每个绕组的幅值偏差都在在 1% 以下, 角差都在 6' 以下。显然中压侧电流互感器 610 精度应该没有问题。

对中压侧电流互感器 610 其余绕组进行测量, 包括测量、计量、两套母差, 其数据如表 3 所示。

表 3 中压侧电流互感器 610 其余绕组测量数据

Tab.3 The other secondary winding of

610 current transformer's digital measurement

测量位置	相别	幅值/mA	相位/(°)
中压侧	$I_{a1}$	121	200
610CT	$I_{b1}$	128	318
测量绕组	$I_{C1}$	124	80
中压侧	$I_{a1}$	122	200
610CT	$I_{b1}$	127	318
计量绕组	$I_{C1}$	124	80
中压侧	$I_{a1}$	123	19
610CT	$I_{b1}$	129	139
母差 I 绕组	$I_{C1}$	125	259
中压侧	$I_{a1}$	123	19
610CT	$I_{b1}$	129	139
母差 II 绕组	$I_{C1}$	125	259

从表 3 中发现每个绕组电流的相位都偏差 10° 左右。幅值也有一定偏差。

每个绕组都出现较大偏差, 这种可能性几乎没有, 况且中试所的检验报告说明中压侧电流互感器 610 精度应该没有问题。

是否互感器一次有问题呢? 仔细观察主变 220 kV 侧 610 开关 CT, 发现 CT 一次侧有一根 30 cm 左右 2.5 mm<sup>2</sup> 的铜线, 如图 5 所示。

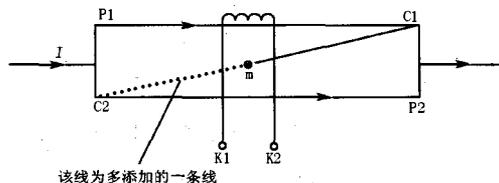


图 5 610 开关 CT 一次实际接线原理图

Fig.5 The actual schematic of 610 current transformer

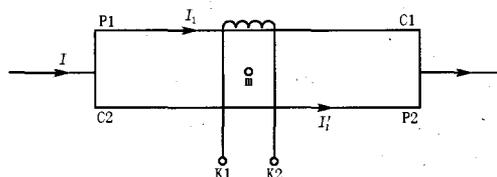


图 6 一次绕组并联方式时, CT 实际接线原理图

Fig.6 The actual schematic of current transformer which primal winding is operated by parallel mode

对于图 5 中电流互感器接线 m 而言, 它的作用是 CT 改串并联用的, 当 CT 变比需用 2×1250 时, CT 一次接线应为并联方式, 即 P1-C2 相连, C1-P2 相连, (C1-m 出厂时已连) 如图 6 所示。

因为忽略励磁电流, 有

$$I_1 N_1 + I'_1 N_1 = I_2 N_2$$

$$(I_1 + I'_1) N_1 = I_2 N_2$$

$$k = \frac{I}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

故并联时变比不变。

当 CT 变比需用 1250 时, CT 一次接线应为串联方式, 如图 7 所示。

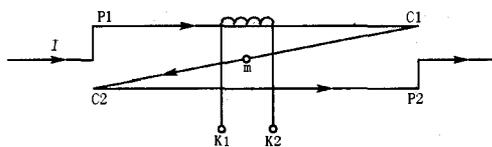


图 7 一次绕组串联方式时, CT 实际接线原理图

Fig.7 The actual schematic of current transformer which primal winding is operated by series mode

即 C2-m, C1-m 相连, 相当于把一次绕组的匝数由原来的一匝变成了两匝, 即  $N'_2 = 2N_1$ ,

由公式  $k = \frac{I}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{2} k$ , 所以 CT 变比变为原来的 1/2。

该站 220 kV 其他间隔互感器的变比都为 1250: 1, 而中压侧电流互感器变比设计为 2500: 1, 添加这根铜线原因可能是施工人员以为主变中压侧电流互感器的变比也为 1250: 1, 所以错误地增加了该铜线。

那么添加 C2-m 的连线会对二次造成什么影响呢?

添加铜线后其电流互感器的一次等效电路如图 8 所示。

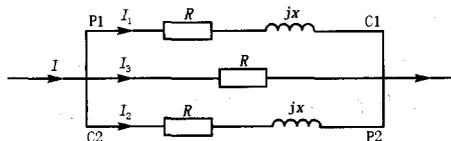


图 8 添加铜线后其电流互感器的一次等效电路

Fig.8 The equivalent electric circuit of current transformer's primal winding by adding copper wire

按基尔霍夫定理:

$$\begin{cases} I = I_1 + I_2 + I_3 \\ I_1 Z_1 = I_2 Z_2 = I_3 Z_3 \\ Z_1 = Z_3 = R + jX \\ Z_2 = r \end{cases}$$

$$\text{联解得: } I_3 = \frac{Z_1}{Z_1 + 2Z_2} I = \frac{R + jX}{R + 2r + jX} I$$

查资料知 20°C 时铜导率  $\rho = 1.673 \times 10^{-6}$

$$r = \rho \frac{L}{S} = \frac{1.673 \times 10^{-6} \times 0.3}{2.5 \times 10^{-6}} = 0.2 \Omega$$

而电流互感器一次绕组的直流电阻  $R$  为 300~400  $\mu\Omega$ , 显然  $R \ll r$ , 故  $R$  大小可以忽略

$$\text{所以, } I_3 = \frac{jX}{2r + jX} I = \frac{2rjX + X^2}{4r^2 + X^2} I$$

$$2I_2 = I - I_3 = \frac{4r^2 - j2rX}{4r^2 + X^2} I$$

设向量

$$p = \frac{4r^2 - j2rX}{4r^2 + X^2} = \frac{2r\sqrt{X^2 + 4r^2}}{4r^2 + X^2} \angle -\arctan \frac{X}{2r}$$

$$\text{则 } I_{\text{实际}} = pI = \frac{2r\sqrt{X^2 + 4r^2}}{4r^2 + X^2} \angle -\arctan \frac{X}{2r} I$$

上式说明添加铜线后中压侧电流互感器实际所

测一次电流幅值是实际一次电流的  $\frac{2r\sqrt{X^2 + 4r^2}}{4r^2 + X^2}$

倍, 相位比实际一次电流偏差角度  $\angle -\arctan \frac{X}{2r}$ ,

这与前面六角图相符。由于  $X$  和  $r$  是固定参数, 所以实际所测一次电流幅值与实际一次电流的比值, 相位与实际一次电流偏差角度都是固定的。

由此可见, 中压侧电流互感器电流幅值、相位偏差的原因是由于施工人员误增加了 C2-m 的铜线所造成的。

### 3 处理措施及保护极性检查

拆除三相 CT 多余的铜线后, 重新合环 (如图 1 所示) 给 1# 主变带负荷检验主变差动保护极性。

此时, 系统有功功率  $P=25$  万 kW, 无功功率  $Q=4$  万 kvar。第一套主变保护及第二套主变保护差流三相均小于 5 mA。两套保护相应的测量数据如表 4 所示。

表 4 拆除铜线后相应测量数据

Tab.4 The digital measurement by removing copper wire

测量位置	相别	幅值 /mA	相位/(°)	
高压侧	$I_{a1}$	93	12	
	$I_{b1}$	94	132	
	CT	$I_{C1}$	93	253
中压侧	$I_{a1}$	249	192	
	610CT	$I_{b1}$	250	12
	测量绕组	$I_{C1}$	249	132
中压侧	$I_{a1}$	249	192	
	610CT	$I_{b1}$	250	12
	计量绕组	$I_{C1}$	250	132
中压侧	$I_{a1}$	250	12	
	610CT	$I_{b1}$	250	132
	母差 I 绕组	$I_{C1}$	249	253
中压侧	$I_{a1}$	250	12	
	610CT	$I_{b1}$	249	132
	母差 II 绕组	$I_{C1}$	249	252

由式 (2) 知:

$$\cos \varphi = \frac{25}{\sqrt{25^2 + 4^2}} = \frac{25}{25.318} = 0.9874$$

由式 (3), 得中压侧二次电流:

$$I_{\text{中2}} = \frac{P}{3 \times U_{\text{中}} n_{\text{中}} \cos \varphi} = \frac{25 \times 10^7}{3 \times \frac{235000}{\sqrt{3}} \times 2500 \times 0.9874} = 0.2488 \text{ A}$$

其误差为:

$$\sigma_h = \frac{0.2488 - 0.249}{0.2488} \times 100\% = -0.008\%$$

按照差动保护原理, 自耦变压器的高压侧与中压侧电流向量应相差 180°

由式 (2), 可知

$$\cos \phi = 0.9874; \quad \phi = \arccos 0.9874 = 9.11^\circ$$

则中压侧角度应为:

$$\phi' = 180^\circ + \arccos 0.9884 = 189.11^\circ$$

而实测角度:  $\phi'' = 192^\circ$

$$\text{所测 } \phi \text{ 角误差 } \sigma_\phi = \phi'' - \phi' = 192^\circ - 189.11^\circ = 2.89^\circ$$

从表 4 中发现拆除铜线后, 中压侧每个绕组电流的相位偏差都由原来的 11° 回到 2.89° 左右。幅值误差也由 -6.202% 回到 -0.008%。这说明中压侧电流互感器电流幅值、相位偏差的原因是由于施工人员误增加了 C2-m 的铜线所造成的。

### 4 结束语

差动保护是发电机、变压器的主保护, 应满足

可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。但在电力系统生产中,由于接线错误、电流互感器端头标记标反、相序接反和极性标反等原因造成差动保护误动作的事故时有发生,给电力企业安全生产造成重大损失。因此,在设计、施工及以后的检修改造过程中,必须严格按照规程要求,认真分析,把好每一个技术关,确保电流互感器型号、变比等各方面正确,以保证差动保护能真正起到它的保护作用。不能依靠投运后带负荷试验时发现问题。掌握正确的分析方法和试验手段,及时防止此类事故的发生。将有助于提高全系统继电保护和自动装置的运行水平。

#### 参考文献

- [1] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社.  
National Power Dispatch and Communication Center. The Practical Question and Answer about Power System Relay Protection(Second Edition)[M]. Beijing: China Electric Power Press.
- [2] 文洪. 差动保护二次回路验证的方法[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2002, (2): 36-38.  
WEN Hong. Methods to Verify Correct Wiring of Differential Protection Current Loop[J]. Journal of

Changsha University of Electric Power(Natural Science), 2002,(2):36-38.

- [3] 倪红叶. 六角图法检测变压器差动保护接线的正确性[J]. 重庆工业高等专科学校学报, 2001, (3): 39-41.  
NI Hong-ye. The Correctness of Using Hexangular Cartographic Mapping to Check the Differential Protection Connecting on Transformer[J]. Journal of Chongqing Polytechnic College, 2001,(3):39-41.
- [4] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.  
YUAN Ji-xiu, SHENG He-le, WU Ju-ye. Directory of Current Transformer for Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [5] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.  
WANG Wei-jian. Relay Protection of Electric Main Equipment Their Principle and Application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

收稿日期: 2006-09-17; 修回日期: 2006-11-28

#### 作者简介:

张浩(1977-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护设备的调试和研究; E-mail: yjzhou@whu.edu.cn

胡文波(1968-), 男, 本科, 工程师, 主要从事电力系统安全生产管理工作;

张艳(1975-), 女, 本科, 工程师, 主要从事电力系统继电保护设备的调试和研究。

(上接第 69 页 continued from page 69)

#### 4 结论

针对 BP 算法存在的缺陷, 如训练速度慢, 易收敛于局部极小点及全局搜索能力弱等, 利用遗传算法能够进行全局最优化搜索这一特点, 本文提出了一种基于均匀设计(UD)和改进遗传算法的神经网络(NN)构造法, 并将该方法应用于电力系统短期负荷预测, 仿真结果证明了该方法在预测精度和收敛速度方面均得到了较大改进, 可以满足短期负荷预测的需要。

#### 参考文献

- [1] 于尔铿, 刘广一, 周京阳. 能量管理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
YU Er-keng, LIU Guang-yi, ZHOU Jing-yang. Energy Management System[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [2] 康重庆, 夏清, 张伯明. 电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 1-11.  
KANG Chong-qing, XIA Qing, ZHANG Bo-ming. Power System Load Forecasting: Current Status and Future Prospects[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(17): 1-11.

- [3] 王小平, 曹立明. 遗传算法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.  
WANG Xiao-ping, CAO Li-ming. Genetic Algorithm[M]. Xi'an: Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002.
- [4] Skok M, Krajcar S. Genetic Algorithm and GIS is Enhanced Long Term Planning of Large Link Structured Distribution System[A]. In: IEEE Proceedings of the 2002 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering[C]. Kunming: 2002.55-59.
- [5] 何大阔, 王福利, 张春梅. 基于均匀设计的遗传算法参数设定[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2003, 24(5): 409-411.  
HE Da-kuo, WANG Fu-li, ZHANG Chun-mei. Establishment of Parameters of Genetic Algorithm Based on Uniform[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2003, 24(5): 409-411.
- [6] 方开泰. 均匀设计与均匀设计表[M]. 北京: 科学出版社, 1994.12-15, 71.  
FANG Kai-tai. Uniform Design and the Uniform Design Table[M]. Beijing: Science Press, 1994.12-15, 71.

收稿日期: 2005-12-28

#### 作者简介:

赵宇红(1973-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为人工智能在电力系统中的应用。E-mail: gsx1666@163.com