

# 电流互感器复合误差的测量方法

梁仕斌

(云南省电力试验研究院, 云南 昆明 650051)

摘要: 分析了电流互感器复合误差所涉及到的各个方面, 从应用层面说明了互感器对复合误差的要求, 进而介绍复合误差的直接测量法和间接测量法, 文中提到的两种方法都是实用、易行的, 并且叙述了电流互感器准确限值系数与二次负荷关系曲线的绘制方法, 另外还列举出实例进行说明。

关键词: 电流互感器; 二次极限感应电势; 复合误差; 仪表保安系数; 准确限值系数; 二次负荷

中图分类号: TM452 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)18-0079-05

## 0 引言

在正常使用时, 电流互感器作为电流变换器件, 应保证一定的准确度, GB1208 - 1997 及 JJG313 - 94 中对测量用、保护用各等级电流互感器的误差限值做出明确规定。当电力系统出现短路故障时, 电流互感器可能通过远大于额定电流的短路电流, 这种情况下, 测量用电流互感器应能对接在其二次绕组的测量仪器起到保护作用; 保护用电流互感器 (本文中保护用电流互感器均指 P 级电流互感器) 应保证一定准确度, 确保继电保护装置正确动作, 这就要求电流互感器的复合误差满足规定。如何准确、便捷地测量复合误差, 对电力系统的安全、稳定运行有着重要意义。

## 1 电流互感器的复合误差

### 1.1 复合误差定义

按 GB1208 - 1997 的规定, 复合误差的定义适用于大电流通过电流互感器的情况, 此时铁心磁密很高, 励磁电流及二次电流可能因铁心饱和而发生畸变; 复合误差定义为: 稳态时, 下列两者之差的方均根值。

- 1) 一次电流瞬时值;
- 2) 二次电流瞬时值与额定电流比的乘积。

复合误差  $c$  通常用一次电流方均根值的百分数表示:

$$c = 100 / I_1 \sqrt{\int_0^T \frac{1}{T} (K_N i_2 - i_1)^2 dt} \quad (1)$$

$I_1$  为一次电流方均根值;  $i_1$  为一次电流瞬时值;  $i_2$  为二次电流瞬时值;  $K_N$  为额定电流比;  $T$  为一个周波时间。

### 1.2 测量用电流互感器对复合误差的要求

电力系统因故障出现大电流时, 测量用电流互感器应对二次测量设备起保护作用, 要求互感器铁心在较低磁密时饱和, 避免互感器二次电流过大而损害二次设备。GB1208 - 1997 对测量用电流互感器提出仪表保安系数 (FS)<sup>[1]</sup> 的要求, 规定仪表保安系数为 5 或 10; 仪表保安系数越小, 由电流互感器供电的设备越安全。

### 1.3 保护用电流互感器对复合误差的要求

系统出现短路故障的情况下, 要求保护用电流互感器应有一定准确度, 铁心基本不饱和, 确保继电保护装置正确动作。GB1208 - 1997 要求保护用电感器在二次绕组接额定负荷、且一次绕组通过额定准确限值一次电流<sup>[1]</sup>时, 复合误差不超过误差限值 (误差限值见表 1); 并规定, 应将保护用电流互感器的准确级与额定准确限值系数 (ALF)<sup>[1]</sup>一起标注, 例如: 5P15, 表示电流互感器为 5P 级, 额定准确限值系数为 15; 互感器二次绕组接额定负荷、且一次电流不超过 15 倍额定电流时, 互感器的复合误差应小于 5%。

表 1 保护用电流互感器误差限值表

Tab 1 Error limit tables of protective CT

准确级	额定一次电流下的误差		额定准确限值一次电流下的复合误差 / (%)
	电流误差 / (%)	相位差 / (°)	
5P	±1	±60	5
10P	±3	-	10

## 2 电流互感器复合误差的直接测量法

GB1208 - 1997 给出了几种直接测量复合误差的方法, 多数情况下, 图 1 所示的接线方式较为可行, 图中 N 及 N' 可用两台标准电流互感器, X 是被试电流互感器,  $Z_b$  ( $Z_b = Z_{b1} + Z_{b2}$ ) 是 X 的二次负

荷;按此接线,在 X 的额定准确限值一次电流下进行测量,电流表  $A_2$  读数与电流表  $A_1$  读数之比即为互感器 (X) 的复合误差,用百分数表示。

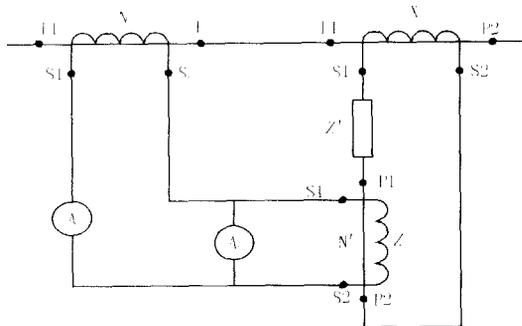


图 1 复合误差直接测量法

Fig 1 Direct measurement of composite errors

测量时应注意以下几点:

- 1) 由于波形畸变,  $A_2$  应选用电动系、电磁系指针式仪表或测量有效值的数字表;
- 2) 标准互感器 N 的额定一次电流与被试电流互感器 X 的额定准确限值一次电流相差不应太大;
- 3) 标准互感器 N 的额定一次电流与被试电流互感器 X 在额定准确限值一次电流下的二次电流相差不应太大;
- 4) 应满足公式:  $K_n = K_n \times K_{nx}$  ( $K_n$ 、 $K_n$ 、 $K_{nx}$  分别是互感器 N、N、X 的额定变比);
- 5) 试验前自制大电流负荷  $Z_b$ , 并且满足  $Z_b + Z_n$  等于 X 的额定二次负荷;
- 6) 由复合误差定义可知, N 的一次电流可能发生畸变, 但此情况下, 主要的高次谐波仍为低频波, 对 N 的准确度不会带来太大影响<sup>[3]</sup>。

### 3 电流互感器复合误差的间接测量法

#### 3.1 复合误差的间接测量法概述

分析直接测量法, 可以发现该方法存在以下缺陷:

- 1) 试验工作量大。
- 2) 需自制大电流负荷。
- 3) 对额定一次电流为 1 000 A 以上的电流互感器进行复合误差的直接测量相当困难。

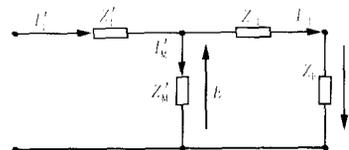
在实际测量中, 多采用间接法测量低漏磁型互感器的复合误差, 漏磁特性是影响电流互感器准确性的重要因素, 根据漏磁特性, 互感器可分为低漏磁型和高漏磁型。满足下述条件的可以认为是低漏磁型互感器: 具有连续环形铁心, 二次绕组均匀分布, 一次导线为中心排列或一次绕组均匀布置的电流互

感器。对于高漏磁型互感器, 也可采用间接法进行测量, 但必须对测量结果乘以一个校准系数, 该校准系数等于同型互感器直接法所得复合误差与间接法所得复合误差的比值。因而, 对高漏磁型互感器进行间接法试验时, 应要求厂家提供或查阅有关资料获得校准系数, 若对同型互感器进行批量复合误差测量, 也可通过一次直接测量法获得校准系数。

图 2 是电流互感器的等效电路图, 图中带撇号的量为一次侧折算到二次侧的参数, 由图可得下列二式:

$$I_M = I_1 - I_{II} \quad (2)$$

$$E_2 = I_{II} (Z_{II} + Z_F) = I_M Z_M \quad (3)$$



注:  $I_1$  为一次电流;  $I_{II}$  为二次电流;  $I_M$  为励磁电流;  $E_2$  为励磁电势;  $Z_1$  为一次绕组漏抗;  $Z_{II}$  为二次绕组漏抗;  $Z_M$  为励磁阻抗;  $U_2$  为二次电压;  $Z_F$  为二次负荷

图 2 电流互感器等效电路图

Fig 2 Equivalent circuit of CT

当互感器运行在铁心的线性区内, 可认为  $Z_M$  是常数。若一次电流很大, 铁心开始饱和,  $Z_M$  迅速下降, 励磁电流增加并且波形畸变, 二次电流也产生畸变。另外, 这个过程还与二次负荷密切相关, 在相同一次电流下, 二次负荷越大, 饱和程度越深, 波形畸变也越大。对已定型的互感器可以认为复合误差是一次电流和二次负荷的函数, 由图 2 可知, 励磁电流即为误差电流。对于低漏磁型互感器, 实际运行时产生相同的励磁电势要求的励磁电流, 与外加励磁电流的情况基本一致, 因而可以通过电流互感器伏安特性试验 (亦称励磁特性试验) 测量励磁电流, 进而计算出复合误差, 这种方法就是通常所说的间接测量法。

#### 3.2 二次极限感应电势

由 3.1 所述, 我们知道可以通过在二次侧施加电压, 使互感器线圈通过励磁电流, 并感应出励磁电势的方法来模拟低漏磁型互感器的实际运行状态, 通过测量励磁电流, 进而得到复合误差。在互感器二次绕组施加二次极限感应电势就是模拟互感器二次绕组接额定二次负荷, 一次电流为额定准确限值一次电流的运行状态。

二次极限感应电势是下述三项的乘积: 额定准确限值系数或仪表保安系数, 额定二次电流, 额定二次负荷与二次绕组阻抗的向量和。除

二次绕组阻抗外,其余各量均标在互感器铭牌上。下面介绍处理二次绕组阻抗的三种方法:

1) 估算法:额定二次负荷乘以经验系数 1.2,即  $1.2 \cdot Z_n$  作为额定二次负荷与二次绕组阻抗的向量和。

2) 近似计算:用万用表测量二次绕组直流电阻,再乘以 1.6 的经验系数,作为  $Z_{II}$ ,  $Z_{II}$  与额定二次负荷的代数和近似作为额定二次负荷与二次绕组阻抗的向量和。

3) 实测法:将互感器一次绕组短路,在二次绕组施加测量电压,用相位伏安表或互感器校验仪测量阻抗角,该阻抗角可近似为二次绕组阻抗角,然后用直流电桥测得二次绕组电阻  $r$ ,则二次绕组阻抗  $Z_{II} = r / \cos$ ,  $Z_{II}$  与额定二次负荷的代数和近似作为额定二次负荷与二次绕组阻抗的向量和。

### 3.3 复合误差的间接测量法

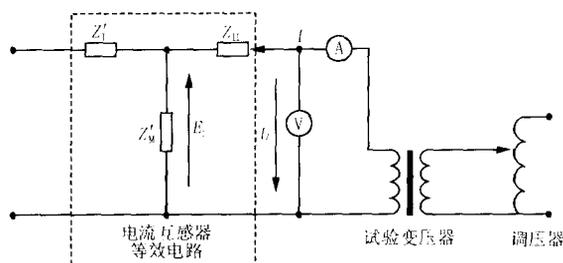


图 3 电流互感器伏安特性试验

Fig 3 VA characteristic test of CT

图 3 是电流互感器伏安特性试验接线图,试验时将一次绕组开路,被试二次绕组两端施加二次极限感应电势,其余二次绕组开路,记录相应电压值,注意试验中所使用的电流表应采用电动系、电磁系或测量有效值的数字表,为减小磁滞的影响,试验过程中调压器不能来回调节。对于保护用电流互感器,电流表测得的励磁电流与额定二次电流和准确限值系数之积的比值的百分数应不超过表 1 规定的值;对于测量用电流互感器,测得的励磁电流与额定二次电流和仪表保安系数之积的比值的百分数应大于或等于 10%,即:  $100I_m / (I_{1n} \cdot FS) \geq 10\%$ 。

### 3.4 保护用电流互感器准确限值系数与二次负荷关系曲线的绘制

部分文章中,该曲线亦称为 10% 误差曲线。前面说过,电流互感器复合误差是一次电流和二次负荷的函数,若将复合误差视为不变量,则准确限值系数是二次负荷的函数。直接测量法绘制曲线按图 1 接线进行,通过改变二次负荷,调节一次电流,使复合误差等于表 1 所示的复合误差限值,记录所施加的一次电流值,并计算准确限值系数,然后以准确限值系数为纵坐标,二次负荷为横坐标,绘制出准确限值系数与二次负荷关系曲线,用直接测量法绘制曲线的缺点是在二次负荷过小的情况下不宜进行。

间接法绘制准确限值系数与二次负荷关系曲线按图 3 进行,下面以复合误差为 5% 进行说明。由前述,电流互感器复合误差由励磁电流引起,并且运行时产生相同的励磁电势要求的励磁电流,与外加励磁电流的情况一致,由于复合误差为 5%,可得:

$$I_M = 0.05 I_1 \quad (4)$$

由式 (2)、(3) 得:

$$I_{II} = 19 I_M \quad (5)$$

$$Z_F = E_2 / (19 I_M) - Z_{II} \quad (6)$$

试验按图 3 进行,可得:

$$E_2 = U - I_M Z_{II} \quad (7)$$

按 3.2 所述方法得到  $Z_{II}$ ,按图 3 进行试验,并记录  $I_M$ 、 $U$  值,按式 (7) 计算出  $E_2$ ,并按式 (4)、式 (6) 计算得到相应的二次负荷值及一次电流 (应将  $I_1$  乘以额定电流比),从而可以绘制出准确限值系数与二次负荷关系曲线。

绘制准确限值系数与二次负荷关系曲线更大的目的是将实测得到的互感器二次负荷与曲线上的二次负荷比较,要求实测值小于曲线上的允许值。

## 4 复合误差测量举例

### 4.1 直接测量法验证仪表保安系数

被试电流互感器规格:

型号: LMZ1 - 0.5 准确等级: 0.5 SFS10 电流比: 400A / 5A 额定负荷: 5VA

测试方法:测试线路如图 1,标准电流互感器 N 电流比: 4000 / 5; N 电流比: 50 / 5

测试结果见表 2。

表 2 测试结果

Tab 1 Test results

额定一次电流 ( $I_{1n}$ )	一次电流 ( $I_1$ )	一次电流倍数 $I_1 / I_{1n}$	电流表 $A_1$ 读数 /A	电流表 $A_2$ 读数 /A	复合误差 $c / (\%)$	结论
400 A	2 880 A	7.2	3.6	0.36	10	合格
400 A	4 000 A	10	5.0	2.2	44	合格

#### 4.2 间接测量法验证仪表保安系数

对 4.1 条中被试电流互感器按图 3 进行试验, 测试结果见表 3。

#### 4.3 间接法测量保护用互感器复合误差、绘制准确

#### 限值系数与二次负荷关系曲线

被试电流互感器规格:

型号: LRZB 准确等级: 5P30 电流比:

12 000 A / 5 A 额定二次负荷: 60 VA (2 4 )

表 3 测试结果

Tab 3 Test results

施加二次电压 /V	二次电流 /A	10倍额定电流下的复合误差 %	二次极限感应电势 /V	结论
5	0.08			
8	0.57			
10	3.96	42.7% >10%	1.2 × 0.2 × 5 × 10 = 12 V	合格
11	11.53			
12	21.33			

表 4 计算结果

Tab 4 Calculated results

电流 /A	0.17	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
电压 /V	432	544	559	574	586	594	602	610	617	624	630
励磁电势 $E_2$ /V	432	544	559	573	585	592	600	607	614	620	666
准确限值系数 ALF	0.68	2.0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
允许二次阻抗 $Z_F$ /	133	57	29	15.6	9.8	7.3	5.8	4.8	4.1	3.6	3.4

试验过程:

1) 根据互感器铭牌参数, 采用 3.2 所述方法 1, 得到二次绕组阻抗为  $Z_{11} = 0.48 \Omega$ ;

2) 计算出二次极限感应电势为:  $1.2 \times 2.4 \times 5 \times 30 = 432 \text{ V}$ ;

3) 按图 3 接线, 调节电压值至 432 V, 记录电流值。计算该电流值与额定二次电流和准确限值系数之积的比值的百分数, 即为互感器二次绕组接额定二次负荷, 一次电流为额定准确限值一次电流下的复合误差, 即:  $[0.17 / (5 \times 30)] \times 100\% = 0.11\%$ , 由于  $0.11\% < 5\%$ , 可判断互感器复合误差合格。

4) 按式 (4) ~ (7) 计算得到  $I_1$  ( $I_1$  乘以电流比 2 400, 再除以额定电流 12 000, 即为准确限值系数)、 $E_2$ 、 $Z_F$ , 见表 4;

5) 以表 4 中的准确限值系数为纵坐标, 允许二次阻抗为横坐标, 将各点用曲线连接, 该曲线即为准确限值系数与二次负荷关系曲线, 见图 4;

6) 试验过程中, 第 3) 步骤也可以用下述方法判断复合误差是否合格, 将电流升到 7.5 A, 记录电压值为 620 V, 由于  $620 \text{ V} > 432 \text{ V}$  (二次极限感应电势), 就是说二次极限感应电势下的电流小于 7.5 A, 即: 当互感器二次绕组接额定二次负荷, 一次电流为额定准确限值一次电流时的复合误差小于 5%, 则该互感器复合误差合格。

### 5 复合误差测量的发展

随着电子技术及计算机技术的发展, 国内外众

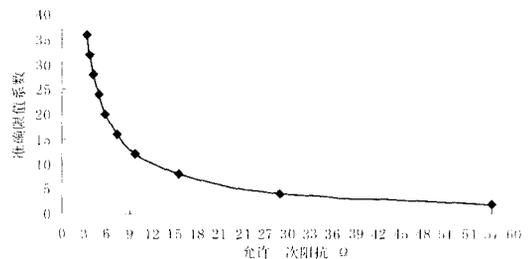


图 4 准确限值系数与二次负荷关系曲线

Fig 4 Accuracy limit factors and secondary load curves

多厂家开发出多种复合误差的测量设备, 其测量原理是依据间接测量法。设备通过互感器把励磁电压、励磁电流转换为低压信号, 然后通过集成电路进行滤波、放大、采样、分解、A/D 转换、CPU 运算等处理后, 由 LCD 显示或打印机打印, 并且可与电脑联机传输、设置数据, 极大地提高了试验效率。

对于部分额定准确限值系数大、额定二次负荷大或额定二次电流为 1 A 的互感器, 由于试验时需要施加的电压高, 所需试验设备负荷容量大, 对这种互感器还必须使用上文所述的方法进行试验, 例如: 额定电流比为 2000 A / 1 A, 额定二次负荷为 50 VA, 准确等级为 10P30 的电流互感器, 其二次极限感应电势为 1800 V。

### 6 结语

电流互感器的复合误差对继电保护装置的正确动作有着重要的影响, 二次测量仪表对电流互感器的复合误差也有要求, 因而准确、便捷的测量互感器

的复合误差有非常重要的意义;本文介绍的复合误差的直接测量法、间接测量法是比较简单、易行的,并在实践中被证明是可靠的;通过复合误差的测量方法,可以绘制出继电保护工作人员非常关心的电流互感器准确限值系数与二次负荷关系曲线;目前,众多厂家研制出多种专用的复合误差测量设备,如:电流互感器伏安特性测试仪、电流互感器复合误差测试仪,这些设备极大地提高了试验效率,但由于电流互感器种类多样,测量范围从几十安培到几万安培,对于一些额定准确限值系数大、额定二次负荷大的电流互感器,这些专用设备往往不能满足测量要求,还需使用本文介绍的方法进行试验。

#### 参考文献:

- [1] GB1208-1997, 电流互感器 [S].  
GB1208-1997, Current Transformers [S].
- [2] 高祖绵. 电流互感器一次返回导体对复合误差的影响 [J]. 变压器, 1996, (3): 20-22.  
GAO Zu-mian Primary Return Conductor Effect on Composite Error in Current Transformers [J]. Transformer, 1996, (3): 20-22.
- [3] 赵屹涛,王永灵,王进宏. 中频和工频电流互感器的误差计算和试验结果 [J]. 互感器通讯, 1997, (3): 12-14.
- ZHAO Yi-tao, WANG Yong-ling, WANG Jin-hong Error Calculus and Test Result on Current Transformer of Intermediate Frequency and Power Frequency [J]. Instrument Transformer Communication, 1997, (3): 12-14.
- [4] 李维波,毛承雄,陆继明,等. 电流互感器 10%误差特性曲线测绘技术研究 [J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (2): 23-26.  
LI Wei-bo, MAO Cheng-xiong, LU Ji-ming, et al Study on Test and Fitting of 10% Error Curve for Current Transducer [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24 (2): 23-26.
- [5] 互感器制造技术编审委员会. 互感器制造技术 [M]. 北京:机械工业出版社, 1999.  
Senior Editor Committee of Manufacturing Technology on Instrument Transformer Manufacturing Technology on Instrument Transformer [M]. Beijing: China Machine Press, 1999.

收稿日期: 2004-12-21; 修回日期: 2005-01-19

作者简介:

梁仕斌 (1974 - ), 男, 从事电能计量方面的试验及研究。E-mail: lsbp\_box@163.com

### Measuring methods of composite errors on current transformer

LIANG Shi-bin

(Yunnan Electric Power Test & Research Institute, Kunming 650051, China)

**Abstract:** This paper fully analyzes all the aspects involved in composite errors of current transformers and illustrates the requirements of composite errors for current transformers in terms of application. Direct measure and indirect measure on composite errors are put forward. The methods are practical and flexible. The paper also presents drawing method of relation curve of accuracy limit factor and secondary burden. Two examples are given on how to draw the curves.

**Key words:** current transformer; limiting secondary inductive EMF; composite error; factors of safety; accuracy limit factor; secondary burden

### 许继中标西部输油管道工程

前不久,在国家重大项目——“西气东输西部石油管道工程”招标中,许继电气研制的变电站自动化系统顺利中标,从而再次提高了许继在国家重大项目工程成套供货的知名度。

该工程的招标采用国际条款和惯例,国内共 11 个厂家参加了投标。在整个招投标过程中,投标单位的所有承诺都要以书面的形式回答。由于该工程对综合站的特殊要求,公司相关部门从标书的逐项应答到投标报价,都做到了严谨细致。在书面技术答疑环节,用户要求在开标后 5 日内不定期传真书面答疑,许继都做到了在第一时间及时回复。最终,许继收到了中油管道物资装备总公司发的通知书:“贵公司作为西部管道工程变电所微机综合自动化系统的唯一中标单位”。