

# 一种变频测量电流互感器介损的方法

王笑棠<sup>1</sup>, 李笑倩<sup>2</sup>, 金贵<sup>1</sup>, 唐超颖<sup>2</sup>

(1. 丽水供电局, 浙江 丽水 323000; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

**摘要:** 针对电流互感器现场介损测试易受电磁干扰的特点, 在常规试验基础上, 分别进行了高压试验和变频试验。适当提高试验电压和改变试验电压频率的试验方法, 均可比较有效排除电磁场的干扰, 从而获得可信的介损值。通过对比两组试验数据发现, 高压法测试电压较高且不易操作, 而变频法却可在较低的试验电压下就获得更加稳定可靠的介损值, 且易于操作, 因而可以在现场介损测试中广泛推广。

**关键词:** 电流互感器; 介损测量; 变频; 高电压; 现场测量; 对比研究

## A method of measuring dielectric loss of current transformer by changing frequency

WANG Xiao-tang<sup>1</sup>, LI Xiao-qian<sup>2</sup>, JIN Gui<sup>1</sup>, TANG Chao-ying<sup>2</sup>

(1. Lishui Power Supply Bureau, Lishui 323000, China;

2. Dept of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** According to the feature that the measurement of dielectric loss of the current transformer is easily interfered by electric and magnetic field, high-voltage and frequency-changing experiments are operated on the basis of regular experiments. High-voltage experiments and frequency-changing experiments both can effectively exclude interference of electric and magnetic field, thus getting a reliable result of dielectric loss. Via comparison, high-voltage experiments must work under relatively high voltage and are difficult to operate. However, frequency-changing experiments can get stable dielectric loss statistics under voltage much lower, while they are easy to operate. As a consequence, the method of measuring dielectric loss by changing frequency is of more superiority and suitable to be promoted widely.

**Key words:** current transformer; dielectric loss measurement; frequency changing; high voltage; on-site measurement; comparative study

中图分类号: TM855 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)05-0068-05

## 0 引言

电流互感器是电力系统中重要的电气设备, 其作用是提供仪表测量和继电保护的信号。电流互感器的绝缘状况是否良好, 将直接影响电力系统的安全和可靠运行<sup>[1]</sup>。对于 110 kV 级以上的电流互感器, 其介损现场测量一般采用正接法加 10 kV 电压<sup>[2]</sup>。在电场干扰严重的情况下, 即使提高实验电压, 再采用一些抗干扰措施, 测量结果有时偏差也很大。本文针对此种情况, 提出了现场测量介损的实用方法——变频法。

## 1 现场测试常见的干扰及常用的干扰排除法

电流互感器在介损现场测试中, 经常受到干扰

而导致介损测量值很不稳定, 有时甚至无法测出。较为常见的干扰有: 磁场干扰、杂散电容干扰、电场干扰等<sup>[3]</sup>。

### 1.1 磁场干扰

根据电磁场理论, 交变电场会产生的交变磁场。如果测量仪器出现磁屏蔽不良、测量引线走线等问题, 高压变电装置激发的交变磁场都会使测量结果受到影响, 导致测量结果的不准确。这种影响可通过改变测试电桥及测量引线的位置可解决。

### 1.2 杂散电容干扰

杂散电容干扰的起因多种多样, 比较复杂。常见的干扰起因有电流互感器末屏小瓷套(抽压端)污秽或受潮, 瓷瓶污秽, 附近钢架电容影响等等。具体消除方法如表 1 所示。

表 1 杂散电容干扰常规消除方法

Tab.1 Regular ways to exclude interference of the stray capacitances

干扰的起因	常规消除方法
末屏小瓷套(抽压端)污秽或受潮	可清洁或烘干小瓷套
瓷瓶污秽	可清洁瓷瓶
高压引线电晕放电	可采用无晕高压引线
附近铁件、构架的电容效应	可采取远离措施

### 1.3 电场干扰

电流互感器介损测试最大干扰就是电场干扰,且电场干扰的消除相对困难。常规的消除方法有倒相法、移相法、远离法等。其中倒相法和移相法适用于消除相对较小且相位固定的干扰。在实际试验中,由于干扰都很复杂,因此该两种方法效果不好。而远离法在现场较难实现。

## 2 高电压法测量介损

现场高电压法测量介损能够较好的减少现场测试中由于试验电压太低、电场干扰过大对测量结果造成的影响。在《电力设备预防性试验规程》DL/T596-1996中规定:“当 $\tan\delta$ 值与出厂值或上一次试验值比较有明显增长时,应综合分析 $\tan\delta$ 与温度、电压的关系。当 $\tan\delta$ 随温度明显变化或试验电压由10 kV升高到 $U_m/\sqrt{3}$ 时, $\tan\delta$ 增量超过 $\pm 0.3\%$ ,不应继续运行”<sup>[4]</sup>。介损值在一定范围内加压不会发生变化<sup>[3]</sup>,因此可以进行高压介损测量实验。

实验接线如图1所示。图中T1为15 kVA、400/0~400 V调压器,T2为50 kVA、400/400 V升压变,T3为200 kV分压器, $C_x$ 为220 kV电流互感器, $C_N$ 为SF6标准电容器。实验选取老旧的电流互感器和状态正常的电流互感器在同一环境状态下进行对比实验,得出的实验数据如表2所示。

表 2 高压法介损测量值

Tab.2 Results of dielectric loss under high-voltage measurement

设备名称	1#主变 220			2#主变 220			3#主变 220		
相别 实验电压 / kV	$\tan\delta / \%$			$\tan\delta / \%$			$\tan\delta / \%$		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
10	0.954	0.848	1.096	0.390	0.608	1.009	0.348	0.376	0.235
20	1.142	0.856	0.999	0.566	0.665	0.946	0.466	0.363	0.271
30	1.246	0.856	0.947	0.639	0.699	0.960	0.522	0.361	0.289
40	1.305	0.848	0.915	0.680	0.733	0.945	0.550	0.356	0.295
50	1.335	0.837	0.880	0.703	0.734	0.941	0.564	0.351	0.301
60	1.345	0.820	0.853	0.710	0.730	0.922	0.569	0.347	0.300
70	1.354	0.836	0.839	0.708	0.719	0.900	0.566	0.342	0.299
80	1.365	0.870	0.838	0.724	0.754	0.904	0.559	0.338	0.299
90	1.375	0.905	0.838	0.760	0.789	0.910	0.550	0.332	0.298
100	1.375	0.936	0.832	0.779	0.805	0.913	0.538	0.329	0.297
110	1.369	0.919	0.831	0.793	0.831	0.912	0.526	0.324	0.296
120	1.353	0.961	0.828	0.800	0.843	0.907	0.516	0.321	0.294
130	1.336	0.969	0.820	0.816	0.845	0.900	0.502	0.318	0.293
140	1.316	0.989	0.816	0.823	0.856	0.895	0.489	0.315	0.292
150	1.295	0.977	0.811	0.821	0.857	0.885	0.478	0.313	0.291
介损差值 / (%)	0.957	1.097	1.284	0.433	0.249	0.124	0.221	0.063	0.066
出厂日期	86.6			86.6			95.4		

根据表2中数据分别绘制1#主变220、2#主变220、3#主变220的介损随着电压升高的变化曲线

(图 2)。可以看出,除相对年限较短的 3#主变 220 kV 独立流变外,其它电流互感器介损值均较大,且随试验电压变化很大。试验电压在 40 kV 以下,数据不稳定,受电场干扰现象明显;而电压在 40 kV 以上,数据较稳定。

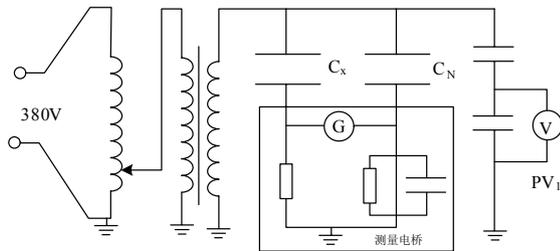


图 1 高压法接线图

Fig.1 Wiring diagram of high-voltage measurement

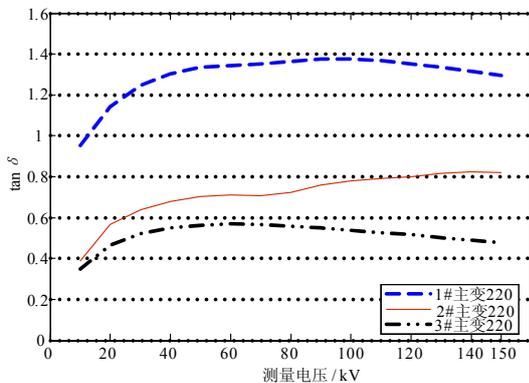


图 2 高压法下介损和测试电压关系曲线

Fig.2 Curve of relationship between dielectric loss and voltage under high-voltage measurement

常用的 10 kV 电压试验,在有电场干扰的情况下,数据偏差较大,且无法进行历年数据比较,未必能判断出设备好坏。但是高电压介损试验就弥补了这一缺陷:对良好的绝缘,介损值与电压关系不大,若绝缘不好,介损值与试验电压关系相当明显<sup>[3]</sup>。另外,在试验电压较高时 ( $U > 40$  kV 时),电场干扰对试验结果几乎没影响。

### 3 改进测量方法——变频法

#### 3.1 变频法的提出

高压法由于采用了较高的实验电压,削弱了电场的干扰,同时利用从低到高的电压梯度上升试验,得出介损的变化趋势来进一步判断设备的健康状态,具有一定优点。但是这种方法也有一些不足之处。首先,由于试验变压器、调压器很重,一般需要使用吊车进行现场试验设备吊装,现场试验很不方便。其次,实验电压在 10~40 kV 时,电场干扰的影响仍较严重,还不能得出真值,因此测试电压

仍然很高。

变频法是通过串联谐振装置改变试验电源的频率,配合使用有频率跟踪能力的电桥测试介损的实验方法。它能够有选择性的测量由电源建立起的和电源具有相同频率的电磁量,因而可以有效排除工频电磁场产生的干扰因素,在减少和消除干扰方面具有明显的优越性。这种方法不但测量数值稳定,而且可以在较低的电压下完成介损测量实验,弥补了高压法的缺陷,操作方便,可靠实用。

#### 3.2 现场实验验证

变频法接线原理如图 3。其中 LB 为励磁变, K1 为电抗器, PV1 为 200 kV 分压器,  $C_x$  为 220 kV 电流互感器,  $C_N$  为 SF6 标准电容器,  $C_b$  为补偿电容器。变频电源选择了 VFSR150/150 型串联谐振试验装置(不带负载时达到的自振频率范围为 45~65 Hz)。介损电桥为特制的 AI6000E 型自动电桥。该电桥的高压引线采用无晕连接线,且具有自动频率跟踪测量能力,分辨率可达 0.000 01。

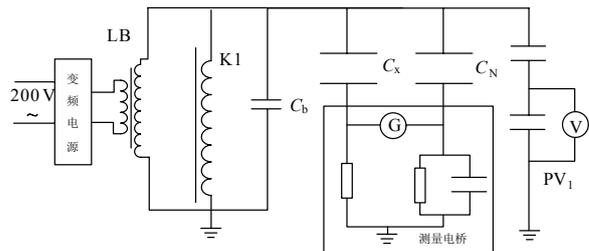


图 3 变频法接线图

Fig.3 Wiring diagram of changing-frequency measurement

对多组 220 kV 电流互感器进行不同频率下的高电压介损测量。220 kV 电流互感器加压范围为 10~145 kV。电压从 10 kV 开始,以每次 10 kV 电压的上升速度梯度上升,每次停留均要测量一个值,到达预定电压后,在电压下降时也测量、验证几个数值。以变频法测得 2#主变 220 CT 的 A 相介损值为例说明,实验数据如表 3 所示。

图 4 为 2#主变 220 CT 的 A 相在不同频率下的介损测量值和电压的关系,可以看出不同电源频率下,介损的测量值相差不大,说明介损在一定范围内,不随频率的改变而改变,变频法可行;在同一频率下,介损在逐渐加压过程中也比较稳定,仅在 10 kV 左右有所波动,因此可以适当的降低实验电压,电压在 20~30 kV 范围内即可得到可靠的数据。又选取 3#主变 220 在工频下和 2#主变 220 CT 在电源频率为 48 Hz 分别进行高压法测试的对比图线(图 5)分析。发现高压法(电源频率为基频)测量的介损值有随电压变化的趋势较大,而变频法测

量的数据非常稳定, 进一步验证了变频法的在屏蔽干扰方面的优越性和其可靠性。

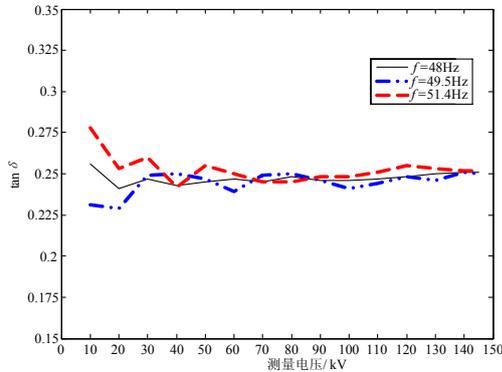


图 4 介损与试验电压、频率的关系图

Fig.4 Curve of relationship between dielectric loss and the voltage and frequency

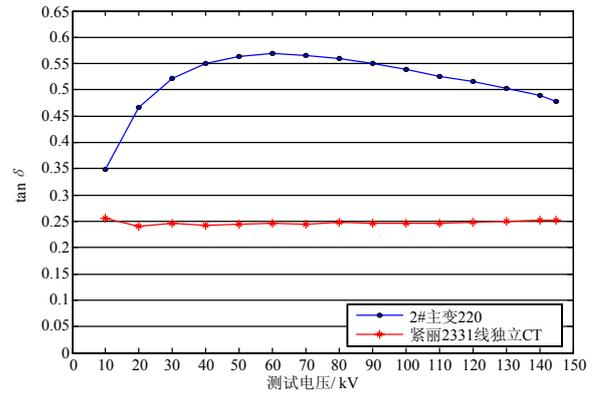


图 5 变频法 ( $f=48\text{Hz}$ ) 和高压法 ( $f=50\text{Hz}$ ) 的介损测量值对比曲线

Fig.5 Curve of the difference of dielectric loss under different frequencies

表 3 2#主变 220 CT A 相测量介损和电容值

Tab.3 Results of dielectric loss and capacitances of phase A of 2# main transformer 220 CT

试验电压 / kV	$f=48\text{ Hz}$		$f=49.5\text{ Hz}$		$f=51.4\text{ Hz}$	
	$\tan\delta / (\%)$	$C_x / \text{pF}$	$\tan\delta / (\%)$	$C_x / \text{pF}$	$\tan\delta / (\%)$	$C_x / \text{pF}$
10	0.256	867.9	0.231	867.8	0.278	868
20	0.241	867.8	0.229	867.6	0.253	868.1
30	0.247	867.6	0.249	867.3	0.26	867.5
40	0.243	867.5	0.25	867.3	0.242	867.4
50	0.245	867.6	0.247	867	0.255	867.3
60	0.247	867.6	0.239	867.3	0.25	867.5
70	0.245	867.5	0.249	867	0.245	867.2
80	0.248	867.6	0.25	867.4	0.245	867.6
90	0.246	867.6	0.246	867.4	0.248	867.6
100	0.246	867.7	0.241	867.4	0.248	867.5
110	0.247	867.7	0.244	867.4	0.251	867.5
120	0.248	867.7	0.248	867.6	0.255	867.7
130	0.25	867.9	0.246	867.8	0.253	867.7
140	0.251	867.8	0.251	867.6	0.252	867.5
145	0.251	867.7	0.25	867.7	0.252	867.6

#### 4 结论

变频法通过串联谐振电源和具有频率跟踪功能的电桥相互配合, 可以有效地排除工频电磁场对介损测量实验的干扰, 具有显著的优越性。

通过和高电压测量介损在实验电压、实验设备、

实验结果稳定性等多方面的纵向对比, 进一步验证了变频测量电流互感器介损方法的可行性和现场适用性, 具有较高的推广价值。

#### 参考文献

- [1] 王学锦, 蔡建辉, 黄友滔, 等. 电容型电流互感器介损异常情况及分析[J]. 变压器, 2007, 44 (9):

45-61.  
WANG Xue-jin, CAI Jian-hui, HUANG You-tao, et al. Analysis of Abnormal Dielectric Dissipation Factor of Capacitor Current Transformer[J]. Transformer, 2007, 44 (9): 45-61.

[2] 陈化钢. 电力设备预防性实验方法及诊断技术[M]. 北京: 中国科学出版社, 2000.

[3] 周泽存, 等. 高电压技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[4] DL/T 621-1997, 电力设备预防性实验规程[S].

[5] 凌子恕. 高压互感器手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[6] 陈天翔, 王寅仲. 电气试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[7] 刘洪鑫, 吴锦华. 电流互感器的现场高电压介损测量[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 78-80.  
LIU Hong-xin, WU Jin-hua. Investigation on on-Site Measurement of Dielectric Loss Angle of HV Current Transformer[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27 (5): 78-80.

[8] 吴仲达. 110 kV 站用电互感器介损测量误差探讨[J]. 山西电力, 2007(5).

[9] 杜晓平, 刘洪鑫. 串级式电压互感器介损现场测试方法的改进[J]. 浙江电力, 2006(6).  
DU Xiao-ping, LIU Hong-xin. An Improved Method of

Measuring Dielectric Loss Angle of Cascade Voltage Transformer[J]. Zhejiang Electric Power, 2006(6).

[10] 王学锦, 蔡建辉, 黄友滔, 等. 电容型电流互感器介损异常情况及分析[J]. 变压器, 2007(9): 45-46, 61.  
WANG Xue-jin, CAI Jian-hui, HUANG You-tao, et al. Analysis of Abnormal Dielectric Dissipation Factor of Capacitor Current Transformer[J]. Transformer, 2007(9): 45-46, 61.

[11] 李大厚. 110kV 干式电流互感器介损超标的探讨[J]. 电力建设.

[12] 刘裔, 赵汝国, 张鑫. 接触不良对电容式电压互感器介损试验的影响[J]. 电力电容器, 2007(1): 47-49.  
LIU Yu, ZHAO Ru-guo, ZHANG Xin. Influence of Poor Contact on Dielectric Loss Test of Capacitive Voltage Transformer[J]. Power Capacitors, 2007(1): 47-49.

收稿日期: 2009-03-27

作者简介:

王笑棠 (1972-), 男, 工程师, 研究方向为高电压与电磁兼容;

李笑倩 (1987-), 女, 学士, 研究方向为电气工程及其自动化; E-mail: lxqtgzy@126.com

金贵 (1976-), 男, 技师, 研究方向为高电压与电磁兼容.

(上接第 59 页 continued from page 59)

[9] 陈建华. 电力市场中发电商报价行为分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.  
CHEN Jian-hua. Generator Bidding Behavior Analysis in Electricity Market[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.

[10] 肖兴辉. 电力市场发电商合谋竞标的判定与防范[M]. 北京: 华北电力大学, 2006.  
XIAO Xing-hui. Determination and Defence of the Collusion Bidding of Power Producers on Electricity Market[M]. Beijing: North China Electric Power University, 2006.

[11] 陈建华, 周浩, 等. 应用量价指数进行发电商报价分析[J]. 浙江大学学报工学版, 2005, 39 (6): 915-920.

CHEN Jian-hua, ZHOU Hao, et al. Application of Capacity Price Index to Analyze Bidding from Electricity Generator[J]. Journal of Zhejiang University Engineering Science, 2005, 39 (6): 915-920.

收稿日期: 2009-03-23; 修回日期: 2009-06-14

作者简介:

高晓虎 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为合谋的识别和防范; E-mail: hbdbgxh@gmail.com

张少敏 (1965-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为电力市场技术, 网络信息安全;

邹粤 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为网络信息安全.