

基于电容器组中性点信号注入的电容电流测试方法

准确测量电容电流是安装消弧线圈的前提。目前规程推荐的间接测量法中,通过母线电压互感器开口三角绕组注入异频电源信号的测试方法运用较为普遍。但在采用该方法测试时,供电部门普遍发现误差较大,且过程复杂。为此,在分析该方法误差产生原因的基础上,提出了利用单相电压互感器,通过电容器组中性点注入异频信号的新方法,对该方法的计算误差进行验算,并在实验室及现场进行了试验验证。试验结果表明,在不接地系统对地电容不超过 $65\ \mu\text{F}$ 时,新方法的误差控制在3%以内,满足现场测试准确度要求。

刘 衍 周求宽 张 弦/国网江西省电力科学研究院

0 引言

目前的电容电流测量方法主要有直接法、工程计算法和间接法。规程^[1]推荐的间接法包括中性点外加电压法、偏移电容法^[2-4]、人工星形电容器组中性点法^[5-6]和电压互感器开口三角绕组异频信号注入法^[7-11]等。电压互感器开口三角绕组异频信号注入法因其注入信号不会干扰系统运行,测试回路不与一次系统接触而被普遍采用。但在现场测试时发现该方法误差较大。文献^[12]认为“开口三角绕组注入电流信号频率的选择对检测结果影响显著,而且,中性点工频位移电压会严重干扰注入信号的检测”。为此,提出了适用于自动跟踪消弧装置测量电容电流的方法——扫频法^[12-15]。此外,采用电压互感器开口三角绕组异频信号注入法测试需将一次消谐措施退出或短接,准备时间长,效率低。

本文通过分析电压互感器开口三角绕组异频信号注入法误差产生原因,提

出一种适用于现场实测的改进异频信号注入法,并通过模拟试验及现场实测进行验证。

1 电压互感器开口三角绕组异频信号注入法

1.1 测试原理

图1为规程推荐的电压互感器开口三角绕组异频信号注入法的原理图。

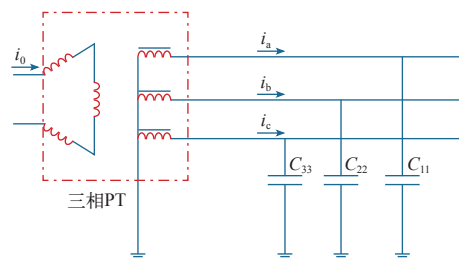


图1 电压互感器开口三角绕组异频信号注入法

图1中, C_{11} 、 C_{22} 和 C_{33} 为导线三相对地电容。从电压互感器二次侧开口三角端注入幅值相同、频率不同的异频电流信号,测量开口三角端产生的电压信号,通过计算得到对地电容值和电容电流。

1.2 偏差原因分析

(1) 原理性误差

从电压互感器开口三角绕组异频信号注入法的测试原理可以看出,计算过程忽略了励磁阻抗的影响。实际上,在测量较大电容电流时,测试仪器都会输入一较低频率以提高测试准确度,在频率较低时,励磁阻抗的影响不能忽略。

(2) 电压互感器结构

主PT为三柱式结构的4PT抗谐振电磁式电压互感器,或者不同厂家、不同



刘 衍/工程师

关键词/Keywords

电容电流 ·
异频信号注入法 ·
电容器组 ·
中性点 ·
不接地系统 ·

批次的3个单相电压互感器组成的三相电压互感器组，因其三相磁路不对称，励磁特性不一致，相间电容会计入测试结果，造成偏差。在实验室分别对采用同厂同批次3个单相电压互感器和不同厂家生产的3个电压互感器进行了模拟试验。表1列出模拟试验的测试结果。模拟试验时用集中电容代替线路对地电容，没有带上10 kV系统电压。

表1 开口三角绕组异频信号注入法测试结果

真实电容量 / μF	同厂同批次三相电压 互感器组		不同厂家三相电压 互感器组	
	测试值/ μF	误差 (%)	测试值/ μF	误差 (%)
3	3	0.0	3.2	6.7
12	12.36	3.0	13.6	13.3
48	49.2	2.5	53.6	11.7
80	82.1	2.6	89.7	12.1

从表1中可以看出，采用同厂同批次电压互感器测量误差小；采用不同厂家生产的三相电压互感器时，即使真实电容量较小，误差也很容易超过10%。

(3) 电压互感器特性

电容电流是通过测量整个串联回路阻抗 Z 值和相角来计算电容值。如果 X_C 相对 X_L 很小，即对地容抗相对于电压互感器的漏抗很小，则阻抗 Z 和相角的微小测量误差将导致很大的电容值计算偏差^[7]。

(4) 测试仪器性能

测试仪器性能影响主要包括两个方面：一是仪器的采样准确度；二是信号频率选择。采样准确度决定了仪器实测的数值与真实值间差异；频率选择决定了计算公式的稳定性。

2 电容器组中性点信号注入法

2.1 测试原理

图2为电容器组中性点信号注入法测试原理。图2中，PT为外接单相电磁式电压互感器；DL为断路器；DS为隔离开关； L 为限流电抗器； C_a 、 C_b 和 C_c 分别为电容器组三相电容， C_{11} 、 C_{22} 和 C_{33} 分别为不接地系统三相对地电容。

电容电流测试仪通过单相PT的二次绕组注入异频信号，得到测试值 C'_0 ；将测试值 C'_0 代入式(1)

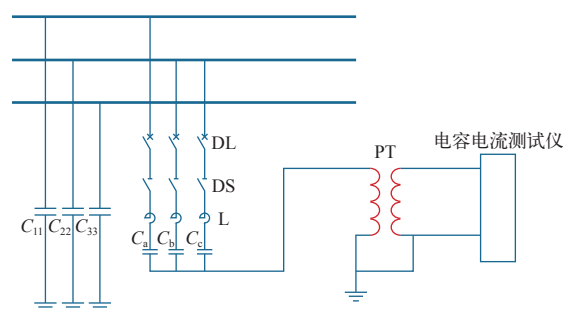


图2 电容器组中性点信号注入法

即可得到不接地系统的对地电容 C_0 ，根据式(2)即可算出电容电流。

$$C_0 = \frac{(C_a + C_b + C_c)C'_0}{(C_a + C_b + C_c) - C'_0} \quad (1)$$

$$I_C = \omega C_0 U_\Phi \quad (2)$$

2.2 计算公式的误差分析

式(1)是在三相对称的情况下推导出的。实际上，在系统对地电容量及电容器组电容量不对称的情况下，采用该公式计算的偏差也极小。表2列出了部分数据的误差分析结果。

从表2中可以看出，即使系统对地电容和电容器组不对称，采用式(1)计算的电容值与真实的电容值相差极小。

2.3 模拟试验

为了验证电容器组中性点信号注入法的准确性，在实验室进行了相关模拟试验。模拟试验用集中电容代替线路对地电容，同时用集中电容代替系统补偿电容器组，10 kV单相电压互感器在50 Hz下的漏抗为3.49 k Ω ，没有带上10 kV系统电压。测试结果如表3所示。

实验室模拟试验表明，当系统对地电容不超过65 μF （对应的10 kV系统对地电容不超过124 A），测试值与真实值的误差控制在3%以内。

2.4 现场实测

为进一步验证该方法在现场的适用性，在5座变电站进行现场测试。将测试结果与消弧线圈装置实测结果进行比较。结果如表4所示。

现场实测结果表明，基于电容器组中性点信号注入的电容电流测试方法测得的电容电流与消

表2 计算误差分析

$C_a/\mu\text{F}$	$C_b/\mu\text{F}$	$C_c/\mu\text{F}$	$C_{11}/\mu\text{F}$	$C_{22}/\mu\text{F}$	$C_{33}/\mu\text{F}$	式 (1) 计算结果/ μF	理论计算结果/ μF	误差 (%)
27	30	24	5	5.5	6	16.44	16.5	0.36
27	30	30	5	5.5	6	16.50	16.5	0.03
27	30	24	10	8.8	12	30.39	30.8	1.33
27	30	28	30.6	33	27	90.38	90.6	0.24
27	28	30	50	55	52	156.73	157	0.17
54	50	60	5	5.5	6	16.49	16.5	0.04
54	50	50	10	8.8	10.5	29.27	29.3	0.09
54	50	54	20	22	20.5	62.40	62.5	0.17
54	54	50	30.6	32	28	90.58	90.6	0.02
54	54	50	50	55	52	156.80	157	0.13
135	120	150	5	5.5	6	16.50	16.5	0.03
135	150	150	10	8.8	10.5	29.28	29.3	0.06
135	133	134	20	22	20.5	62.48	62.5	0.03
135	150	150	50	55	52	156.96	157	0.02
135	120	138	30.6	32	28	90.39	90.6	0.24
270	290	260	5	5.5	6	16.50	16.5	0.02
270	290	260	10	8	11	28.97	29	0.10
270	290	260	20	22	18	59.99	60	0.01
270	290	260	30.6	28	32	90.51	90.6	0.10
270	290	260	50	55	52	156.97	157	0.02

表3 模拟试验结果

实测值/ μF	平均值/ μF	真实值/ μF	误差 (%)
4.06	4.04	4	+1.0
4.04			
4.01			
10.25	10.27	10	+2.7
10.31			
10.25			
20.31	19	18.5	+2.7
20.31			
20.34			
40.67	40.69	40	+1.7
40.72			
40.70			
66.50	66.87	65	+2.9
67.00			
67.12			

表4 现场实测结果

变电站	实测电容电流/A	消弧线圈装置显示电容电流/A
× × 变	31.2	31.8
× × 变1#母线	90.2	86.9
× × 变2#母线	32.3	36
× × 变1#母线	75.1	75.8
× × 变2#段母线	42.8	42.6
× × 变1#母线	29.50	31.6
× × 变2#母线	61.9	63.8

弧线圈装置显示值基本一致。

3 结束语

针对配电网的电容电流测量，对规程推荐的电压互感器开口三角绕组异频信号注入法偏差原

因进行了分析，提出了基于电容器组中性点信号注入的电容电流测试方法。实验室模拟试验及现场实测表明，该方法具有极强的实用性，在对地电容不超过65 μF 时，误差控制在3%以内；且该方法无须将电压互感器的消谐装置退出运行，操作简单，可带电测试，测试效率高。

参考文献

[1] DL/T 308—2012 中性点不接地系统电容电流测试规程[S]. 北京：中国电力出版社，2012.
[2] 连鸿波，杨以涵，谭伟璞，等．偏置电容法测量

- 中压电网电容电流的误差分析[J]. 电网技术, 2005, 29(14): 54-58.
- [3] 李景禄, 周羽生, 唐跃进. 偏置电容法电容电流测量的应用经验[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(2): 99-100.
- [4] 孙岩洲, 邱毓昌. 配电网电容电流测量方法分析[J]. 高压电器, 2002, 38(5): 27-29.
- [5] 孙结中, 谢伟山. 人工星形电容中性点法测量系统电容电流产生误差的研究[J]. 广西电力技术, 2000(2): 1-4.
- [6] 刘力, 孙结中. 无电源中性点配电系统电容电流的简易测量法[J]. 中国电力, 2001, 34(11): 46-49.
- [7] 刘力, 孙结中. 一种测量配电网电容电流的新方法[J]. 电网技术, 2001, 25(5): 63-65.
- [8] 田建设, 韦良, 李天旭. 基于改进信号注入法的配电网电容电流测量[J]. 广东电力, 2008, 21(7): 28-31.
- [9] 董涛, 夏小飞, 刘铁, 等. 外加信号法测量配电网电容电流[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(11): 38-40.
- [10] 赵正军, 姜新宇. 信号注入法在配电网电容电流测量中的研究[J]. 广东电力, 2004, 17(6): 25-28.
- [11] 孙结中, 蒋学军, 邓雨荣. 配电系统电容电流测试仪的研制[J]. 广西电力, 2003(2): 1-4.
- [12] 张宇, 陈乔夫, 谢冰若, 等. 扫频检测电网对地电容的改进型方法[J]. 电网技术, 2008, 32(17): 40-45.
- [13] 李玲玲, 孙鹤旭, 王晓宏. 谐振接地电力网自动调谐的新方法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6): 77-80.
- [14] 曾详君, 尹项根, 于永源, 等. 基于注入变频信号法的经消弧线圈接地系统控制保护新方法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(1): 29-32.
- [15] 高峰. 基于信号注入法的电网对地电容电流测量装置的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2006.
- (收稿日期: 2015-08-09) **EA**

(上接第21页)

池可供实际使用的容量值总是处于非常接近于电池的标称容量;在对电池组放电时,不宜将电池进行频繁深度放电,一般来说,过度深度放电会加快电池组的损坏(有关资料表明深度放电次数只有200~250次);电池组在放电时要对电池的放电数据进行记录并保存,以利于对比,这样可以提早发现电池组存在的潜在问题。

1) 每2个月对UPS进行电池测试放电,放电的时间一般为6~8 min,如果有市电停电现象,则该周期内不需要做测试放电。这样避免电池长期不使用而加重硫化现象,同时还能检测出已经完全硫化的蓄电池,并进行及时更换。

2) 每年对UPS进行一次电池深度放电,电池深度放电采用0.3~0.5 C的大放电电流进行放电1.5~2 h。如现场58 A·h的电池深度放电电流为17.4~29 A。深度放电的目的是降低小电流放电导

致的硫化现象。

3 结束语

在实际生产过程中,UPS设备故障是多种多样的,但UPS蓄电池问题引发的故障无疑占有很大比例,因此提高对铅酸蓄电池的认知,提高维护质量,可以降低铅酸蓄电池问题发生的几率。同时建议对重要生产装置使用的UPS采用双电池组供电模式,这样其中一组在做维护时,另外一组可以保障设备的正常运行,大大降低UPS在做定期活化时的系统风险,提高生产装置运行的安全可靠。在有条件情况下,UPS电池巡检仪的安装也是对UPS设备本身很重要的完善,它能够实时检测每节蓄电池的电压、内阻及容量等重要参数,对于及早发现UPS铅酸蓄电池故障,提高维护工作效率,预防意外事故的发生也有极为重要的现实意义。

(收稿日期: 2016-01-02) **EA**