

电容型设备绝缘在线监测信号采集方式的实践

王恒山¹, 杨文陵¹, 陈 斌¹, 何云峰²

(1. 泉州电业局, 福建 泉州 362000; 2. 广元电业局, 四川 广元 628000)

摘 要: 电容型设备介质损耗在线监测, 每台被试设备配一只磁性耦合传感器, 采样输出信号弱, 传感器本身和信号传输电缆易受电磁干扰, 不同地点受干扰的程度不同, 在加上每个传感器角差的差异, 往往同类同相介质损耗相近的被试设备的测量结果差别很大。为此, 提出采用被试品末屏串接保护单元通过大容量的可控硅来控制测试通道通断的带电测试方法, 能把磁性耦合传感器移到测试仪器内, 实现所有的被试品使用同一传感器和统一的通道测试, 不仅可用绝对值法测试, 还可用相对比较法测试, 降低了几个干扰因素的影响。采用该方法在现场大量的测试数值表明可信、可比、稳定, 能有效地判断电容型设备的绝缘状况。

关键词: 在线监测; 信号采集; 双通道; 磁性耦合; 可控硅控制

Abstract: Each online monitoring equipment of dielectric loss factor devices is equipped with a magnetic coupling sensor. Its sampling output signal is weak and is likely to be effected by electromagnetic interference and the angle error of each sensor is different. All these factors result in the great difference of measuring results of similar capacitive equipments. Therefore the online monitoring method is brought up that the tap of detected equipment is connected with a protection unit in series and the detection channel is controlled by high power thyristor. The magnetic coupling sensor is installed in the detection equipment hence all detected equipment are detected through the same sensor and the same channel. Absolute value model or relative comparison method can be used. The method reduces influence of several interference factors. The practice of this method in the field shows its stability and reliability. The insulation condition of capacitive equipment can be diagnosed effectively by using this method.

Key words: online monitoring; signal collection; dual channel; magnetic coupling; thyristor control

中图分类号: TM885 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)04-0084-04

国内三十年来对电气设备在线监测技术进行大量的研究, 已取得不少的成果。但是, 变电站高压电气设备占有量比例最大的电容型设备, 其介质损耗在线监测的影响因素诸多, 一直困扰在线监测工作的全面发展。

电容型设备介质损在线监测, 需采集被试品的泄露电流和加在被试品两端的电压, 被测信号的采集十分关键, 只有首先获得真实、准确的被测信号, 后续环节才有基础。为此, 对容性设备绝缘在线监测的被测信号采样方式进行了实践。

1 传统的信号采样方式

1.1 被试设备泄漏电流信号的采样方式

高压容性电气设备介质损耗 $\tan\delta$ 值和电容量 C_x 的在线监测, 主要基于高压交流电桥的平衡原理, 泄漏电流需用传感器抽取信号, 早期的传感器采用电阻取

样, 后来普遍采用穿芯式小电流 TA 式传感器的取样方式, 可以电磁隔离做到了不改变末屏的接地方式, 一般把 1 mA 输入电流转换为 1 mV 电压输出, 由于电容型设备泄漏电流大约在 $500 \mu\text{A} \sim 500 \text{mA}$ 之间, 因此采样信号非常微弱, 极易受电磁场的干扰而失真, 传感器及其传输信号电缆受现场电磁场干扰和环境温度变化的影响较大, 况且 TA 型传感器也有自身的角差, 直接影响到数据的真实性和稳定性。

电流传感器的误差, 主要是由建立磁通所需的激磁电流引起的, 如果没有激磁电流, 电流传感器将工作在理想状态。为了提高精度, 近几年对电流传感器的改进措施有: ①传感器采用高导磁超微晶材料, 配合准确的变换电路, 精心设计成穿芯“无感式”。外壳采用铸铝合金材料压铸而成, 具有在大范围内的电流变化和温度变化情况下, 能够确保变换的准确度。②电流传感器基于补偿原理来减小激磁电流的影响, 即通过对激磁电流的补偿, 使传感器近似工作在“零

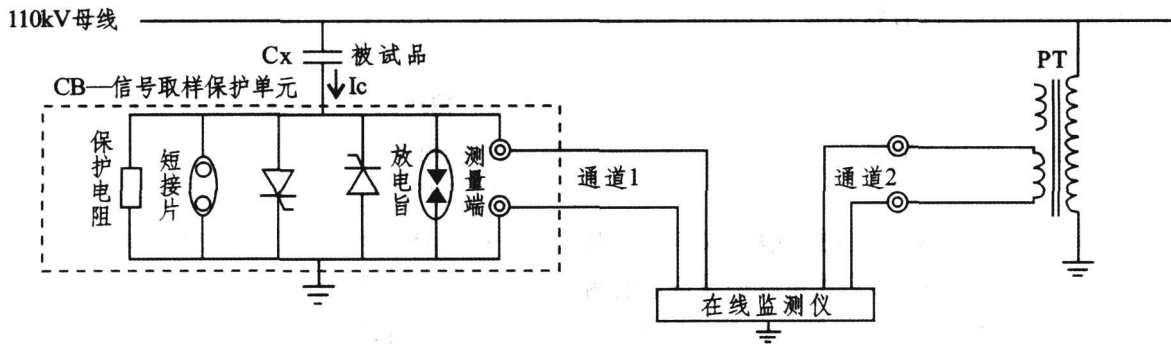


图 1 串接保护单元双通道磁性耦合取样绝对值法的接线方式

磁通”状态,输入输出信号的角差被降至很低的水平。③采用了以铁、铜、坡莫合金为屏蔽结构,使传感器具有较强的抗干扰能力及良好的电磁兼容性能。在 $-40^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内和 $5\% \sim 95\%$ 的相对湿度范围内对传感器的测试条件的角差稳定 ± 1.5 分以内,比差小于 0.01% 。

1.2 基准电压的采样方式

介质损耗测量必须取加在被试品两端电压作为基准信号。绝缘在线检测时,通常仅能利用现场所具备的条件,从电压互感器的二次侧获取。电压互感器有 2~3 个二次绕组,分别供继电保护和测量仪表之用。供继电保护用的绕组准确等级为 0.5 级,有 $\pm 20'$ 的测量角差,即相当于 $\pm 0.6\%$ 的介损测量绝对误差,而且继电保护所需的负荷较大,随运行方式的改变负荷变化范围较大,角差随之而变,而正常电容型设备的介质损耗通常较小,仅在 $0.2\% \sim 0.6\%$ 之间,绝缘在线监测时,如果从继电保护绕组采样基准电压信号,显然会影响测试结果的真实性和稳定性;供测量仪表用的绕组准确等级为 0.2 级,有 $\pm 10'$ 的测量角差,即相当于 $\pm 0.3\%$ 的介损测量绝对误差,而且测量仪表所需的负荷较小且基本保持不变,角差比较稳定,绝缘在线监测时,宜从测量绕组采样基准电压信号,如果角差比较稳定,还可从测量系统给予补偿,获得较为准确稳定的介质损耗测试结果。

1.3 采样信号受到的其他干扰因素

电流传感器改进为零磁通后,其性能、精度,比早期有很大的提高,母线 PT 二次角差的影响并非达到不可接受的程度,但实际测试表明每台被试设备配一只传感器就近安装,由于输出信号弱,传感器本身和信号传输电缆易受电磁干扰,不同地点受干扰的程度不同,如果传输电缆与被试电流互感器二次电缆平行布线还会有互感的影响,对于三相一字排开的小电容

设备被试设备存在相间干扰,在加上每个传感器仍然有可能存在角差的差异,往往同类同相介质相近的被试设备的测量结果差别仍然不小。

2 未屏串接保护单元双通道电磁耦合方式

如果能把电流传感器移到测试仪器内,所有的被试品使用同一传感器和统一的通道测试,就可以避免影响传感器的几个因素,使测量结果准确而又便于比较。这可以采用被试品末屏串接保护单元通过大容量的可控硅来控制测试通道的通断来实现,还可做成双通道磁性耦合的信号取样方式,不仅可用绝对值法测试,还可用相对比较法测试。

2.1 绝对值法

串接保护单元双通道磁性耦合取样绝对值法的接线方式如图 1。如图,有两个测试通道,一个接至被试品;另一个接至母线电压互感器二次绕组,做为基准电压信号,测量的是被试品绝缘介质损耗的绝对值。当测试通道回路开路时,可控硅自动导通,导通时的压降仅有 0.5V ,该可控硅可承受 30A 电流,可以耐受各种工频过电压和雷电冲击电流,此外还并接电阻、放电管等多重的保护措施,保护元件采用浇铸固化设计,能满足被试设备安全运行。

2.2 相对比较法

串接保护单元双通道磁性耦合相对比较法的接线方式与图 1 相似,一个接至被试品;另一个通道接至同一相的任意一台被试品,这种方法也是基于交流电桥的原理,一台做为基准,另一台被测,基准电压直接就是母线电压,由于不需取 TV 二次绕组信号,故不存在角差的影响,测量的是比较两台被试品绝缘介质损耗的差值,又叫相对比较法。

同类电容型设备在正常情况下的介质损耗差别不

大,在同样的环境、气候和同相电磁场干扰的情况下,介质损的变化量相当,具有较好的一致性和重复性,可以根据其变化趋势判断设备的绝缘性能。

3 现场带电测试情况

采用串接保护单元双通道磁性耦合取样方式对三个 110 kV 变电站共四百多台次电容型设备带电测试,以下例举绝对值法和相对比较法的测试结果,并进行分析评价,其它设备也具有同样测试效果。

3.1 绝对值法测量介质损及电容量

采用串接保护单元双通道磁性耦合绝对值法带电测量介质损如图 1,标准支路电压取之母线 TV 二次,测量的是单台被试品的实际数值,以下例举西郊变 110 kV 井郊线 181 TA 相和 110 kV I 段母线 CVT A 相现场测试数值如下:

(1)各台带电测试的电容量与标称值比较差别均在 $-1.3\% \sim -2.7\%$ 之间,可比性很好,完全可以满足试验要求。

(2)带电测试的各台介质损与停电比较均有所增大,原因:① TV 较差引起;② 停电试验电压仅 10 kV,带电测试是在运行电压下,电压大于停电试验电

压,正常的产品当电压高于额定电压时介质损会略有增大。实测符合实际情况,且数值不超过规程规定的允许值,历次带电测试数值差别不大,稳定可靠。

3.2 相对比较法测量介质损及电容量

同时测量两台同相被试设备介质损耗之差值,以下例举西郊变 110 kV I 段母线 CVT 与西郊变 110 kV 井郊线 181TV 相对比较法的带电测试数值进行分析,现场测试数值如表 3。

对实测数据分析如下:

(1)用相对比较法带电测试的两台之间的电容量与额定电容量差别较小,数次带电测试的可比性很好,完全可以满足试验要求。

(2)用相对比较法带电测试的两台之间的介质损差值,因 CVT 的介质损通常比 TA 的介质损小,故以其作为标准,TA 做为被测,实测差值符合实际情况。

(3)相对比较法带电测试能得到稳定可靠数值。具有如下优点:①不用取母线 TV 二次电压,避免了角差的影响;②对于一字排开的三相设备存在相间干扰,被比较的两台被试品是同相,两台所受干扰的程度相近,因此可削弱相间干扰的影响。

表 1 西郊变 110 kV 井郊线 181 TA A 相

测试日期	相别	试验性质	k_k (mA)	U_N (/kV)	$\text{tg}\delta$ (%)	C_X (/pF)	C_N (/pF)	Δc (%)
2005-03-28	A	停电	2.323	10	0.348	738.3	738.9	0.08
2005-07-20			14.9	66.1	0.501	719.0		-2.69
2005-09-21			15.1	66.2	0.413	724.0		-2.02
2006-03-17	A	带电	15.3	67.3	0.541	723.5	738.9	-2.08
2007-01-05			15.0	66.1	0.575	724.8		-1.91
2007-06-07			15.0	65.9	0.562	724.9		-1.89

表 2 西郊变 110 kV I 段母线 CVT A 相

测试日期	相别	试验性质	k_k (mA)	U_N (/kV)	$\text{tg}\delta$ (%)	C_X (/pF)	C_N (/pF)	Δc (%)
2005-07-20			407	66.3	0.143	19540		-2.3
2005-09-21			412	66.8	0.024	19590		-2.05
2006-03-17	A	带电	416	67.3	0.155	19660	20000	-1.70
2007-01-05			411	66.1	0.118	19780		-1.10
2007-06-07			407	65.9	0.134	19670		-1.65

表 3 西郊变 110 kV I 段母线 CVT A 相标准 110 kV 井郊 TA A 相被测

测试日期	相别	试验性质	k_k (mA)	I_N (/mA)	$\text{tg}\delta$ (%) $k_k - k_N$	$C_X: C_N$ 实测	U_N (/kV)	C_X (/pF)	C_N (/pF)	Δc (%)
2005-09-21			15.2	382	0.252	0.0398	66.2	731.2	738.9	-1.04
2006-03-17			15.3	415	0.406	0.0370	67.3	724.0	738.9	-2.02
2007-01-05	A	带电	15.3	414	0.441	0.0369	67.7	719.0	738.9	-2.69
2007-06-07			15.0	406	0.510	0.0369	67.2	725.8	738.9	-1.78

4 结论

高压电容型设备绝缘介质损耗的带电测试, 信号采集采用串接保护单元双通道磁性耦合的带电测试方式, 能解决传统每台设备装设一个电磁耦合传感器采集被测信号难以克服的诸多影响因素。有如下几个方面:

(1) 被试电容型设备的末屏与地之间串接大容量的可控硅来控制测试通道的通断, 实现用统一的零磁通电流传感器对一个变电站内所有容性设备进行带电测试, 从而避免了传统电容性设备在线测试中一台设备需接一个传感器, 各传感器本身之间的角比差不同所带来测量结果的不可比。

(2) 采用零磁通具有自校功能的高精度电磁耦合电流传感器, 较好地解决了介损测试精度及其稳定性问题, 可完全排除谐波干扰及环境温度变化造成的影响。

(3) 把传感器移到仪器内便于屏蔽, 避免传统传感器接于现场的每台被试设备易受周围电场、磁场干

扰的影响, 从而提高了带电测试结果的准确性。

(4) 采用双通道的传感器, 一个抽取被试品信号, 另一个抽取基准信号, 从而实现即可测量被试品介质损 $\lg\delta$ 的绝对值, 又可测量同相任意两台之间介质损 $\lg\delta$ 的相对值, 避免 TV 二次角差的影响, 还有助于减弱相间电场干扰的影响程度。当某一测量数值出现异常还可以通过绝对值和相对值来综合分析是干扰的因素影响还是设备本身的问题。

(5) 即使是用绝对值法测量, 实测数值与实际情况相差不大, 可见母线 TV 二次绕组的角差不是影响在线监测结果的主要因素。

(6) 连续两年多次带电测试的数值可信、可比、稳定, 能有效地判断电容型设备的绝缘状况。

参考文献

- [1] 严璋编写. 电气绝缘在线检测技术 [M]. 水利电力出版社, 1995. 11.
- [2] 李建明, 朱康编写. 高压电气设备试验方法 [M]. 电力出版社, 2001. 8.

(收稿日期: 2008-02-21)

(上接第 33 页)

为了取得理想的补偿特性, 跟踪补偿电流的控制方法的选择是十分重要的。常用的补偿电流跟踪控制方法主要有: 三角波调制法和滞环控制法。

(1) 三角波控制方法

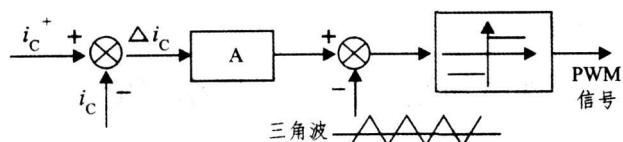


图 8 三角波调制法原理图

三角波调制法是一种最简单、常用的 PWM 控制方法, 如图 8 所示。该方法是将调制后的实际补偿电流与电流指令信号 i_c^* 的偏差 Δi_c 经放大器 A 放大后, 与高频三角调制波进行实时比较, 从而得到不同时刻逆变器的开关状态。采用三角波调制法的优点是有利于简化器件的选择和器件保护的设计, 动态响应好, 实现电路简单, 对高开关频率的系统有较好的控制特性; 缺点是逆变器始终处于高频工作状态, 输出波形中含有与三角载波同频率的高频畸变分量, 开关损耗较大, 在大功率应用中受到限制。

(2) 滞环控制法

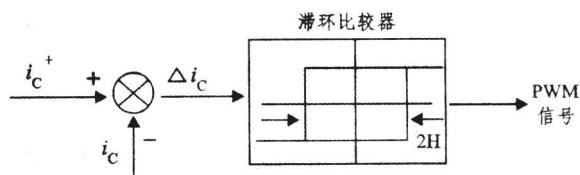


图 9 滞环控制法原理图

滞环比较控制法原理如图 9 所示。该方法把补偿电流的指令信号 i_c^* 与实际的补偿电流信号 i_c 进行比较, 两者的偏差 Δi_c 作为滞环比较器的输入, 通过滞环比较器产生控制主电路开关的 PWM 信号。该 PWM 信号经驱动电路来控制开关的通断, 从而控制补偿电流 i_c 的变化。基本原理是以补偿电流信号的参考值为基准, 设计一个滞环带, 当实际的补偿电流欲离开这一滞环带时, 逆变器开关动作, 使实际补偿电流保持在滞环带内, 围绕其参考值上下波动。很明显, 系统的开关频率、响应速度和电流跟踪的精确度均受滞环带的影响。当滞环带窄时, 响应速度快, 精确度高, 但开关频率也较高, 导致开关损耗增加。该方法的主要缺点是调制频率随输入信号变化, 给滤波器的设计带来困难。

(收稿日期: 2008-05-10)