110 kV GIS母线同频同相交流耐压试验分析

GIS同频同相交流耐压试验方法可以实现在相邻线路不停电的情况下对GIS扩建、检修后的设备进行交流耐压试验，某变电站110 kV GIS故障母线检修后在相邻线路不能停电的状况下，利用同频同相的方法进行耐压试验，同时在试验过程中利用超声波带电检测技术对GIS设备进行跟踪检测。试验验证了方法的可行性与可靠性，并保证了设备的可靠运行。

龚　源　李佳其　高立超／国网甘肃省电力公司电力科学研究院

龚　源／工程师

关键词／Keywords
GIS·
母线·
同频同相·
超声波·

0　引言

2016年1月26日，某330 kV变电站110 kV GIS设备Ⅳ段母线低气压报警，经现场检测，发现Ⅳ段母线的1128间隔的母线端头支腿焊缝处存在明显漏气，经跟踪观察，漏气量大且持续，临时封堵措施效果不佳，故将该段母线负荷转移至Ⅲ段，母线热备。在随后的着色探伤检测中，共发现四处支腿出现裂纹的缺陷。经故障分析后决定对朝阳变裂纹母线筒进行更换，为考核更换后的新设备绝缘水平是否具备投运条件，需要对Ⅳ段母线进行耐压试验。由于1123朝气一线及1124朝气二线为重要用电线路，且均接在Ⅲ、Ⅳ段母线上，故最后决定在被检母线相邻侧不停电的情况下采用GIS设备同频同相交流耐压试验方法对Ⅳ段母线进行交流耐压试验[1-2]。

1　同频同相试验原理

同频同相交流耐压试验装置是以传统的串联谐振交流耐压装置为基础，基于同频同相原理的新型耐压装置[3]，利用TV获取相邻不停电侧的运行电压信号作为试验的参照信号，通过锁相环、线性推挽放大等技术，达到试验装置输出与运行电压频率及相位相同的试验电压，接线原理图如图1所示。

假设对停电检修的Ⅰ段母线加试验电压，Ⅱ段母线正常运行，锁相环实现了分压器取样信号的频率与TV二次信号频率一致，并使两者之间的相位差处于很小的范围以内，使整个系统进入了同频同相的锁定状态。保护监控实时监控施加在GIS断口DS_3上的试验电压，发现超过设定的保护整定值或相位差异常，则发出故障信号，并立即关断变频电源的输出，停止给试品加压。示波器用于

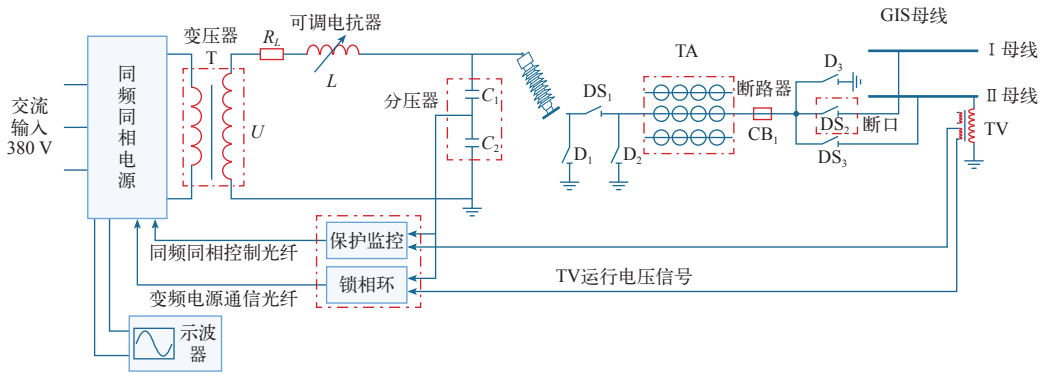

图1　同频同相耐压试验接线原理图

直观显示同频同相波形。此方法实现了在Ⅱ段母线不停电的情况下，对Ⅰ段停电检修母线的耐压试验，试验时断口电压为

$$\Delta U=\sqrt{2}u_1\sin(\omega_1 t-\varphi_1)-\sqrt{2}u_2\sin(\omega_2 t-\varphi_2) \quad (1)$$

式中，u_1为试验电压；u_2为运行电压。

1）当运行电压与试验电压的频率与相位均不同时，即$\omega_1\neq\omega_2$，$\varphi_1\neq\varphi_2$，传统串联谐振方法的试验频率在30～100 Hz之间，则在极端情况下，在一个时刻t_0，试验电压刚好和母线运行电压相位反相（相位差180°），则此时断口承受电压最大值为

$$\Delta U_{max}=\sqrt{2}(u_1+u_2) \quad (2)$$

若此情况出现，则隔离刀开关断口承受的电压将达到正常运行时电压的3倍以上，会导致隔离断口突然击穿而危及运行设备的情况。

2）当运行电压与试验电压的频率相同、相位不同时，即$\omega_1=\omega_2=\omega_0$，$\varphi_1\neq\varphi_2$，则式（1）可变为

$$\Delta U=\sqrt{2}u_1\sin(\omega_0 t-\varphi_1)-\sqrt{2}u_2\sin(\omega_0 t-\varphi_2) \quad (3)$$

当$|\varphi_1-\varphi_2|=\pi$时，$\Delta U$也会取得最大值，即式（3）。

3）如果试验电压和母线运行电压频率、相位相同，即处于同频同相试验状态下时，设$\varphi_1=\varphi_2=0$，且$\omega_1=\omega_2=\omega_0$，波形图如图2所示，则在隔离开关断口上的电压为

$$\begin{aligned}\Delta U&=\sqrt{2}u_1\sin(\omega_0 t)-\sqrt{2}u_2\sin(\omega_0 t)\\&=\sqrt{2}\sin(\omega_0 t)(u_1-u_2)\end{aligned} \quad (4)$$

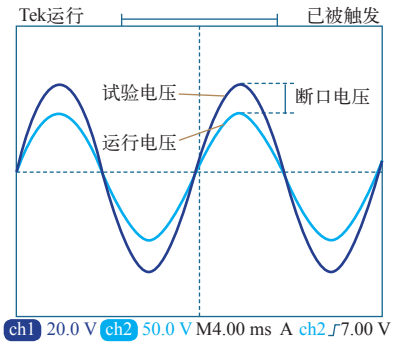

图2　同频同相耐压试验原理波形图

由于试验电压和运行电压一起变化，隔离开关断口上电压为二者幅值之差，此时断口电压最低，不会出现击穿现象。

2　110 kV GIS现场试验数据

2.1　110 kV GIS同频同相耐压试验

现场在采用同频同相原理进行Ⅳ母线耐压试验时，加压间隔为2#主变压器1102间隔，试验电压从1102间隔进线套管处加入；TV二次信号从Ⅲ母线TV测量绕组处取得。根据规程要求，加压程序为0 kV→72.7 kV持续5 min→U_m（126 kV）持续3 min→U_t（184 kV）持续1 min，对110 kV GIS设备母线气室主回路绝缘交流耐压试验电压按例行试验电压值的80%选取，即184 kV，耐受时间为1 min[4-6]。根据式（4），当$\omega_0 t=\pi/2+k\pi$时，可得到

$$\begin{aligned}\Delta U_{max}&=\sqrt{2}(u_1-u_2)\\&=\sqrt{2}(184.0\text{ kV}-63.6\text{ kV})=120.4\text{ kV}\end{aligned} \quad (5)$$

此时ΔU为120.4 kV，隔离开关断口处将不会出现击穿的情况。试验数据如表1所示；试验电压与运行电压波形图如图3所示。

表1　110 kV GIS同频同相耐压试验数据

试验电压/kV	断口电压/kV	串联谐振回路电流/A	电源输出电压/V	电源输出电流/A	品质因数
72.6	7.6	0.124	42.9	6.2	33.9
124.7	59.6	0.218	109	10.9	23.1
184.3	119.3	0.308	228.7	15.4	16.1

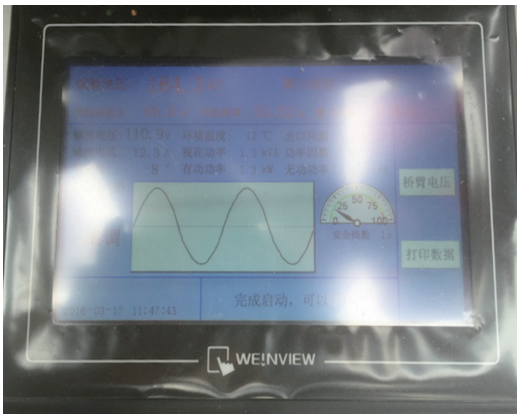

图3　同频同相耐压试验波形图

2.2　110 kV GIS超声波带电检测试验

为对耐压试验过程进行状态跟踪，防止设备

（下转第52页）

载时的直流侧电压波动的原因。通过分析找到了直流母线电压波动的原因：阻性负载时，单纯采用直流侧电压闭环无法实现直流侧电压的稳定，直流侧电压波动是实现输入输出的功率平衡的要求。根据功率平衡原理，给定串联变压器二次电流加上直流侧电压闭环就可以实现直流侧电压稳定，有效减少蓄电池充放电次数，消除蓄电池因输入电压波动而过充电的危险。仿真结果验证了理论分析的正确性。

参考文献

[1] 刘凤君．Delta逆变技术及其在交流电源中的应用 [M]．北京：机械工业出版社，2003．

[2] 刘凤君．市电电能质量补偿技术 [M]．北京：科学出版社，2005：239-251．

[3] Hamid R Karshenas，Mehdi Niroommand．Analysis and comparison of control strategies for three-phase series-parallel UPS [C]．Electrical Machines and Systems，2008．

[4] Frederico T Ghetti，Pedro G Barbosa，Henrique A C Braga．A study on single-phase delta UPS topological alternatives [C]．Power Electronics Conference，2009．

[5] 邹祖冰，蔡丽娟，甘辉霞．基于非线性解耦控制的三相电压型SPWM逆变器 [J]．中国电机工程学报，2004，24 (10)：57-60．

[6] 胡旭．串并联补偿式UPS实验平台的设计与实现 [D]．湖北：华中科技大学，2008．

[7] 林金燕，王正仕，陈辉明，等．一种高性能三相四桥臂逆变器控制器的设计 [J]．中国电机工程学报，2007，27 (22)：101-104．

（收稿日期：2016－10－30）EA

(上接第31页)

可能出现的异常情况，同时也为了检验设备检修以后的状况是否良好，在试验电压加到72.7 kV时，利用超声波带电检测仪器对GIS各间隔隔离刀开关断口进行带电检测，试验数据如表2所示，通过试验数据可以看出，超声波检测数据与背景基本一致，说明耐压试验过程中，端口部位未现异常。

表2　110 kV GIS超声波带电检测试验数据

检测设备编号	测试数据/mV	
	有效值/峰值	背景
11024甲Ⅳ刀开关	0.4/1.3	0.4/1.3
1102甲Ⅳ刀开关	0.4/1.5	
1124甲Ⅳ刀开关	0.4/1.3	
1126甲Ⅳ刀开关	0.4/1.4	
1127甲Ⅳ刀开关（备用）	0.4/1.3	

3　结束语

本次试验利用同频同相交流耐压试验方法，在对侧母线不停电的情况下，顺利完成新换设备的耐压试验及带电检测试验，并验证了此方法可靠性及有效性。利用此方法可以加速站内设备的检修效率，保证供电可靠性，促进电网安全运行。

参考文献

[1] 李建明．朱康．高压电气设备试验方法 [M]．北京：中国电力出版社，2001．

[2] 刘文革，张明天．800 kV GIS断路器气体绝缘破坏原因分析 [J]．中国电力，2009，42 (8)：8-10．

[3] 吴伟．GIS设备同频同相交流耐压试验技术应用探讨 [J]．电力技术，2014，6 (36)：164-165．

[4] 李晓峰，甄利，周新伟，等．220 kV气体绝缘开关设备 (GIS) 耐压击穿故障分析 [J]．中国电力，2010，43 (1)：43-45．

[5] DL/T 618—2011 气体绝缘金属封闭开关设备现场交接试验规程 [S]．北京：中国水利水电出版社，2011．

[6] 陈振生．气体绝缘金属封闭开关设备的状态维护技术 [J]．电力设备，2005，6 (9)：40-43．

（收稿日期：2016－07－04）EA