

The Application of GIS of the Same Frequency and Phase AC Withstand Voltage Test Technology

Yilong Chen, Zengbin Wang, Hong Lv, Ji Wu, Xiaofeng Pang, Ying Tang

Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou Guangdong
Email: cyl_ldj@126.com

Received: Feb. 16th, 2018; accepted: Mar. 2nd, 2018; published: Mar. 9th, 2018

Abstract

In this paper, the same frequency and phase of GIS/HGIS AC withstand voltage test technology based on phase-locked loop tracking technology and the technology of power frequency series resonance was introduced. The acceptance test of GIS/HGIS after the maintenance and expansion required substation outage problem was solved. And according to the engineering application practice in the Guangdong power grid corporation, the test risk and need to focus on the problem were summarized. For AC withstand voltage test technology popularization and application of the GIS equipment not power outage provides engineering reference.

Keywords

GIS/HGIS, Same Frequency and Phase, AC Withstand Voltage, Phase-Locked Loop, Power Frequency Series Resonance

GIS同频同相交流耐压试验技术工程应用

陈义龙, 王增彬, 吕 鸿, 吴 吉, 庞小峰, 唐 瑛

广东电网有限责任公司电力科学研究院高压所, 广东 广州
Email: cyl_ldj@126.com

收稿日期: 2018年2月16日; 录用日期: 2018年3月2日; 发布日期: 2018年3月9日

摘 要

本文针对检修和扩建后的GIS/HGIS设备交接试验需要在运变电站停电的难题, 介绍了基于锁相环跟踪技

术和工频串联谐振技术的同频同相GIS/HGIS交流耐压试验技术,并根据广东电网公司工程应用实践,总结出试验面临的风险和需要重点关注的问题,为GIS设备不停电耐压试验技术的推广应用提供了工程参考。

关键词

全封闭(半封闭)气体绝缘组合开关设备, 同频同相, 交流耐压, 锁相环, 工频串联谐振

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchgear, 简称 GIS), 具有占地面积小、受外界环境条件影响小、可靠性高等优点, 在我国城市电网中大量使用。特别是随着我国经济发展和城市化进程的加速, GIS 设备的需求量急剧增加。

目前, 我国早期投运的 GIS 已经进入寿命的中后期, 根据设备生命周期的浴盆曲线, 这批 GIS 设备已进入故障多发期, 大大增加了 GIS 的停电检修需求[1] [2] [3] [4] [5]; 另外变电站的负荷随着经济的发展不断增加, 导致了变电站扩建的需求。根据 GIS 设备检修和交接验收标准, 检修/扩建后的 GIS 需要进行交流耐压试验。常规的 GIS 交流耐压都采用谐振加压方式, 需要在运变电站停电进行配合, 这与当前全社会对电网供电可靠性日益提高的要求产生了巨大的矛盾[6] [7] [8] [9] [10]。部分供电局被迫选择采用 24 小时带电空载的方式来对检修/扩建的 GIS 进行检验, 这无疑难以发现设备潜在的绝缘缺陷, 为 GIS 设备的后续运行留下了可能存在的事故隐患。

因此, 电力运行部门迫切要求发展一种能够在其它在运电气部分不停电的情况下, 对检修或扩建后的 GIS 部分进行交流耐压试验的技术[11]。

GIS 同频同相交流耐压是在这种背景下发展起来的一种不停电试验技术, 由国网重庆电力科学研究院 2012 提出并研发了相应的试验设备[12]。广东电科院于 2014 年引入该技术, 并在同年 6 月份首次成功将该技术应用到肇庆 500 千伏砚都站扩建工程 500 kV HGIS 的交接耐压试验, 为同频同相交流耐压试验技术的推广应用奠定了坚实的基础[13]。截止到 2017 年 12 月, 已经在广东电网完成 40 多个不同电压等级的变电站 GIS/HGIS 同频同相交流耐压试验, 试验检验出了数例耐压不合格的 GIS 设备, 但无一例造成变电站运行设备失压事故, 大幅度减少了变电站停电范围, 提高了电网的供电可靠性。

本文阐述了 GIS 同频同相交流耐压试验的原理, 并根据试验的经验总结了存在的问题、风险控制措施和关键的注意事项, 为在运变电站检修/扩建的 GIS 设备不停电耐压试验技术推广应用提供了工程参考。

2. GIS 同频同相交流耐压试验原理

GIS 同频同相交流耐压试验通过采用与运行母线相位相同、频率相同的试验电压进行 GIS 设备的交流耐压试验, 从而可以避免在不停运母线的情况下隔离开关断口处出现试验电压叠加运行电压由于承受的电压差过大而导致隔离断口击穿的情况。

这一试验技术建立在试验电压能够通过锁相环技术从而精确跟踪运行电压的相位和频率的基础之上。它的核心技术为通过采样运行电压信号, 用锁相环技术输出一个与运行电压频率和相位完全相同的参考电压, 变频电源则将参考电压作为输入信号, 线性放大其电压幅值和功率。同时控制器也会通过算法加

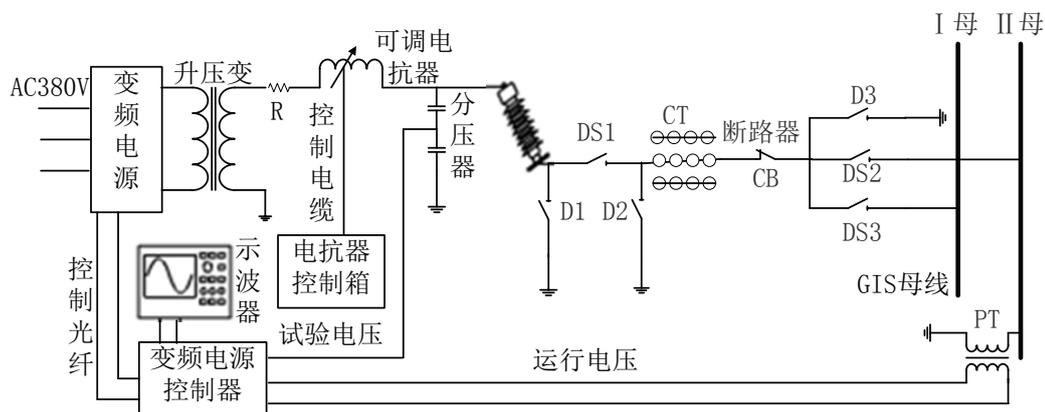


Figure 1. Block diagram on the same frequency with GIS AC voltage withstand test

图 1. GIS 同频同相交流耐压试验原理框图

入各项保护功能，一旦出现异常情况，迅速关闭输出参考电压，防止在锁频失败、试品异常等情况下，试验电压损坏运行设备或试验装置。其原理框图如图 1 所示。

图 1 展示的为典型的双母线变电站的交流耐压试验接线图，其中 R 为保护电阻，用于试品击穿时的保护用，D1、D2、D3 为接地开关，DS1、DS2、DS3 为隔离开关，CB 为断路器，CT 为 GIS 的电流互感器 PT 为运行的 II 母电压互感器，用来提取运行电压信号。试验条件为 II 母运行，I 母检修后耐压。

从图 1 中可以看到试验用 380 V 的三相交流电源接入变频电源柜，在电源柜中被整流滤波成稳定直流，然后通过桥式推挽功率放大电路，将从控制器来的电压信号线性放大成电压可在 0~350 V，电流在 0~570 A 调整的输出功率信号，经过中间升压变，高压绕组输出高压到可调电抗器，这里的电抗器与电容分压器及试品电容并联组成的等效电容串联形成的谐振电路，通过调节电抗器铁芯，改变其电感量，使得 LC 电路能够在工频 50 Hz 电压下形成谐振。

试验时，先进行低电压下的调谐过程。首先检查运行母线 PT 所测的工频电压是否正常，再调整变频电源输出一个数十伏特的较低电压，然后调节电抗器铁芯的气隙大小，使得分压器的测量电压达到最大值，表示此时 LC 电路正处于工频串联谐振状态。

随后便可以按照试验要求的加压曲线开始升压，操作过程中密切关注控制器上的相差和断口电压差。锁相成功，则相差正常一直为 0，一旦受到干扰或其它原因，锁相失败，控制器便会发出指令，关闭变频电源的输出电压，保证运行设备的安全。同样，断口电压差一旦超出所设定的保护值也会告警并关闭电源输出。

3. 同频同相耐压试验风险及防控措施

GIS 同频同相交流耐压试验虽然能够尽量减少断口承受的电压差，防止出现试验时绝缘击穿的情况发生，但由于试验的条件是相邻间隔都带电运行，因此所带来的试验风险较一般的停电试验要大很多，试验前应做好风险控制预案及防控措施。以广东电科院在惠州 220 kV 某变电站进行的一次同频同相交流耐压试验为案例，说明同频同相交流耐压试验的风险和防控措施。

该变电站主接线为双母线结构，220 kV GIS 扩建工程后的交接耐压试验，需要停运 I 母，所有负荷转由 II 母提供，试验电压通过备用间隔施加，其它相邻间隔均带电运行。采用同频同相交流耐压试验方式对其绝缘进行考核，按照 80% 出厂试验耐压值进行。

3.1. 试验准备及风险分析

1) 试验时加压的 I 母侧刀闸气室绝缘击穿引起全站失压的风险。为此制定紧急复电方案，在耐

压试验前应调整电网方式。110 千伏汝泰甲线转运行供 220 千伏某变电站 110 千伏#1 母线负荷，220 千伏某变电站 110 千伏母线分段运行，110 千伏乌石站转由 220 千伏其他变电站供电，尽量降低变电站负荷，避免一旦发生断口击穿造成全站失压时的负荷损失；耐压试验前，由变电继保人员检查 220 kV 某变电站 220 kV 母差保护运行正常、220 kV 运行设备保护装置运行正常；由运行人员、检修人员检查 220 kV 某变电站 220 kV 设备运行正常，开关、刀闸等气室压力正常。

2) 隔离开关状态的确认。I 母和所有运行线路、主变的隔离开关断开、I、II 之间的母联断路器转检修，试验回路中的母线刀闸没有分闸到位，导致母线刀闸断口绝缘距离不足引起放电闪络。

防控措施：试验前，试验方应与委托方共同检查母线刀闸处于分闸位置，并确认分闸到位；必要时，利用 X 射线成像检查，确保母线刀闸分闸到位。

3) II 母线运行 PT 的相关风险。二次电压接线错误或仪器故障可能导致 PT 二次失压，造成运行保护或安自装置误动。在 PT 汇控箱接取运行 PT 二次测量组电压，经三相交流电压空开(额定电流小于 4 A)，先接入隔离阻抗再接入耐压试验仪器。接线由继保专职人员进行，一人监护一人搭接。接线前用万用表确认连接线、隔离阻抗的绝缘良好；接线时应戴绝缘手套，以免误碰带电设备；接好线后应派专职人员监护，以免被他人误碰。

PT 二次信号取样可能存在的问题：例如所取信号相别不对、不是同名端或者短路等。运行人员需要现场进行高压和 PT 二次对应的低压的核相工作，并需经过双方共同确认；每次试验前都应该先测量隔离阻抗两侧直阻值以及信号线绝缘电阻等，以保证其正常可靠；PT 二次取信号应该由供电局现场的专职人员来接取，试验中还应设专人看护，防止误碰等情况发生；同频同相试验系统中还设有母线 PT 取样信号缺失保护、母线 PT 取样信号剧烈波动保护和母线 PT 取样信号频率异常保护，一旦发现所取 PT 二次信号有上述异常，会立刻报警并启动相关保护。

4) 绝缘距离可能不够。工作开始前检查被试设备是否已与其余设备隔离，检查试验设备和被试设备与周围接地体和带电设备绝缘距离是否足够。对影响试验安全的引线，应要求拆除，不能有侥幸心理。在吊装试验设备时动用的吊车需密切关注吊臂与带电线路的绝缘距离。

5) 试验设备吊装的风险。试验设备装卸过程中可能砸伤人员。应正确配戴安全帽和手套，起吊设备前检查吊带或钢丝绳，确认完好。设备起吊过程严禁站在设备或吊臂的正下方。设备摆动时不得靠近，待稳定后再工作。搬运较轻仪器设备时，注意脚不能伸到搬运物下方。

3.2. 试验保护功能设置

GIS 同频同相交流耐压试验装置应设置的保护功能有：

1) 击穿闪络保护：试验电压过高，引起母线刀闸断口间绝缘击穿；当高压侧发生对地闪络时，可自动切断输出。因此 GIS 同频同相耐压装置需设置过压保护，以本次试验为例，试验电压最高为 368 kV，母线运行电压为 145 kV，则母线刀闸断口电压最高为 223 kV；可将断口过压保护设置为 245 kV 左右，此时仍远低于母线刀闸断口绝缘水平 460 kV。当断口电压高于保护设置的 245 kV 时，会自动切断输出电压并报警，防止人为误加高电压等因素引起的断口电压过大导致击穿。

2) 当变频柜的输出电流达到保护整定值时，自动切除整套装置，显示“超过高压电流整定值”。

3) 当故障电流太小过流保护不灵敏时，通过软件设定，测量三个周波的电压降超过 20%时视为击穿，显示“高压电压击穿故障”，同时，迅速关断信号源，且跳开主回路电源。当在调节频率时发生此故障不被视为击穿故障。

4) 开机零位保护：必须从零电压开始升压，否则输出不会启动。

5) 失谐保护：当被试品因内部缺陷而参数发生变化导致试验系统失谐，控制箱自动关闭输出。

3.3. 试验过程风险点及管控措施

1) 监视试验电压与运行电压的频率、相位。将试验电压与运行电压信号接入示波器,实时监控两者的电压波形,保证两者频率、相位一致;同频同相耐压系统还设有相位偏差保护装置,一旦两者频率、相位相差超过 $\pm 3^\circ$,系统会立即报警并启动相关保护。

2) GIS 母线隔离开关断口击穿后引起运行母线对地短路。确保母线刀闸分闸到位,保证母线刀闸断口的绝缘距离;确保试验电压与运行电压的频率、相位一致,保证母线刀闸断口的绝缘裕度;确保如发生母线刀闸断口绝缘击穿时母差保护或运行线路间隔开关能正常动作;供电局应提前做好站内紧急情况下的复电方案,宜提前转移站内重要负荷,或提前与重要负荷用户做好突然停电的应对措施。

3) 被试 GIS 设备发生绝缘击穿(非母线隔离断口击穿、不影响运行母线),此状况与采用常规串联谐振试验方法时情况相同,试验回路会失去谐振条件,断口间的电压迅速下降,试验系统可以在一个信号周期(20 ms 的时间)内切断电源,并且发出报警。此种情形对 GIS 母线隔离开关断口另一侧的运行系统不会产生影响。

4. 结论

1) GIS 同频同相交流耐压试验采用锁相环技术精确跟踪运行电压的相位和频率,确保试验设备与运行设备之间的隔离开关断口承受的电压差远低于试验耐压值,实现了变电站运行设备不停电情况下,进行检修和扩建 GIS 耐压试验。

2) 广东电网的应用情况表明, GIS 同频同相交流耐压试验技术能够满足变电站的 GIS/HGIS 设备检修或扩建后不停电进行交接耐压试验的要求,有效解决了 GIS 耐压试验和变电站运行可靠性之间的矛盾。

3) 为降低 GIS 同频同相交流耐压试验过程可能发生与带电运行间隔断口击穿造成全站失压的风险,建议进行此类试验的变电站应做好紧急复电预案。

参考文献

- [1] Pearson, J.S., Farish, O., Hampton, B.F., *et al.* (1995) Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations. *IEEE Transactions on DEI*, 2, 893-905.
- [2] 罗红涛, 黄文武, 邹洪民, 等. GIS 内部潜伏性故障案例分析[J]. 中国电力, 2014, 47(7): 86-90.
- [3] 李娟, 李明, 金子惠. GIS 设备局部放电缺陷诊断分析[J]. 高压电器, 2014, 50(10): 85-90.
- [4] 王科. GIS 中局部放电绝缘缺陷综合检测诊断技术分析及应用[J]. 高压电器, 2013, 49(9): 55-62.
- [5] 郭秉义, 葛爱荣. GIS 设备常见故障分析及预防措施[J]. 内蒙古电力技术, 2013, 31(5): 101-105, 110.
- [6] 邵先军, 何文林, 徐华, 等. 550kV GIS 现场交流耐压试验下放电故障的定位与分析研究[J]. 高压电器, 2014, 50(11): 30-37.
- [7] 温定筠, 张秀斌, 孙亚明, 等. GIS 交流耐压试验原理与装置[J]. 电气技术, 2014(10): 108-109, 113.
- [8] 古户强, 刘颖. 变频串联谐振在 GIS 交流耐压试验中的应用[J]. 机电信息, 2014(30): 13-14.
- [9] 吕华, 陈梁金, 周平, 等. GIS 交流耐压试验放电故障的分析与判断[J]. 浙江电力, 2013(4): 18-20, 76.
- [10] 李晨. 500kV 变电站 GIS 系统的交流耐压试验研究[J]. 中国电业(技术版), 2012(2): 14-16.
- [11] 王谦, 吴高林, 徐瑞林, 等. GIS 设备不停电交流耐压试验时母线隔离断口击穿的仿真分析及防止措施[J]. 高压电器, 2013, 49(4): 98-104.
- [12] 印华, 王谦, 龙英凯. GIS 同频同相交流耐压技术解析[J]. 智能电网, 2015, 3(7): 659-682.
- [13] 吴伟. GIS 设备同频同相交流耐压技术应用探讨[J]. 科技创新与应用, 2014(36): 164-165.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2333-5394，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jee@hanspub.org