

采用补偿电抗器优化的 GIS 工频耐压试验系统

吴剑敏¹, 吴晓春¹, 魏立新², 张志英²

(1.上海电力公司超高压输变电公司,上海 200063; 2.思源电气股份有限公司,上海 201108)

摘要:针对目前地下 GIS 设备进行工频耐压试验的现状,提出了一种采用补偿电抗器和 SF₆ 绝缘技术优化设计的新型且小型化的用于 500 kV GIS 工频耐压试验及局放测试系统,经试验测试新系统的自身局放只有 3.2 pC,并且该系统已应用于某地下 GIS 变电站的工频耐压试验,实践证明此系统完全满足试验需求,且提高了局放的测试精度。

关键词:500 kV GIS;工频耐压;补偿电抗器;优化设计

中图分类号:TM645

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2011)01-0059-04

GIS(SF₆ 封闭组合电器的简称)可以把整个变压器以外的一次设备,全部封闭在一个接地的金属外壳内,壳内充以一定压力的 SF₆ 气体。由于 SF₆ 具有良好的绝缘性能,绝缘距离缩小,这样既缩小了安装的空间,又减少了环境对设备的影响,运行可靠且维护方便,特别适合城市内以及地下 110 kV 至 500 kV 变电站的建设。同时,GIS 交流耐压试验是检验 GIS 设备绝缘性能的重要试验之一,它能够直观灵敏地反应设备在制造和安装过程中可能遗留的绝缘缺陷^[1]。

GIS 现场局部放电试验逐步作为一项现场交接试验,也越来越受重视^[2],而目前国内市场上没有专门针对此项试验的试验设备,即使有用于 GIS 交流耐压试验的设备,也存在本身局部放电干扰信号过大或设备本身不适合 GIS 现场局部放电试验。现场测量局部放电测试最主要的问题是现场空间耦合的局部放电干扰信号较大,传统的试验变压器对电压测量是采用测量绕组进行测量,存在着较大的误差,特别是当负载为电容时,会存在容升现象^[3]。

某地下 500 kV 变电站即为采用全气体绝缘金属封闭开关设备(GIS),现场 GIS 设备安装完毕后,必须按规定进行交流耐压试验,以检查设备在制造和安装过程中可能遗留的绝缘缺陷。对于大容量设备的交流试验,如采用传统试验设备,因试品容量大,所需的试验变压器和调压器非常笨重;传统试验设备自身的局放量比较大,会影响局放测试的精度;且试验电源现场很难解决,导致现场试验极不方便。因此,开发出一种小型化、自身局放小的 GIS 工频耐压装置为现场提供试验高压源即成为一种需要。

1 设计要求与基本组成

1.1 系统设计要求与解决方法

为了满足地下变电站 500 kV GIS 交流耐压现场试验的要求,GIS 工频耐压装置的各部分组成在满足性能的前提下,体积必须尽可能的小,且自身局放也不能影响到系统的局放量。因此本系统采用 SF₆ 绝缘和电抗器补偿的技术,将空间耦合的局部放电干扰信号屏蔽在测量系统之外,使得本系统的额定局放小于 5 pC,同时本系统按照 500 kV GIS 的现场交流耐压试验及局部放电试验的要求设计。

1.2 系统的基本组成与工作原理

500 kV GIS 工频耐压系统基本组成如图 1 所示。

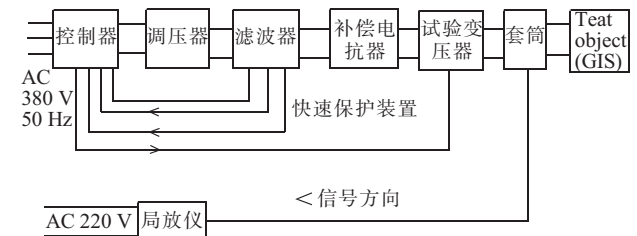


图 1 系统结构原理图

GIS 工频耐压及局放测试试验系统控制台的额定输入 380 V 工频交流电,此交流电经过调压器变为 0~380 V/50 Hz 电压可调的电源送入滤波器滤波,经滤波后电源被送入试验变压器的低压侧,同时在试验变压器低压侧并联补偿电抗器,以补偿无功,降低对电网侧的无功需求。控制台经过对采集到的数据进行处理后,发升压指令对试验变压器升压,试验变压器的电源电压升高到最高 600 kV,满足 500 kV 电压等级的试验需求。

2 试验系统分系统的优化设计

2.1 高压试验变压器

本系统采用的高压试验变压器是单相 SF₆ 气体绝缘试验变压器^[4],通过试验变压器低压侧与调压器、滤波箱的连接,接收控制台发来的升压或者降压信号进行升降压,达到所需电压的等级;同时通

过采用 SF₆ 绝缘, 将空间耦合的局部放电干扰信号屏蔽在测量系统之外, 解决了现场测量干扰较大的问题。

高压试验变压器(高压的电压互感器(TV))的参数:

低压绕组额定电压 U_{LN} 为 380 V; 低压绕组额定电流 I_{LN} 为 265 A; 高压绕组额定电压 U_{HN} 为 600 kV; 高压绕组额定电流 I_{HN} 为 0.168 A; 运行时间是从环境温度开始, 在允许负载范围内运行时间为 10 min(318 kV)+2 min(600 kV)+10 min(349 kV)+rest time 2 h。

2.2 连接筒的设计

目前国内的 GIS 厂家的接口均不同, 而且国内也没有形成专门的标准, 因此本系统与 GIS 试验品的连接通过连接筒实现。

此连接筒的设计考虑了要满足不同 GIS 制造厂家接口的对接问题, 同时还满足各种电压等级和形式的 GIS 测试要求。

2.3 补偿电抗器的设计

作为 GIS 工频耐压试验系统的一个重要组成部分, 需要设计其参数与系统其他部分相配套, 因此, 补偿电抗器设计相关的参数可以参照高压试验变压器的参数。

由于补偿电抗器本身不能出现内部放电现象, 且为了减少对电源侧无功的需求, 可以将补偿电抗器做成多抽头的形式以尽量补偿不同负载所需的无功。补偿电抗器具体的参数要求有以下几点。

(1) 具有 5 个高压接线端, 且电抗器的抽头形式如图 2 所示;

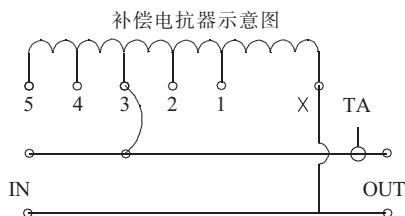


图 2 电抗器抽头示意图

(2) 工频条件下使用;

(3) 电抗器 Q 值为 20;

(4) 运行时间: 额定电流运行 5 min+2/3 额定电流运行 40 min;

(5) 当环境温度为 40 °C 时, 在“额定电流运行 5 min+2/3 额定电流运行 40 min”温升不超过 80 K;

(6) 使用环境温度: 最高气温 +50 °C, 最低气温 -45 °C。

针对上述要求, 设计时综合考虑补偿时对滤波器、调压器等参数的影响, 要求电抗器设计的 Q 值为 Q_L , 各抽头处按照等容量计算, 且电抗器补偿全

部无功(提供试验变压器低压侧全部无功电流), 可得电抗器电感量 L_0 为:

$$L_0 = \frac{1 - K^2 \times \alpha \times \frac{U_{LN}}{I_{LN}} \times 2\pi f C}{\left(1 + \frac{1}{2}\right) \times K^2 \times (2\pi f)^2 C} \quad (1)$$

式中: α 为试验变压器的短路阻抗标么值; K 为试验变压器的高低电压变比; C 为负载等效电容; f 为试验频率。

完全补偿时, 负载 C_x 与补偿电抗器电感量 L_0 之间的关系如图 3 所示(不考虑电抗器损耗)。完全补偿时, 低压所需电压 u_l 与负载 C_x 间的关系如图 4 所示(不考虑电抗器损耗)。

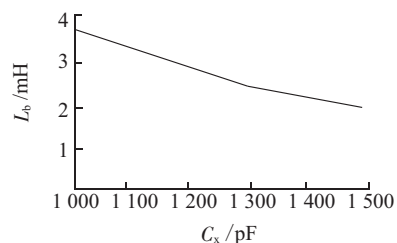


图 3 负载与补偿电抗器电感量的关系

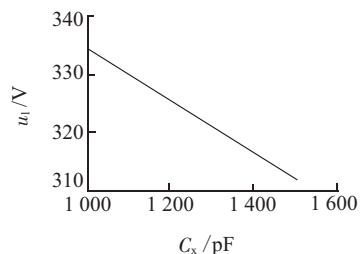


图 4 低压所需电压与负载的关系

首先在设计时为满足 500 kV GIS 试验所需的电感量, 如使用一个抽头进行补偿, 则经过计算可得所需电感量为 2.74 mH, 按照试验变压器的参数计算出在 1 000~1 500 pF 范围内低压侧所需最大电压为 323 V, 考虑留有一定余量, 故将此抽头处额定电压定为 350 V。各抽头的补偿电感量如表 1 所示。

表 1 电抗器各抽头的补偿电感量

f/Hz	抽头	L/mH	U_{max}/V
50	0-1	1.69	275
	0-2	2.01	300
	0-3	2.36	325
	0-4	2.74	350
	0-5	3.23	380

为了适应现场实验的要求, 必须对每个抽头的负载范围进行验算, 以及检验每个抽头在超过设计负载范围的情况, 设计的补偿电抗器可以根据负载的电容器范围来选择电抗器的抽头。

比如当 GIS 等级为 220 kV 时, 最高试验电压为 462 kV, 负载范围为 1 500~2 150 pF 时, 选择抽

头 1 进行补偿;比如当 GIS 等级为 500 kV 时,最高试验电压为 600 kV,负载范围为 800~1 400 pF 时,选择抽头 5 进行补偿。

经验算,各抽头符合设计要求。使用补偿电抗器是为了减少系统对电网侧的无功需求,使用合适的补偿电抗器,可以减少调压器的容量需求和对电网侧的无功需求。

当不使用补偿电抗器时,调压器的容量不能小于高压 TV(试验变压器)的容量。经计算,本系统使用的调压器容量为 40 kV·A,高压 TV(试验变压器)低压侧的容量为 100 kV·A,可知使用补偿电抗器后,调压器的容量明显小于未使用补偿电抗器的容量,大大优化了系统。

3 试验系统现场试验

3.1 试验依据

试验时,按规定将被试品接入试验回路,逐步升高电压至标准规定的额定工频耐受电压值,保持 1 min,然后迅速、均匀地降压到 0,在规定的时间内,被试品绝缘未发生击穿或表面闪络,则认为通过了该项试验。

3.2 试验方案

系统的交流耐压试验要求按照 JB/T 9461—1999,试验装置空载升压到 660 kV,耐压时间 1 min。具体实施为:在达到 75%试验电压以后应该均匀升压,升压速率在 2%~5%试验电压范围内,或在 10~15 s 内升至试验电压。

3.3 系统现场试验结果

660 kV 交流耐压 1 min,通过。并对系统的局部放电在额定电压下进行了实测,试验结果为 3.2 pC,满足设计中 ≤ 5 pC 要求。

3.4 252 kV 5 号变压器进线 GIS 工频耐压试验

3.4.1 试验方案

某地下 500 kV 全 GIS 变电站设备使用气体绝缘金属封闭开关,为国内某 GIS 公司生产。本次试验是对该组 252 kV 5 号变压器进线 GIS 设备现场安装完毕后进行工频耐压试验,实验方案遵循“现场试验电压按出厂标准的 80%进行交流耐压试验,最高试验电压为 316 kV,分别做 A,B,C 三相。每相升压为 146 kV;时间 5 min;252 kV;时间 3 min;316 kV;时间 1 min”的要求按顺序进行升压。

3.4.2 试验结果

具体实验结果如表 2 所示。从表 2 数据可以看出,316 kV 时,试验变压器输入电流为 210 A 左右,由于补偿电抗器的作用,电源端的输入电流仅需 5

表 2 三相试验记录

相别	试验电压/kV	试验持续时间/min	试验变压器输入电流/A	调压器输出电流/A
A	145	5	105	3.2
	250	3	175	4.2
	317	1	210	5.6
B	145	5	102	3.0
	253	3	170	4.3
	315	1	205	5.3
C	148	5	110	3.2
	254	3	177	4.3
	315	1	209	5.6

A 左右,对试验电源的容量要求很低。

此次试验过程中的试品无击穿放电现象产生。因此,该系统已经顺利通过了此变电站 252 kV 5 号变压器进线 GIS 设备的工频耐压试验,且运行工况良好。

4 结束语

本系统已经顺利通过某地下 500 kV GIS 地下变电站 252 kV 5 号变压器进线 GIS 设备工频耐压试验和局放试验,得到了用户的充分肯定;本测试系统与原有 GIS 耐压设备相比,增加了局放的测试,并且采用了 SF₆ 绝缘和电抗器补偿的技术,在保证工频耐压试验的同时还保证了系统局放的精度,同时还满足了体积小、重量轻、布置和安装简单的要求,便于推广。

参考文献:

- [1] 贾良庆. 浅谈 GIS 设备的现场交流耐压试验[J]. 工程与建设,2008,22(5):710-712.
- [2] DL/T 555—2004, 气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则[S].
- [3] 王建生,邱毓昌. 气体绝缘开关设备中局部放电的在线监测技术[J]. 电工电能新技术,2000(4):44-48.
- [4] 葛景滂,邱昌容. 局部放电测试[M]. 北京:机械工业出版社,1984.

作者简介:

吴剑敏(1974-),男,上海人,高级工程师,从事超高压电网一次设备技术管理工作;

吴晓春(1979-),男,上海人,工程师,从事超高压电网开关类设备运行管理工作;

魏立新(1979-),男,山东济南人,工程师,从事产品设计的主管工作;

张志英(1975-),女,山西阳泉人,工程师,从事产品设计工作。

(下转第 65 页)

器的输入和输出电流在相位上没有必然的联系,所以不应将变频器纳入差动保护范围,而只单独保护电动机。

(2)电动机变频运行时,常规相量差动保护由于不能正确、可靠地保护电动机而退出运行,造成主保护缺失。采样值差动保护因为实现过程与频率无关可以得到应用。采样值差动保护动作判据中最小动作电流、斜率、拐点电流的确定借鉴常规比率差动定制整定,使得整定有据可依且简单易行。

(3)当变频器输出的电流频率很低时,铁芯容易饱和。为保证采样值差动保护能够克服TA饱和的影响,可适当加大判别数据窗。

参考文献:

- [1] 赵家荣. “十一五”十大重点节能工程实施意见读本[M]. 北京:中国发展出版社,2007.
[2] GB 14285—2006,继电保护和自动装置技术规程[S].

- [3] 张超,张艳艳,黄生睿.大容量变频器对电动机继电保护的影响[J]. 继电器,2007,35(17):9-11,54.
[4] 袁荣湘,陈德树,马天皓,等.采样值电流差动保护原理的研究[J].电力自动化设备,2000,20(1):1-3.
[5] 陈德树,马天皓,刘沛,等.采样值电流差动微机保护的一些问题[J]. 电力自动化设备,1996,16(4):3-8.
[6] 杨经超,尹项根,陈德树,等.采样值差动保护动作特性的研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(9):71-77.
[7] 张保会,尹项根,索南加乐,等.电力系统继电保护[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

作者简介:

- 李 健(1983-),男,安徽宿州人,硕士,从事变电运行工作;
韩 宇(1986-),男,江苏徐州人,技师,从事电网调度工作;
戴建根(1973-),男,浙江嘉兴人,技师,从事变电运行管理工作;
陆舒屏(1967-),男,浙江嘉兴人,技师,从事变电运行管理工作;
覃兆安(1982-),男,湖北荆州人,本科,从事变电运行管理工作。

Solutions to the Problems of Influences on Motor Differential Protection after Applying Frequency Converter

LI Jian¹, HAN Yu², DAI Jian-gen¹, LU Shu-ping¹, TAN Zhao-an¹

(1. Jiaying Electric Power Bureau, Jiaying 314033, China; 2. XuZhou Power Supply Company, XuZhou 221005, China)

Abstract: It makes great impacts to the traditional motor differential protection when the high-voltage converter is applied in important auxiliary generators of coal-fired power plants. This paper analyzes the installation scope of motor differential protection after applying high-voltage converter and studies the influences on traditional motor differential protection due to the converter side frequency fluctuation of a wide range. Sampling value differential protection can be adopted as main protection for motor when it works in frequency-conversion mode. Sampling value differential protection can guard against TA saturation by selecting appropriate value of S , and it has a well application value in engineering.

Key words: motor protection; high-voltage frequency converter; sampling value based differential protection

(上接第 61 页)

Power Frequency Withstand Test System for GIS Based on Optimum Design of Compensation Reactor

WU Jian-min¹, WU Xiao-chun¹, WEI Li-xin², ZHANG Zhi-ying²

(1. Shanghai Extra High Voltage Power Transmission of SMEPC, Shanghai 200063, China;

2. Siyuan Electric Co. Ltd., Shanghai 201108, China)

Abstract: In view of present situation of power frequency withstand test for underground GIS equipment, this paper proposed a new small test system of power frequency withstand and partial discharge test for 500 kV GIS based on the optimum design of compensation reactor and SF₆ insulation. The partial discharge of the test system only is 3.2 pC. Besides, the test system has already been applied successfully in 500 kV GIS transformer substation. It is proved that the system can fully meet the test requirements and improve the accuracy of partial discharge test.

Key words: 500 kV GIS; power frequency voltage withstand; compensation reactor; optimum design

电磁骚扰是指什么?

电磁骚扰是指任何可能引起设备、装备或系统性能降低或者对有生命或者无生命物质产生损害作用的电磁现象。电磁骚扰可引起设备、传输通道或系统性能下降。它的主要要素有自然和人为的骚扰源、通过公共地线阻抗/内阻的耦合、沿电源线传导的电磁骚扰和辐射干扰等。电子系统受干扰的路径为:经过电源,通过信号线或控制电缆、场渗透,经过天线直接进入;通过电缆耦合,从其他设备来的传导干扰;电子系统内部场耦合;其他设备的辐射干扰;电子设备外部耦合到内部场;宽带发射机天线系统;外部环境场等。