

电力系统高压 GIS 开关站电压互感器 铁磁谐振及预警分析

童松, 顾金龙

(国电大渡河瀑布沟水力发电总厂, 四川雅安 625304)

摘要: GIS 高压开关站铁磁谐振是由断路器断口间的电容、GIS 母线对地电容以及电压互感器的非线性电感所构成的串联 LC 回路在特定条件下产生的。笔者分析了电力系统高压 GIS 开关站电压互感器铁磁谐振的现象过程, 阐述了电压互感器谐振的危害, 并设计了一种电压互感器铁磁谐振预警装置, 该装置能可靠输出谐振报警信号上送至监控系统, 提醒运行值班人员及时拉开谐振间隔单元断路器靠电压互感器一侧的隔离开关, 破坏谐振参数, 避免谐振引起设备烧损, 将谐振对设备的危害降到最低。

关键词: 电压互感器; 铁磁谐振; 危害; 预警装置

中图分类号: TV733; TM451; TN751.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2020)增 1-0113-04

Analysis on Ferromagnetic Resonance and Early Warning of Voltage Transformer in High Voltage GIS Switch Yard of Power System

TONG Song, GU Jinlong

(Guodian Dadu River Pubugou Hydropower Station, Ya'an, Sichuan, 625304)

Abstract: The ferromagnetic resonance of GIS high voltage switch yard is produced by series LC circuit composed of capacitance between circuit breaker fractures, GIS bus ground capacitance and nonlinear inductance of voltage transformer under specific conditions. This paper analyzes the phenomenon and process of ferromagnetic resonance of voltage transformer in high voltage GIS switch yard of power system, expounds the harm of voltage transformer resonance, and designs a ferromagnetic resonance early warning device for voltage transformer, which can reliably output resonance alarm signal and send it to monitoring system, and remind the operator on duty to timely open the isolating switch of the circuit breaker of the resonant bay unit which is close to the voltage transformer side to destroy the resonance parameters, avoid the equipment burning caused by resonance, and minimize the harm of resonance to the equipment.

Key words: voltage transformer; ferromagnetic resonance; harm; early warning device

0 引言

目前, 电力系统高压 GIS 开关站中, 在高压断路器断口间一般配置有改善断口电压分布特性的并联电容器, 在某种特定的场合, GIS 某一个设备间隔(包括主变、线路、母线间隔)停电操作最后一个断路器断开时, 该间隔内的电压互感器有可能会产生持续的低频高电压, 这种现象称为铁磁谐振。因铁磁谐振会产生高电压, 如不能及时发现并处理, 将造成电压互感器绝缘受损, 甚至导致设备损毁; 特别是在无法预知事故跳闸情况下, 人工及时发现谐振的难度更大, 更容易导致电压

互感器损毁。

1 电压互感器铁磁谐振的产生条件及危害

1.1 容易产生谐振的条件

GIS 高压开关站铁磁谐振是由断路器断口间的电容、GIS 母线对地电容以及电压互感器的非线性电感所构成的串联 LC 回路在特定条件下产生的^[1]。电压互感器容易产生铁磁谐振的条件如下:

(1) 断路器的每一相必须有一个以上的灭弧装置(含有均压电容器);

(2) 电压互感器必须安装在 GIS 设备上, 在这部分 GIS 设备的一端必须安装一个或多个断

收稿日期: 2020-05-11

路器,而在另一端安装一个或多个隔离开关,将该部分不与架空线、电缆出线或者变压器相连接;

(3)断路器或者隔离开关必须是断开的,它们与电压互感器相反的一侧必须带电。

1.2 谐振的危害

电压互感器铁磁谐振发生时,可能会产生超过额定电压数倍的过电压,其励磁电流很大,可能达到正常电流的几百甚至上千倍,在短短的几分钟内若未采取有效措施进行处理,它会危及电压互感器绝缘,同时会造成电压互感器过热而烧毁,引起重大设备安全事故^[2]。

2 电压互感器铁磁谐振的现象

笔者以某 500 kV 高压开关站为例,该开关站 GIS 设备采用单母线接线方式,如图 1 所示,其中 GCB 表示断路器,DS 表示隔离开关,VT 表示电压互感器。在运行方式改变时,若 GCB2、GCB3 已分闸,GCB1 最后分闸,则电压互感器 VT 可能会发生铁磁谐振^[3]。

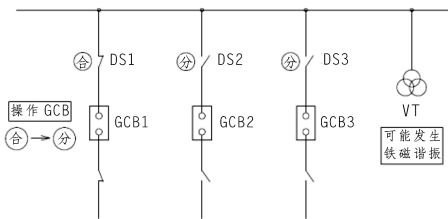


图 1 单母线接线示例

图 1 中断路器断口配置有并联电容器,其二次等价回路如图 2,其中 C_1 表示断路器断口电容, C_2 表示 GIS 母线对地电容, R 表示电压互感器一次线圈电阻, L 表示电压互感器电感, E 表示电源电压。

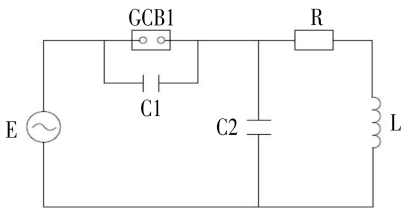


图 2 铁磁谐振等价回路

2.1 静电容量的放电振荡形式

GCB 刚断开的瞬间,GIS 母线对地电容 C_2 上残留的电荷(最大相当于 E 的峰值)会对 L 进行放电。通常情况下 C_2 一般很小(数千 pF),因此,其放电电压是一种低频振荡衰减波形^[4]。在

$R/L/C$ 组成的串联回路中,当满足一定参数条件,即 $R < 4L/C$ 时,其放电电压如图 3。

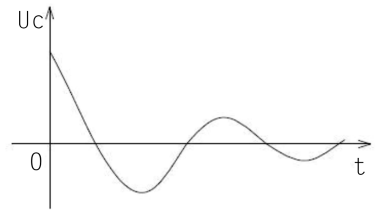


图 3 静电容量的放电振荡形式

C_2 上的放电电压和放电电流:

$$U_c = E \times e^{-\alpha t} \left(\frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t + \cos \beta t \right) i = \frac{E}{\beta L} \times e^{-\alpha t} \sin \beta t$$

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \alpha^2}$$

2.2 电压互感器励磁特性

电压互感器的励磁特性曲线如图 4 所示,其电感表现为非线性, L_1 、 L_2 分别为铁芯非饱和状态、饱和状态时的线圈电感。励磁曲线中饱和区域的 L 相对非饱和区域变化很大(一般 L_1 约为 L_2 的几百倍)。 C_2 放电时, L 上的电流变化趋势如图 5,VT 的工作循环为: $O \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow O \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow O$ 。

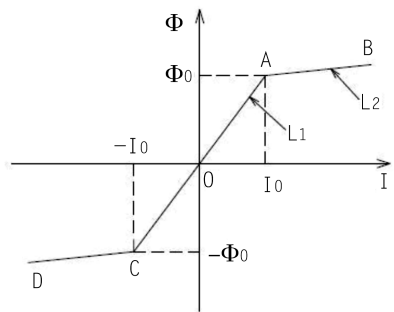


图 4 电压互感器励磁特性

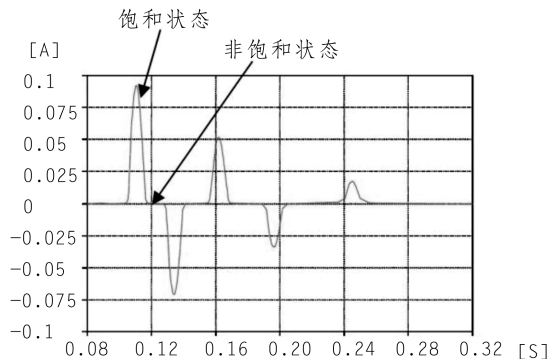


图 5 C_2 放电时 L 上的电流

2.3 电压互感器铁磁谐振的电压波形

GCB 断开后, L 上会承受由电源 E 产生的感应电压, 数值为 $E \cdot C_1 / (C_1 + C_2)$, 其与 2.1 中的振荡衰减波形将进行叠加并补偿衰减的振荡电压, 若该感应电压足够大且其相位在某一时刻恰与衰减的低频电压相位相近, 就有可能使低频电压的幅值升高且持续存在, 即 VT 发生了铁磁谐振, 引起电压互感器过压。设工频为 f_0 , 则此时谐振频率一般为 $f_0/3, f_0/5, f_0/7$, 它们对应的稳态相电压峰值分别约达 375 kV、187 kV、125 kV, 折算到电压互感器二次侧电压分别约为 68 V、34 V、23 V, 谐振一次侧电压波形如图 6、7、8 所示。

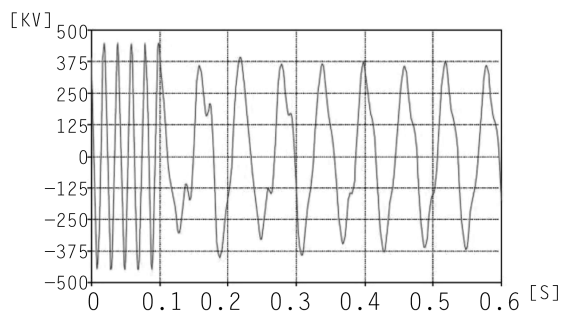


图 6 $f_0/3$ 分频谐振一次侧电压波形(f_0 为工频)

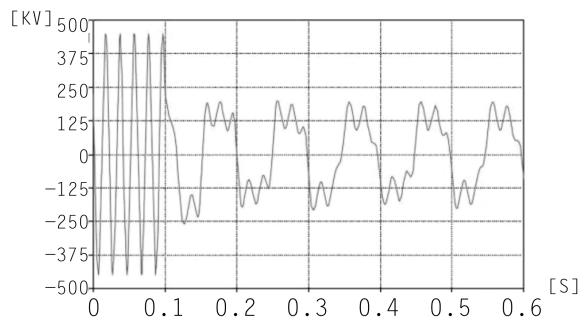


图 7 $f_0/5$ 分频谐振一次侧电压波形(f_0 为工频)

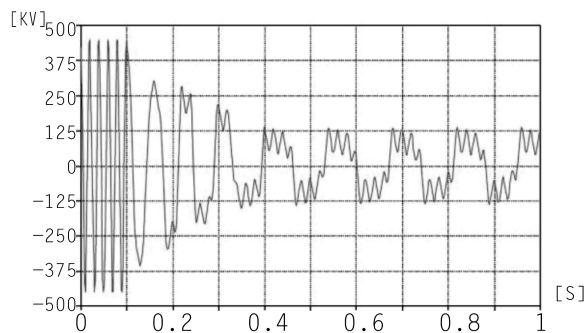


图 8 $f_0/7$ 分频谐振一次侧电压波形(f_0 为工频)

3 电压互感器铁磁谐振预警装置

3.1 发现电压互感器铁磁谐振的传统方法

目前, 在高压开关站一次设备倒闸操作后, 运行值班人员通过观察故障录波波形、倾听一次设备声音、查看电压互感器电压显示等手段来发现谐振, 耗时较长且不易发现, 容易造成故障处理不及时, 导致电压互感器损毁; 特别是在无法预知的事故障跳闸情况下, 人工及时发现谐振的难度更大, 更容易导致电压互感器损毁^[5]。

3.2 电压互感器铁磁谐振预警装置的逻辑

笔者介绍一种电力系统高压 GIS 开关站电压互感器铁磁谐振预警装置, 其具有一个合理的铁磁谐振预警逻辑, 能快速发现铁磁谐振并提醒现场运行值班人员及时处理故障, 避免发生设备烧损的重大安全事故。

电压互感器铁磁谐振预警装置对可能发生铁磁谐振的 GIS 间隔单元设备信号进行采集, 采集信号为断路器分位与间隔相电压 U_φ , 并对间隔相电压 U_φ 进行分频处理, 计算出二次侧 1/3、1/5、1/7 分频稳态相电压, 分别用 $U_\varphi(f_0/3)$ 、 $U_\varphi(f_0/5)$ 、 $U_\varphi(f_0/7)$ 表示。在拉开该间隔单元最后一个断路器 GCB n 时开始计时, 若铁磁谐振预警装置在整定时间之外仍然能够采集到超过定值的稳态相电压或稳态分频相电压, 则铁磁谐振预警装置发出谐振预警信号。

图 9 为铁磁谐振预警装置逻辑图, 其中, T 表示拉开该间隔单元最后一个断路器 GCB n 时开始计时的时间, T_{set} 表示整定时间, U_φ 表示二次侧稳态相电压, $U_\varphi.set$ 表示二次侧稳态相电压定值, $U_\varphi(f_0/3)$ 、 $U_\varphi(f_0/5)$ 、 $U_\varphi(f_0/7)$ 表示计算出的二次侧稳态分频相电压, $U_\varphi(f_0/3).set$ 、 $U_\varphi(f_0/5).set$ 、 $U_\varphi(f_0/7).set$ 表示二次侧稳态分频相电压定值。

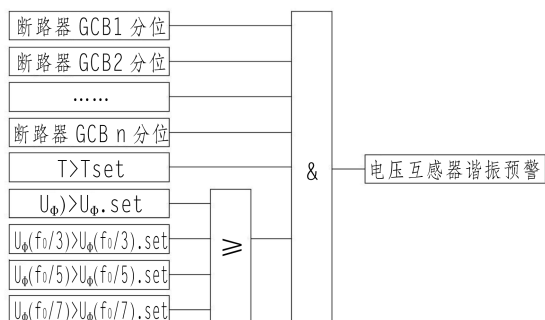


图 9 电压互感器铁磁谐振预警装置逻辑图

在图 9 铁磁谐振预警装置逻辑中, T_{set} 一般

取值为 $0.2s-0.5s$, $U_{\varphi.set}$ 一般取电压互感器二次侧额定相电压的 $1/3$, 二次侧稳态分频相电压定值 $U_{\varphi}(f_0/3).set$ 、 $U_{\varphi}(f_0/5).set$ 、 $U_{\varphi}(f_0/7).set$ 一般取值 $4V-8V$, 因此, 铁磁谐振预警装置既能躲开设备正常运行时的不平衡电压, 又能可靠采集到断路器分闸后间隔的稳态电压, 并且有很高的灵敏性。

3.3 电压互感器铁磁谐振预警装置信号取值

电压互感器铁磁谐振预警装置采集该间隔单元内断路器分位信号和电压互感器电压信号, 断路器分位信号取自间隔单元内断路器位置接点, 电压信号取自电压互感器二次侧三相相电压, 谐振告警信号上送至监控系统。图 10 为电压互感器铁磁谐振预警装置实现示意图。

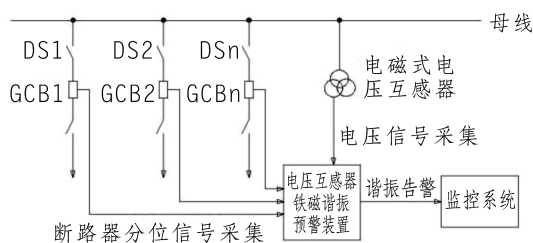


图 10 电压互感器铁磁谐振预警装置实现示意图

4 结 语

随着机组容量的不断增大, 电力系统高压

GIS 断路器的大量使用, 电压互感器铁磁谐振时有发生。新的电压互感器铁磁谐振预警装置, 利用断路器位置信号、电压互感器二次侧三相相电压及整定时间逻辑, 在间隔单元内断路器全部分闸后开始计时, 超出整定时间 T_{set} 后, 任意一相稳态相电压或任意一相分频相电压超过定值时, 预警装置能可靠输出谐振报警信号上送至监控系统, 提醒运行值班人员及时拉开谐振间隔单元断路器靠电压互感器一侧的隔离开关, 破坏谐振参数, 避免谐振引起设备烧损, 将谐振对设备的危害降到最低。特别是开关站事故处理情况下, 运行人员发现谐振的难度更大, 该铁磁谐振预警装置能解决这一问题。

参考文献:

- [1] 周守昌. 电路原理[M]. 高等教育出版社, 2004.
- [2] 杨保初. 高电压技术[M]. 重庆大学出版社, 2015.
- [3] 刘红文. 配电网铁磁谐振原理及防护[M]. 科学出版社, 2019.
- [4] 何仰赞. 电力系统分析[M]. 华中科技大学出版社, 2002.
- [5] 谢小荣. 电力系统次同步谐振的分析与控制[M]. 科学出版社, 2015.

作者简介:

- 童 松(1983-), 男, 湖北黄冈人, 大学本科, 工程师, 从事电力系统及自动化工作;
- 顾金龙(1988-), 男, 四川德阳人, 大学本科, 助理工程师, 从事电力系统及自动化工作。

(责任编辑: 卓政昌)

(上接第 112 页)

请了专业的欧洲咨询团队, 总承包合同技术条款大多按照国际规范或欧美规范进行设置。本项目的直流系统在设计过程中经过与外方技术团队的多次沟通和交流, 最终获得了各方认可。GIBE III 水电站已于 2016 年 8 月投产发电, 电站投产过程顺利, 实现了 10 台大型机组“一月一投”的惊人目标, 在国际上展示了中国水电行业高水平的设计、生产以及安装质量。目前电站运行稳定, 本项目为埃塞俄比亚创造了良好社会经济效应, 取得了圆满的成功。本项目的顺利实施, 为中国水电产品走向世界进行了有益的探索。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 《电力工程直流电源系统设计技术规程》[S]. 北京, 中国计划出版社, 2014.
- [2] 水电站机电设计手册编写组. 《水电站机电设计手册—电气二次》[M]. 北京, 水利水电出版社, 1984, 793—876.

- [3] 吴正龙, 刘 彬. 《浅析镍镉蓄电池运行和维护方法》[J]. 技术与市场, 2019, 26(11), 138—140.
- [4] 袁文海, 董腾华, 王浩彬, 马建辉. 《阀控铅酸蓄电池剩余容量在线预估技术研究》[J]. 电器与能效管理技术, 2019, (20), 47—50.
- [5] 赵延青. 《变电站直流系统的负荷分析与蓄电池容量的选择》[J]. 信息技术与信息化 2019, (9), 193—194, 198.
- [6] 郭晓飞. 《浅析直流系统充电模块特性测试》[J]. 科技创新与应用 2012, (30), 160—161.
- [7] 梁文倩. 《变电站直流系统“N+1”充电模块配置改造经验介绍》[J]. 通信电源技术 2019, 36(8), 211—212.

作者简介:

- 肖利建(1982-), 男, 四川成都人, 硕士, 高级工程师, 中国电建集团成都勘测设计研究院设备物资部副主任, 长期从事机电工程设计、咨询和管理的工作;
- 高 爽(1983-), 女, 四川成都人, 学士, 会计师, 中国电建集团成都勘测设计研究院投资与资金管理部从事财务及资金管理的工作。

(责任编辑: 卓政昌)