

GIS 铁磁谐振故障分析及处理

徐 晖, 王亚华, 汪江昆

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘要:本文针对 500 kV GIS PT 铁磁谐振故障展开分析,通过电容分压原理计算 GIS 对地电容值,并在此基础上扩大计算范围,同时考虑断路器并联电容值的偏差,开展主变高压侧 T 区短引线各个工况下铁磁谐振的仿真计算,验证 GIS PT 及消谐装置设计、选型是否合理。结合现场检查确认 GIS 铁磁谐振故障原因,并对后续电厂运维提出合理化建议。

关键词:GIS;铁磁谐振;消谐装置选型

中图分类号:TM561.3

文献标志码:A

文章编号:1001-2184(2023)增 1-0055-05

Fault Analysis and Treatment of GIS Ferromagnetic Resonance

XU Hui, WANG Yahua, WANG Jiangkun

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610051)

Abstract: This paper analyzes the fault of ferromagnetic resonance in 500kV GIS PT, calculates the capacitance value of GIS to ground through the principle of capacitive voltage division, and expands the calculation range on this basis. At the same time, considering the deviation of the parallel capacitance of circuit breakers, it carries out the simulation calculation of ferromagnetic resonance under various working conditions of the short lead in the T zone of the high voltage side of the main transformer to verify if the design and selection of GIS PT and harmonic elimination device are reasonable. The cause of GIS ferro resonance fault is confirmed by on-site detection, and reasonable suggestions are put forward for subsequent power plant operation and maintenance.

Keywords: GIS ferromagnetic resonance ; Selection of harmonic elimination device

0 项目概述

杨房沟水电站装机容量 1 500 MW(4 台 375 MW 混流式水轮发电机组),水轮发电机和变压器采用单元接线方式,机端电压由变压器从 20 kV 升压至 500 kV,500 kV 的 GIS 由三串 3/2 和一个母线电抗器回路间隔接线组成。通过 500 kV 长雅一线、长雅二线并入国家电网。

1 铁磁谐振情况说明

2022 年 11 月 19 日 23:10,杨房沟 GIS 断路器 5032 和 5033 热备用状态,在拉开 50336 隔离开关时发生铁磁谐振。2022 年 11 月 19 日 23:16 拉开 50322 和 50321 隔刀后谐振全部消失。GIS 接线图见图 1,本次谐振部位为 1 号主变线路侧 PT 短引线区域,谐振区域见图 2。现场检查发现该组 PT 消谐装置 B 相 MCB 处于断开状态,A、C 相 MCB 处于合闸状态。

12 月 14 日现场再次对 1 号主变线路侧进行

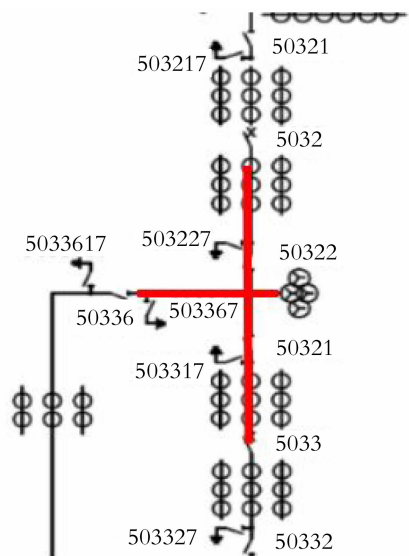


图 1 杨房沟 GIS 主接线图

操作,在操作前检查 PT 消谐器 MCB 状态时,发现 B 相 MCB 无法正常合闸。只能继续操作,最终在与之前相同工况下发现 B 相产生铁磁谐振。

收稿日期:2023-07-06

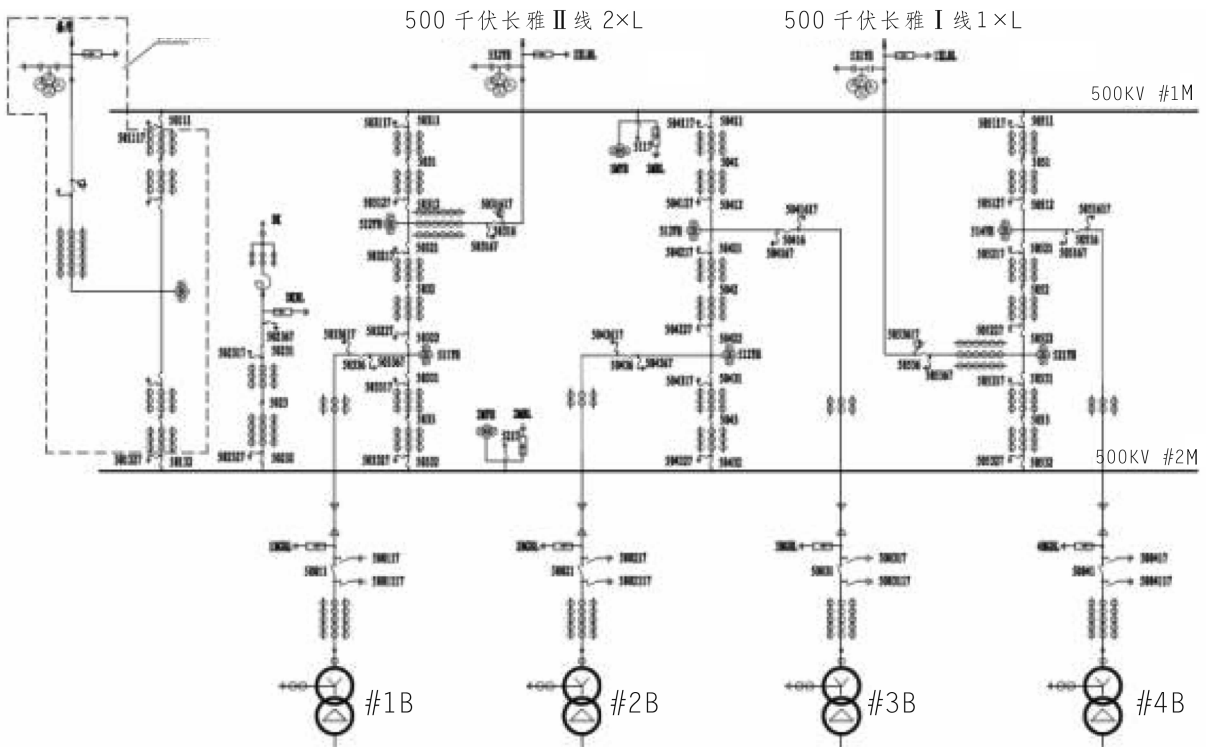


图 2 1号主变线路侧 PT 铁磁谐振

2 原因分析

2.1 GIS 断路器并联电容和对地电容计算

该工况下 GIS 对地电容 C2 无法精确测量,只能利用残压的方法推算 C2 电容值,并在此基础上扩大计算范围。同时在分析谐振时也要考虑断路器并联电容器 C1 的偏差。如图 3 所示为 1 号主变侧 T 区短引线发生谐振波形。如图 4 所示为相同工况的感应残压。如图 5 所示为单个断路器转热备用时的残压。

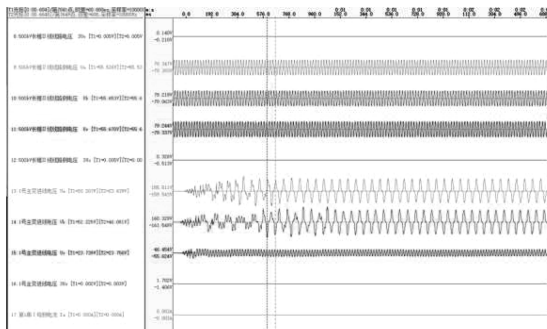


图 3 1号主变短引线 2CB 谐振波形

通过残压计算,2CB 的残压为 132 kV,1CB 的残压为 98.5 kV。运行电压为 306 kV。已知 GIS 断路器的并联电容器的电容值为 510 pF,得到,2CB 工况下,C1=1020 pF;1CB 工况下 C1=

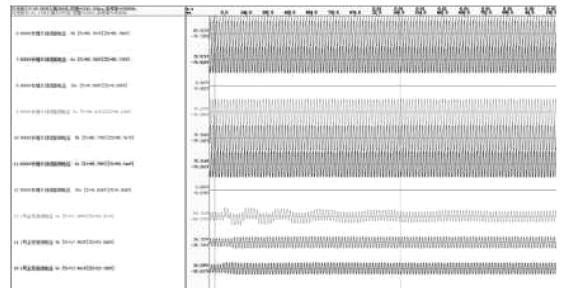


图 4 2 个 CB 并联残压波形

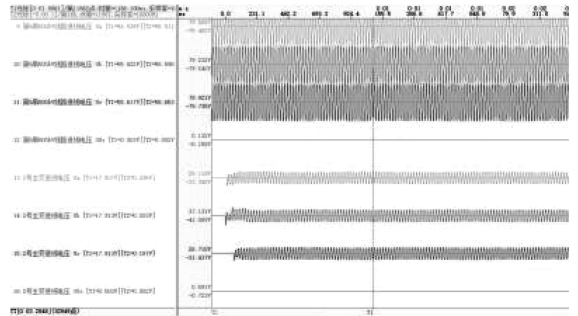


图 5 1 个 CB 残压波形

510 pF。根据电容分压原理,可以推算出 C2 的值:

$$2CB \text{ 工况: } C_2 = C_1(U - U_2) / U_2 = 1\,342 \text{ pF};$$

$$1CB \text{ 工况: } C_2 = C_1(U - U_2) / U_2 = 1\,080 \text{ pF}.$$

2.2 短引线工况下 PT 铁磁谐振仿真分析

短引线工况下 PT 不带消谐器的情况下,容易发生谐振,本次仿真分析带消谐器装置后的铁磁谐振抑制效果。

由于实际运行时 GIS 对地电容 C2 值与计算值有偏差,因此需扩大仿真计算范围。同时,仿真计算时还需考虑并联电容 C1 值的偏差。

2.2.1 2CB 线路侧谐振分析波形

(1) $C1=1\ 020\text{ pF}$, $C2$ 值取范围 $1\ 000-2\ 000\text{ pF}$, 波形见图 6;

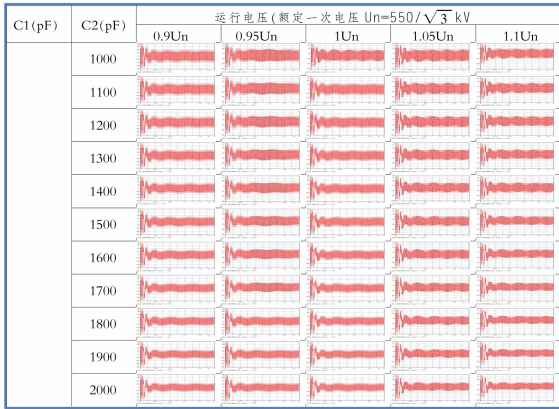


图 6 2CB 线路侧谐振分析波形 1

(2) $C1=1\ 020 \times 0.95=969\text{ pF}$, $C2$ 值取范围 $1\ 000-2\ 000\text{ pF}$, 波形见图 7;

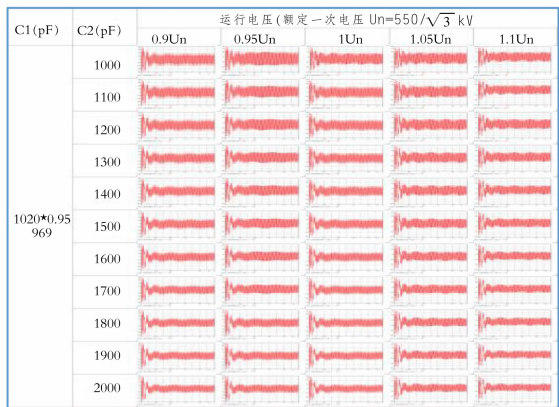


图 7 2CB 线路侧谐振分析波形 2

(3) $C1=1\ 020 \times 1.05=1\ 071\text{ pF}$, $C2$ 值取范围 $1\ 000-2\ 000\text{ pF}$, 波形见图 8;

上述对 2 个并联断路器 CB 短引线工况仿真分析结果显示,消谐器在此范围内可以有效的抑制谐振的发生。

2.2.2 1CB 线路侧谐振分析波形

对 1 个并联断路器 CB 短引线工况仿真分析结果显示,消谐器在此范围内可以有效的抑制谐

振的发生。

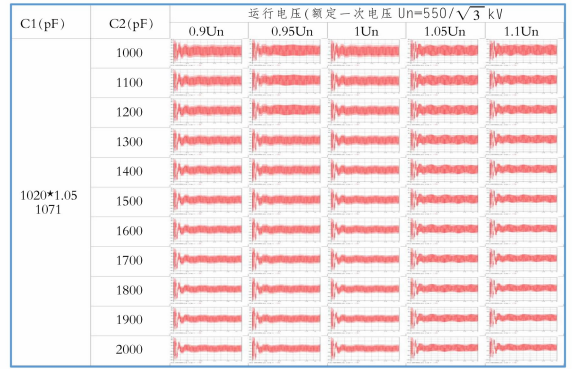


图 8 2CB 线路侧谐振分析波形 3

(1) $C1=510\text{ pF}$, $C2$ 值取范围 $800-1\ 500\text{ pF}$, 波形见图 9;

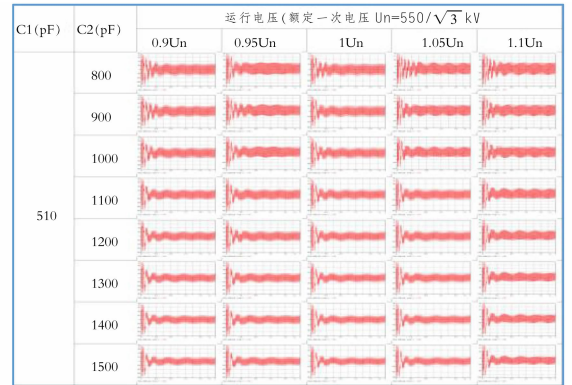


图 9 1CB 线路侧谐振分析波形 1

(2) $C1=510 \times 0.95=484.5\text{ pF}$, $C2$ 值取范围 $800-1\ 500\text{ pF}$, 波形见图 10;

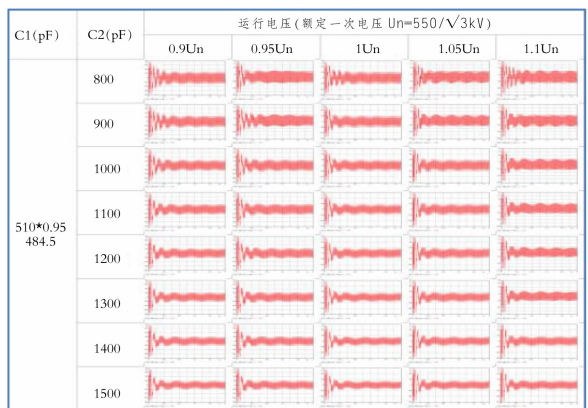


图 10 1CB 线路侧谐振分析波形 2

(3) $C1=510 \times 1.05=535.5\text{ pF}$, $C2$ 值取范围 $800-1\ 500\text{ pF}$, 波形见图 11;

在主变线路侧短引线工况下,上述 PT 铁磁谐振仿真分析计算表明,在投入消谐器的情况下,

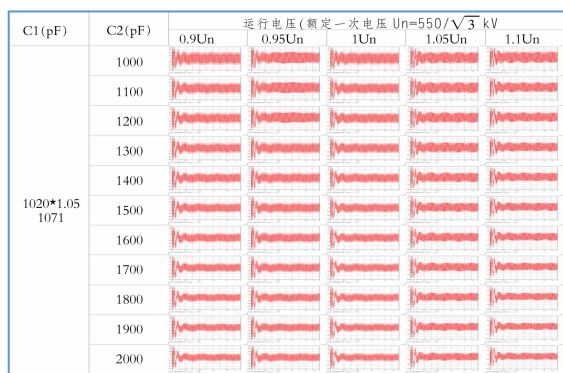


图 11 1CB 线路侧谐振分析波形 3

主变线路侧 PT 短引线工况下不会发生铁磁谐振。证明 PT 及消谐装置设备设计及选型合理。

2.3 消谐器故障分析

2.3.1 消谐装置设计说明

电压互感器的铁磁谐振抑制装置(ZD)由一个速饱和电抗器和一个电阻串联,与其中一个二次绕组连接,并与互感器的励磁阻抗并联。速饱和电抗器是在高磁束密度下运行以及提供一个急剧饱和而设计的。

如果互感器进入铁磁谐振状态,励磁电流主要通过速饱和电抗器回路,这个回路相对于互感器来说比较容易饱和,同时将谐振能量被串联电阻消耗掉。其励磁特性曲线见图 12。

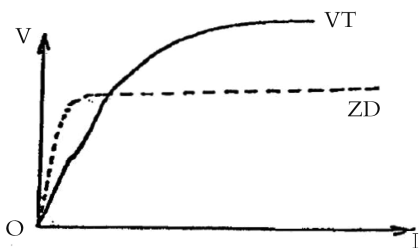


图 12 消谐器和 VT 的励磁特性

2.3.2 消谐器空开 MCB 选型

为方便现场试验以及保护消谐器,在消谐器与绕组之间安装有额定电流为 63 A 的空开 MCB,选择空开的因素主要考虑电磁脱扣和热脱扣两种情况。

(1)根据谐振回路,无论有无谐振,在系统投运和退出运行时消谐器回路会发生短时电流震荡,经计算 PT 谐振回路产生的冲击电流峰值为 253 A(见图 13)。

空开的电磁脱扣值为 10 倍的额定电流(630 A 峰值)下才能脱扣,而本次的冲击电流(253 A)

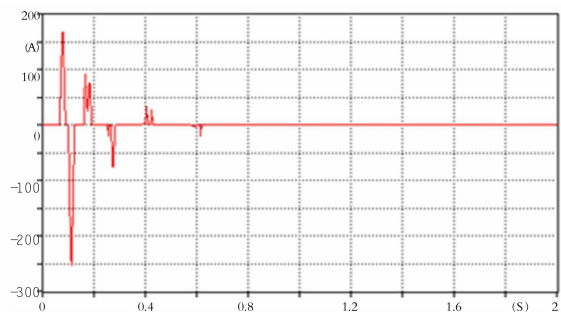


图 13 谐振回路产生的短时电流

没有超过空开的电磁脱扣值。空开不会电磁脱扣。

(2)根据本工程的谐振分析计算结果,消谐器都可以有效抑制谐振的发生。无法分析在不能抑制谐振时的电流。通过追加分析在极限状态下消谐器不能抑制谐振状态下的电流,见图 14。该状态是在实际工程中不会出现的工况,分析的电流为 117 A(有效值)。

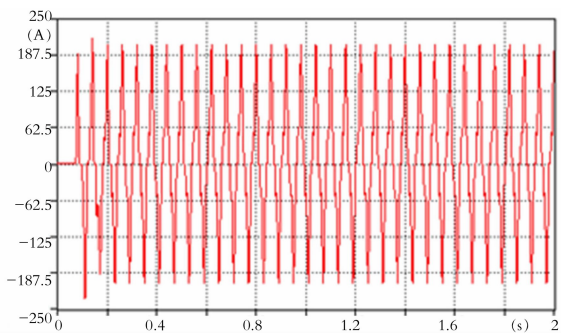


图 14 消谐器不能消谐时的电流

空开的热脱扣值为 1.45 倍的额定电流(91 A 有效值)才能脱扣。经分析在极端的情况下,电流值为 117 A 大于空开的热脱扣值,这时空开可以在 5 分钟左右热脱扣,起到保护 PT 和消谐器的作用。

2.3.3 消谐装置现场检查

在该系统中的铁磁谐振是在 3 相中是随机发生的(无消谐器的状态),C 相没有发生过谐振(消谐器正常),B 相多次发生谐振(消谐器异常),初步判断是由于消谐器异常没有起到消除谐振的作用。

停运后对 PT 的消谐器进行测量,消谐器三相 ZD 绝缘电阻正常,A 相 ZD 测不出直流电阻,B 相直阻 0.69 Ω ,C 相直阻 0.12 Ω 。

最终确认杨房沟水电站 GIS 铁磁谐振产生原因为 PT 二次侧消谐器阻尼绕组损坏导致。

2.3.4 消谐装置故障原因分析

(1)消谐器在受到过高电压,或较低频率的试验电压施加。PT 施加额定电压 1.3 倍额定电压以上时,消谐器的铁心会饱和,会导致消谐器内部发热受损。

(2)消谐器内部有缺陷,在运行时出现故障。

(3)运输、安装过程中受到震动,导致消谐器故障。

由于 GIS 交接耐压试验时,PT 断口是断开状态,因此不存在 PT 被施加高电压情况。故障原因可能为运输震动或消谐器内部缺陷故障引起。待现场在检修具备条件时,对消谐装置进行更换,将消谐装置返厂进行故障检测,分析故障原因。

3 结 语

(1)杨房沟水电站 GIS 铁磁谐振发生工况均为主变压器运行转检修时,主变高压侧 T 区短引线回路产生 PT 铁磁谐振,由于现场无法实测短引线工况下 GIS 对地电容值,因此采用断路器谐振波形及感应残压波形推算出短引线工况下 GIS 对地电容值方法可行。

(2)仿真分析计算表明,主变高压侧 T 区短引线工况下,扩大断路器并联电容及 GIS 对地电容取值范围,在投入 PT 二次侧消谐器的情况下,均可以有效抑制谐振的发生,证明消谐器设计选型合理。

(上接第 21 页)

[28] 刘宏泰. 基于列车区间运行优化和能馈装置配置的地铁节能技术研究[D]. 北京:北京交通大学, 2021.

[29] 付康. 采用调谐惯容阻尼器的基础隔震结构的抗震性能研究[D]. 北京:北京交通大学, 2021.

作者简介:

刘 唯(1997-),男,四川成都人,硕士研究生,从事水电站运维工作;

王 奎(1990-),男,河南洛阳人,中级工程师,学士,从事水电站

(3)为保障 GIS 设备运行过程中不发生铁磁谐振,PT 二次侧消谐器应全程投入运行^[1]。

(4)GIS 前期设计阶段选型 PT 时,一定要进行所有可能性 PT 铁磁谐振的仿真分析计算,同时尽可能选用励磁特性好的 PT,以确保在合闸、分闸及单向接地事故等情况下其铁芯不易饱和,从而在工程建设中消除 GIS 站 PT 铁磁谐振的条件,从根本上避免 PT 铁磁谐振的发生。

(5)电厂应在检修期对 GIS PT 消谐装置进行检查,测试项目应包含绝缘电阻测量、线圈直流电阻测量、消谐器励磁电流测量等,以确保消谐装置安全可靠运行^[2]。

参考文献:

[1] 梁逸帆,危伟,夏向龙等. 500kV GIS PT 铁磁谐振过电压分析及控制措施[C]//中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会. 抽水蓄能电站工程建设文集 2021. 中国水利水电出版社,2021:192-195.

[2] 周勇,黄华,赖见令. 避免 500 kV GIS 开关站 PT 谐振的运行操作方法[J]. 水电站机电技术,2017,40(04):22-25+28.

作者简介:

徐 晖(1990-),男,山东德州人,中级工程师,工学学士,现从事流域电站电气一次设备管理和研究工作;

王亚华(1990-),男,福建建阳人,中级工程师,工学学士,现从事流域电站战略方向研究与管理工;

汪江昆(1986-),男,新疆博乐人,高级工程师,工学学士,现从事流域电站电气一次设备管理和研究工作.

(责任编辑:史心雨)

运维工作;

陈 锁(1996-),男,吉林农安人,助理工程师,学士,从事水电站运维工作;

张松浩(1994-),男,河北冀州人,助理工程师,学士,从事水电站运维工作;

冷 佳(1996-),男,四川绵阳人,助理工程师,学士,从事水电站运维工作;

高家敏(1997-),男,湖北孝昌人,助理工程师,学士,从事水电站运维工作.

(责任编辑:史心雨)

本刊启事

《四川水力发电》杂志系国内外公开发行的中文期刊,《四川水力发电》编辑部是唯一的编辑出版单位。本刊从未委托任何中介公司代理稿件推荐工作,更未委托其代收稿件版面费,特此声明。恭请广大作者注意,以免上当受骗,造成不必要的损失。

《四川水力发电》投稿邮箱:scsd50@163.com。 《四川水力发电》编辑部地址:四川省成都市青羊区浣花北路 1 号
官 网:http://www.scsfld.com 电 话:028-62009589 邮 编:610072

《四川水力发电》编辑部