

串联补偿装置的抗电磁干扰措施

何尔文¹, 吴蓉¹, 李健², 黎颖³, 卢继平⁴

(1. 四川西昌电业局, 四川 西昌 615000; 2. 重庆北碚供电局, 重庆 400700;
3. 重庆江津供电局, 重庆 402260; 4. 重庆大学电气工程学院, 重庆 400044;)

摘要: 针对四川电网 500 kV 普提开关站串联补偿装置在投产试验时出现的间隙触发装置 (GTE) 损坏的异常状况, 根据电磁屏蔽技术原理, 提出了利用基于电磁屏蔽与滤波处理的抗电磁干扰措施来消除设备缺陷的方案。改进后的串补装置实验测试合格, 以及之后现场良好的运行状况证明本文提出的方案正确、可行。

关键词: 串联补偿; 电磁干扰; 电磁屏蔽; 滤波处理

Measures of anti-EMI in series compensation equipment

HE Er-wen¹, WU Rong¹, LI Jian², LI Ying³, LU Ji-ping⁴

(1. Xichang Electric Power Bureau, Xichang 615000, China; 2. Beibei Power Supply Bureau, Chongqing 400700, China;
3. Jiangjin Power Supply Bureau, Chongqing 402260, China; 4. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To eliminate an abnormal phenomenon of GTE (Gap Trigger Electronics) damage in commissioning test of the series compensation equipment in 500kV Puti Switch Yard of Sichuan power network, an anti-interference measure based on electromagnetic shielding and filter processing is proposed. The good operating condition on site of the improved series compensation equipment demonstrates that the treatment adopted is right and feasible.

Key words: series compensation; electromagnetic interference; electromagnetic shielding; filter processing

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2008)04-0072-03

0 引言

串联电容器补偿装置是指串联在输配电线路中的电容器组及其保护控制等设备。在交流输电系统中利用串联电容器的容性阻抗, 补偿输电线路的部分感性阻抗, 使得发电机组间电气距离缩短, 同步力矩增加, 达到改善系统稳定性, 减少功率输送引起的电压降和功角差的目的, 从而提高电力系统稳定运行水平, 扩大线路输送容量, 提高网络实际输送能力和降低网损^[1]。

500 kV 普提开关站是二滩水电站送出工程中作为稳压、提高系统稳定性的唯一一座 500 kV 开关站, 海拔 2 080 m, 承担着二滩电站 2 600 MW 电力输送任务。为了进一步提高四川电网稳定性, 优化电网的装机容量, 增加 500 kV 二普线 400 MW 的输送能力, 充分消纳二滩电站的电力电量, 提高电网的经济效益, 于是在 500 kV 普提开关站二滩—普提 3 回线路进线侧各加装 1 组补偿容量为 315 Mvar, 补偿度为

40% 的串联电容器补偿装置。

本文针对一起串联补偿装置异常状况, 提出了有效的解决方案, 现场运用结果表明此方案可行, 有利于维护电网稳定、可靠运行。

1 串联补偿装置概况

串联补偿装置是一种利用现代电力电子技术对线路进行补偿的设备, 主要包括电容器组、金属氧化物限压器 (MOV)、触发火花间隙、阻尼装置、旁路断路器、绝缘平台以及相应的保护控制系统^[2]。其结构简图如图 1 所示。

串联电容补偿装置主要元件的功能有: 串联电容器组利用自身的容性阻抗补偿输电线的部分感性阻抗, 减少了功率输送引起的电压降和功角差, 从而提高电力系统稳定运行水平, 扩大线路输送容量, 提高网络实际输送能力; 金属氧化物限压器 (MOV) 是串联补偿电容器的主保护, 串补所在线路上出现

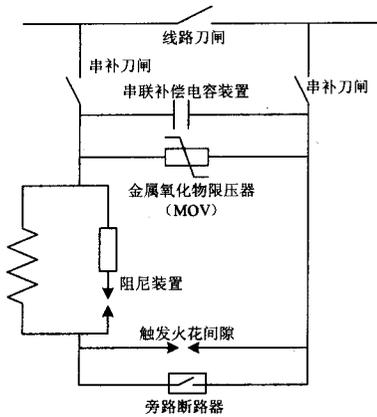


图1 串联电容补偿装置的结构简图

Fig. 1 Structure of the series compensation equipment

较大故障电流时, 串联补偿电容器上将出现较高的过电压, MOV 可利用其自身电压—电流的强非线性特性将电容器电压限制在设计值以下, 从而确保电容器的安全运行; 触发火花间隙是串联补偿电容器和 MOV 的后备保护, 当 MOV 分担的电流超过其启动电流整定值或 MOV 吸收的能量超过其启动能耗时, 控制系统会触发火花间隙, 旁路掉 MOV 及串联补偿电容器组; 旁路断路器是系统检修和调度的必要装置, 串补站控制系统在触发火花间隙的同时命令旁路断路器合闸, 为火花间隙灭弧及去游离提供必要条件; 阻尼装置可限制电容器放电电流, 防止串联补偿电容器、火花间隙、旁路断路器在放电过程中被损坏^[3]。

500 kV 普提开关站装设的串联电容补偿装置是户外、自然冷却, 瞬时重投开放型结构, 串补控制、保护系统的双重化独立配置。考虑到设备运行的安全性、可靠性, 基于国内外已运行串联补偿装置的运行状况, 在对火花间隙触发能量来源的选择上, 除了按照常规设计采用光纤从控制室传送脉冲能量(激光送能), 还增加了 1 组 500 kV CT 取能(线路取能) 设备。这种世界上首次采用的激光送能与线路取能相结合的平台供能模式, 极大提高了平台测量电源的可靠性和灵活性, 确保火花间隙可靠触发。串补装置除旁路断路器、隔离开关及控制箱、光纤接口装置接线柜及放于串补控制保护室内的控制、保护、测量装置设于地面外, 其它主要设备均设于由支柱绝缘子及斜拉绝缘子固定的绝缘平台上。图 2 标示出了绝缘平台上除高压电容器组、MOV 外所有高压设备及其联结状况。其中分布电容 1 为储能 CT 二次绕组与 500 kV 管母线间电容, 分布电容 2 为储能 CT 电缆间电容, 分布电容 3 为

间隙触发装置 GTE (Gap Trigger Electronics) 集成电子模块与其盒子间电容, 分布电容 4 为 GTE 盒子与其外箱壳间电容, 对地电容为整块绝缘平台对地的电容。

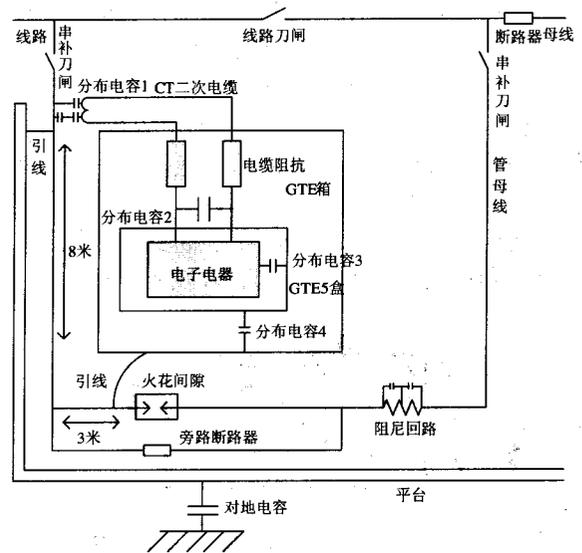


图2 串补平台设备布置示意图

Fig. 2 Flat distribution of the series compensation equipment

2 串联补偿装置异常状况

众所周知, MOV 的作用是限制出现在电容器组上的过电压, 保护电容器组。当区外故障发生时, MOV 会吸收全部能量, 保护电容器组; 区内发生故障时, 故障电流较大, 流过 MOV 的电流也较大。为了降低 MOV 的吸收能量, 应该启动 MOV 和串联补偿电容器的后备保护控制系统 GTE, 及时动作触发火花间隙旁路掉电容器组和 MOV, 使故障电流不再流过电容器组和 MOV, 使得电容器组两端的电压接近零。

然而, 试验单位、运行单位和厂方 2006 年在对 500 kV 二普二线串联补偿装置进行投入系统试验时, 出现了异常情况: 1) 当对平台充电时, 火花间隙触发装置 (GTE) 损坏; 2) 当合线路刀闸, 准备实现线路由冷备用转热备用时, GTE 损坏。

这样, 当串补装置所在线路发生区内故障时, 若火花间隙的控制系统 GTE 损坏, 火花间隙不能可靠触发, 必将导致串补装置失去后备保护, 对系统的安全运行带来不可估量的风险。因此, 必须采取措施来避免 GTE 损坏。

3 采取的抗电磁干扰措施

3.1 电磁屏蔽技术原理

目前,电磁屏蔽作为抗电磁干扰的主要措施之一,保证电子设备在复杂的电磁环境中正常工作。电磁屏蔽是对两个空间区域之间进行金属的隔离,以控制电场、磁场和电磁波由一个区域对另一个区域的感应和辐射。常用屏蔽体将元部件、电路、组合件、电缆或整个系统的干扰源包围起来,防止干扰电磁场向外扩散;或用屏蔽体将接收电路、设备或系统包围起来,防止它们受到外界电磁场的影响。屏蔽体是将接收电路、设备或系统包围起来,利用屏蔽体对来自导线、电缆、元部件、电路或系统等外部干扰电磁波和内部电磁波都能起到吸收能量、反射能量和抵消能量的作用来有效减弱干扰。

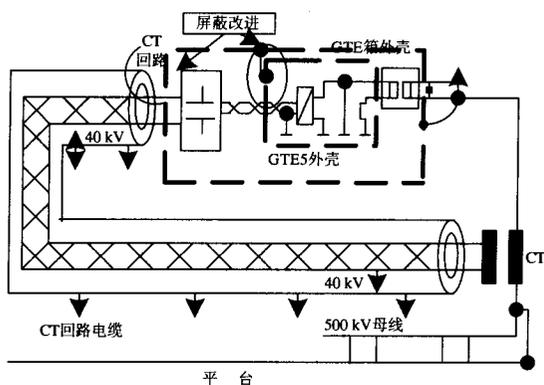


图3 电磁屏蔽示意图

Fig.3 Figure of electromagnetic shielding

事实上,影响屏蔽体屏蔽效能主要有两个因素:第一,整个屏蔽体表面必须是导电连续的,在工程实际中,屏蔽体上有很多导电不连续点,比如屏蔽体不同部分结合处形成的不导电缝隙。当干扰的频率较高,即波长相对缝隙较小时,就产生了电磁泄漏。避免这种泄漏的方法有滤波、在缝隙处填充导电弹性材料以消除不导电点等等。第二,不能有直接穿透屏蔽体的导体。

3.2 电缆问题

电缆辐射主要来自共模辐射,是导致工程电磁系统电磁干扰的直接因素之一。电缆产生辐射的机理有两种:一种是电缆中信号电流(差模电流)回路产生的差模辐射;另一种是由电缆中导线(包括屏蔽层)上的共模电流产生。

在电缆中一般包含了信号回线,由于不能保证差模电流完全从回线返回信号源,特别是在频率较高的场合,空间各种杂散参数为差模电流提供了更多的返回路径。这样泄漏的差模电流导致了共模电压(电缆与大地之间电压)的产生,而后共模电压与杂散电容导致电缆产生共模电流,由于共模电流的环路面积是

由电缆与大地形成的,因此具有较大的环路面积,会产生较强的辐射。一般采用将敏感电路与电缆电磁屏蔽隔离的方法减小电缆辐射的影响。

3.3 电缆屏蔽及滤波处理

串联补偿装置是一种基于现代电力电子技术的设备,其内部电路可能存在较强的电磁干扰^[4]。

基于这样的分析,针对串补装置内部GTE损坏的异常状况,本文的研究主要从电磁屏蔽和滤波处理两个方面对装置进行了改进。

一方面,根据电磁屏蔽的相关理论,有效连接GTE5外壳和GTE箱外壳(GTE箱与平台等电位),同时有效连接CT二次回路和GTE箱外壳,如图3所示。

另一方面,在对回路电磁感应进行屏蔽处理的基础上,再对流过GTE的小电流进行滤波处理,减小感应电流给GTE带来的不利影响,如图4所示。

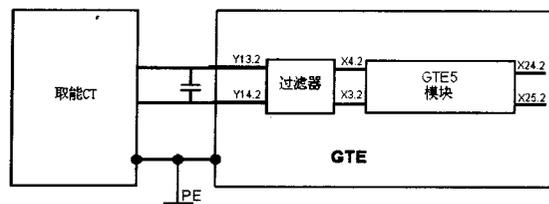


图4 滤波处理示意图

Fig.4 Schematic diagram of filter processing

4 实验结果

在完成上述两项改进后,对回路的抗干扰性能进行了效果测试和对比,其结果如下:

试验电压源:频率1 MHz,电压峰峰值1 100 V。

GTE5进线端子间测量电压峰峰值:改进前为16.6 V,改进后为0.7 V。

比较改进前后的测量数据,可以发现由于采取了抗干扰的改进措施,回路干扰受到明显的抑制。结合上述试验、分析,通过与西门子厂方进行协调、商量,根据文中处理措施进行了现场处理之后,不再出现GTE异常情况和缺陷,从设备实际运行的角度验证了造成串联补偿装置部件GTE损坏的主要原因是电磁干扰,经过合理改进,大大降低了GTE5模块上的电磁干扰,达到GTE5安全、可靠运行的要求。

参考文献

- [1] 王晓彤,陈葛松,等.天广输电线路天平段加装串补和可控串补工程系统电磁暂态专题研究[R].北京:中国电力科学研究院,2001.

(下转第78页 continued on page 78)

定值加以克服。

3.6 鼠害因素的防范对策

做好防鼠工作,特别是对于工期较长的增容改造,每天工作结束时,把盘柜电缆入口用堵板挡好,防止老鼠爬入保护盘柜。

3.7 其它因素的防范对策

引入新技术,采用先进的新原理保护设备,提高保护对区外故障的判断和抑制能力。

4 结束语

综上所述,在区外故障时引起变压器主保护的误动的原因是多方面的,本文仅就区外故障变压器差动保护误动原因的分析处理及防范提出一些思路。只有根据不平衡电流产生的原因采取相应的措施来尽量减少不平衡电流,同时通过对差动保护定值的科学整定,才能使变压器差动保护既能够躲开不平衡电流的影响,又可以保证其有足够的可靠性和灵敏性。

(上接第 53 页 continued from page 53)

参考文献

- [1] 叶斌. 电力电子应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
YE Bin. Electric Power Electron Application Technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [2] 苏奎峰, 吕强, 耿庆锋, 等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
SU Kui-feng, LV Qiang, GENG Qing-feng, et al. The Principle and Development of TMS320F2812[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [3] 赵争鸣, 刘见证, 孙晓瑛, 等. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
ZHAO Zheng-ming, LIU Jian-zheng, SUN Xiao-ying, et al. The Photovoltaic Generation and Application of the

(上接第 74 页 continued from page 74)

- [2] 牛晓民, 王晓彤, 等. 超高压串联补偿输电线路的潜供电流和恢复电压[J]. 电网技术, 1998, 22(9): 9-12.
NIU Xiao-min, WANG Xiao-tong, et al. Secondary Arc Current and Recovery Voltage of Series Compensated EHV Transmission Line [J]. Power System Technology, 1998, 22 (9): 9-12.
- [3] 钟胜. 与超高压输电线路加装串补装置有关的系统问题及其解决方案[J]. 电网技术, 2004, 28(6): 26-30.
ZHONG Sheng. Problems Caused by Adding Series Compensation Devices to EHV Transmission System and Their Solution[J]. Power System Technology, 2004, 28 (6): 26-30.
- [4] 贺建国, 邓军波, 等. 阳城 500 kV 输电工程中串补装置的工作条件[J]. 高电压技术, 2001, 27(6): 34-36.

参考文献

- [1] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护典型故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [3] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [4] 贺家李. 电力系统继电保护原理(增订版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

收稿日期: 2007-11-07; 修回日期: 2007-11-26

作者简介:

姬希军(1970-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护产品设计、调试和事故分析; E-mail: jixijun@xjgc.com

胡宝峰(1976-), 男, 本科, 工程师, 从事电力计量、降损技术的研究与管理工作;

刘以军(1975-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护产品设计、调试和事故分析。

Solar Energy[M]. Beijing: Science Press, 2005.

- [4] 郑诗程, 丁明, 苏建徽, 等. 户用光伏并网发电系统的研究和设计[J]. 电力电子技术, 2005, (1): 55-57.
ZHENG Shi-cheng, DING Ming, SU Jian-hui, et al. Research and Design of Residential Photovoltaic Grid-connected Generation System[J]. Power Electronics, 2005, (1): 55-57.

收稿日期: 2007-05-23; 修回日期: 2007-11-06

作者简介:

吴玉蓉(1975-), 女, 讲师, 主要研究方向为电能质量分析和光伏发电; E-mail: wyr9130999@yahoo.com.cn

张国琴(1977-), 女, 讲师, 主要研究方向为数字信号处理与电力电子技术。

HE Jian-guo, DENG Jun-bo, et al. Working Condition of Fixed Series Compensation in Yangcheng 500 kV Transmission System[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27 (6): 34-36.

收稿日期: 2007-07-25; 修回日期: 2007-10-08

作者简介:

何尔文(1975-), 男, 硕士, 主要从事超高压运行管理及变电设备维护及试验管理工作; E-mail: darwin413@126.com

吴蓉(1975-), 女, 工程师, 主要从事电力科技管理工作。

李健(1982-), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护工作。