

# 复龙换流站饱和和保护异常情况分析

肖资阳, 舒平, 贾书航

(国家电网公司运行分公司宜宾管理处, 四川 宜宾 644000)

摘要: 简要介绍了复龙换流站换流变压器保护饱和和保护配置情况, 并结合复龙换流站发生过的案例进行分析, 分析当前站内换流变压器饱和和保护存在的一缺陷, 并对此提出了一些改进设想。

关键词: 直流偏磁; 饱和保护; 复龙换流站

中图分类号: TM77 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2018)04-0090-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.04.020

## Analysis of Abnormal Saturation Protection in Fulong Converter Station

Xiao Ziyang, Shu Ping, Jia Shuhang

(Yibin Management Office Operation Branch of State Grid Corporation of China, Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: The saturation protection configuration of converter transformer protection in Fulong converter station is briefly introduced and analyzed combined with the cases occurred in Fulong converter station. The defects existing in the current saturation protection of converter transformer are analyzed too, and some improvement suggestions are proposed.

Key words: DC bias; saturation protection; Fulong converter station

### 0 引言

饱和保护是为了防止当换流变压器流过直流电流时,产生的较大、不对称的励磁电流造成换流变压器热损毁。下面主要结合换流变压器饱和和保护配置和现场运行情况,分析复龙换流站换流变压器饱和和保护存在的异常情况,并提出改进建议。

### 1 复龙换流站饱和保护的配置及原理

饱和保护是为了防止直流电流流经换流变压器引起铁心饱和,造成换流变压器热损毁。而换流变压器铁心饱和程度是无法测量的,故判断换流变压器是否饱和最好的指标之一是畸变的直流偏磁电流<sup>[1]</sup>。复龙换流站换流变压器保护采用的是南瑞的RCS977D保护装置,该保护装置中的换流变压器饱和保护,是由保护装置通过检测接地支路的自产零序电流峰值来进行饱和和保护判断。装置将换流变压器流过的直流电流、零序电流和运行时间的对应

表线性化为一条反时限动作曲线,并根据零序电流进行反时限累计判断。励磁电流峰值越大,允许运行的时间越短。饱和保护的逻辑见图1<sup>[2]</sup>。

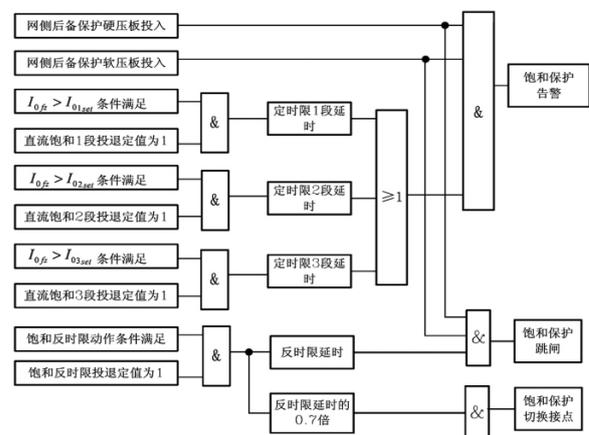


图1 饱和保护控制逻辑

饱和保护的压板投入之后,当测得的换流变压器零序电流峰值大于整定报警值时,系统会报警并启动反时限延时计时。当满足饱和反时限动作条件时,系统根据反延时曲线计算出反时限延时,当时间到达延时设定值时,保护出口动作。

由于饱和保护动作时间较长,并且可能由于直

流控制,系统的不恰当控制导致较大直流流过换流变压器,在反时限累计时间达到定值的70%时装置将告警,并输出控制系统切换信号以切换控制系统。换流变压器饱和保护定值如表1所示。

表1 饱和保护定值表

序号	保护定值名称	定值
1	星接中性点零序 CT 一次值	2000 A
2	角接中性点零序 CT 一次值	2000 A
3	CT 二次值	1 A
4	饱和保护 I 段电流定值	0.036 A
5	饱和保护 I 段时限	42 min
6	饱和保护 II 段电流定值	0.053 A
7	饱和保护 II 段时限	14 min
8	饱和保护 III 段电流定值	0.089 A
9	饱和保护 III 段时限	5 min
10	饱和保护 IV 段电流定值	0.142 A
11	饱和保护 IV 段时限	80 s
12	饱和保护 V 段电流定值	0.354 A
13	饱和保护 V 段时限	40 s
14	饱和保护 VI 段电流定值	0.478 A
15	饱和保护 VI 段时限	15 s

## 2 饱和保护出现的异常情况分析和建议

### 2.1 换流变压器充电后经常出现饱和保护报警问题分析

换流变压器缺陷处理与年度检修完毕,当处于冷备用或检修状态的换流变压器充电时,经常会有换流变压器饱和保护报警。

换流变压器充电后,经过半个周期,变压器的铁心将严重饱和,励磁电流剧烈增大,很有可能导致零序电流增大超过饱和保护定值。而励磁涌流的大小及衰减时间与外加电压的相位、铁心性质等都有关系。一般情况下,变压器容量越大,衰减的持续时间越长。因此大容量的空载换流变压器涌流持续的时间最长。故大容量换流变压器充电时,很可能会引发饱和保护报警<sup>[3]</sup>。

换流变压器充电时出现饱和保护报警是常见情况,但是运行人员应手动触发并查看直流阀组故障录波与换流变压器保护录波,分析对比零序电流变

化趋势有无单相阀侧电流偏差过大。若零序电流无衰减趋势,在两套换流变压器保护中饱和保护反时限累计时间达到定值的70%时,切换控制系统后申请国调退出相应阀组;若对比发现单相阀侧电流偏差过大,则应切换相应阀组的控制系统并再次对比分析阀侧电流的偏差,若此时阀侧电流仍偏差过大,也应在两套换流变压器保护中饱和保护反时限累计时间达到定值的70%时切换控制系统后申请国调退出相应阀组。

换流变压器充电时经常出现饱和保护启动报警甚至跳闸,主要因为换流变压器充电后的铁心将严重饱和,励磁电流剧烈增大,很有可能导致零序电流超过饱和保护定值。运维人员该如何避免此类跳闸情况出现:一是换流变压器检修后做好换流变压器消磁工作;二是修改保护软件增加饱和保护计时启动积分开始的延时时间,以躲过换流变压器励磁涌流。

复龙换流站饱和保护启动逻辑可以简单概述为:当换流变压器零序电流峰值大于定值时(无延时)换流变压器保护启动反时限延时计时积分。从实际运维经验来看,换流变压器饱和保护确实未设置延时时间,只要换流变压器零序电流峰值大于定值,立即启动反时限延时计时积分。

查看奉贤换流站饱和保护软件图(见图2),可知当奉贤换流站换流变压器零序电流峰值大于定值时,经过一段延时后,换流变压器保护才启动反时限延时计时积分。软件中专门设置了延时避免换流变压器充电时励磁涌流导致饱和保护动作。在2011年5月7日奉贤换流站换流变压器充电时饱和保护动作跳闸后,奉贤换流站运维人员分析判断原有10s延时不足以避开换流变压器充电时励磁涌流导致饱和保护动作时间,并将延时由10s修改为30s。据此认为复龙换流站换流变压器饱和保护也有必要增加保护启动延时,避免换流变压器充电时励磁涌

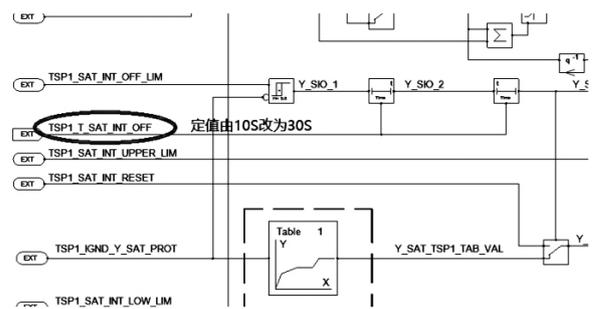


图2 奉贤站饱和保护软件

流导致饱和保护频繁报警甚至动作跳闸。

## 2.2 复龙换流站饱和保护报警设置问题

复龙换流站换流变压器保护报警有两类:一类是通过软报文方式上传至服务器,主要包括保护压板投退信息、保护启动信号等;另一类是通过硬接点方式上传至服务器,主要是保护动作信号。复龙换流站换流变压器饱和保护启动计时信号是采用软报文形式报出,即通过图3的方式将报文上传至服务器,此信号为灰色正常事件,无计时累计时间与饱和段位显示。此种信号传输方式经过的设备繁多,当中的交换机、光电转换模块、保护装置通信插件、网口、网线、光纤等任一设备出现故障,将会导致通讯故障事件无法正常上传。以往复龙换流站曾多次出现类似故障,且目前极II高端换流变压器保护装置仍存在此类故障。换流变压器饱和保护启动计时信号是非常重要的事件信息,若无此信息,运行人员将无法第一时间掌握换流变压器饱和保护动态,将没有足够的时间进行数据分析、对比并进行处理,只能等到饱和保护动作导致系统切换才能得知保护启动信息(此时反时限累计时间已达到定值的70%),浪费了大量时间,很有可能错过事故处理的黄金时期。



图3 换流变压器软报文事件上传

针对上述问题,建议应采取下列措施:1)在饱和保护信号传输方式未改动的情况下,运维人员精心巡视,及时发现保护装置通讯故障情况并及时处理,保证饱和保护信号正确及时地传输。2)在保护装置通讯故障暂时无法处理时,应加强监视:在方式变动、系统扰动、复奉与宾金直流不平衡运行时,进行保护装置事件查看;若有其他阀组出现饱和保护启动报警时,也应立即检查通讯故障换流变压器保护装置。3)研究可行性方案,减少软报文信号传输的中间环节,提高信号传输可靠性。4)将饱和保护计时启动信号修改为硬接点报文上传方式,使饱和保护计时启动信号同其他保护动作信号、模拟量信号采取一样的传输方式,即保护装置输出一副信号接点,经信号端子直接上传至CMI,由CMI传送给CCP将报警报出。5)增加报警的时效性,换流变压器饱和和保护动作时,不能及时向后台报送计时启动

的饱和保护段别,由于运行人员难以掌握其动作时限,建议上传更加详细的信息。

## 2.3 宜宾换流站饱和保护跳闸分析及建议

2014年6月10日,宜宾换流站接地极线路处于检修状态,极II高端换流变压器处于充电状态。复龙换流站操作将复奉直流由单极金属回线运行转为单极大地回线运行,宜宾换流站极II高端换流变压器饱和保护动作跳闸。分析此次宜宾站极II高端换流变压器饱和保护跳闸的原因为:复奉直流复龙换流站与宾金直流宜宾换流站为共用接地极(共乐接地极),当其中一个直流系统单极大地运行,另一直流系统接地极线路检修时,接地极直流电流将分流,一部分进入接地极线路检修站的变压器接地网,导致换流变压器发生直流偏磁。

为了解共乐接地极电流分配情况以及接地线路检修对直流系统和换流变压器直流偏磁的影响程度,在复龙换流站2014年大修时对共乐接地极电流分流进行了实测。实测结果为:复奉直流单极大地回线运行、宜宾换流站接地极线路检修时,共乐接地极约有1/8直流电流流入宜宾换流站接地网;宾金直流单极大地回线运行、复龙换流站接地极线路检修时,共乐接地极约有1/6的直流电流流入复龙换流站接地网;换流变压器零序电流与接地极直流电流流入接地网的电流成正比。

宜宾换流站“6·10”极II高端换流变压器跳闸与近期宜宾换流站“7·13”极I高端换流变压器跳闸均是因为直流电流流入大地,部分电流经大地、换流变压器中性点流入变压器,引起换流变压器饱和保护动作跳闸。为避免直流电流经换流变压器中性点流入变压器,最有效方法是将换流变压器中性点经一低压低流单向导通装置接地。但是目前暂时没有这种低压低流零损耗的单向导通材料。文献[1]提出了以下几种可行性方法:1)反向电流法:在变压器中性点接入一个直流发生装置,产生一个与直流接地极电流大小相等、方向相反的直流进行补偿,以此来抑制变压器直流偏磁。2)中性点接电阻法:变压器中性点串接电阻器后再接地,增大了直流电流的电阻,减少了进入变压器的直流电流,达到缓解直流偏磁的效果。3)电容器隔直法:电容器具有“隔直通交”的特性,可以达到抑制直流电流的目的。在直流偏磁严重的换流站可以考虑采取上述方法,消除直流电流经大地、换流变压器中性点流入变

压器引起换流变压器饱和和保护动作跳闸的隐患。

### 2.4 “6·10”复龙换流站换流变压器饱和和保护动作事件分析及建议

2015年6月10日上午,极II高端阀控系统由B套切换至A套后,极II高、低端相继出现饱和和保护动作,其中极II低端换流变压器饱和和保护A套发闭锁指令、B套发切系统指令后,距离B套发闭锁指令不足13min,运行人员及时申请停运极II低端阀组才免于造成事故。

在极II高端阀控主机切换系统后,极II高端换流变压器饱和和反时限保护计时复归。

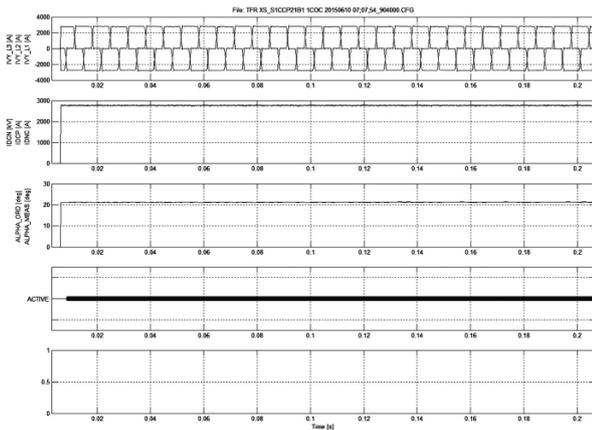


图4 CCP21B系统的录波(07:08控制系统切换前)

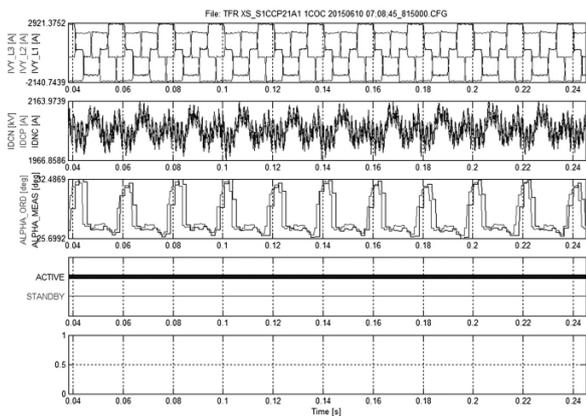


图5 CCP21A系统的录波(07:08控制系统第1次切换)

查看 CCP21A/B 控制主机的录波(见图4至图5),发现以下几个异常:

1) 极II高端阀组控制 CCP21A 系统测量的 IVY\_L1 (Y/Y 换流变压器阀侧套管电流 A 相) 偏向正极性约 700 A,而 B 系统测量的 IVY\_L1 则无任何偏移。

2) 第1次切换前,CCP21B 系统为主用,触发角稳定在 22°。切换后,CCP21A 系统为主用,触发角每 20 ms 在 22°与 30°之间变动一次,直流电流也相

应出现波动。

3) 再次切换系统后,CCP21B 系统为主用,触发角和电流恢复至正常(见图6)。

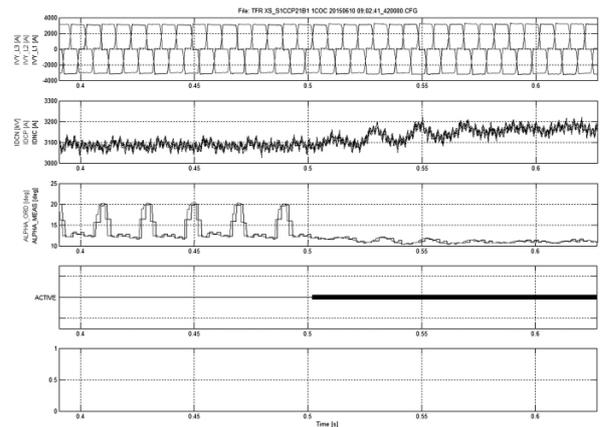


图6 CCP21B系统的录波(09:02控制系统第2次切换)

结合事件发生经过和录波分析,故障原因是 CCP21A 系统测量 IVY\_L1 板卡的故障引起极II触发角频繁调节,引发直流偏磁,从而导致了极II高、低端饱和和保护动作。而另外一套系统 CCP21B 检测到相关电流是正常的,故系统切换后饱和和保护及时复归。

深入分析 ABB 软件中关于触发角控制采样分析可以看出,特高压换流站触发角控制采样主要取高低端阀侧电流最大值 MAX\_IV 和直流侧电流 IDNC 的最大值作为实测电流值 ID\_RESP,再与电流参考值进行比较,从而确定触发角,如图7所示。当 CCP21A 系统主用时,其向极II极控系统发送的 IVY\_L1 较实际值大,当 Y/Y-A 相换流阀导通时,极II极控系统误认为 IVY\_L1 测量值大于直流电流 700 A,立即增加触发角以减小电流,导致实际直流电流减小;当 Y/Y-A 相换流阀关断后,IVY\_L1 测量值小于直流电流,控制系统又会立即减小触发角以增大电流。每 1/3 周波,触发角就会大范围变化一次,引起了触发脉冲的不对称。触发角的频繁调整引起了触发脉冲的不对称。而触发脉冲不对称是直流偏磁的原因之一,因为触发脉冲属于极控范围,导致极II高、低端换流变压器均饱和。

根据上述的故障解析可以看出,此次故障换流变压器饱和和保护动作正确,故障主要原因为极II高端阀组测量接口柜 CMI21A 柜内的 RCS862YI 板卡测量故障,引发换流变压器饱和和保护动作。运检人员进一步分析发现阀侧电流 IVY 经 H5.8 RS862YI

采样后,送至控制系统用作触发角控制,没有任何自检功能。

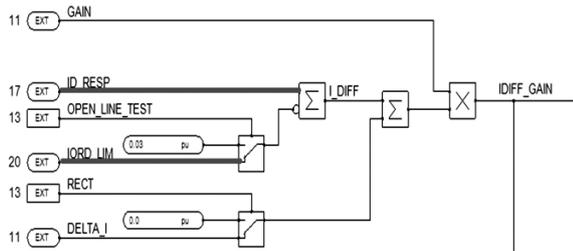


图7 电流控制器电流差值比较

综上所述,结合复龙换流站“6·10”饱和保护动作始末,从板卡的单一元件无自检以及触发角控制的采样情况进行深入分析,认为可进行以下几点改进:一是深入分析元件工作不稳定的原因,如果是产品设计、批次等问题,需要更换同类型板卡;二是完善 ABB 控制保护系统模拟量自检功能,便于及时发现板卡测量异常;三是在当前情况下,加强测量板卡监视,定期查看模拟量采样,并在年度检修期间对板卡开展零漂值检测等;四是加强换流器阀侧电流异常事故演练,发现阀侧电流异常时应及时切换系统,更换故障板卡。

(上接第77页)

每套保护系统信号回路的独立,以满足三重化冗余配置要求。

### 4 结 语

通过对换流站金属回线转换隔离开关 03001 在操作过程中发生拉弧放电,导致触头烧蚀的缺陷分析,查找到隔离开关触头烧蚀的原因为使用 85% 行程的辅助开关,在隔离开关未完全合闸到位情况下即送出合位信号,造成隔离开关触头拉弧烧蚀。并分析了此类隐患可能对一次设备以及直流控制保护系统的影响;同时简述了可行的解决方案,并且用于实际改造,改造效果良好,为国内其他换流站提供了借鉴。

#### 参考文献

[1] 马永旭,王占杰,王红敏.中性母线直流隔离开关的设计与计算[J].高压电器,2011,47(5):70-75.

### 3 结 语

复龙换流站换流变压器充电时饱和保护反复出现的报警与饱和保护报警设置不当有关,无论是定值的设定还是饱和保护报警设置都亟需改进;运行方式也要因地制宜,对于共用接地极的复龙、宜宾两个换流站,要严格杜绝一个站接地极线路检修时,另一个站单极大地回线方式运行的情况发生。而复龙换流站“6·10”换流变压器饱和保护动作事件说明控制系统和保护系统的配合上还有一些漏洞,一个小小的元件故障有可能引发直流系统的闭锁,这是需要引起警惕的。

#### 参考文献

[1] 董霞.变压器直流偏磁研究[D].济南:山东大学,2013.  
 [2] 南京南瑞继保电气有限公司.RCS977 保护装置说明书[Z].  
 [3] 文继峰,张晓宇,程骁,等.换流变压器直流偏磁与饱和保护[J].电力工程技术,2013,32(2):28-30.

作者简介:

肖资阳(1984),工程师,现主要从事特高压直流运行维护工作。

(收稿日期:2018-04-17)

[2] 赵晚君.高压直流输电工程技术(第2版)[M].北京:中国电力出版社,2011.  
 [3] 浙江大学发电教研组直流输电教研组编.直流输电[M].北京:电力工业出版社,1983.  
 [4] 高压直流隔离开关和接地开关:GB/T 25091-2010[S],2011.  
 [5] 王宇驰,司小伟.高压直流隔离开关发热问题研究[J].电气时代,2018(1):81-84.  
 [6] 高压交流隔离开关和接地开关:GB 1985-2014[S],2015.

作者简介:

孙光宇(1984),硕士、工程师,研究方向为特高压直流输电技术;

蒋张威(1992),本科、工程师,研究方向为特高压直流输电技术;

刘帅(1991),本科、助理工程师,研究方向为特高压直流输电技术;

余力(1992),本科、助理工程师,研究方向为高压直流输电。

(收稿日期:2018-03-26)