

# 换流变压器励磁涌流特性及其对差动保护的影响

张晓宇,文继锋,程 骁,莫品豪

(南京南瑞继保电气有限公司,江苏南京 211102)

**摘要:**换流变压器通常由2台两绕组变压器并联构成,这种特殊结构使其保护配置以及空载合闸时励磁涌流特性和普通变压器有很大不同。构成换流变的2台独立变压器的励磁涌流叠加可能出现明显的故障特征。结合现场的实际波形,对这种现象的产生和影响进行了详细分析,在此基础上提出了一种较为完善的换流变大差励磁涌流闭锁判据。

**关键词:**换流变压器;并联运行;励磁涌流叠加;大差差动保护;和应涌流

**中图分类号:**TM407

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2013)05-0052-03

高压直流输电由于其技术和经济上的独特优势,在我国远距离大容量输电和大区联网中得到广泛应用。高压直流输电的可靠性一定程度上决定了区域电网稳定性,作为直流换流站的主要设备,换流变压器的作用很重要,换流变保护必须保证换流变压器的设备安全及系统的可靠运行<sup>[1]</sup>。换流变的一次结构、变压器特性及保护配置都与普通变压器有很大区别,特别是大差差动保护在空载合闸时产生的励磁涌流特性和普通变压器有本质的不同,需要针对其特殊性进行详细分析,并采用与其特征对应的保护策略。

## 1 换流变与普通变压器保护的区别

换流变与普通变压器相比,应用场合不同,重要程度不同,因此不论是一次结构、电流互感器(TA)配置还是保护配置,均与普通变压器有显著差别。

### 1.1 一次结构

高电压等级大容量的换流变压器通常是由完全独立的2台两圈变压器组成,1台Y/Y接线,1台Y/D接线,2台变压器并联运行,同时投退。

换流变的电气特性也不同于普通变压器。直流输电中阀的换相过程实际上就是两相短路,为了将换相过程中的电流限制在一定范围内,换流变压器的短路阻抗要大于一般变压器。短路阻抗过大,会使换流变压器二次侧故障时短路电流较一般变压器小<sup>[2]</sup>。

### 1.2 TA配置

换流变压器和普通变压器相比,配置了较多的保护用TA,除了开关TA和变压器的套管TA外,变压器各绕组末端均配置了用于绕组差动的TA。另外,换流变低压侧为直流系统的换流阀,由于空间的限制,Y/D接线换流变的低压侧TA一般是接在三角环内。从差动保护的角度来看,2个两圈变均相当于Y/Y接线,保护装置计算差流无需进行星角变换。

### 1.3 保护配置

换流变配置了较多的TA,可以配置更加复杂和完善的差动保护。同时由于换流变压器的短路阻抗较大,内部故障情况下差电流较小,对差动保护灵敏度也提出了更高的要求。

此外,由于阀侧单相接地故障情况下是不接地系统的两相故障和直流短路的反复切换,导致差电流中含有大量谐波和直流电流。同时差电流出现间断,极端情况下该相电流可能基本消失(直流系统换相失败),导致变压器差动保护有可能在此情况下不能出口<sup>[2]</sup>。

考虑以上因素,当条件允许时,换流变通常配置8个差动保护,各保护的覆盖范围相互重叠,互为补充,如图1所示。其中TA1、TA2、TA3、TA4构成大差差动保护,保护从交流开关到阀侧的整个范围;TA3和TA5构成星接小差差动;TA4和TA6构成角接小差差动,2个小差分别保护2个小变压器。TA1、TA2、TA13、TA14构成引线差动,保护交流开关到换流变高压侧套管部分;TA5和TA7、TA6和TA8、TA3和TA9、TA4和TA10构成绕组差,分别保护换流变的4个绕组。

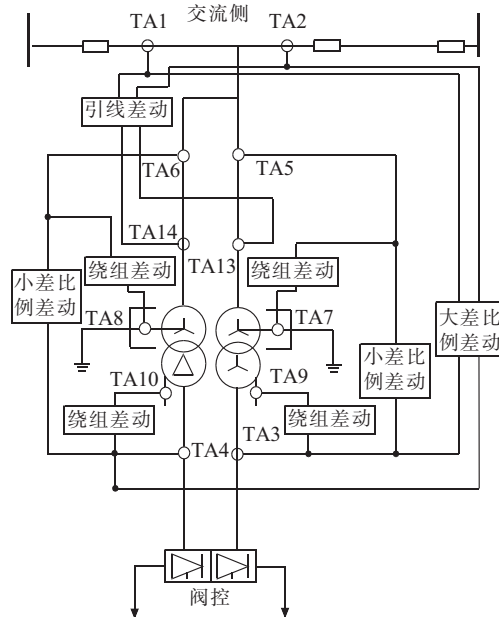


图1 换流变差动保护配置

从换流变保护的配置可以看出,排除TA传变特性的影响,当变压器引线部分无故障时,大差差流始终等于两小差差流之和。

## 2 换流变空投时励磁涌流特性分析

由于换流变的大差差流等于两小差差流之和,在特殊情况下,大差差流可能出现非常明显的故障特征。下面结合换流变的一次实际空充波形,对这种现象进行分析。

### 2.1 现场波形

现场实际一次接线和TA配置与图1相同。TA2处的开关处于断开状态,无电流;阀侧未解锁;换流变通过TA1处开关空载合闸。各TA电流波形如下(以下所有波形和分析均以A相电流为例)。其中图2、图3、图4为TA实际测量电流,TA1的电流等于TA5和TA6之和;图5为消除直流分量 and 标幺化后的大差差流波形;图6、图7、图8分别为2个小差和大差差流中的二次谐波含量。

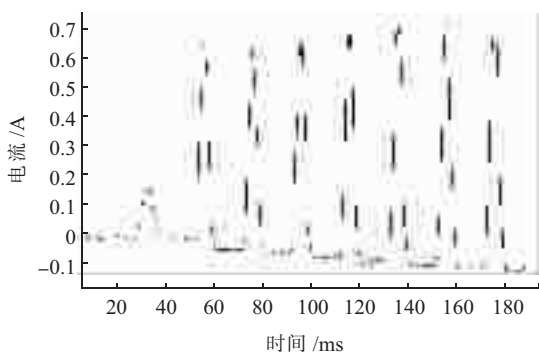


图2 Y/Y换流变网侧套管TA5电流

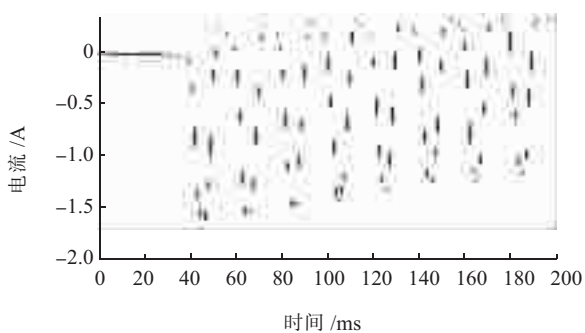


图3 Y/D换流变网侧套管TA6电流

### 2.2 换流变大差励磁涌流的特殊性

从上述波形可以看出,该次空充两小差电流均偏于时间轴一侧,有较高的二次谐波含量(均高于30%),具有明显的涌流特征。但大差励磁涌流基本关于时间轴对称,谐波含量很低(低于5%),涌流特征很弱,呈现故障特征。

从现场实际录波来看,换流变大差的励磁涌流和普通变压器的励磁涌流有较大区别。普通变压器涌流

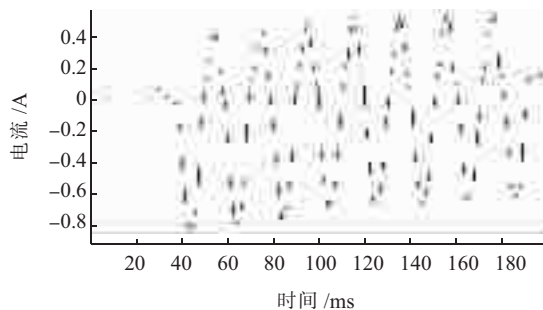


图4 网侧开关TA1电流

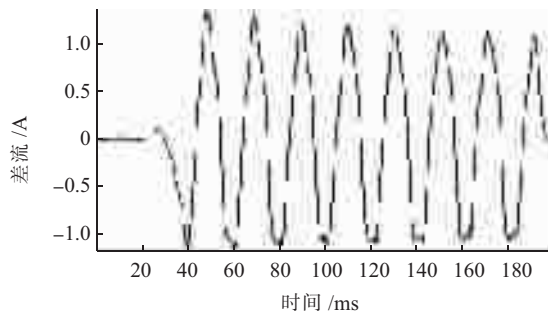


图5 大差差流

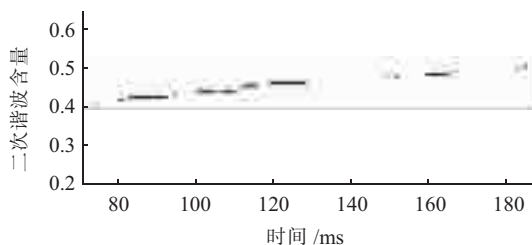


图6 Y/Y换流变小差二次谐波含量

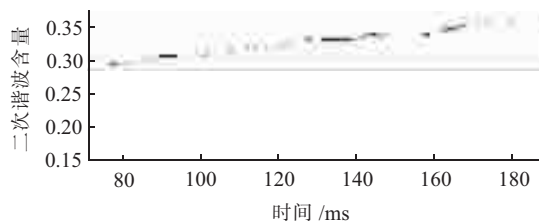


图7 Y/D换流变小差二次谐波含量

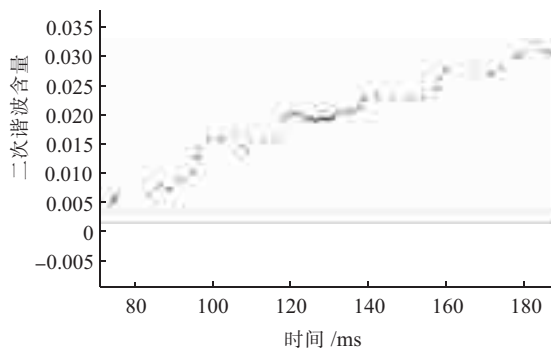


图8 大差二次谐波含量

一般偏于时间轴一侧,衰减较快;而换流变的励磁涌流可能出现关于时间轴对称、衰减较慢、谐波含量较低的

情况。产生这种不同的最主要原因为换流变大差的励磁涌流是2台变压器励磁涌流的综合结果。由于每小变压器有自己独立的磁回路,因此会产生独立的励磁涌流,当2个励磁涌流的直流分量和二次谐波分量刚好大小接近,方向相反时,和电流中工频分量会占据绝大部分,从而产生非常明显的故障特征。

Y/Y和Y/D2台变压器虽然空充时的电压初始相位相同,但仍然可能产生不同的励磁涌流,主要有以下几个影响因素:(1)空充前初始剩磁不同<sup>[3]</sup>。(2)2台独立变压器,变比不同,铁磁饱和特性不可能完全相同。特别是部分换流变Y/Y和Y/D变压器可能由不同的厂家供货。(3)Y/D换流变由于低压侧存在三角环,在空充过程中会出现一定的零序环流,从而对变压器磁通产生影响。而Y/Y变压器因为阀处于未解锁状态且低压无三角环,所以空充过程中低压侧基本无电流。

可以看出,Y/Y和Y/D2台变压器的励磁涌流受很多因素影响,一般不会完全相同,特殊情况下和电流确实可能出现工频分量高且直流和二次谐波含量低的情况。此外由于2台变压器同时空充,涌流之间会相互影响,产生比较复杂的和应涌流,造成涌流衰减速度比较慢,甚至可能在一段时间内出现逐渐增大的情况<sup>[4]</sup>,如图2所示。

### 2.3 对保护的影响

由于换流变差动保护使用的TA之间不存在角差,因此差动保护无需进行星角变换,各相差流均可独立计算,无相互影响。为保证区内故障时保护可快速出口,差动保护的涌流判据可采用分相闭锁方式,即一相涌流判据满足就可以开放本相保护。因为大差的这种特殊励磁涌流和变压器单相故障的波形非常相似,而且涌流衰减速度很慢,如不采取措施,大差差动在空充时存在误动的可能性。

## 3 解决方案

空充时大差差动存在误动的可能,因此需要对现有保护判据进行修改完善。

### 3.1 现有的电流判据无法可靠闭锁

目前判别励磁涌流最主要的是二次谐波原理,此外还有间断角原理,波形识别等方法<sup>[5]</sup>。这些方法中绝大多数都是以差流波形为基础进行分析。实际上所有波形都可以分解成直流、基波、二次谐波、其他各次谐波之和。当波形中的直流分量、二次谐波、其他各次谐波都较小时,说明该波形以基波工频分量为主,和短路时的故障电流无明显区别,因此所有单纯基于相差流的判据均无法可靠闭锁。若要解决这个问题,需要引入大差差流之外的其他电气量进行辅助判别。

### 3.2 小差差流和网侧电压相结合的判别方式

从物理概念上来讲,小差的励磁涌流具有实际的物理意义,因此小差差流和大差相比,可以更直接地反应变压器的工作状态。从上述现场实际波形也可以看出,2个小差电流均有明显的涌流特征,二次谐波含量也较高,利用现有主流方法均可可靠识别。因此可以使用2个小差的励磁涌流判据闭锁大差对应相,即大差动作除自身涌流判据开放外,还需两小差中任一一对应相的涌流判据开放。但大差和小差相比,其保护范围是不同的,因此不能单纯的考虑空充时的励磁涌流,还要兼顾合闸于故障和实际运行中发生故障的情况。

采用小差闭锁大差的方式,当小差范围内发生故障时,小差励磁涌流判据可以开放,因此大差保护不受影响。但当变压器引线上发生故障时,该故障对于小差为穿越性故障,小差差流可能很小,其涌流判据无法给出正确结果,可能造成大差差动保护拒动。由于这种引线故障一般为纯金属故障,故障特征明显,电压有明显跌落,因此可使用换流变网侧电压进行辅助判别。当识别到网侧电压明显低于正常电压时,大差不经小差涌流判据闭锁。

综上所述,可采用结合小差涌流判据和电压的方法对大差涌流闭锁判据进行完善。当网侧电压正常时,使用两小差的涌流判据闭锁大差差动;当网侧电压明显低于额定电压时,大差涌流判据不变,不受小差影响。使用这种综合闭锁判据,再结合换流变冗余度很高的差动保护配置,既可保证空投过程中大差保护可靠闭锁,又可保证发生区内故障时保护动作时间不受影响。

## 4 结束语

从换流变独特的一次结构和保护配置出发,分析了换流变空充时,大差差流中出现明显故障特征的原因,对这种特殊的励磁涌流的产生原因和特性进行了详细分析,并提出了结合小差涌流判据和网侧电压的换流变大差励磁涌流闭锁判据。

### 参考文献:

- [1] 韩晓东,翟亚东.高压直流输电用换流变压器[J].高压电器,2002,38(3):5-6.
- [2] 肖燕彩,文继锋,袁源,等.超高压直流系统中的换流变压器保护[J].电力系统自动化,2006,30(9):91-94.
- [3] 张红跃.换流变大差保护励磁涌流识别的思考[J].电力系统保护与控制,2011,39(20):151-154.
- [4] 邵德军,尹项根,张哲,等.基于基波幅值增量的变压器和应涌流识别方法[J].中国电机工程学报,2010,30(10):151-154.
- [5] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用[J].北京中国电力出版社,1996.

## 参考文献:

- [1] 王成山,李 鹏.分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J].电力系统自动化,2010,34(2):10-14.
- [2] 金 逸,刘 伟,查显光,等.智能变电站状态监测技术及应用[J].江苏电机工程,2012,31(2):12-15.
- [3] 丁晓群,陆鹏程,周 玲.智能配电网 AVC 技术探讨[J].江苏电机工程,2011,30(2):52-54.
- [4] 陈 斌.基于多次重判断技术的谐振接地系统选线新方法[J].华中电力,2011,24(3):31-34.
- [5] 李 炜,陈 剑,姜美玲,等.考虑电容电流的同塔双回线接地距离保护零序电流补偿系数的整定[J].电网技术,2012,36(7):281-284.
- [6] 陈晓娟,刘晓翠,于远志.基于多判据融合的小电流单项接地故障选线法[J].东北电力大学学报,2010,30(1):53-56.
- [7] 张 明,刘建政,梅红明,等.谐振型电网单相接地故障消弧及选线研究[J].电工电能新技术,2011,30(1):36-39(83).
- [8] 安 华.小电流接地系统自动跟踪消弧线圈装置[J].山西电力,2009(4):61-63.
- [9] 李甫成,赵桂英.一种小电流接地选线新方法的研究[J].新疆电力技术,2010(2):44-46.
- [10] 窦新宇,李春明.基于小波变换的小电流接地故障选线仿真研究[J].电力科学与工程,2011,27(2):41-43(71).
- [11] 张慧芬,潘贞存,张 帆.一种配电网单相接地故障综合选线方法[J].高电压技术,2008,34(4):788-793.

## 作者简介:

许小兵(1980),男,江苏无锡人,工程师,从事电力生产管理工作;  
董丽金(1980),女,江苏无锡人,工程师,从事电力生产管理工作;  
袁 栋(1981),男,江苏无锡人,工程师,从事电力生产管理工作。

## Research and Implementation of Neutral Ineffective Fault Line Selection Device for Low Current System of Smart Substation

XU Xiao-bing<sup>1</sup>, DONG Li-jin<sup>1</sup>, YUAN Dong<sup>2</sup>

(1. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214000, China; 2. Yixing Power Supply Company, Yixing 214200, China)

**Abstract:** With considering data exchange between feeders of a smart substation, a new fault line selection device is designed without assembling any other devices. The designed device collects fault information of feeders through GOOSE and synchronizes the fault information of various feeders by using residual voltage as the reference of time. The fault line in the isolated neutral system is located by stable state quantity algorithm while the fault line of arc suppression coil grounding system is located by stable state quantity and transient state quantity combination algorithm. The RTDS testing results show that the proposed device is effective to locate the fault lines in various operational conditions of smart substation.

**Key words:** low current system; GOOSE; transient component arithmetic; stable state quantity arithmetic; residual voltage; smart substation

(上接第 54 页)

## 作者简介:

张晓宇(1981),男,吉林吉林人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;  
文继锋(1978),男,江西萍乡人,高级工程师,从事电力系统继电保

## 护研究与开发工作;

程 骁(1978),男,河南安阳人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作;  
莫品豪(1985),男,广西贵港人,工程师,从事电力系统继电保护研究与开发工作。

## The Characteristic of the Inrush Current of Converter Transformer and Its Impacts on Differential Protection

ZHANG Xiao-yu, WEN Ji-feng, CHENG Xiao, MO Pin-hao  
(Nanjing Nari-relays Electric Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Converter transformer is composed of two parallel two-winding transformers. This kind of connecting mode makes its protection configuration and inrush characteristics much different from common transformer. The overlay of the inrushes of two independent transformers may result in a similar characteristic of internal faults. Based on the analysis of the cause and influence of such a phenomenon of a real converter transformer, an effective criterion for the block of overall differential protection of converter transformer is proposed.

**Key words:** converter transformer; parallel operation; inrush current stacking; overall differential protection; sympathetic inrush