

# 220 kV 变压器中性点经隔直装置 和限流电抗器接地应用

刘起钟<sup>1</sup> 魏 巍<sup>2</sup> 张剑平<sup>1</sup> 严天元<sup>1</sup> 孙鹏程<sup>1</sup>

(1. 四川泸州川南发电有限责任公司 四川 泸州 646007;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072)

**摘要:** 为确保主变压器的安全运行,四川泸州川南发电有限责任公司在220 kV主变压器中性点加装隔直装置和限流电抗器,以大幅减小单相接地故障时流过主变压器的故障电流,并抑制近区直流输电线路不对称方式运行时流过主变压器中性点的直流电流。经过仿真计算分析,加装隔直装置和限流电抗器后对线路保护、主变压器保护、发电机保护均不会造成较大影响。

**关键词:** 主变压器; 中性点; 隔直装置; 限流电抗器

**Abstract:** In order to ensure the safe operation of main transformer, Sichuan Luzhou Chuannan Power Generation Co. Ltd installs neutral DC current blocking device (NCBD) and current limiting reactor in neutral point of 220 kV main transformer to significantly reduce the single-phase fault current when occurring single-phase earth fault in high-voltage side of main transformer, and suppress the DC current flowing through neutral point of main transformer when the nearby HVDC transmission lines is not in symmetry operating mode. The simulation calculation and analysis show that the influence on line protection, main transformer protection and generator protection are not obvious after installing NCBD and current-limiting reactor in neutral point of 220 kV main transformer.

**Key words:** main transformer; neutral point; neutral DC current blocking device; current-limiting reactor

中图分类号: TM471 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)05-0067-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.015

## 0 引言

随着十二五至十三五期间四川电网结构的不断加强,川内部分变电站出现单相短路电流高于三相短路电流的现象,成为限制电网运行和发展的主导因素之一。单相接地故障为电网常见故障,其短路电流过大会影响变压器的安全,实践应用表明,变压器中性点加装小电抗接地对限制单相接地故障时短路电流的效果明显。另一方面,直流输电的快速发展带来了直流偏磁的问题,当直流输电线路(HVDC)不对称方式运行时,导致直流电流从变压器的中性点流入到变压器内部。流过较大直流分量的变压器可能发生磁饱和,导致系统正常运行时这些变压器出现振动加剧、噪声增大、局部过热等问题,影响变压器本身的安全,也会影响电网的正常运行。

2014年,四川泸州川南发电有限责任公司(以下简称方山电厂)220 kV架空输电线路发生单相接

地故障,流过主变压器高压侧绕组的电流高达7 550 A,接近主变压器生产厂家短路计算报告的短路电流值。同时方山电厂处于复奉和宾金±800 kV特高压直流输电线路接地极附近,在复奉直流或宾金直流输电线路不对称方式运行时,测得流过方山电厂主变压器中性点直流电流最大值为18 A(仿真计算分析,可能流过主变压器中性点的最大直流电流为40 A),远远超过变压器额定允许流过的直流电流(8.59 A)。

为保证主变压器运行安全,方山电厂采取在220 kV主变压器中性点加装隔直装置和限流电抗器的措施限制单相接地故障短路电流和抑制主变压器中性点直流电流。

## 1 220 kV 主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器方案

根据四川电网正常运行方式下变压器中性点接

地方案,对有3台及以上220 kV变压器运行的双母线接线方式的厂站,正常与检修时两段母线上应各有1台220 kV变压器中性点直接接地,另1台220 kV变压器中性点经间隙接地运行。结合方山电厂具有3台220 kV变压器(其中两台主变压器,1台启备变压器)的实际,主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器仅用于1号、2号主变压器,每台主变压器中性点侧加装1台限流电抗器,通过电缆接至隔直装置,隔直装置仅安装1台,为两台主变压器公用,即1套变压器中性点隔直装置既可用于1号主变压器中性点通过1号限流电抗器和隔直装置接地,也可用于2号主变压器中性点通过2号限流电抗器和隔直装置接地,但同一时间仅允许1台主变压器中性点通过限流电抗器和隔直装置接地运行。原理接线图见图1。

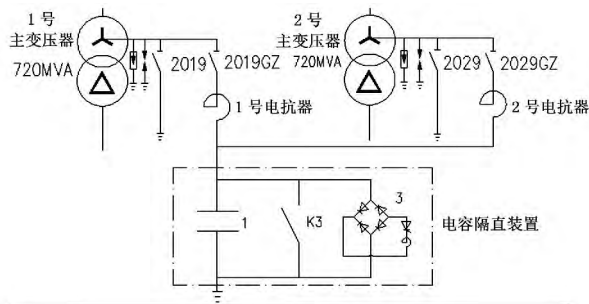


图1 主变压器中性点加装隔直装置及小电抗器简化接线图

2019GZ为1号主变压器中性点通过1号限流电抗器和隔直装置接地的隔离刀闸,2029GZ为2号主变压器中性点通过2号限流电抗器和隔直装置接地的隔离刀闸,不允许2019GZ和2029GZ同时合上。

1号、2号电抗器为限制单相接地故障时短路电流的限流电抗器。

电容隔直装置由电容器、机械旁路开关和快速旁路回路并联而成,接于主变压器中性点限流电抗器和大地之间。在未检测到直流电流流经主变压器中性点时,机械旁路开关K3为合上位置,主变压器中性点通过机械旁路开关接地。当检测到流经主变压器中性点的直流电流超过限值时,机械旁路开关转为断开位置,使电容器投入,起到阻隔直流电流的作用,主变压器中性点通过隔直电容接地。一旦检测到流经主变压器中性点的交流电流超过限值时,装置控制器即判断为交流电网发生不对称短路故障,快速旁路回路立即触发导通,同时机械旁路开关

转为合上位置,保证主变压器中性点可靠接地。

## 2 220 kV 主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器接地后电磁暂态分析

### 2.1 单相接地故障时电磁暂态分析

以离方山电厂最近的220 kV方泸线(方山—泸州)出现短路故障为例。

#### 1) 未加装隔直装置及限流电抗器前220kV线路单相短路时主变压器电磁暂态分析

设定 $t=1.0\text{ s}$ 时,方山220 kV母线出现A相接地短路故障,在未加装隔直装置及限流电抗器时可以得到方山1号、2号主变压器中性点电压、1号主变压器中性点电流以及启备变压器中性点电流波形如图2~图3所示(图中电压、电流均为瞬时值。横坐标单位为s,纵坐标单位为kV、kA)。

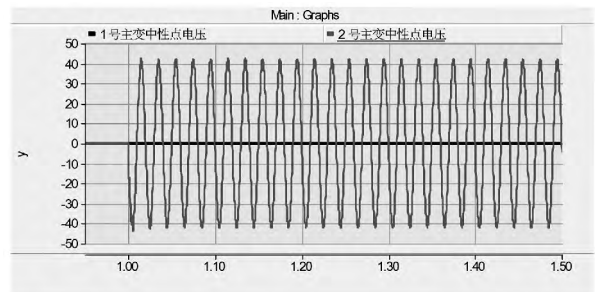


图2 220 kV 线路单相短路时1号、2号主变压器中性点电压

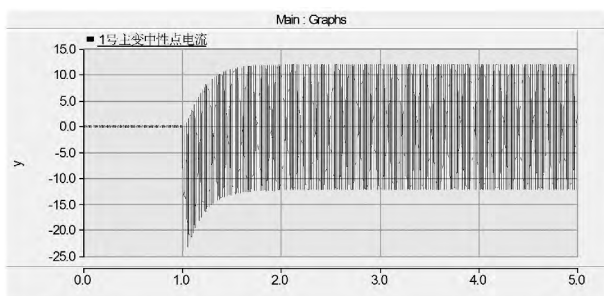


图3 220 kV 线路单相短路时1号主变压器中性点电流

由图2~图3可知,主变压器中性点未加装隔直装置及限流电抗器前,当方山220kV母线出现A相接地短路故障,1号主变压器中性点稳态电压为0,2号主变压器中性点稳态电压接近29.7 kV,流过1号主变压器的中性点电流约为8.8 kA。

#### 2) 加装隔直装置及限流电抗器后220 kV线路单相短路时主变压器电磁暂态分析

设定 $t=1.0\text{ s}$ 时,方山220 kV母线出现A相接

地短路故障, 在加装隔直装置及限流电抗器后可以得到方山 1 号、2 号主变压器中性点电压、1 号主变压器绕组电流、中性点电流波形如图 4 ~ 图 7 所示。

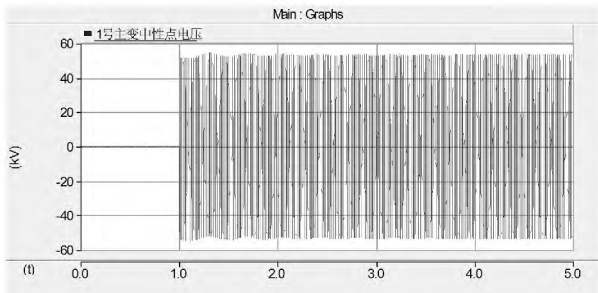


图 4 220 kV 线路单相短路时 1 号主变压器中性点电压

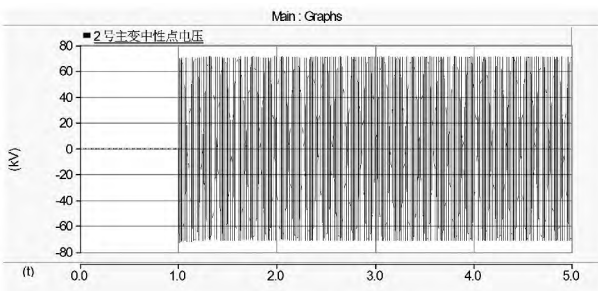


图 5 220 kV 线路单相短路时 2 号主变压器中性点电压

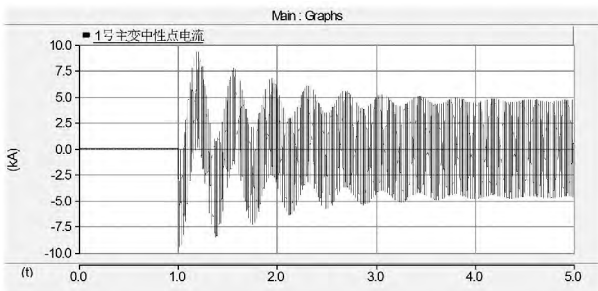


图 6 220 kV 线路单相短路时 1 号主变压器中性点电流

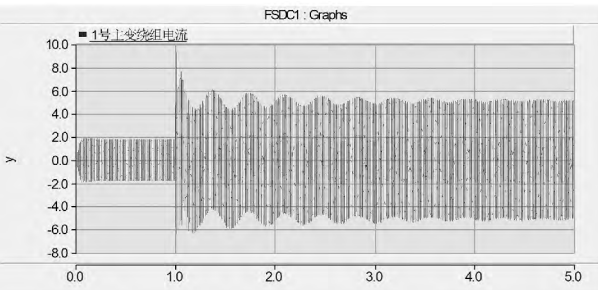


图 7 220 kV 线路单相短路时 1 号主变压器绕组电流

由图 4 ~ 图 7 可知, 主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器后, 当方山 220 kV 母线出现 A 相接地短路故障, 1 号主变压器中性点稳态电压峰值为 53.1 kV, 2 号主变压器中性点稳态电压峰值接近 72.5 kV, 流过 1 号主变压器中性点电流峰值约为

4.4 kA, 流过 1 号主变压器高压侧绕组故障相电流峰值约为 4.2 kA。

3) 单相接地故障时加装隔直装置及限流电抗器前后的数据对比分析

表 1 加装前后数据对比表

	未加装前	加装后
1 号主变压器中性点电压	0	53.1 kV
2 号主变压器中性点电压	29.7 kV	72.5 kV
1 号主变压器中性点电流	8.8 kA	4.4 kA

注: 以 1 号主变压器高压侧 A 相接地故障为例

加装隔直装置及限流电抗器后, 当方山 220 kV 母线侧发生 A 相接地短路故障, 流过 1 号主变压器中性点电流峰值由 8.8 kA 下降为 4.4 kA, 且不会破坏主变压器中性点绝缘。

## 2.2 其他短路故障时电磁暂态分析

对方山电厂出口 220 kV 方泸线两相短路故障、周边 500 kV 线路单相短路故障、两相短路故障进行仿真计算, 主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器的参数满足安全稳定要求, 对方山近区 500 kV 输电线路的操作过电压, 220 kV 工频过电压没有明显的影响, 且均未超过标准规定。

## 3 对继电保护的影响分析

### 3.1 加装隔直装置及限流电抗器前后电压电流计算结果

由于在方山主变压器中性点加装电容主要影响系统的零序网络, 因此首先针对方山电厂主变压器高压侧和泸州站中压侧单相短路电流和两相对地短路电流进行分析, 计算结果如表 2 ~ 表 3 所示。

表 2 单相短路计算结果

		未加装前/kA	加装后/kA
方山高压侧	正序	11.63	10.01
	零序	11.63	10.01
泸州中压侧	正序	13.08	12.15
	零序	13.08	12.15

根据表 2 ~ 表 3 计算结果显示, 在方山和泸州 220 kV 母线发生不对称故障, 中性点小电抗对抑制短路电流起到了明显效果, 单相短路最大零序电流减小 1.6 kA, 两相短路最大零序电流减小 3.7 kA。

表3 两相接地短路计算结果

		未加装前/kA	加装后/kA
方山高压侧	正序	22.57	20.53
	零序	13.85	10.12
泸州中压侧	正序	25.38	24.01
	零序	15.88	13.24

### 3.2 加装隔直装置及限流电抗器后对继电保护的影响分析

#### 3.2.1 对线路保护的影响分析

##### 1) 线路相间距离保护

由于主变压器中性点接地方式的改变不影响三相短路和两相短路的序网图,因此主变压器接地方式的改变对线路保护的相间距离保护不会产生影响。

##### 2) 接地距离保护

根据方山电厂主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器前后的故障电压、电流计算数据表明,不同故障地点以方山220kV母线发生单相短路接地故障时故障电流变化最大。以方山—泸州线泸州侧保护来说,主变压器中性点装设小电抗前接地距离保护所测的故障点距泸州2.06428Ω,按照实测参数装设小电抗后所测值为2.07141Ω左右,变化率为0.34%。计算结果表明,实测参数方山主变压器中性点加装小电抗后,故障相短路电流和零序电流会有不同程度的减小,但是由于变化率均未超过0.5%,因此不会对距离保护的灵敏度产生明显影响。

##### 3) 零序电流保护

主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器后,故障过程中零序电流减小,但是由于变化率较小,因此不会对线路零序电流保护产生明显影响。

#### 3.2.2 对主变压器保护的影响分析

##### 1) 主变压器主保护

对于主变压器主保护——差动保护而言,主变压器中性点接地方式的变化不会影响差动保护中的差动电流与制动电流的数值关系,因此不会对差动保护产生影响。

##### 2) 主变压器负序电流保护

主变压器中性点接地方式的变化,不影响正序和负序等值网络,所以也不会对负序过流保护产生任何影响。

##### 3) 零序过电流保护

加装隔直装置及限流电抗器后,主变压器中性点电流约为4.4kA。方山电厂零序I段电流定值整定4.58kA,零序II段电流定值整定0.99kA,主变压器零序过流I段定值需要重新整定,零序II段

定值不需要调整。

#### 3.2.3 对发电机保护的影响分析

由于主变压器中性接地点位于其高压侧,发电机侧(变压器低压侧)绕组为三角形接线,零序电流无法流通,故发电机的零序等值网无变化;另外,主变压器中性点的接地方式不影响发电机侧的正序和负序等值网络;因此,主变压器中性点加装隔直装置及限流电抗器接地对发电机保护不会有任何影响。

## 4 谐振风险评估

加装隔直电容和限流电抗器后,电容器和电抗器的谐振频率为

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 3.23 \text{ Hz}$$

谐振频率远远小于基波频率。 $X_L/X_C = 244$ 远大于1,因此不会发生串联谐振。

## 5 结论

方山电厂主变压器中性点加装电容隔直装置及限流电抗器,经过对不同故障地点下的电压电流进行仿真计算和分析可知,能够大幅减小单相接地故障时流过主变压器的故障电流,并抑制直流输电线路不对称方式运行时可能流过主变压器中性点的直流电流,且对线路相间保护、线路接地距离保护、线路零序电流保护、主变压器主保护、主变压器负序电流保护、发电机保护均不会造成较大影响。

#### 参考文献

[1] 于化鹏,陈水明,杨鹏程,等. 220 kV 变压器中性点经小电抗接地方式[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 146 - 151.

[2] 袁娟,刘文颖,董明齐,等. 西北电网短路电流的限制措施[J]. 电网技术, 2007, 31(10): 42 - 45.

[3] 陆国庆,姜新宇,江健武,等. 110 kV 及 220 kV 系统变压器中性点经小电抗接地方式的研究及其应用[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 70 - 74.

[4] 朱艺颖,蒋卫平,曾昭华,等. 抑制变压器中性点直流电流的措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13): 1 - 7.

#### 作者简介:

刘起钟(1981),工程师,大学本科,从事发电厂继电保护技术管理工作。(收稿日期:2015-08-11)