

# 郑州变电站 220kV 母差保护误动原因分析

高航,张太升,何南强,鄢安河,郭耀珠,杜凌

(河南省电力公司,河南 郑州 450052)

关键词: INX-5; 母差; 误动

中图分类号: TM773

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)04-0054-03

## 1 引言

河南省郑州变电站 220kV 母线采用的是 BBC 公司的 INX-5 型保护,该保护没有复合电压闭锁。2001 年 2 月 28 日和 6 月 17 日该母差在倒母线操作时误动,本文对此进行了分析。

## 2 INX-5 型母差保护简介

### 2.1 INX-5 型母差保护的判据

文献[1]给出的母差保护判据是:

$$\begin{cases} |i| > I_{kmin} \text{ 连续 } 5\text{ms} \\ |i| > K \sum |i| \end{cases}$$

式中,  $i$ —差电流瞬时值;  $I_{kmin}$ —母差保护电流启动值;  $K$ —比率制动系数定值;  $\sum |i|$ —所有分支电流瞬时值的绝对值之和。

### 2.2 INX-5 型母差保护在支路倒闸操作时的行为

正常运行时,INX-5 型母差保护没有大差,在倒闸操作时,倒闸支路的两个刀闸都闭合时,保护通过二次辅助触点的自动切换,把母联电流闭锁,同时把两个母线上所有支路的电流形成差流入差动继电器。这种动作逻辑要求在倒闸操作时,隔离刀闸的二次辅助触点必须先于隔离刀闸一次触头电气接触前合上,二次辅助触点又必须落后于隔离刀闸一次触头电气断开后打开。这样在整个倒闸过程中母差采用的是大差,母差感受不到差流。

表 1 操作前电流记录

日期	倒闸支路电流(A)	母联电流(A)	整定值(A)
2月28日	1000	530	1000
6月17日	520	900	1500

## 3 郑州变母差两次误动的差流分析

### 3.1 两次误动的简单情况

保护误动后,对刀闸的二次辅助触点闭合时间进行检查,发现只有 A 相能满足要求。因此,在倒闸过程中,母差感受到了差流。表 1 是两次误动前

母联和支路电流情况。

### 3.2 倒闸过程中母差感受到的差流分析

图 1 是郑州 220kV 母线的简单示意图,在倒闸操作前,要进行操作的支路运行于母。

跨接前根据节点电流定理,有:

$$i + i_3 - i_{m0} = 0 \quad (1)$$

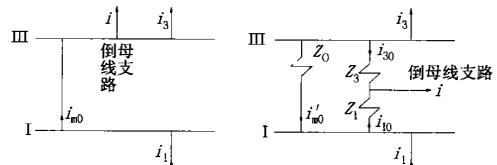
$$i_1 + i_{m0} = 0 \quad (2)$$

由于跨接前后郑州变外部的系统条件没有改变,而且外部系统的阻抗与跨接刀闸的阻抗比较起来可以认为是无穷大,支路电流  $i$ 、 $i_1$ 、 $i_3$  不会改变(从试验中各支路电流的录波图也可以看出)。刀闸跨接后有以下等式成立:

$$i = i_{10} + i_{30} \quad (3)$$

$$-i_1 = i_{m0} + i_{10} \quad (4)$$

$$i_{10} Z_1 = i_{m0} Z_0 + i_{30} Z_3 \quad (5)$$



跨接前

跨接后

图 1 倒闸支路 I 母刀闸跨接前后电流示意图

图中:  $i_{m0}$ —倒闸操作前的母联电流;  $i$ —倒闸操作前倒闸支路的电流;  $i_1$ —倒闸操作前的母上所有支路的等值电流和;  $i_3$ —倒闸操作前的母上其它支路的等值电流和;  $i_{m0}$ —刀闸跨接后的母联电流;  $i_{10}$ —刀闸跨接后操作支路母刀闸流过的电流;  $i_{30}$ —刀闸跨接后操作支路母刀闸流过的电流;  $Z_0$ 、 $Z_1$ 、 $Z_3$ —相应导线段的阻抗。

假设  $i$ 、 $i_{m0}$  已知,由(2)、(3)、(4)、(5)式可以解得:

$$i_{10} = \frac{i_{m0} Z_0 + i Z_3}{Z_0 + Z_1 + Z_3} \quad (7)$$

$$i_{30} = \frac{-i_{m0} Z_0 + i(Z_1 + Z_0)}{Z_0 + Z_1 + Z_3} \quad (8)$$

$$i_{m0} = \frac{i_{m0}(Z_1 + Z_3) - iZ_3}{Z_0 + Z_1 + Z_3} \quad (9)$$

由于二次辅助触点不满足要求, I 母、母都应该感受到差流,假设差流正方向为流向母线,则:母差流为  $i = -i_1 - i_{m0} = i_{m0} - i_{m0} = i_{10}$ ; 母差流为  $i = i_{m0} - i - i_3 = i_{m0} - i_{m0} = -i_{10}$ 。

由此可知: 母、母感受到的差流大小相等,方向相反,差流实际上就是在刀闸跨接前后母联电流之差;差流也就是刀闸跨接后倒闸支路母刀闸上流过的电流。

母联回路的等效阻抗  $Z_0$  包括母联开关的阻抗、两个母联刀闸的阻抗、两段刀闸与母线联线的阻抗、一部分母线的阻抗,而  $Z_1$ 、 $Z_3$  只包括一个刀闸的阻抗和刀闸与母线联线的阻抗,因此,可以认为  $Z_0 \gg Z_1$ 、 $Z_0 \gg Z_3$ ,有:

$$i_{m0} = \lim_{\substack{Z_0 \gg Z_1 \\ Z_0 \gg Z_3}} \frac{i_{m0}(Z_1 + Z_3) - iZ_3}{Z_0 + Z_1 + Z_3} = 0;$$

$$i = \lim_{\substack{Z_0 \gg Z_1 \\ Z_0 \gg Z_3}} \frac{i_{m0}Z_0 + iZ_3}{Z_0 + Z_1 + Z_3} = i_{m0}$$

就是说跨接后母联电流应该是很小,而保护感受到的差流接近于母联电流。需要指出的是,(7)、(8)、(9)三个公式虽然是用电流的瞬时值导出的,它们对稳态电流的有效值也是实用的。

## 4 母差保护误动原因分析

### 4.1 暂态过程对保护的影响

从差流录波图上看,差流中存在暂态过程,根据 INX-5 型保护的机理,暂态过程中的直流分量会引起电流波形偏移,从而影响保护的动作情况。

电感回路对正弦激励的全响应可以表示为:

$$i = [i_0 - \sqrt{2}I\sin(\omega t - \varphi)]e^{-t/\tau} + \sqrt{2}I\sin(\omega t + \varphi)$$

式中:  $i_0$ —电路中的初始电流,也就是操作前的电流;  $I$ —电路稳态电流的有效值;  $\varphi$ —合闸角;  $t$ —时间;  $\tau$ —回路时间常数;  $\omega = 2\pi f$ ,对于 50Hz 的基波  $\tau = 100 \mu s$ 。

根据倒闸操作的实际情况,差流实际上就是操作支路母刀闸上流过的电流,而跨接前这个电流应该为 0,差流稳态值应该就是前面推导的  $i$ ,若不考虑衰减,差流为:

$$i = -\sqrt{2}I\sin(\omega t - \varphi) + \sqrt{2}I\sin(\omega t + \varphi) \quad (10)$$

( $I$  就是由(7)式得到的有效值)

#### 4.1.1 差动保护的第一个条件肯定能满足的情况

(10)式中  $i$  的变化范围是  $0 \sim 2I$ ,为简单起见,

只讨论  $0 < \varphi < \pi/2$  的情况。在  $\varphi < \pi/2$  的范围内可以得到完全相同的结果。为了保证差动保护可靠动作,应该在差动保护判据的第一个条件最不容易满足的时候使之满足。令  $\sin(\omega t - \varphi) = 0$ ,此时差流为  $i = \sqrt{2}I\sin(\omega t + \varphi)$ ,

$$\text{令 } |\sqrt{2}I\sin(\omega t + \varphi)| = I_{kmin}$$

$$\text{解得: } \omega t_1 = \sin^{-1} \frac{I_{kmin}}{\sqrt{2}I}, \quad \omega t_2 = \pi - \sin^{-1} \frac{I_{kmin}}{\sqrt{2}I}$$

而 5ms 对应于基波讲相当于  $\frac{1}{20}$ ,因此条件  $|i| > I_{kmin}$  连续 5ms 就相当于:  $\omega t_2 - \omega t_1 > \frac{1}{20}$ ,可以解得:

$I_{kmin} < I$ 。也就是说,只要保证使差流的有效值大于差流启动定值,保护的第一个条件就能满足。这说明:虽然在计算定值的时候,我们用的是稳态电流有效值(因为短路计算用的是有效值),而保护内部却把这个有效值当成一个直流电平去和差流的瞬时值进行比较,但是只要稳态差流的有效值大于整定值,保护肯定能动。

#### 4.1.2 差动保护的第一个条件肯定不能满足的情况

显然,  $\sin(\omega t + \varphi) = 1$  或  $-1$  的时候差动保护第一个条件最容易满足,取  $\varphi = \pi/2$  来讨论,此时差流为:  $i = -\sqrt{2}I + \sqrt{2}I\sin(\omega t + \pi/2) = -\sqrt{2}I + \sqrt{2}I\cos(\omega t)$ 。用类似 4.1.1 中的推导方法可以得出第一个判据不满足的条件是:  $I < I_{kmin}/(\sqrt{2} + 1)$ 。这说明:为保证倒闸操作时母差保护不误动,理论上只要保证倒闸操作前的母联电流和要进行倒闸操作的线路的电流有效值  $I < 0.4142 I_{kmin}$  就行了。

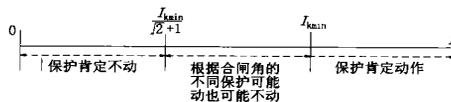


图 2 暂态分量对 INX-5 型母差保护动作的影响

讨论结果如图 2 所示,这是在理想条件下得出的,没有考虑其它因素的影响。从 2.28 和 6.17 的实际情况来看,当时差流(约等于母联电流)处于保护可能动也可能不动的范围内。

#### 4.2 谐波对保护的影响

INX-5 型母差没有滤波回路,任何电流波形畸变都会对保护动作产生影响。INX-5 型母差保护采用了阻抗变压器,根据文献[4],阻抗变压器对谐波有放大作用。郑州变的 8 条出线中有 4 条(郑金、郑峡、郑柳)带有电感性负荷,根据文献[5],对于河南境内地铁牵引变压器的所有接线形式,系统

都可以感受到奇次谐波,谐波的大小与谐波次数成反比。

从图3中可以看出谐波对INX-5型母差保护的影响:(a)图,对于定值 $I_{kmin-1}$ ,谐波使电流大于定值的时间延长,会引起保护误动;对于定值 $I_{kmin-2}$ ,谐波使得电流大于定值的时间减少,会引起保护拒动。(b)图,对于定值 $I_{kmin-1}$ ,谐波使得电流大于定值的时间缩短,会引起保护拒动;对于定值 $I_{kmin-2}$ ,谐波使得电流大于定值的时间增加,会引起母差误动。实际上,谐波分量不会象图示的那么大,但谐波分量对INX-5型母差保护仍有较大的影响。

的时间,如表3所示。

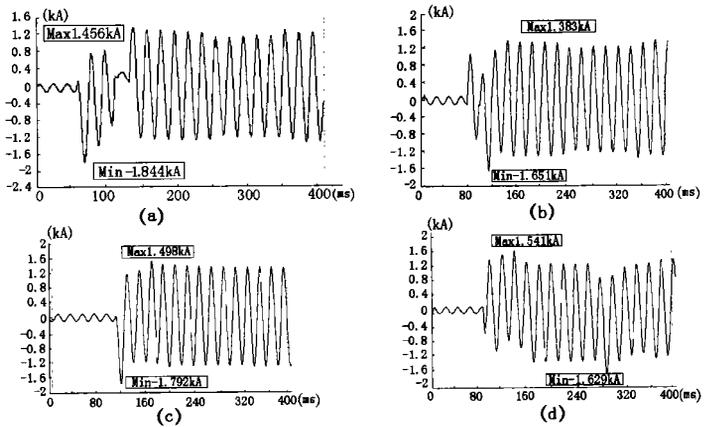


图4 试验差流录波图

5 现场试验

表2 试验结果

试验次数	母差启动 电流定值	操作前的 母联电流(A)	稳态差 流(A)	差流峰 值(A)	INX-5 动作情况
1	1500A	905.0	889.4	1844	动作
2	1500A	911.2	891.6	1651	动作
3	1500A	920.5	937.0	1792	动作
4	3000A	852.7	869.2	1629	不动作

表3 试验波形分析

试验次数	母差启动 电流定值	稳态差 流(A)	差流峰 值(A)	$ i  > I_{kmin}$ 的时间	$K = \frac{ i }{I_{kmin}}$ (定值为0.7)	稳态差流 整定值
1	1500A	889.4	1844	5 ms	0.73	0.5929
2	1500A	891.6	1651	3.3 ms	0.74	0.5944
3	1500A	937.0	1792	4.4 ms	0.77	0.6247
4	3000A	869.2	1629	0 ms	0.74	0.2897

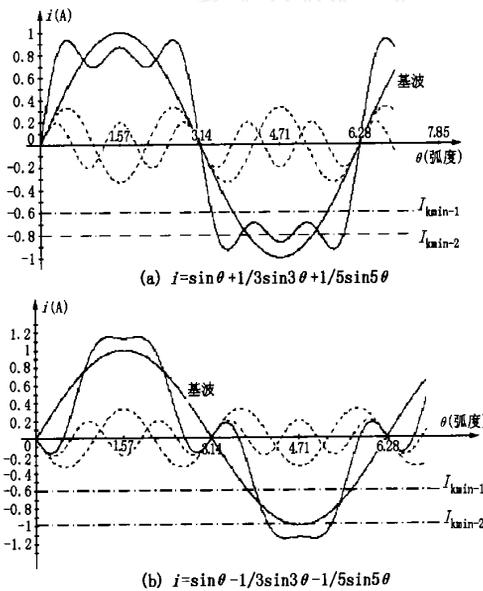


图3 谐波对电流波形的影响

图4和表2是四次试验记录,可以看出,差流电流与操作前的母联电流非常接近,说明了3.2中对差流的分析是正确的。利用表2中差流有效值和差流峰值,可以计算出(10)式中的 $I$ 和 $\theta$ ,利用前面的推导过程,可以计算出各个试验中 $|i| > I_{kmin}$ 持续

表3中,从稳态差流与相应定值的比值来看,试验1、2、3的差流都处于母差保护可能动作也可能不动作的范围内,而试验4的差流不会使母差保护误动,试验结果也说明了这一点。从 $|i| > I_{kmin}$ 的时间来看,只有试验1能使母差误动,而试验2、3的时间不足以使母差误动。但是表3中的时间计算依据是4.1中的推导过程,而4.1的推导是个理想的过程,没有考虑到:a)不平衡电流。实际上保护正常感受到的二次差电流是不平衡电流,初始值不为0,从差流录波图可以看出;b)谐波。由于INX-5型保护含有对谐波放大的环节,而郑州变附近有大量的谐波源,谐波分量难以进行定量估算;c)其它因素。由于实际中刀闸跨接的过程有许多未知因素的影响,从录波图可以看出差流的波形与理论假设相差较大。这些原因造成了试验2、3中保护误动。经过估算,对试验2,考虑8%不平衡电流、4%~5%谐波电流,计算出的时间就会使保护误动;对于试验3的波形,考虑4%的谐波电流,计算出的时间就使保护误动。根据文献[4]中的试验数据,(下转第63页)

准要求低电压时录波器要长期启动。

以上是笔者对运行维护中遇到的一些问题的粗浅认识和理解,不当之处欢迎批评指正。在我们现实中确实存在着这方面的问题,本文本着抛砖引玉的思想,希望广大同行就12型录波器在使用维护中

的经验及体会广泛交流,保证现有设备安全运行,更好地完成其所担负的录波任务。

收稿日期: 2001-08-22

作者简介: 晓锋(1970-),女,本科,工程师,主要从事继电保护的运行维护工作。

### Technical default and its solution of WGL-12 waveform recorder

CHOU Xiao-feng

(Tianjin HV Power Supply Company, Tianjin 300250, China)

**Keywords:** fault waveform recorder; technical default; solution

(上接第56页) 电抗变换器后面的谐波电流能达到基波电流的5%左右。

## 6 措施

为保证郑州变电站母差的可靠运行,应采取以下措施:a)增加二次强制互联回路。二次强制互联回路实际上就是人为地在倒母线前强制二次接点先合上,强制母差保护采用大差;b)加装复合电压闭锁回路。试验证明这两项反事故措施是可靠的,并且是切实可行的。

## 7 结论

a) 对于INX-5型母差保护,隔离刀闸应满足相应要求。要求不满足时,倒母线操作会破坏母差保护赖以正确工作的基础。因为差流不确定,而且谐波和不平衡电流无法定量估计,所以靠牺牲保护灵敏度提高定值来避免倒闸操作时的误动不合适。

b) 隔离刀闸不满足要求时,倒闸过程中母差保护出现差流,差流稳态值与操作前支路电流、母联电流、以及母线、刀闸及其联线的阻抗分布有关系。对郑州变,理论和试验都证明,倒闸操作产生的差流与

操作前的母联电流比较接近。

c) 隔离刀闸不满足要求时,倒闸过程的暂态电流会影响INX-5型保护,使母差保护在差流稳态值远不到定值时误动。

d) INX-5型母差保护对谐波非常敏感,谐波会引起保护误动或拒动。

e) 如果隔离刀闸能够满足要求,倒闸过程中保护采用大差,理论上暂态电流以及谐波电流在母差中能自动平衡,不足以引起母差保护误动。

### 参考文献:

- [1] 邱关源. 电路(上册)[M]. 高等教育出版社,1978,5.
- [2] 刘华,何南强,陈献伟. 电铁谐波对220千伏线路相差高频保护的影响[J]. 电网技术(增刊—22届中国电网调度运行会议专辑),1994,2.
- [3] 张太升. 电力机车谐波的计算[J]. 河南电力,1996,(4).

收稿日期: 2001-10-30

作者简介: 高航(1962-),男,硕士,教授级高工,从事电力系统方面的研究; 张太升(1969-),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护的研究; 何南强(1944-),男,硕士,教授级高工,从事电力系统方面的研究。

### Maloperation analysis of INX-5 bus differential protection in Zheng Zhou substation

GAO Hang, ZHANG Tai-sheng, HE Nan-qiang, YAN Ai-he, GUO Yao-zhu, DU Ling

(Henan Electric Power Corporation, Zhengzhou 450052, China)

**Keywords:** INX-5; bus differential protection; maloperation