

## 暂态不平衡电流引起的发电机差动保护误动分析

谌争鸣

(江西省电力科学研究院, 江西 南昌 330006)

**摘要:** 通过对 CT 和二次回路的试验数据进行暂态计算分析, 找出了发电机差动保护误动原因。由于发电机差动保护两侧 CT 励磁特性和二次回路存在差异, 区外故障切除后, 电流非周期分量在衰减过程中将产生差动电流。若超过动作值, 则会引起发电机差动保护误动。

**关键词:** 发电机; 差动保护; CT 特性; 暂态不平衡电流; 误动; 分析

### Analysis of maloperation of generator differential protection caused by transient unbalanced current

CHEN Zheng-ming

(Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330006, China)

**Abstract:** The cause of generator differential protection maloperation is found out through calculating and analyzing transient process with the test data of current transformer and secondary circuit. Because there is difference between excitation characteristic and secondary circuit of both side current transformer used generator differential protection, there is differential current during decay of current non-periodic component after cutting off external fault. If differential current exceeds operation value, generator differential protection will maloperate.

**Key words:** generator; differential protection; current transformer characteristic; transient unbalanced current; maloperation; analysis

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2008)10-0086-03

## 0 引言

发电机差动保护作为发电机内部故障主保护之一, 其动作正确与否显得非常重要。发电机定子内部故障时, 要求其快速将故障发电机从电网中解列, 减轻对发电机和系统的危害程度; 而在区外穿越性故障时应可靠不动作, 以免扩大事故的影响范围。现就一起发电机差动保护误动进行分析, 找出其误

动的原因, 提出防范措施。

## 1 差动保护误动情况与试验

某 110 kV 线路因冰雹发生倒塔, 造成故障, 保护跳闸、重合、后加速永跳。在强送该 110 kV 线路时, 线路保护加速动作跳闸, 引起发电机差动保护误动而造成停机。

表 1 CT 二次侧和二次回路参数及时间常数

Tab.1 Parameter of current transformer secondary side with secondary circuit and time constant

		$X_s(L_s)$	$X_s(L_2)$	$R_s$	$T_{s\alpha} / T_{s\beta}$	$T_s / T_n$
出口侧 CT	A 相	4220 $\Omega$ (13.44 H)	1.02 $\Omega$ (0.003 H)	3.218 $\Omega$	4.20 s	4.201 s
	B 相	3030 $\Omega$ (9.650 H)	1.04 $\Omega$ (0.003 H)	3.220 $\Omega$	3.00 s	3.001 s
	C 相	2740 $\Omega$ (8.726 H)	0.97 $\Omega$ (0.003 H)	3.340 $\Omega$	2.61 s	2.611 s
中性点 侧 CT	A 相	7200 $\Omega$ (22.93 H)	0.15 $\Omega$ (0.0005 H)	3.190 $\Omega$	7.19 s	7.190 s
	B 相	5400 $\Omega$ (17.20 H)	0.15 $\Omega$ (0.0005 H)	3.190 $\Omega$	5.39 s	5.390 s
	C 相	8320 $\Omega$ (26.50 H)	0.15 $\Omega$ (0.0005 H)	3.250 $\Omega$	8.15 s	8.150 s

在进行事故调查分析时, 首先, 检测了发电机差动保护三相差电流, 其值分别为 17.6 mA、18 mA

和 27 mA (检测时的二次电流为 2.88 A), 差动保护用的电流互感器二次侧为一点接地, 二次回路未见明显异常。其次, 对差动保护装置进行了检查, 定值与特性也均满足要求。

为了查找出发电机差动保护误动原因, 对发电机差动保护用电流互感器, 进行了励磁特性和 10% 误差曲线测试。二次回路负载能满足 CT 10% 误差曲线要求。CT 二次侧和二次回路参数及时间常数见表 1。

其中:  $X_{\mu}$  为 CT 励磁电抗;  $X_2$  为二次侧等值电抗;  $R_2$  为二次侧等值电阻;  $T_{s\nu}$  为出口侧 CT 励磁绕组时间常数;  $T_{n\nu}$  为中性点侧 CT 励磁绕组时间常数;  $T_s$  为出口侧 CT 时间常数;  $T_n$  为中性点侧 CT 时间常数。

从表 1 可看出: 电流互感器尽管为同一厂家同一型号产品, 但其励磁特性却有差异, 由此造成差动保护两侧电流互感器二次回路时间常数不相同, 因而, 当发生故障时, 非周期分量电流的衰减速度将有差异。

## 2 暂态不平衡电流分析与计算

CT 二次侧电流非周期分量可用下列公式计算:

$$i_{2np} = -I_{12m} \times [\cos \alpha / (T - T_1)] \times [T e^{-t/T} - T_{\nu} e^{-t/T_{\nu}}] \quad (1)$$

其中:  $I_{12m}$  为 CT 二次侧电流周期分量幅值;  $\alpha$  为短路初始角;  $T$  为 CT 时间常数;  $T_1$  为次系统时间常数;  $T_{\nu}$  为 CT 励磁绕组时间常数。

发电机差动保护采用全电流判据, 差动电流和制动电流分别由式 (2) 和式 (3) 求得:

$$i_{dif} = |i_s - i_n| \quad (2)$$

$$i_{res} = |(i_s + i_n) / 2| \quad (3)$$

因此, 在区外故障时, 由电流非周期分量产生的差动电流可用下列公式计算:

$$i_{dif} = |-I_{12m} \times \cos \alpha \{ [T_1 / (T_s - T_1)] e^{-t/T_s} - [T_1 / (T_n - T_1)] e^{-t/T_n} - [T_{s\nu} / (T_s - T_1)] e^{-t/T_{s\nu}} + [T_{n\nu} / (T_n - T_1)] e^{-t/T_{n\nu}} \} | \quad (0 \leq t < 0.07s) \quad (4)$$

而由电流非周期分量产生的制动电流可用下列公式计算:

$$i_{res} = | -[(I_{12m} \times \cos \alpha) / 2] \{ [T_1 / (T_s - T_1)] e^{-t/T_s} + [T_1 / (T_n - T_1)] e^{-t/T_n} - [T_{s\nu} / (T_s - T_1)] e^{-t/T_{s\nu}} - [T_{n\nu} / (T_n - T_1)] e^{-t/T_{n\nu}} \} | \quad (0 \leq t < 0.07s) \quad (5)$$

因为, 在区外短路故障发生期间, 由于故障电流周期分量的存在, 从而差动保护的制动电流 (由故障电流周期分量和非周期分量叠加而成) 很大,

既使由电流非周期分量产生的差动电流存在 (故障电流周期分量产生的差动电流甚小), 差动保护也不致于误动, 但当故障切除后, 由负荷电流和电流非周期分量产生的制动电流, 随着时间而衰减, 当它衰减到一定值时, 由电流非周期分量产生的差动电流就有可能引起差动保护误动作 (与短路初始角  $\alpha$  和短路电流倍数  $m$  有关)。短路故障的发生到故障的切除, 产生了两次过渡过程, 第一次过渡过程按式 (4) 和式 (5) 计算。若 110 kV 线路断路器在 0.07 s 时断开而产生第二次过渡过程, 电流周期分量的跃变值为  $I_{12m} \cos \alpha$ , 按式 (1) 可算出 0.07 s 时非周期分量值, 从而可得到第二次过渡过程中 CT 非周期分量幅值的系数, 如表 2 所示。由于各 CT 衰减过程存在差异, 所示 CT 非周期分量的幅值则不同。将式 (4) 修正为式 (6) 和式 (5) 修正为式 (7)。

表 2 第二次过渡过程 CT 非周期分量幅值系数

Tab.2 The coefficient of non-periodic component amplitude of current transformer in the second transient process

出口侧 CT	$k_s$	中性点侧 CT	$k_n$
A 相	1.70	A 相	1.69
B 相	1.69	B 相	1.69
C 相	1.68	C 相	1.69

$$i_{dif} = |-I_{12m} \times \cos \alpha \{ k_s [T_1 / (T_s - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_s} -$$

$$k_n [T_1 / (T_n - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_n} - k_s [T_{s\nu} / (T_s - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_{s\nu}} + k_n [T_{n\nu} / (T_n - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_{n\nu}} \} | \quad (t \geq 0.07s) \quad (6)$$

$$i_{res} = | -[(I_{12m} \times \cos \alpha) / 2] \{ k_s [T_1 / (T_s - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_s} + k_n [T_1 / (T_n - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_n} - k_s [T_{s\nu} / (T_s - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_{s\nu}} - k_n [T_{n\nu} / (T_n - T_1)] e^{-(t-0.07)/T_{n\nu}} \} | \quad (t \geq 0.07s) \quad (7)$$

计算时, 取

(1)  $T_1 = 0.2$  s (在发电机变压器组出口短路时,  $T_1 = 0.2$  s<sup>[1]</sup>);

(2) A 相  $\alpha = 30^\circ$ , 则  $\cos \alpha = 0.87$ ; 从而,

B 相  $\alpha = -90^\circ$ , 则  $\cos \alpha = 0$ ;

C 相  $\alpha = 150^\circ$ , 则  $\cos \alpha = -0.87$ ;

(3)  $m = 8$ , 则  $I_{12m} = 8 \times \sqrt{2} \times 5 = 56.6$  A, 得出不同时刻的差动保护差动和制动电流, 见表 3。

## 3 差动保护动作分析

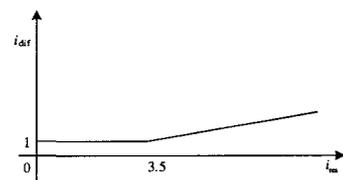


图 1 发电机差动保护动作特性

Fig.1 The operation characteristic of generator differential protection

发电机差动保护采用比例制动特性。当发电机差动保护额定电流  $I_e$  为 5 A、最小动作电流为

0.2  $I_e$  (1 A)、拐点电流为 0.7  $I_e$  (3.5 A) 和制动系数为 0.2 时,其动作特性如图 1 所示。

表 3 不同时刻差动保护差动和制动电流

Tab.3 The difference current and restraint current of differential protection at different time

t/s	差动电流 $i_{dit}/A$		制动电流 $i_{res}/A$		t/s	差动电流 $i_{dit}/A$		制动电流 $i_{res}/A$	
	A相	C相	A相	C相		A相	C相	A相	C相
0	0	0	49.20	49.20	0.30	1.019	2.91	24.46	23.56
0.01	0.050	0.148	46.80	46.71	0.40	1.189	3.23	13.64	12.75
0.05	0.250	0.492	38.00	37.82	0.50	1.189	3.35	7.130	6.28
0.07	0.365	0.720	34.10	34.00	0.60	1.245	3.35	3.230	2.63
0.10	0.226	1.034	71.66	70.83	0.70	1.245	3.29	0.790	0.130
0.20	0.753	2.410	42.28	41.26	0.80	1.245	3.29	0.566	1.30

由表 3 可知,当  $t=0.7$  s 时,由电流非周期分量产生的 A 相和 C 相差动电流分别为 1.25 A、3.29 A, (负荷电流产生的差动电流很小); 而由电流非周期分量产生的制动电流分别为 0.790 A、0.130; 计及负荷电流 2.88 A (0.7 s 时的瞬时值为 2.04 A), 制动电流分别为 2.83 A、2.17 A, 均小于拐点电流; 差动电流大于最小动作电流, 所以, 发电机 A 相和 C 相差动继电器均动作, 从而导致发电机差动保护动作。

为了防止此类事故的发生, 可采取以下一些措施:

(1) 当两侧 CT 励磁阻抗值不相同, 可改变二次回路中的电阻值 (如改用线径粗或细的电缆), 使两侧 CT 的时间常数尽可能一致。

(2) 发电机差动保护应滤波, 削弱非周期分量的影响。

(3) 在发电机出线附近发生永久性故障时 (可由录波图判别), 严禁强送电, 因为, 此种情况下的短路电流一般都非常大。

## 4 结语

由于发电机差动保护两侧 CT 特性及二次回路参数存在差异, 导致非周期分量衰减时间常数不一致, 当在 110 kV 线路出口处发生短路故障时, 由于故障电流非常大, 故障切除后 (由其它保护切除, 如线路保护), 经过一定延时, 差动电流超过差动保护的的动作值, 从而造成发电机差动保护误动。

## 参考文献

- [1] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1982.  
WANG Wei-jian, HOU Bing-yun. The Theory Based on the Relay Protection of Large-scale Unit[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1982.

收稿日期: 2007-09-12

作者简介:

谌争鸣 (1957-), 男, 工学硕士, 从事发变组保护的研究等。E-mail: chenzhengming163@163.com

(上接第 80 页 continued from page 80)

## 参考文献

- [1] 国电南自 PST-1200 系列说明书[Z]. SAC PST-1200 Series Manual[Z].  
[2] 南瑞 RCS-978 差动保护调试说明书[Z]. NARI RCS-978 Differential Protection Debugging Manual[Z].  
[3] ABB 保护调试说明书[Z]. ABB Protection Debugging Manual[Z].  
[4] 电力系统继电保护技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社. The Questions and Answers of RELAY in Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.  
[5] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中

国电力出版社, 1996.

WANG Wei-jian. Electric Equipment Relay Protection Theory and Application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

收稿日期: 2008-02-29;

修回日期: 2008-04-01

作者简介:

鲍有理 (1966-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护专业技术管理工作;

刘容容 (1970-), 女, 本科, 工程师, 从事电力系统二次专业设计工作;

季东方 (1974-), 男, 大学, 学士, 工程师, 从事电力系统设备维护及技术支持工作。