

微型型变压器差动保护误动作原因分析与对策

李德佳

(核电秦山联营有限公司,浙江 海盐 314300)

摘要:通过对一起微型型变压器差动保护误动作的原因分析,揭示了变压器的暂态饱和对差动保护的影响。提出了利用制动电流的二次谐波比进行闭锁的新方法,该方法可提高微型型变压器差动保护的可靠性。

关键词:差动保护; 暂态饱和; 变压器

中图分类号: TM774 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)05-0056-04

0 引言

差动保护作为发电机、电动机、变压器、母线等电气主设备内部短路故障的主保护,从动作原理上讲是最好的。外部故障的选择性取决于TA对短路电流的正确变换和差动继电器的优良性能。历年主保护动作统计表明差动保护正确动作率偏低。主要原因:维护及运行不良;TA暂态误差的影响。变压器差动保护不仅有电路问题,还存在磁路问题。由于大型变压器的磁路正常运行于微饱和工况下,所以,变压器在带非线性负载,如空充负载变压器时就会发生暂态饱和,励磁电流增大,导致差动保护的不平衡电流过大而误动。举例如下:

(1)二滩电厂从首台机发电运行到现在,厂高变差动保护误动过3次,每次动作都是在厂高变的下级厂用电切换时动作,动作后检查一次设备无故障,保护装置和回路没问题。

结论:厂高变TA配置不合理,多次切换厂用电引起误动作。

现阶段的解决办法:提高厂高变差动保护定值。

(2)秦山二期辅助变压器差动保护在调试的一年时间内误动过5次,每次都是在电锅炉变压器空充时发生误动作。带大容量电动机及其它工况下,保护装置运行良好。动作后检查一次设备无故障,保护装置及回路良好,保护装置带负荷检查差电流也很小。

当时的结论:TA饱和及定值不合理。

现阶段的解决方法:提高辅助变压器差动保护定值和采用三取二循环闭锁。

下面通过分析秦山二期辅助变压器差动保护录波图,来说明变压器暂态饱和对差动保护的影响,并探讨解决该问题的方法和对策。

1 保护动作原因分析

1.1 设备情况简介:

(1) 设备用途

辅助变压器作为核电厂的厂外第二路电源,在第一路电源故障且孤岛运行不成功的条件下,将由慢切换装置使厂用中压电源倒至由辅助变压器供电。这路电源同时带有电锅炉变压器和电锅炉负荷。

(2) 设备参数

辅助变压器:额定容量 31500 kVA;电压比 220 kV/6 kV;接线组别 Y_0/Y ;220 kV 侧电流互感器参数:625/5,5P20,40 VA,50 Hz;6 kV 侧电流互感器参数:3000/5,5P20,25 VA,50 Hz。

电锅炉变压器:额定容量 26000 kVA;电压比 6.3 kV/13.8 kV;接线组别 d/ Y_0 。

(3) 继电保护配置及整定值

保护配置采用完全双重化,既从直流控制电源、跳闸线圈、电流互感器、保护类型等均实现了独立。保护配置采用的是许继生产的WBH-100型微机保护,差动保护配置为带有二次谐波制动的比率式差动保护。

整定值:差动最小动作电流为 $35\% \times$ (变压器220 kV侧额定电流),即 $I_{cd,min.op} = 35\% \times 0.66 = 0.23$ A;二次谐波制动系数为20%;最小制动电流为变压器220 kV侧额定电流 $I_{zd} = 0.66$ A;斜率 S 为0.5。

(4) 一次主接线及差动保护接线方式

如图1所示。

1.2 保护动作情况简介

2001年8月26日在电锅炉变压器调试过程中,当合3DL空充电锅炉变压器时,辅助变压器差动保护动作,跳开变压器两侧开关(1DL、2DL)。

现场检查情况如下:

(1) 辅助变压器差动保护动作信号灯点亮;

- (2) 电锅炉变压器保护均未动作;
 (3) 发变组故障录波器启动,但一次系统无故障。

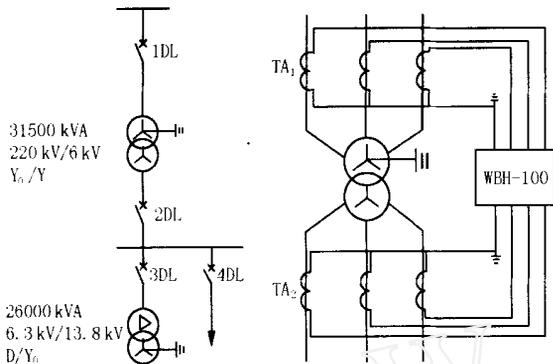


图1 一次主接线及差动保护接线方式

Fig. 1 Connection mode of main system and differential protection

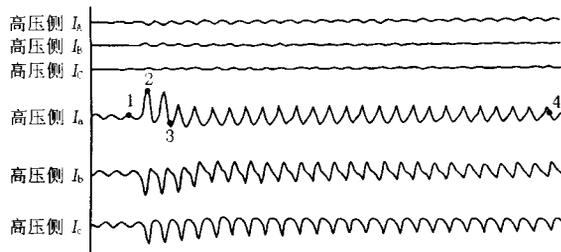


图2 WBH-100型微机保护录波图

Fig. 2 Recorded waveform of WBH-100 microprocessor-based protection

1.3 保护动作原因初步分析

(1) 录波图初步分析。从微机保护录波图的初步分析,发现如下情况:

1) 辅助变差动保护误动是由于电锅炉变压器空充产生的励磁涌流导致的,而对于辅助变压器来说这种情况下流过的电流为穿越性负荷电流,此时动作是不正确的。

2) 在涌流的前3个周波,辅助变压器两侧电流在数值及相位关系上均正确。但过了3个周波后辅助变压器两侧电流在数值及相位关系上均发生了变化。变化规律为辅助变压器低压侧(6 kV侧)相对于高压侧(220 kV侧)电流减小了。

3) 保护误动时间为空充电锅炉变压器0.3 s之后。

(2) 从辅助变压器微机保护录波图(图2)选取4个特征点进行详细分析如下:

第1特征点:空充电锅炉变压器前;第2特征点:空充电锅炉变压器产生的励磁涌流的第一个波峰点;第3特征点:电流波形突变点;第4特征点:跳

闸时刻。

录波分析软件分析的数据如表1。

表1 录波数据

Tab. 1 Data of recorded waveform

类别	相别	项目					
		基波/A		二次谐波/A		五次谐波/A	
第1特征点	高压侧	I_A	0.26 134.2°	0	0		
		I_B	0.26 -106.1°	0	0		
		I_C	0.26 13.7°	0	0		
	低压侧	I_a	1.92 -46.5°	0	0		
		I_b	1.92 -76.1°	0	0		
		I_c	1.91 -165.2°	0	0		
第2特征点	高压侧	I_A	1.5 0.2°	0.35 -145.7°	0.06	79.9°	
		I_B	1.02 147.5°	0.43 -26°	0.02	-64.3°	
		I_C	0.86 -140.1°	0.39 102.8°	0.04	-110.2°	
	低压侧	I_a	11.18 176.5°	2.81 32.7°	0.39	-87.7°	
		I_b	7.69 -31.7°	3.27 153.3°	0.08	95.2°	
		I_c	6.5 41°	2.96 -75.2°	0.33	76.1°	
第3特征点	高压侧	I_A	1.34 84°	0.28 14.9°	0.1	172.2°	
		I_B	0.93 -133.6°	0.42 138.4°	0.05	14.8°	
		I_C	0.84 -54.4°	0.33 -85.5°	0.06	-18.9°	
	低压侧	I_a	5.1 -140.2°	1.13 83.9°	0.6	-17.1°	
		I_b	5.47 -2.8°	2.41 -89.3°	0.18	-165.4°	
		I_c	5.87 123.3°	2.3 91°	0.59	171.1°	
第4特征点	高压侧	I_A	0.76 17.5°	0.1 -130.4°	0.03	15.3°	
		I_B	0.47 150.6°	0.2 31.7°	0.02	-119.3°	
		I_C	0.48 -122.8°	0.14 150°	0.03	-164.9°	
	低压侧	I_a	3.97 169.4°	1.1 35.7°	0.34	-142.7°	
		I_b	3.24 -52.7°	1.39 -171.4°	0.03	-84.4°	
		I_c	3.28 47.8°	1.11 -41.7°	0.29	12.4°	

通过计算所得数据见表2。

通过表2分析可见:当差动电流大于最小启动电流时(微机型差动保护只有当差动电流大于最小启动电流时,才进行二次谐波制动判断),差动电流中基波分量递减;二次谐波分量与基波分量的比例递减;五次谐波与基波比例递增。制动电流中基波分量递减,二次谐波分量与基波分量的比例递增。

(3) 实际准确限值系数(ALF)的计算:

高压侧、低压侧TA至辅助变保护屏距离相同,两侧TA二次负担是匹配的。

实测参数:TA二次负担的各相最大值为0.5(包括继电器和电缆的阻抗),TA内阻 $R_{in} = 0.1$ 。由于国内保护厂家尚无差动保护所用TA的使用要求,因此,下面计算是采用ABB公司《SPAD346C差动保护用TA的使用建议》的要求进行的。

$$F_a = F_n \times (S_{in} + S_n) / (S_{in} + S_a) \quad (1)$$

式中: F_a 为实际负荷下TA准确限值系数; F_n 为额定负荷下TA准确限值系数; S_{in} 为TA内部负荷; S_a 为实际负荷; S_n 为额定负荷。

表 2 计算结果
Tab. 2 Calculated results

类别	相别	项目			备注	
		基波/A (y d)	二次谐波/A (y d)	五次谐波/A (y d)		
第 3 特征点	高压侧	I_A	0.451 + j1.158	0.337 - j0.12	- 0.085 + j0.00052	$I_A = (I_A - I_B) / 1.732$
		I_B	- 0.652 + j0.00577	- 0.196 + j0.351	- 0.0046 + j0.018	$I_B = (I_B - I_C) / 1.732$
		I_C	0.201 - j1.163	- 0.14 - j0.231	0.089 - j0.0188	$I_C = (I_C - I_A) / 1.732$
	低压侧	I_a	- 0.737 - j0.235	0.00715 + j0.277	0.059 - j0.01	$I_a = (I_a - I_b) \times 0.136 / 1.732$
		I_b	0.682 - j0.4	0.00545 - j0.37	0.032 - j0.01	$I_b = (I_b - I_c) \times 0.136 / 1.732$
		I_c	0.0546 + j0.641	- 0.0126 + j0.092	- 0.09 + j0.021	$I_c = (I_c - I_a) \times 0.136 / 1.732$
	差动电流	$I_{A.cd}$	- 0.286 + j0.923(0.966)	0.34415 + j0.157(0.378)	- 0.026 - j0.0094(0.028)	$I_{A.cd} = I_A' + I_a'$
		$I_{B.cd}$	0.03 - j0.394(0.395)	- 0.191 - j0.019(0.192)	0.0274 + j0.008(0.0285)	$I_{B.cd} = I_B' + I_b'$
		$I_{C.cd}$	0.256 - j0.522(0.58)	- 0.153 - j0.139(0.207)	- 0.001 + j0.0022(0.00242)	$I_{C.cd} = I_C' + I_c'$
	制动电流	$I_{A.zd}$	0.594 + j0.696(0.915)	0.165 - j0.2(0.26)	- 0.072 + j0.0053(0.072)	$I_{A.zd} = (I_A' - I_a') / 2$
		$I_{B.zd}$	- 0.667 + j0.203(0.697)	- 0.201 + j0.36(0.412)	- 0.018 + j0.014(0.022)	$I_{B.zd} = (I_B' - I_b') / 2$
		$I_{C.zd}$	0.0732 - j0.902(0.905)	- 0.127 - j0.162(0.206)	0.0895 - j0.02(0.092)	$I_{C.zd} = (I_C' - I_c') / 2$
第 4 特征点	高压侧	I_A	0.6553 - j0.00115	- 0.136 - j0.105	0.0223 + j0.0147	$I_A = (I_A - I_B) / 1.732$
		I_B	- 0.087 + j0.364	0.168 + j0.02	0.011 - j0.0056	$I_B = (I_B - I_C) / 1.732$
		I_C	- 0.569 - j0.363	- 0.0323 + j0.0843	- 0.033 - j0.00907	$I_C = (I_C - I_A) / 1.732$
	低压侧	I_a	- 0.46 + j0.26	0.178 + j0.066	- 0.0214 - j0.0138	$I_a = (I_a - I_b) \times 0.136 / 1.732$
		I_b	- 0.0186 - j0.39	- 0.173 + j0.042	- 0.023 - j0.00722	$I_b = (I_b - I_c) \times 0.136 / 1.732$
		I_c	0.479 + j0.133	- 0.00503 - j0.108	0.043 + j0.021	$I_c = (I_c - I_a) \times 0.136 / 1.732$
	差动电流	$I_{A.cd}$	0.195 + j0.259(0.324)	0.042 - j0.039(0.057)	0.0009 + j0.0009(0.00127)	$I_{A.cd} = I_A' + I_a'$
		$I_{B.cd}$	- 0.1056 - j0.026(0.1088)	- 0.005 + j0.062(0.0622)	- 0.012 - j0.0128(0.0175)	$I_{B.cd} = I_B' + I_b'$
		$I_{C.cd}$	- 0.09 - j0.23(0.247)	- 0.0373 - j0.0237(0.044)	0.01 + j0.012(0.0156)	$I_{C.cd} = I_C' + I_c'$
	制动电流	$I_{A.zd}$	0.5576 - j0.131(0.573)	- 0.157 - j0.0855(0.179)	0.0218 + j0.0143(0.026)	$I_{A.zd} = (I_A' - I_a') / 2$
		$I_{B.zd}$	- 0.0342 + j0.377(0.379)	0.17 - j0.022(0.171)	0.017 - j0.00162(0.017)	$I_{B.zd} = (I_B' - I_b') / 2$
		$I_{C.zd}$	- 0.524 - j0.248(0.56)	- 0.027 + j0.1923(0.194)	- 0.076 - j0.03(0.082)	$I_{C.zd} = (I_C' - I_c') / 2$

要求： $F_a > 40$ (2)

这主要是考虑到区外故障切除后 TA 会产生剩磁,在重合于故障时,防止差动保护误动作。

高压侧 TA 实际的准确限值系数:因为 $S_{in} = 5 \times 5 \times 0.1$; $S_n = 40$; $S_a = 5 \times 5 \times 0.5$; $F_n = 20$; 所以 $F_a = 56.67$ 。低压侧 TA 实际的准确限值系数:因为 $S_{in} = 5 \times 5 \times 0.1$; $S_n = 25$; $S_a = 5 \times 5 \times 0.5$; $F_n = 20$; 所以 $F_a = 43.33$ 。

高、低压侧 TA 均满足要求。

(4) 通过上述分析和计算,笔者认为变压器的暂态饱和是引起辅助差动保护误动的一个重要原因。据有关资料介绍,变压器稳态饱和励磁电流最大可达额定电流的 50% 左右。从表 2 可见,变压器暂态饱和励磁电流最大已达到额定电流的 146%。如不采取新的措施,仅靠提高差动保护定值的方法是不可行的。通过提高差动保护定值的方法,不仅会降低变压器匝间短路时保护的灵敏度,而且将失去比例制动式差动保护能保护变压器匝间短路的优点,这是不可取的。

2 采取的对策探讨

变压器的稳态饱和是由于电源电压过高、频率过低引起的,用五次谐波制动的方法来处理是完全可行的。从表 2 可见,跳闸时刻的五次谐波比例很小,不到基波电流的 10%。因此,变压器的暂态饱和和用五次谐波制动的方法是不可行的。差动电流的基波和二次谐波比都在衰减,利用差动电流中二次谐波比制动的方法也不能避免这种情况下的误动作。笔者提出利用制动电流中的二次谐波比来制动的方法,能解决微机型差动保护在变压器暂态饱和时的误动作,即当差动电流与制动电流均大于差动最小动作电流时,进行二次谐波比制动的判别。

对于微机型变压器保护,由于其具有强大的数值处理能力,故在二次谐波制动比计算方法的选择上具有较大的灵活性,目前常用的有以下几种方法:

(1) 谐波比最大相制动

$$\max (I_{cd.A.2} / I_{cd.A.1}, I_{cd.B.2} / I_{cd.B.1}, I_{cd.C.2} / I_{cd.C.1}) K_{set} \quad (3)$$

即利用满足差动动作条件的差流中二次谐波与基波比的最大值来制动。

式中: $I_{cd.A.1}, I_{cd.B.1}, I_{cd.C.1}$ 分别为 A、B、C 相差流中基波分量; $I_{cd.A.2}, I_{cd.B.2}, I_{cd.C.2}$ 分别为 A、B、C 相差流中二次谐波分量。

(2) 按相制动

$$I_{cd.2} / \max(I_{cd.A.1}, I_{cd.B.1}, I_{cd.C.1}) \quad K_{set} \quad (4)$$

即利用差流中最大相的二次谐波与基波比值来制动。

(3) 综合相制动

$$\frac{\max(I_{cd.A.2}, I_{cd.B.2}, I_{cd.C.2})}{\max(I_{cd.A.1}, I_{cd.B.1}, I_{cd.C.1})} \quad K_{set} \quad (5)$$

即利用三相差流中二次谐波的最大值与基波的最大值之比来制动。

(4) 笔者提出的方法, 制动电流的谐波比最大相制动

$$\frac{\max(I_{zd.A.2}/I_{zd.A.1}, I_{zd.B.2}/I_{zd.B.1}, I_{zd.C.2}/I_{zd.C.1})}{K_{set}} \quad (6)$$

式中: $I_{zd.A.1}, I_{zd.B.1}, I_{zd.C.1}$ 分别为 A、B、C 相制动电流中基波分量; $I_{zd.A.2}, I_{zd.B.2}, I_{zd.C.2}$ 分别为 A、B、C 相制动电流中二次谐波分量。

即利用满足差动动作条件的制动电流中二次谐波与基波比的最大值来制动。

制动电流的选取有以下三种方式:

$$(a) \quad I_{zd1} = (I_{h1} - I_{l1})/2, \quad I_{zd2} = (I_{h2} - I_{l2})/2; \quad (7)$$

$$(b) \quad I_{zd1} = |I_{h1}| - |I_{l1}|, \quad I_{zd2} = |I_{h2}| - |I_{l2}|; \quad (8)$$

$$(c) \quad I_{zd1} = \max(I_{h1}, I_{l1}), \quad I_{zd2} = \max(I_{h2}, I_{l2}); \quad (9)$$

式中: I_{h1}, I_{l1} 为变压器高、低压侧基波电流; I_{h2}, I_{l2} 为变压器高、低压侧二次谐波电流。

下面列表对上述 4 种方法二次谐波比进行比较, 如表 3 所示(仅比较第 4 特征点)。

从表 3 分析可得如下结论:

1) 方法(4)实际是利用负载变压器励磁涌流中的二次谐波来进行制动的, 因此二次谐波比较高。

2) 应采用单相制动三相的制动方式。方法(4)在被保护变压器空充及区内故障时的影响与方

法(1)相同。采用该闭锁方式不仅能提高微机型变压器差动保护的可靠性, 而且能更好地发挥比例制动式差动保护能保护变压器匝间短路的优点。

表 3 计算结果

Tab. 3 Calculated results

相别	项目					
	方法(1)	方法(2)	方法(3)	方法(4)		
				制动电流 a 方式	制动电流 b 方式	制动电流 c 方式
A 相	17.6 %			31.2 %	30.5 %	29 %
B 相		17.6 %	19 %	45.1 %	45.5 %	46 %
C 相	17.8 %			34.6 %	22.9 %	16 %

3 结论

本文通过一起微机型变压器差动保护误动作原因的分析, 揭示了大型变压器暂态饱和和对差动保护的影响。这也是比例式变压器差动保护误动作频繁的一个重要原因, 并提出了解决该问题的新办法。望继电保护专家与变压器专家共同研究大型变压器暂态饱和的特点及现象, 这对提高变压器差动保护的正確动作率大有好处。

参考文献:

- [1] 朱声石(ZHU Sheng-shi). 差动保护采用 P 级电流互感器的问题(Differential Protection Using Class P Current Transformer) [J]. 继电器(Relay), 2000, 28(7):4-7.
- [2] 胡玉峰, 陈德树, 尹项根, 等(HU Yufeng, CHEN Deshu, YIN Xianggen, et al). 微机变压器保护中几种谐波制动计算的比较(The Comparison of Several Harmonic-restraint Algorithms Used in Microcomputer-based Transformer Relay) [J]. 继电器(Relay), 2000, 28(7):41-45.

收稿日期: 2003-06-30; 修回日期: 2003-07-20

作者简介:

李德佳(1964), 男, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护调试和运行。

Analysis and countermeasure of maloperation of the microprocessor-based transformer differential protection

LI De-jia

(Nuclear Power Qinshan Joint Venture Co., Ltd., Haiyan 314300, China)

Abstract: According to the analysis of maloperation of microcomputer based transformer differential protection, the paper reveals that the transformer transient saturation has certain effects on differential protection. A new method that applying the secondary harmonic ratio of restraint current to lock protection is put forward, with which the stability of differential protection could be enhanced.

Key words: differential protection; transient saturation; transformer