

从一次故障保护不正确动作,分析电流互感器变比选择及其 10% 误差的影响

李社勇¹, 郭润生²

(1. 晋中供电分公司继电保护工区, 山西 晋中 030600; 2. 朔州供电分公司, 山西 朔州 036002)

摘要: 电流互感器的伏安特性偏低, 短路电流倍数偏小是保护装置不能正确反应一次电流大小, 进而影响保护正确动作的主要原因之一。针对 220 kV 白家庄站 35 kV 黄丹沟 回线线路发生故障而越级到主开关掉闸的问题提出了保护 CT 如何选择变比以及如何计算 10% 误差和短路电流倍数。

关键词: 电流互感器; 交流电路; 10% 误差; 短路电流倍数; 分析

中图分类号: TM452 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2004)18-0067-03

0 引言

某厂生产的一体化 SF6 开关内的 LRGB-35 电流互感器伏安特性、短路倍数偏低, 造成线路故障而越级到主变限时速断动作, 切除主开关, 使母线失电的情况, 2002 年在某局主网站已经发生 4 起。为此, 针对 220 kV 白家庄站 35 kV 315 黄丹沟 回线线路发生故障而越级到主开关的动作行为对其电流互感器、二次电缆、保护装置 DKB 进行了直流电阻、工频电阻逐一测试, 并计算出 CT 短路电流倍数、10% 误差、详细结果如下。

1 伏安特性试验

试验接线如图 1 所示。将电流互感器的一次侧开路, 二次侧加入交流电压, 试验时调压器的电压从零开始缓慢增加(中途不得退回, 否则必须重新从零开始调压), 一直加到电流迅速增大而电压增加不多时为止, 即电流互感器的铁芯已趋于饱和。记下各点的二次电压 U_2 和电流 I_2 (见表 1 的第一、二列)。并以电流为横坐标, 电压为纵坐标将各点连接起来即得伏安特性曲线如图 2 所示。

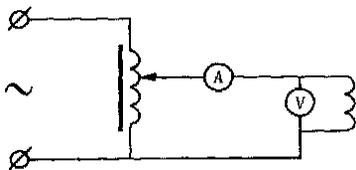


图 1 电流互感器的伏安特性试验接线

Fig. 1 Test connection of CT's volt-ampere characteristic

2 电缆交直流电阻测量(带装置 DKB)

从机构箱端子排处用双臂电桥测量电缆直流电

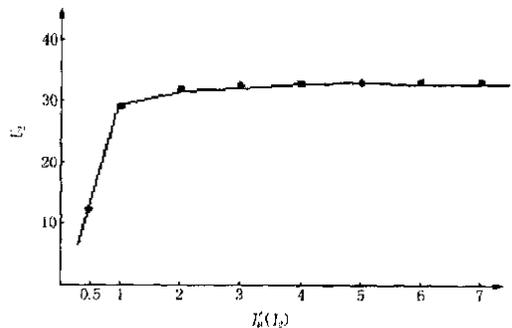


图 2 电流互感器的伏安特性曲线

Fig. 2 CT's volt-ampere characteristic curve

阻。从机构箱端子排加工频交流电压, 试验时电压从零开始增加, 缓慢上升, 记下各点的二次电压 U 和 I , 利用公式 $Z = U / I$ 计算出工频阻抗, 列表如表 2 所示。

表 1 LRGB-35 型电流互感器 10% 误差计算表

Tab. 1 The 10% error calculation of LRGB-35 CT

315 黄丹沟 II 回线 CT:200/5 $Z_2=0.1507$ 相别 A $R_2=0.0876$				
测量值(伏安特性)		计算值		电流倍数
$I_2 = I_2 / A$	U_2 / V	$(E_2 = U_2 - I_2 Z_2) / V$	$(Z_1 = E_2 / 9 I_2 - Z_2) / V$	$m = 2 I_2$
0.5	24	23.95	5.22	1
1	31	30.89	3.33	2
2	34	33.79	1.77	4
3	35	34.68	1.18	6
4	36	35.58	0.88	8
5	37	36.47	0.70	10
6	37	36.37	0.57	12
7	37	36.27	0.47	14
315 黄丹沟 回线 CT:200/5 $Z_2=0.20387$ 相别 C $R_2=0.102$				
测量值(伏安特性)		计算值		电流倍数
$I_2 = I_2 / A$	U_2 / V	$(E_2 = U_2 - I_2 Z_2) / V$	$(Z_1 = E_2 / 9 I_2 - Z_2) / V$	$m = 2 I_2$
0.5	27	26.9	5.8	1
1	34	33.82	3.58	2
2	35	34.65	1.75	4
3	36	35.47	1.14	6
4	37	36.298	0.833	8
5	38	37.12	0.649	10
6	38	36.95	0.51	12
7	39	37.77	0.424	14

表 2 KVVP-22 控制电缆交直流阻抗表

Tab.2 AC impedance of KVVP-22 control cable

315 黄丹沟 回线电缆二次回路								
相别	A 相				C 相			
U/V	2.5	5	7.3	9.7	2.5	4.9	7.3	9.6
I/A	1	2	3	4	1	2	3	4
Z/	2.5	2.5	2.43	2.4	2.5	2.45	2.43	2.4
电缆直阻/	2.045				2.065			
CSL-216 装置 DKB								
U/V	0.042 5	0.086 9	0.121	0.164	0.044	0.081 9	0.011 87	0.160 4
I/A	1	2	3	4	1	2	3	4
Z/	0.042 5	0.043 5	0.040	0.041	0.044	0.040 9	0.039 5	0.040 1
DKB 直阻/	0.023 1				0.023 3			

3 电流互感器二次直流电阻 R₂ 测试

使用双臂电桥,在机构箱端子排处测试 CT 各变比绕组的直流电阻,其值如表 3 所示。

表 3 LRGB-35 型电流互感器二次直流电阻表

Tab.3 DC resistance of LRGB-35 CT

315 黄丹沟 回线						
	A 相/			C 相/		
绕组	CT1	CT2	CT3	CT1	CT2	CT3
100/5	0.067 7	0.065	0.062 4	0.075 1	0.071 7	0.073 5
200/5	0.094 85	0.089 9	0.087 6	0.1	0.097 5	0.102
300/5	0.119	0.112	0.109 5	0.126	0.12	0.118 5

4 电流互感器 10% 误差曲线计算与制作

4.1 利用伏安特性求误差曲线

电流互感器的等值电路图如图 3 所示。

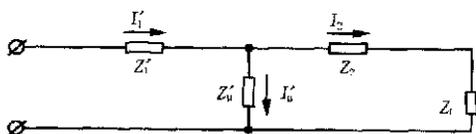


图 3 电流互感器等值电路

Fig.3 Equivalent circuit of CT

如电流互感器无比值误差时,在一次侧通入电流 I₁,则二次电流 I₂ = I₁/n_L,当电流互感器的比值误差为 10% 时,此时励磁电流 I_μ 将占一次电流的 10%,二次电流 I₂ 为 90%,因此 I₂ = 0.9 I₁/n_L,励磁电流:

$$I_{\mu} = 0.1 I_1 / n_L \quad (1)$$

由电流互感器的等值电路图可知:

$$Z_2 + Z_L = E_2 / I_2 = E_2 / (0.9 I_1 / n_L) \quad (2)$$

由此式(1)、(2)可得:

$$Z_L = E_2 / 9 I_{\mu} - Z_2 \quad (3)$$

如果电流互感器的二次电流为 5 A,流入的一

次电流为额定一次电流的 m 倍时,则

$$I_1 = 5 m n_L \quad (4)$$

由(1)、(4)式可得:

$$m = I_1 / 5 n_L = 2 I_{\mu} \quad (5)$$

由式(3)、(5)可知,二次负载阻抗 Z_L 和电流倍数 m 均为电势 E₂ 和励磁电流 I_μ 的函数。

电流互感器的电势 E₂ 可进行如下计算:

$$E_2 = U_2 - I_2 \cdot Z_2 \quad (6)$$

当一次侧开路时, I₂ 实际上就是励磁电流 I_μ,式(6)变为:

$$E_2 = U_2 - I_{\mu} \cdot Z_2 \quad (7)$$

式(1)到(7)实际是复数运算式,在实际中为简化计算,把各个参量都当作实数进行计算。计算的步骤是根据伏安特性中测得的 U₂ 和 I₂ (I_μ) 值,由式(7)求出 E₂ 值,在由式(3)、(5)求得允许的负载阻抗 Z_L 和电流倍数 m。随后以 m 为横坐标, Z_L 以纵坐标作出曲线,即是该电流互感器的 10% 误差曲线。

4.2 电流互感器 10% 误差曲线的制作

制作电流互感器 10% 误差曲线时,必须事先算得电流互感器的二次线圈阻抗 Z₂ 值,通常二次线圈的直流电阻 R₂ 可用电桥测量出,二次线圈的漏抗 X₂ 数值只能由制造厂家提供,此电流互感器厂家未给出此数值。因此只能用经验值,先用电桥测出 R₂ 值(见表 3), X₂ 值取 R₂ 值的 K 倍 X₂ = KR₂, K 值取 1.4~3,此型号电流互感器我们取 K = 1.4 (当 K 取 3 时 CT 特性更差)。据 Z₂ = √(R² + X²) 求出 Z₂,根据录取的伏安特性(见表 1 的第 1、2 列)计算出各对应点的电势 E₂ = U₂ - I₂ Z₂,负载阻抗 Z_L = E₂ / 9 I₂ - Z₂,电流倍数 m = 2 I₂ 列表 1。依据表 1 的数据在坐标系中连接各点即得电流互感器 10% 误差曲线如图 4。

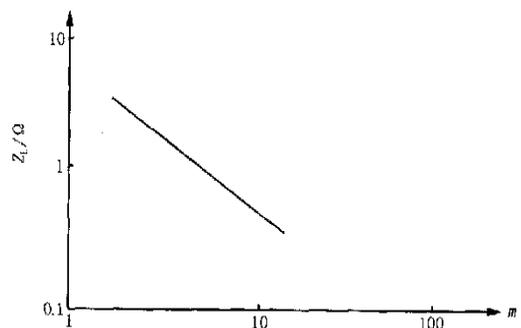


图 4 LRGB-35 型电流互感器 10% 误差曲线

Fig.4 The 10% error curve of LRGB-35 CT

5 电流互感器误差分析

根据对 LRGB-35 型电流互感器变比 200/5 10%误差计算结果,以 A 相为例从表 1 可知,当负载阻抗为 1.77 Ω 时,电流倍数为 4 倍,那么二次回路负载为 2 Ω 左右时,允许的电流倍数小于 4 倍,即电流倍数为 4 倍及以上时,电流的传变已经超过 10%了。这对正确测量保护的的范围影响是很大的。

黄丹沟线路总长度为 8.1 km,大方式下的末端最小短路电流为 2 871.6 A,小方式下的末端最小短路电流为 2 647 A。大方式下 35 kV 母线短路最大电流 7 628 A,小方式下短路最大电流 6 386 A。如电流互感器选用 200/5,则最小电流倍数为 13 倍,最大电流倍数为 38 倍。

根据伏安特性(见表 1 的第二列)找出电流互感器的饱和感应电动势 E_2 ,根据电势 E_2 和二次负载 Z_L 、励磁阻抗 Z_2 ,求出可传变的最大二次电流 $I_2 = E_2 / (Z_L + Z_2) = 37 / (2 + 0.1) = 18$ A,在 10 倍电流倍数时,因有 5 A 是励磁电流 I_μ ,则传变的一次电流 $I_1 = n_L (I_2 + I_\mu) = 40(18 + 5) = 920$ A。这说明当一次短路电流大于 920 A 时,最大可传变的二次电流为 18 A,其他电流传变为励磁电流。

根据保护设备整定原则,35 kV 限时速断应保护线路全长,其值为 $I_{dz} = I_{min} / K_{Lm} = 2 647 / 2 = 1 323$ A,继电器整定值为 $I_{zd} = I_{dz} / n_L = 1 323 / 40 = 33$ A。实际整定 30 A。

结论:小方式下的线路末端故障,短路电流为 2 647 A,短路电流倍数为 13 倍,从 10%误差曲线看电流互感器要求的二次负载应小于 0.4 Ω (取近似 $m = 14$ 倍),而实际负载阻抗大于 2 Ω 。最大传变二次电流为 18 A,而速断保护整定值为 30 A、0.3 s。因此,线路末端发生故障限时速断保护必然拒动,只有靠过流保护动作,过流保护定值 5 A、1 s。而主变保护限时速断保护定值为变比 600/5,12 A、0.6 s,因此线路故障必然越级到主变主开关。

6 防范措施

原黄丹沟 回线采用的 CT 变比为 200/5,根据以上分析,其全线路故障,只能靠主变限时速断保护动作切除,显然对变电站的安全运行产生了不良影响。现将保护所使用的 CT 抽头改变为 300/5,定值也相应地调整为 20 A、0.3 s,此定值仍处于电流互

感器伏安特性饱和的临界状态,还有部分死区,针对此种情况,特提出以下解决办法。

1) 降低保护定值

其一:使电流定值小于饱和电流,以保证线路故障可靠切除,但其保护范围将延伸到黄丹沟煤矿变压器低压部分绕组;其二:将限时速断时间整定为 0 s,做到全线路无时限掉闸,不考虑伸入下级主变绕组故障的动作。

2) 更换 SF₆ 开关中的电流互感器

可采取的几种方式:提高电流互感器的容量,即带负载能力;增大 CT 变比,可减小电流倍数或二次电流值,使铁芯不易饱和;增加绕组以便电流互感器串联使用,使每组电流互感器的二次电压降为原来的一半,相当于容量增加一倍。

3) 减小二次回路阻抗

使其满足目前电流互感器 10%误差曲线要求:即敷设一根 4 mm² 电缆,与原电缆并联使用。

7 电流互感器变比的选择(限于电流保护)

保护用电流互感器的选择,不仅要求其电流大于该电气设备长期出现的最大负荷电流,而且在系统发生短路故障时,应能正确变换一次电流。

- 1) 根据负荷大小,选择电流互感器的变比,在可能允许的情况下,变比越大越好,只要过流定值大于保护可整定范围就行。
- 2) 确定电流互感器的负载,根据电缆的长度及所带的装置情况,求出整个二次回路的负载。
- 3) 根据系统情况,计算出此保护范围末端的最小运行方式下的最小短路电流,最大运行方式下的最大短路电流。根据所选择的电流互感器变比折算出最小一次电流倍数和最大电流倍数。
- 4) 根据电流互感器的参数,计算出电流互感器 10%误差,短路电流倍数作为选择变比的依据。

收稿日期: 2003-12-23; 修回日期: 2004-02-14

作者简介:

李社勇(1962-),男,工程师,从事继电保护工作,继电保护工区副工区长,省专家组成员;E-mail:lsy8239@163.com

郭润生(1969-),男,工程师,从事电力系统继电保护运行管理。

(下转第 71 页 continued on page 71)

以按照规定装设断路器失灵保护。在线路保护采用远后备方式,如果有其它线路或变压器的后备保护切除故障将扩大停电范围,并引起严重后果时,按照规定装设断路器失灵保护。

断路器失灵保护时间定值的基本要求:重合闸不需动作时,断路器失灵保护所需动作延时大于断路器跳闸时间和保护返回时间之和再加上裕度时间。若重合闸重合于永久性故障而后加速保护未能跳开开关时,断路器失灵保护动作所需延时也应大于以上时间。这个时间应视具体不同的保护来具体对待。之后以较短时限动作于断开母联断路器或分段断路器,再经一时限动作于连接在同一母线上的所有电源支路的断路器。一般使用精度高的时间元件,我厂采用两段时限分别整定为 0.3 s 和 0.5 s。

断路器失灵保护动作时间 t 应满足以下条件:

$$t > t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

其中: t_1 为使开关动作跳闸的保护动作时间(视具体定值而定); t_2 为断路器跳闸、熄弧时间; t_3 为保护返回时间; t_4 为裕度时间。

4 改进方法

为了能使保护正确动作,按照宁网反措要求,及时同厂家联系后,更换失灵保护软件,将失灵瞬动出口保护退出。线路保护动作后断路器失灵保护触点返回,不致造成误动。故障时断路器失灵保护不再

动作跳开故障线路,而是直接经过 0.3 s 跳开母联开关,0.5 s 跳开故障母线上所有相关线路的特性。这样,在保护动作时,失灵保护就不会误动。失灵保护应满足以下条件:

- 1) 在各种故障情况下,保护动作而开关拒动时;
- 2) 在重合闸重合于故障线路,保护动作,开关未能加速跳开时。

以上各种情况下,当保护动作断路器跳开后,失灵启动回路触点要及时返回,以免造成不必要的误动。

5 结束语

软件改进后,去掉了失灵保护瞬动触点,修改了保护的逻辑,使得保护配合过程更加合理、完整,为保证电网的安全运行,起到了积极的作用。

收稿日期: 2003-09-02; 修回日期: 2004-07-01

作者简介:

樊剑波(1977-),男,本科,助理工程师,主要从事继电保护工作与研究; E-mail: nxjfb@126cn.com

李红莉(1975-),女,大专,助理工程师,从事继电保护工作;

张战永(1966-),男,工程师,从事电力系统自动化的设计与研究工作。

Analysis of a maloperation of breaker failure protection with improving method of production

FAN Jianbo¹, LI Hongli¹, ZHANG Zhanrong²

(1. Dawukou Power Plant, Shizuishan 753000, China; 2. XJ Electric Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: A maloperation of instantaneous operation of breaker failure protection in a single-phase ground fault, which made switch three-trip and reclosure locked, is analysed, and the relevant countermeasures are proposed to improve the device performance.

Key words: breaker failure protection; recloser; maloperation

(上接第 69 页 continued from page 69)

From one maloperation of fault protection to analyse CT ratio selection with its 10 % error influence

LI Sheyong¹, GUO Ruirsheng²

(1. Jinzhong Power Supply Branch, Jinzhong 030600, China; 2. Shuozhou Branch of Power Supply Company, Shuozhou 036002, China)

Abstract: Because of the low volt-ampere characteristic of CT and low multiple of short circuit current, the protection device can not measure primary current correctly, and it is an important reason for the maloperation of protection system. Based on the problem that when a fault occurs on Huangdangou 35 kV line, which is located in 220 kV Bajiazhuang substation, the main switch jumps, a method on how to select the ratio of protection CT and calculate the multiple of short circuit current within 10 % error is proposed.

Key words: CT; AC circuit; 10 % error; short circuit current multiple; analysis