

大型电动机高阻抗差动保护原理、整定及应用

李德佳

(核电秦山联营有限公司,浙江 海盐 314300)

摘要: 阐述了大型电动机高阻抗差动保护原理及整定原则和整定实例。分析了 CT 匝数比误差对高阻抗差动保护的影响,并介绍了匝数比误差的测量方法。

关键词: 高阻抗差动保护; 大型电动机; 匝数比

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)10-0067-03

0 概述

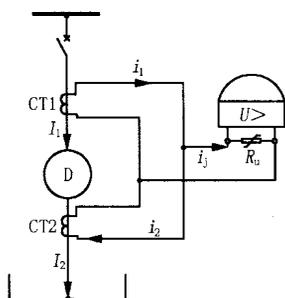
高阻抗差动保护的主要优点: 区外故障 CT 饱和时不易产生误动作; 区内故障有较高的灵敏度。它主要作为母线、变压器、发电机、电动机等设备的主保护,在国外应用已十分广泛。高阻抗差动保护有其特殊性,要保证该保护的可靠性,应从 CT 选型、匹配、现场测试、保护整定等多方面共同努力。现在我国应制定高阻抗差动保护和相应 CT 的标准,结合现场实际情况编制相应的检验规程,使高阻抗差动保护更好地服务于电网,保证电网安全。

1 高阻抗差动保护原理及定值整定原则

1.1 高阻抗差动保护的動作原理

1) 正常运行时,原理图见图 1。因为 $I_1 = I_2$, 所以 $i_j = i_1 - i_2 = 0$ 。因此,继电器两端电压 $U_{ab} = i_j \times R_j = 0$ 。 R_j 为继电器内部阻抗。

电流不流经继电器线圈,也不会产生电压,所以继电器不动作。



注:CT1、CT2 为电流互感器; R_j 为保护电阻器; $U >$ 为高阻抗差动继电器。

图 1 正常运行时原理图

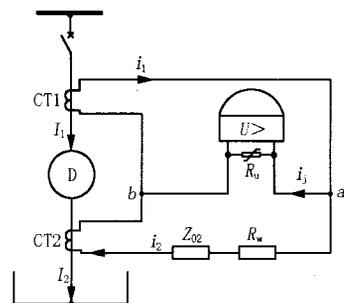
Fig. 1 Diagram of normal running

2) 电动机启动时原理图见图 2。由于电动机启

动电流较大,是额定电流的 6~8 倍且含有较大的非周期分量。当 CT1 与 CT2 特性存在差异或剩磁不同,如有一个 CT 先饱和。假设 CT2 先饱和,CT2 的励磁阻抗减小,二次电流 i_2 减小。由于 $i_j = i_1 - i_2$ 导致 i_j 上升,继电器两端电压 U_{ab} 上升。这样又进一步使 CT2 饱和,直至 CT2 完全饱和时,CT2 的励磁阻抗几乎为零。继电器输入端仅承受 i_1 在 CT2 的二次漏阻抗 Z_{02} 和连接电缆电阻 R_w 产生的压降。

$$U_{ab} = i_j (R_w + Z_{02})$$

为了保证保护有较高的灵敏度及可靠性,就应使 U_{ab} 减小,也就是要求 CT 二次漏阻抗降低。这种情况下,继电器的整定值应大于 U_{ab} ,才能保证继电器不误动。

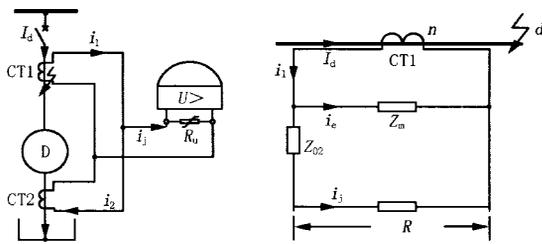


注:CT1、CT2 为电流互感器; R_j 为继电器内部阻抗; R_w 为 CT2 连接电缆电阻; Z_{02} 为 CT2 二次漏阻抗。

图 2 启动时动作原理图(CT2 饱和)

Fig. 2 Operating diagram while starting (CT2 saturation)

3) 发生区内故障时原理图见图 3。 $i_1 = I_d / n$ (n 为 CT1 电流互感器匝数比) $i_j = i_1 - i_e$ i_1 , $U_{ab} = i_j \times R_j$ $i_1 R_j$ 此时,电流流入继电器线圈,产生电压,检测出故障,继电器动作。由于 CT1 二次电流 i_1 可分为流向 CT 励磁阻抗 Z_m 的电流 i_e 和流向继电器的电流 i_j 。因此,励磁阻抗 Z_m 越大,越能检测出更小的故障电流,保护的灵敏度就越高。



注： n 为电流互感器匝数比； Z_m 为 CT1、CT2 的励磁阻抗并联值； Z_{02} 为 CT1 的二次漏阻抗。

图 3 内部故障动作原理图

Fig. 3 Operating diagram of internal fault

1.2 高阻抗差动保护的整定原则及实例

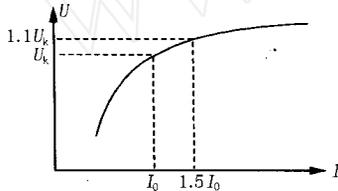
1) 整定原则

a. 保证当一侧 CT 完全饱和时,保护不误动。

$$U \leq U_S \quad (1)$$

$$U_S = I_{KMAX}(R_{in} + R_m) / n \quad (2)$$

式中： U 为继电器整定值； U_S 为保证不误动的电压值； I_{KMAX} 为启动电流值。



注： U_k 为拐点电压； I_0 为拐点电压下的励磁电流； R_{in} 为 CT 二次线圈电阻值； R_m 为从继电器安装处到 CT 安装处环路电阻值； n 为 CT 的匝数比。

图 4 拐点电压的定义

Fig. 4 Definition of the kneepoint voltage

b. 保证在区内故障时,CT 能提供足够的动作电压。

$$U_k \geq 2U_S \quad (3)$$

式中： U_k 为 CT 的额定拐点电压。

CT 的额定拐点电压也称饱和起始电压,此电压为额定频率下的正弦电压加于被测 CT 二次绕组两端,一次绕组开路,测量励磁电流,当电压每增加 10% 时,励磁电流的增加不能超过 50%。

c. 校验差动保护的灵敏度,在最小运行方式下,电动机机端两相短路时,灵敏系数应大于等于 2。

$$K_{lm} = I_{d.min}^{(2)} / I_{prim} \geq 2 \quad (4)$$

$$I_{prim} = n(U_s / R_s + mI_e + I_u) \quad (5)$$

式中： I_{prim} 为保证继电器可靠动作的一次电流； n 、 U_s 同前所述； m 为构成差动保护的每相 CT 数目； I_e 为在 U_s 作用下的 CT 励磁电流； I_u 为在 U_s 作用

下的保护电阻器的电流； R_s 为继电器的内阻抗。

2) 整定实例

电动机参数： $P = 7460$ KW； $I_r = 816$ A。

CT 参数：匝数比 $n = 600$ ； $R_{in} = 1.774$ ； $U_k = 170$ V。

CT 二次侧电缆参数：现场实测 $R_m = 4.21$ 。

差动继电器 (ABB - SPAE010) 参数：整定范围 0.

41.2 U_n ； $U_n = 50, 100, 200$ 可选； $R_s = 6$ k。

计算 U_s ： $U_s = I_{KMAX}(R_{in} + R_m) / n = 10 I_r (R_{in} + R_m) / n = 10 \times 816(1.774 + 4.21) / 600 = 81.38$ V

选取 $U_s = 82$ V。

校验 U_k , 因为 $U_k = 170$ V, 所以 U_s 在 85 V 以下即可满足要求。

确定继电器定值：选取 $U_n = 100$ ；整定点为 0.82；实际定值为 82 V。

校验灵敏度：通过查 CT 及保护电阻器的伏安特性曲线可得在 82 V 电压下的电流： $I_e = 0.03$ A, $I_u = 0.006$ A, $I_{prim} = n(U_s / R_s + mI_e + I_u) = 600(82 / 6000 + 2 \times 0.03 + 0.006) = 47.8$ A。

由此可见,高阻抗差动保护的灵敏度相当高,这也是该保护的主要优点之一。

2 高阻抗差动保护的应用

2.1 高阻抗差动保护在应用中应注意的问题

高阻抗差动保护在应用中除了应注意：CT 极性接线应正确；二次接线端子不应松动；不应误整定；CT 回路应一点接地等。还应注意：CT 二次应专用；高阻抗差动保护所用 CT 是一种特别的保护用 CT (本文采用 TPS 型 CT)。为了避免继电器的误动作,对 CT 有三个要求：励磁阻抗高、二次漏抗低和匝数比误差小。高阻抗差动保护用的 CT 设计要点是：依据拐点电压及拐点电压下的励磁电流来确定铁芯尺寸。对于高阻抗差动保护用 CT 的特性匹配至关重要,在实际选用时应采用同一厂家,同一批产品中特性相近、匝数比相同的 CT。

2.2 CT 匝数比误差对高阻抗差动保护的影响

1) 匝数比 n 为二次绕组的匝数与一次绕组匝数的比值。匝数比的误差 t 定义如下：

$$t = (n - K_n) / K_n \quad (6)$$

式中： K_n 为标称电流比。

国外标准中规定此种 CT 的匝数比误差为 $\pm 0.25\%$ 。

2) 匝数比误差要小

当电动机启动时 (见图 2), 电流互感器 CT2 未

饱和,CT的二次电流接近于匝数比换算得来的数值,这是由于CT未饱和时励磁阻抗较高。一般情况下高阻抗差动保护用CT励磁阻抗为几十千欧姆的数量级。如果匝数比的分散性很大,CT1和CT2的二次电流 i_1 和 i_2 不能互相抵消,该差值电流 i_j 流经继电器线圈,即成为产生误动作的原因。

3) 匝数比误差规定为 $\pm 0.25\%$,对于不同匝数比CT不尽合理。匝数较大CT容易满足该规定并且能保证保护不发生误动作。匝数较小CT即使满足该规定,在电动机启动时的差电压也较大,足以造成保护误动作。

下面列举两个例子:

例1: 标称电流 $3\ 600/1$; $U_k = 600\text{ V}$; $R_{in} = 13\ \Omega$; $R_m = 3\ \Omega$; $n = 3\ 600$; $R_s = 6\ 000\ \Omega$; $I_{kmax} = 10 \times 3\ 600\text{ A}$ 。

继电器整定值: $10 \times 3\ 600(13 + 3)/3\ 600 = 160\text{ V}$

a. 两侧CT匝数比均满足 $\pm 0.25\%$ 。

假设: $n_1 = 3\ 609$ (正误差), $n_2 = 3\ 591$ (负误差), 匝数比误差产生的不平衡电流:

$$i_j = (10 \times 3\ 600/3\ 591 - 10 \times 3\ 600/3\ 609) = 0.05\text{ A}$$

继电器两端不平衡电压: $U_j = i_j \times R_s = 0.05 \times 6\ 000 = 300\text{ V}$, U_j 大于继电器整定值,保护在这种情况下将不可避免地发生误动作。

b. 两侧CT匝数比相对误差满足 $\pm 0.25\%$ 。

假设: $n_1 = 3\ 609$, $n_2 = 3\ 600$,匝数比误差产生的不平衡电流:

$$i_j = (10 \times 3\ 600/3\ 600 - 10 \times 3\ 600/3\ 609) = 0.025\text{ A}$$

继电器两端不平衡电压: $U_j = i_j \times R_s = 0.025 \times 6\ 000 = 150\text{ V}$

U_j 小于继电器整定值,可满足工程要求。

例2: 所有参数与整定计算实例相同。

a. 两侧CT匝数比均满足 $\pm 0.25\%$ 。

设: $n_1 = 601$ (正误差), $n_2 = 599$ (负误差),匝数比误差产生的不平衡电流:

$$i_j = (10 \times 816/599 - 10 \times 816/601) = 0.045\text{ A}$$

继电器两端不平衡电压:

$$U_j = i_j \times R_s = 0.045 \times 6\ 000 = 272\text{ V}$$

U_j 远大于继电器整定值(82 V),保护将发生误动作。

b. 两侧CT匝数比相对误差满足 $\pm 0.25\%$ 。

假设: $n_1 = 601$, $n_2 = 600$,匝数比误差产生的不平衡电流:

$$i_j = (10 \times 816/600 - 10 \times 816/601) = 0.0226\text{ A}$$

继电器两端不平衡电压:

$$U_j = i_j \times R_s = 0.0226 \times 6\ 000 = 135\text{ V}$$

U_j 仍大于继电器整定值,保护将发生误动作。

通过上述两例足以说明对于高阻抗差动保护CT选择的苛刻条件,选择时应遵守CT匝数比误差相近的原则。建议在整定原则中增加继电器整定电压应大于由于匝数比误差产生的差电压,以保证高阻抗差动保护的可靠性。

2.3 匝数比误差的测量

测量的方法有两种:

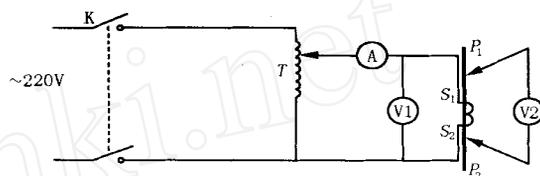


图5 匝数比测量方法图

Fig. 5 Diagram of measuring turn ratio

第一种:在CT二次侧短路状态下,测量流经额定一次电流 i_1 时的比值差 f_1 ,设此时励磁电流为 i_0 ,则 $f_1 = i_0 / i_1$ 。

二次回路连接与二次绕组阻抗相等的负荷,在额定一次电流的 $1/2$ 电流下测量比值差 f_2 ,这时仍设励磁电流为 i_0 ,则 $f_2 = i_0 / i_1$ 。

匝数比误差为: $\tau = f_2 - 2f_1$ 。

第二种方法:在测量CT伏安特性的同时测量一次绕组的电压。

一次绕组开路,二次绕组加电压,测量一次绕组的电压,如图5。

CT匝数比 $n = U_1 / U_2$; 匝数比误差 $\tau = (U_1 / U_2 - K_n) / K_n$ 。

参考文献:

- [1] 迟永久,刘海涛,郭斌(CHI Yong-jiu, LIU Hai-tao, GUO Bin). 高阻抗差动继电器用电流互感器及其设计(Current Transformer for Differential Relay with High Impedance and Its Design) [J]. 低压电器(Low Voltage Apparatus), 2002, (2): 48-51.

收稿日期: 2003-06-30

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。

(下转第72页 continued on page 72)

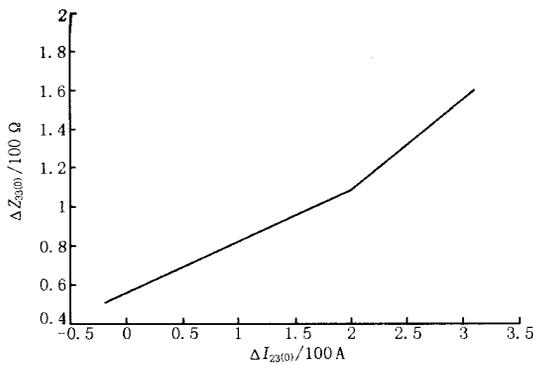


图2 自阻抗与零序电流变化关系对应图

Fig.2 Relation between the changes of self-impedance and zero-sequence current

行状态的改变对保护线路处流过的短路电流的影响可用 Z_{kk}/Z_{kk} 表示,影响大的耦合度强,影响小的耦合度弱。

这种判据方法只需用原始阻抗矩阵的相关元素,比较简单。在整定计算中,选择运行方式时,可以先确定耦合度的限值,大于限定值的,其对应运行方式需要考虑,也可设定想要考虑的运行方式总数,把运行方式按耦合度大小排列,依次选择运行方式。这种选择方法既避免了传统运行方式选择的简单化,又避免了电流计算的复杂化,操作简单,比较实用。

4 结论

本文针对传统运行方式选择的弱点,提出一种

Decision method of operating mode based on coupling degree

ZHANG Xue-mei, DING Xiao-qun, ZHOU Ling

(School of Electrical Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In the setting calculation of relay protection, deciding power system's operating mode reasonably and quickly is needed for fault calculation. The traditional ways seldom take modes into consideration, which makes the setting too conservative. Based on the traditional ways, aided by high speed operating computer, and employed impedance matrix in choosing operation mode, a new decision method based on coupling degree is proposed. This method has been verified with an application case.

Key words: relay protection; setting calculation; operating mode; coupling degree

基于耦合度的选择方法,并由实例说明了方法的可靠性。这种方法可由计算机快速实现,可以提高整定效率和整定精度。

参考文献:

- [1] 李光琦(LI Guang-qi). 电力系统暂态分析(The Transient Analysis of Electric Power Systems) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1999.
- [2] 陈永琳(CHEN Yong-lin). 电力系统继电保护的计算机整定计算(The Computer's Setting of Relay Protection in Electric Power Systems) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing:Hydraulic and Electric Power Press),1994.
- [3] 刘敏,石东源,柳焕章,等(LIU Min, SHI Dong-yuan, LIU Huan-zhang, et al). 线路零序电流保护计算机整定中运行方式的选择(The Decision of Operating Mode in Setting of Zero Sequence Current Relay of Line Aided by Computer) [J]. 继电器(Relay),2000,28(3):15-17.

收稿日期:2003-11-26; 修回日期:2004-02-08

作者简介:

张雪梅(1979-),女,硕士研究生,从事继电保护整定计算软件的研究;

丁晓群(1956-),男,教授,从事电气设备故障诊断及电网控制的研究;

周玲(1964-),女,副教授,从事电力系统继电保护整定计算理论及相关软件技术的研究。

(上接第 69 页 continued from page 69)

Principle, setting and application of high impedance differential protection in large motor

LI De-jia

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

Abstract: This paper expatiates the principles, setting and application of high impedance differential protection in large motor with whole set id setting cases. The influence of CT turn ratio to high impedance differential protection is analyzed, and the method of measuring turn ratio error is also introduced.

Key words: high impedance differential protection; large motor; turn ratio